

**Université Lumière Lyon 2**

**Sciences cognitives**

**Institut de Psychologie**

*Institut des Sciences Cognitives et Institut des Troubles de l'Affectivité et de la Cognition – CH le  
Vinatier*

# **Approche neuropsychologique de l'autisme infantile : entre théorie de l'action et théorie de l'esprit.**

**Par Nelly LABRUYERE**

Thèse de Doctorat de Neuropsychologie

Dirigée par Nicolas GEORGIEFF Professeur des universités à l'Université Lumière  
Lyon 1

Présentée et soutenue publiquement le 27 octobre 2006

Devant un jury composé de : Pr. Olivier Koenig de l'Université Lyon 2 (président du jury) Pr. Claude Bursztejn de l'Université Strasbourg 1 (rapporteur) Pr. Catherine Barthélémy du CHRU de Tours - Hôpital Bretonneau (rapporteur) Pr. Nicolas Georgieff de l'Université Lyon 1 (directeur de la thèse) Dr. Tiziana Zalla C.N.R.S (examinatrice)



# Table des matières

..	1
<b>Chapitre 1 : Préambule Sciences Cognitives et Psychopathologie . .</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre 2 : Contexte Théorique . .</b>	<b>7</b>
L'autisme . .	7
L'hypothèse d'un trouble de théorie de l'esprit . .	11
Définition de la théorie de l'esprit . .	11
Développement de la théorie de l'esprit . .	12
Modèles et théorisations sur le développement de la théorie de l'esprit . .	15
Bases neurales de la théorie de l'esprit . .	19
Hypothèse d'un trouble de théorie de l'esprit dans l'autisme . .	22
Déficit de théorie de l'esprit comme déficit primaire ? . .	26
L'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives . .	28
Définition des fonctions exécutives . .	28
Caractérisations théoriques des fonctions exécutives . .	31
Développement des fonctions exécutives . .	33
Hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives dans l'autisme . .	34
Déficit des fonctions exécutives comme déficit primaire ? . .	40
Liens entre théorie de l'esprit et fonctions exécutives . .	42
Lien au niveau cérébral : forte implication des régions frontales . .	43
Lien au niveau cognitif : un processus commun ? . .	44
Problématique : autisme et représentation de l'action . .	46
Hypothèses . .	48
<b>Chapitre 3 : Travaux expérimentaux . .</b>	<b>49</b>
Etude 1 : Etude de la représentation d'actions dirigées vers un but . .	49
Justification de l'expérience . .	49
Méthode . .	50

Résultats .	56
Discussion de l'expérience 1 . .	59
Etude 2 : Etude de la perception de l'action dans l'autisme infantile .	63
Justification de l'expérience . .	63
Méthode . .	64
Résultats .	76
Discussion de l'expérience 2 . .	87
<b>Chapitre 4 : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION .</b>	<b>93</b>
Représentation de l'action : nature du déficit dans l'autisme .	94
Différents niveaux de représentation de l'action . .	96
Représentations d'action centrées sur les objets ou représentations motrices . .	96
Représentations de séquences d'actions .	98
Représentations partagées .	99
Représentations sociales . .	102
Conclusion .	102
<b>REFERENCES . .</b>	<b>105</b>
<b>ANNEXES .</b>	<b>123</b>
<b>Annexe 1. Références du Tableau 1. .</b>	<b>123</b>
<b>Annexe 2. Références des Tableaux 2a, 2b et 2c. . .</b>	<b>125</b>

---

*A mes parents...*



# Chapitre 1 : Préambule Sciences Cognitives et Psychopathologie

Les sciences cognitives regroupent un ensemble de disciplines telles que la philosophie, la linguistique, la psychologie cognitive, la neurobiologie et l'intelligence artificielle. Ces disciplines s'articulent autour d'une même problématique : comprendre comment l'information est traitée par le cerveau c'est-à-dire comment elle est perçue, mémorisée, manipulée, transformée et finalement restituée.

Les pathologies psychiatriques intéressent depuis quelques années le champ des sciences cognitives en ce qu'elles se caractérisent à la fois par des troubles cognitifs et des perturbations relationnelles et affectives. L'étude de telles pathologies permet donc d'approcher les fonctions cognitives les plus complexes et leurs interactions avec les émotions et le contrôle de l'action.

Nous pouvons considérer l'étude de la pathologie mentale par les sciences cognitives à deux niveaux différents. Les recherches cognitives sur la pathologie mentale ont d'abord tenté de décrire les différentes anomalies cognitives consécutives à la maladie. Par la suite, elles se sont intéressées à définir des perturbations cognitives plus spécifiques et supposées produire et expliquer les symptômes psychiatriques. Cette dernière approche constitue le champ de la psychopathologie cognitive. Ainsi, au-delà d'une simple description de « symptômes » cognitifs, des modèles explicatifs ont été proposés permettant d'une part une meilleure compréhension de la pathologie mentale et d'autre part une contribution à la connaissance du fonctionnement mental normal et du

développement.

Par ailleurs, la psychopathologie cognitive se propose de mettre en perspective les niveaux d'analyse clinique, cognitif et neurobiologique. Les processus cognitifs constituent un niveau d'analyse intermédiaire entre les niveaux clinique et neurobiologique. Cela ne signifie pas qu'il soit possible d'expliquer directement les symptômes cliniques par un trouble cognitif et le trouble cognitif par une anomalie neurobiologique mais des corrélations sont établies d'une part entre symptômes cliniques et opérations cognitives et d'autre part entre opérations cognitives et fonctionnement cérébral.

La schizophrénie, du fait de sa complexité, est la pathologie mentale qui a donné lieu au plus grand nombre de recherches cognitives. L'hypothèse d'anomalies de la régulation de l'action dans la schizophrénie constitue sans doute le modèle explicatif le plus complet. Selon Georgieff, la référence aux modèles de l'action de la neuropsychologie cognitive a permis d'intégrer les troubles touchant la mémoire, l'attention, la perception, observés chez les schizophrènes dans un cadre plus général d'anomalies de la régulation de l'action comprenant : une désorganisation de l'action ou des troubles de la planification, des troubles de l'ajustement de l'action à la situation ou au contexte et des anomalies de la conscience de l'action propre et d'autrui.

Depuis quelques années, tout un courant de recherches s'est également développé autour de l'autisme infantile. L'autisme infantile, par la conjonction qu'il réalise entre troubles affectifs et troubles cognitifs, apparaît comme un paradigme privilégié pour la question des rapports de l'affectif et du cognitif et plus particulièrement de leur intrication au cours du développement.

Dans un premier temps, les recherches ont révélé différentes anomalies touchant le filtrage des signaux sensoriels, la perception de stimuli sociaux et non sociaux, différents aspects des processus langagiers, mnésiques et attentionnels. Dans un deuxième temps, les recherches se sont inscrites dans une démarche moins descriptive en proposant des hypothèses sur des perturbations cognitives spécifiques et explicatives des symptômes comportementaux. Différentes hypothèses ont été proposées : un trouble primaire de la compréhension et du traitement des émotions, un défaut de cohérence centrale, un trouble de la fonction dite de théorie de l'esprit et un déficit des fonctions exécutives. Ces deux dernières hypothèses vont plus particulièrement nous intéresser.

Nous avons choisi de développer notre thèse selon le plan suivant.

La première partie de ce travail va être consacrée à présenter succinctement l'autisme infantile et à développer le cadre théorique dans lequel s'inscrit notre réflexion. Nous exposerons alors deux modèles cognitifs explicatifs des troubles observés dans l'autisme infantile, la théorie de l'esprit et les fonctions exécutives. Nous préciserons pour chacune de ces fonctions d'une part leurs fondements théoriques, développementaux et neurobiologiques ; d'autre part les principaux résultats en faveur de leur atteinte dans l'autisme et leurs principales limites. Nous finirons cet exposé en soulignant les liens possibles entre ces deux modèles et en proposant l'hypothèse qu'un trouble de théorie de l'esprit et qu'un trouble exécutif pourraient avoir une source commune dans l'atteinte d'un mécanisme cognitif plus bas niveau concernant la représentation de l'action.

Nous présenterons ensuite deux paradigmes expérimentaux réalisés pour tester

---

notre hypothèse d'un déficit des processus de représentation de l'action, et pour terminer nous discuterons des résultats obtenus en lien avec la littérature.



## Chapitre 2 : Contexte Théorique

### L'autisme

Le terme d'autisme, dérivé du grec *autos* qui signifie *soi*, a été introduit en psychiatrie en 1911 par le psychiatre Eugen Bleuler pour décrire un des symptômes de base de la schizophrénie à savoir l'isolement social, le repli sur soi.

Ce terme d'autisme a été repris par Léo Kanner en 1943 pour décrire un syndrome unique et distinct. Kanner rapporta le cas de 11 enfants présentant un ensemble de symptômes particuliers définissant ce qu'il nomma « *des troubles autistiques innés du contact affectif* ». Les symptômes principaux étaient :

- **l'isolement et les troubles du contact affectif.** « *Le trouble fondamental le plus frappant est l'incapacité de ces enfants à établir des relations de façon normale avec les personnes et les situations dès le début de leur vie. [...] Il existe d'emblée un repli autistique extrême qui, chaque fois que c'est possible, fait négliger, ignorer, refuser à l'enfant tout ce qui vient de l'extérieur* » ;
- **l'écholalie, des difficultés de compréhension et surtout le langage n'est pas utilisé comme moyen de communication (trouble de la pragmatique).** « *Le langage – que ces enfants n'utilisaient pas pour communiquer – a dès le début été*

*considérablement détourné pour devenir un exercice de mémoire indépendant, sans aucune valeur sémantique ni conversationnelle ou comportant de graves distorsions. [...] Lorsque des phrases sont finalement formées, elles demeurent pendant longtemps des combinaisons de mots entendus et répétés à la manière d'un perroquet » ;*

**un désir obsessionnel d'immuabilité entraînant actes répétitifs, stéréotypés, gamme d'intérêts limitée, résistance et intolérance aux changements.** « *Les bruits produits par l'enfant et tous ses actes sont d'aussi monotones répétitions que ses paroles. Il existe une limitation nette dans la variété de ses activités spontanées. La conduite de l'enfant est régie par une obsession anxieuse de la permanence que personne ne peut rompre [...] Les changements de routine, d'ordre dans lequel des actes quotidiens sont effectués peuvent le mener au désespoir* ».

En 1944, Hans Asperger a décrit des enfants présentant le même type de troubles mais avec de meilleures performances intellectuelles et un développement du langage plus précoce et mieux adapté.

Cet ensemble de trois symptômes décrit par Kanner, parfois qualifié de triade autistique, reste à la base des critères diagnostics actuels. Aujourd'hui l'autisme est défini comme un trouble sévère et durable du développement de l'enfant qui se manifeste dès la petite enfance (avant 3 ans) par des perturbations graves des interactions sociales et de la communication et par des comportements restreints, répétitifs et stéréotypés.

Selon les deux grands systèmes internationaux de classifications des troubles mentaux, le DSM (Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders) et la CIM10 (Classification Internationale des Maladies de l'Organisation Mondiale de la Santé), l'autisme fait partie de la catégorie plus générale des Troubles Envahissants du Développement (TED). Alors qu'en 1980, l'autisme était la seule entité représentant les TED, aujourd'hui nous distinguons cinq catégories de troubles, incluant des formes atypiques d'autisme et le syndrome d'Asperger. L'autisme est un trouble très complexe aux formes multiples avec des degrés de sévérité variables pouvant donner lieu à des tableaux cliniques très différents. Pour rendre compte de cette variabilité, les termes de continuum autistique et de spectre autistique (« *Autism Spectrum Disorders* ») sont de plus en plus utilisés. Dans la suite de l'exposé, nous continuerons de parler d'autisme et de sujets autistes tout en gardant à l'esprit qu'il ne s'agit pas d'une entité clinique homogène.

La prévalence minimale de l'autisme dans la population générale est estimée à 4-5 cas pour 10 000 naissances, certaines données épidémiologiques récentes allant jusqu'à 10 à 20 cas pour 10 000, voire jusqu'à 60 cas pour 10 000 si nous considérons l'ensemble des troubles du spectre autistique . Le sex-ratio est inégal et en faveur des garçons : 4 à 5 garçons atteints pour une fille. Il semblerait que les filles atteintes d'autisme soient plus sévèrement touchées avec un retard mental plus important. Une majorité (50 à 75 %) des personnes autistes ont un retard mental associé mais ce retard n'est pas homogène et parfois les compétences sont normales voire exceptionnelles dans certains domaines.

Les causes possibles de l'autisme sont sujettes à controverses depuis de

---

protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

nombreuses années entre tenants d'une cause organique et ceux d'une cause psychologique. Aujourd'hui un consensus scientifique s'est établi sur l'existence de divers facteurs étiologiques dont certains sont organiques et plus particulièrement génétiques et d'autres environnementaux.

Nous allons évoquer les principales anomalies génétiques et neurobiologiques fréquemment observées dans l'autisme et qui contribuent probablement à l'émergence des troubles autistiques .

Les recherches génétiques comprennent essentiellement des études de jumeaux ou de lignées familiales ainsi que des études moléculaires . Le taux d'héritabilité est estimé à 90 % avec en moyenne 70 % des jumeaux monozygotes qui présentent un diagnostic concordant, tandis que la concordance chez les jumeaux dizygotes et les enfants d'une même fratrie est inférieure à 5 % (risque qui reste extrêmement élevé, de 50 à 100 fois supérieur à celui de la population générale). Signalons également l'association assez fréquente, bien que non systématique, de l'autisme avec certaines maladies génétiques : syndrome de l'X fragile, sclérose tubéreuse de Bourneville, syndrome de Rett, neurofibromatose, phénylcétonurie....

S'il existe beaucoup d'arguments en faveur d'une atteinte génétique, aucun gène majeur n'a encore été identifié. Différentes régions de susceptibilité, près d'une vingtaine, ont été identifiées sur de nombreux chromosomes, dont de manière récurrente, celles localisées sur les chromosomes 2q, 7q, 16p, 15q et les chromosomes sexuels. Différentes anomalies ont été observées sur des gènes codant pour des protéines impliquées dans des étapes cruciales du développement cérébral (comme la sélection des réseaux neuronaux, la mort neuronale, le transport de certains neuromédiateurs tels que la sérotonine ou le glutamate). Par exemple, une étude a mis en évidence des mutations sur deux gènes (NLGN3 et NLGN4) situés sur le chromosome X et codant pour des protéines de la famille des neuroligines . Ces neuroligines seraient impliquées dans les mécanismes de formation ou de maturation des synapses dans le système nerveux central des mammifères. D'autres études ont mis en évidence des mutations du gène codant pour la protéine reeline impliquée dans la migration neuronale au cours du développement cérébral.

Différents signes évocateurs d'une atteinte neurologique dans l'autisme sont notés. Environ un tiers des enfants autistes sont épileptiques et la présence d'une déficience mentale, d'un nystagmus ou la persistance anormale de certains réflexes infantiles et de mouvements stéréotypés est fréquemment observée. L'autisme est souvent associé avec un nombre important de facteurs connus pour provoquer des atteintes cérébrales chez le fœtus : encéphalite congénitale ou acquise, post-maturité, anoxie foetale ou hypoxie, ictère néo-natal, affections virales, etc.

Les études biochimiques rapportent des perturbations dans la plupart des systèmes neurochimiques (sérotonine, dopamine, noradrénaline, endorphines) sans pouvoir tirer de conclusions solides au vu de résultats discordants.

Les quelques études post-mortem sur des sujets autistes mettent en évidence un développement neuronal anormal comme en témoigne la taille réduite des neurones, l'augmentation de la concentration cellulaire dans le système limbique, la diminution des

connexions dendritiques dans l'hippocampe, la réduction du nombre de cellules de Purkinje dans le cervelet et la réduction du nombre de neurones dans les noyaux des nerfs moteurs crâniens.

Par ailleurs, des études ont montré l'existence d'une macrocéphalie chez environ 20 à 40% des autistes : périmètres crâniens plus importants, augmentation du poids et amplification du volume du cerveau (cette amplification est surtout observée dans les régions frontales, pariétales, temporales et le cervelet, et concerne essentiellement la substance blanche). Plusieurs études d'imagerie anatomique ont mis en évidence une hypoplasie de certains lobules du vermis cérébelleux mais cette anomalie n'a pas été confirmée dans beaucoup d'autres études. Récemment, Carper et Courchesne ont montré une corrélation inverse entre le volume du lobe frontal et la taille de certains lobules du cervelet : les sujets autistes qui présentent une atrophie importante du cervelet ont un volume du cortex frontal supérieur à la normale. Des variations du volume de l'amygdale, des noyaux caudés, du corps calleux, du tronc cérébral ont également été observées mais les résultats sont loin d'être concordants d'une étude à une autre .

Les études d'imagerie au repos sont encore peu nombreuses mais fournissent des données intéressantes. Zilbovicius et al. ont remarqué une diminution de la perfusion frontale transitoire chez de très jeunes enfants autistes suggérant un retard dans la maturation métabolique du lobe frontal chez ces sujets. D'autres études réalisées en PET ont montré une hypoactivité dans le lobe frontal, le préfrontal et le gyrus cingulaire. Deux études ont mis en évidence une hypoperfusion bilatérale dans le lobe temporal centrée principalement sur le sulcus temporal supérieur (lequel est fortement connecté aux régions frontopariétales et limbiques) . Ce résultat a été reproduit récemment en IRM anatomique . Actuellement, de plus en plus de travaux portent sur l'hypothèse d'un défaut de connectivité fonctionnelle entre plusieurs régions cérébrales .

En résumé, de nombreuses données neuroanatomiques convergent vers l'existence d'une perturbation d'un réseau neuronal impliquant cortex temporo-pariétal, système limbique, cervelet et régions préfrontales . Damasio et Maurer avaient suggéré que l'autisme était lié à des perturbations dans ces mêmes régions cérébrales uniquement sur la base d'analogie de signes et de symptômes observés dans des déficits neurologiques adultes.

De nombreuses études en imagerie fonctionnelle ont également permis de préciser les anomalies cérébrales fonctionnelles observées dans l'autisme. Certains résultats seront présentés dans les chapitres ci-après afin de préciser les soubassements neuronaux des fonctions cognitives étudiées dans l'autisme.

Parallèlement aux recherches neurobiologiques, un très grand nombre de travaux ont été menés au cours de ces vingt dernières années pour tenter de mieux comprendre les perturbations cognitives observées chez les personnes autistes. Différentes anomalies cognitives ont été rapportées mais nous allons limiter notre exposé à la description de deux principales hypothèses explicatives à savoir l'hypothèse d'un trouble de la fonction dite de théorie de l'esprit et l'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives.

# L'hypothèse d'un trouble de théorie de l'esprit

## Définition de la théorie de l'esprit

---

Le concept de théorie de l'esprit<sup>1</sup> a été introduit par Premack et Woodruff en 1978 dans un article au titre provocant « *Does the chimpanzee have a theory of mind* ». Leur étude montrait un chimpanzé capable de résoudre différents problèmes en inférant des buts ou des intentions à un personnage. La théorie de l'esprit était alors définie comme la capacité à comprendre, à inférer et à attribuer des états mentaux (désirs, pensées, croyances) à soi-même et à autrui, afin de comprendre et de prédire les comportements. Cette capacité de théorie de l'esprit ou de « mentalisation » permettrait de comprendre ce qu'une personne pense, croit, désire, dans une situation donnée, et donc d'anticiper sur ce que cette personne va faire ou dire. Un exemple donné par Baron-Cohen :

**« Joe et Tim regardaient les enfants dans la cour de récréation. Sans dire un mot, Joe touche l'épaule de Tim et regarde la petite fille qui joue dans le bac à sable. Ensuite il regarde Tim et sourit. Tim acquiesce et tous les deux rejoignent la petite fille dans le bac à sable. En tant que lecteur de l'esprit, nous interprétons d'emblée la situation en termes mentalistes. Par exemple, on peut avoir une lecture sinistre de la situation : « Peut-être que Joe et Tim ont projeté de faire quelque chose de mal à l'un des enfants. Joe voulait faire comprendre à Tim que leur victime serait la petite fille dans le bac à sable et il a indiqué ceci par la direction de son regard. Tim a décodé l'intention de Joe et acquiescé pour dire à Joe qu'il avait compris son plan. Puis ils sont allés trouver la petite fille qui ne savait pas ce qui allait se passer. »**

La question de la présence ou non d'une capacité de théorie de l'esprit dans d'autres espèces que l'espèce humaine a suscité et suscite encore beaucoup de travaux. Il semblerait que certaines espèces de grands singes parviennent à un certain niveau de compréhension de la pensée d'autrui sans posséder pour autant une capacité de théorie de l'esprit aussi complexe et développée que l'être humain .

Au-delà de cette question d'une fonction spécifique ou non à l'espèce humaine, les chercheurs en psychologie de l'enfant se sont rapidement intéressés au développement et aux mécanismes de cette fonction cognitive chez l'être humain. La première recherche dans ce domaine a été proposée par Wimmer et Perner et il s'agissait de tester la capacité des enfants à attribuer une fausse croyance. La scène était jouée avec des poupées et des jouets et l'histoire suivante était racontée à l'enfant :

---

<sup>1</sup> Nous réserverons le terme de « théorie de l'esprit » pour désigner la capacité à attribuer des états mentaux et à prédire les comportements d'autrui sur la base de leurs états mentaux, sans faire référence à aucune théorie particulière du comment fonctionne cette capacité. Nous n'utiliserons pas ce terme de « théorie de l'esprit » pour parler de l'approche qui considère l'existence d'une théorie naïve pour guider l'interprétation du comportement d'autrui. Nous parlerons alors de théorie-théorie et cette approche fera l'objet d'un paragraphe dans les pages à venir.

La maman de Maxi revient des commissions. Elle a acheté du chocolat pour faire un gâteau. Maxi aide sa maman à ranger les courses et lui demande :

- « où est-ce que je peux ranger le chocolat ? »
- « Dans le placard bleu », lui répond sa maman.

Maxi pose le chocolat dans le placard bleu (un morceau de chocolat est placé dans la boîte bleue). Maxi se rappelle exactement où il a rangé le chocolat, ainsi il pourra revenir plus tard en chercher un morceau. Il adore le chocolat. Maxi sort jouer dehors (la poupée est retirée de la scène). Sa maman commence à préparer le gâteau et prend le chocolat dans le placard bleu. Elle met quelques morceaux de chocolat dans sa pâte et ne remet pas le chocolat dans le placard bleu mais dans le placard vert (le chocolat est placé dans la boîte verte). Soudain elle réalise qu'elle a oublié d'acheter des œufs. Elle va vite chez la voisine chercher quelques œufs. Pendant ce temps, Maxi rentre à la maison : il a faim et veut manger un peu de chocolat (l'expérimentateur fait revenir la poupée). Il se souvient encore où il a rangé le chocolat.



On pose alors à l'enfant une question portant sur la fausse croyance de Maxi « où est ce que Maxi va chercher le chocolat ? ». L'enfant doit indiquer une boîte parmi trois possibles. Deux questions de contrôle sont également posées : « où est réellement le chocolat ? », « te rappelles-tu où est ce que Maxi avait rangé le chocolat au début ? ».

Pour répondre correctement, l'enfant doit comprendre et attribuer à la poupée Maxi la fausse croyance que le chocolat est dans la boîte bleue. Cette croyance est fausse mais elle est aussi différente de celle de l'enfant puisque ce dernier sait que le chocolat est dans la boîte verte. La plupart des enfants de moins de 4 ans échouent cette tâche de fausse croyance affirmant que Maxi va chercher le chocolat dans la boîte où il est réellement. En revanche, les enfants de plus de 4 ans réussissent à attribuer une fausse croyance à Maxi : ils sont capables de se représenter ce que pense, croit la poupée Maxi et de prédire son comportement en conséquence.

A la suite de cette recherche originale de nombreuses répliques et variantes ont été développées. Une méta-analyse regroupant 178 études a démontré qu'il existait un changement important dans la compréhension de la fausse croyance entre 3 et 5 ans. Cette question de la compréhension de la fausse croyance est centrale dans les recherches sur la théorie de l'esprit car elle est souvent considérée comme LE marqueur de cette capacité : les enfants ont une théorie de l'esprit efficace s'ils réussissent une tâche de fausse croyance. Cependant, comme nous le verrons plus tard, la réussite ou non à une tâche de fausse croyance peut dépendre de nombreux facteurs autres que la théorie de l'esprit. D'autre part, la fausse croyance n'est pas le seul état mental existant et l'étude d'autres états mentaux suggère un développement graduel de cette capacité qui se caractérise de manière différente à différents âges.

## Développement de la théorie de l'esprit

---

Pendant la première année de vie, les enfants développent des capacités importantes

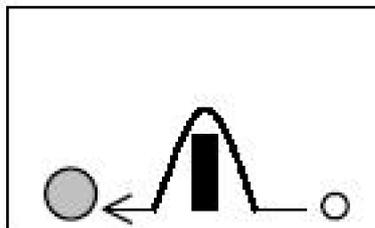
protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

pour la compréhension de l'action d'autrui. Selon Gergely et Csibra , la capacité des jeunes enfants à se représenter des actions dirigées vers un but dépendrait d'un raisonnement téléologique. Un tel raisonnement n'impliquerait pas l'attribution d'états mentaux mais les explications d'actions en termes d'états mentaux seraient des extensions théoriques des explications téléologiques. Ils considèrent ce raisonnement téléologique comme un « *non mentalistic precursor of the young child's later emerging causal theory of mind* ». La distinction entre des mouvements biologiques et mécaniques, la perception d'agentivité, la représentation de l'action et des buts des agents sont des prérequis importants pour la compréhension et la représentation des intentions.

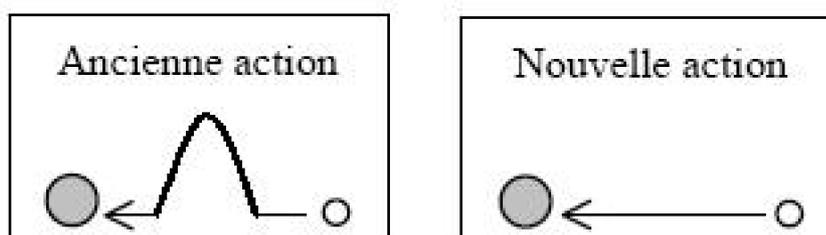
Dès 6 mois, les enfants semblent raisonner de manière différente à propos des personnes et des objets et plus particulièrement ils peuvent apprécier que les personnes ou du moins les agents se déplacent de manière autonome . Ils peuvent donc distinguer des actions humaines et des mouvements d'objets et, quand ils regardent une personne saisir un objet, ils prêtent une attention particulière à la relation entre la personne et l'objet

Gergely et al. et Csibra et al. ont montré qu'entre 9 et 12 mois, les enfants sont capables de se représenter le but d'un agent et les moyens utilisés pour atteindre ce but. Le paradigme utilisé consistait à habituer les enfants à un événement au cours duquel un petit cercle s'approchait à plusieurs reprises d'un grand cercle en sautant par-dessus un rectangle. Pendant la phase de test, le rectangle était enlevé et les enfants étaient surpris si le petit cercle reproduisait le même parcours pour rejoindre le grand cercle (c'est-à-dire en sautant, alors que le rectangle n'était plus là), mais ils ne l'étaient pas si le petit cercle prenait un parcours nouveau mais plus court et direct (en allant tout droit vers le grand cercle). Cela suggère que les enfants de moins d'un an interprètent les actions comme étant dirigées vers un but, ils évaluent l'action qui sera le moyen le plus efficace pour atteindre le but et ils s'attendent que l'agent utilise le moyen le plus efficace pour atteindre ce but.

## HABITUATION



## TEST



Dès 12 mois, les enfants sont également capables de relier deux actions dans une séquence dirigée vers un but sur la base des liens causaux entre les deux actions et ils traitent des objets comme des agents intentionnels sur la base de leurs comportements d'interaction (capacité de perception et d'attention, capacité de communication, comportement dirigé vers un but) .

Les premières manifestations de la capacité de mentalisation apparaissent véritablement vers 18 mois, notamment avec la capacité de faire semblant . La capacité d'attention conjointe se développe également vers cet âge : l'enfant devient capable de diriger son attention sur l'objet qu'un adulte est en train de montrer du doigt ou de regarder, même quand cet objet n'est pas toujours directement visible. Meltzoff a montré que vers 18 mois, les enfants pouvaient imiter des actions intentionnelles même si le but de ces actions n'était pas achevé. Après avoir vu un adulte échouer plusieurs fois à atteindre le but d'une action, les enfants de 18 mois étaient en effet capables d'inférer le but de l'action (but qu'ils n'avaient jamais vu être réalisé) et de reproduire l'action complètement. Ils n'imitaient pas seulement ce qu'ils avaient vu mais ils inféraient ce que l'adulte avait l'intention de faire et le produisaient. Plus récemment, Csibra et al. ont mis en évidence cette capacité à inférer le but d'une action inachevée chez des enfants âgés de 12 mois.

Vers 2 ans, les enfants peuvent comprendre des états mentaux simples tels que le désir : ils prennent en compte le désir d'autrui pour prédire et attribuer les actions et réactions . A partir de 3 ans, les enfants acquièrent une compréhension des croyances des autres. C'est vers cet âge que les enfants commencent à réussir les tests de fausse croyance de 1<sup>er</sup> ordre, comme nous l'avons précédemment décrit. Par ailleurs, ils saisissent la différence entre les entités mentales et les entités physiques, ils utilisent de plus en plus de mots qui se réfèrent à des états mentaux (« je pense », « je sais ») et ils

commencent à comprendre la différence entre savoir, penser et deviner.

Après 5 ans, les enfants se montrent capables de comprendre que les autres peuvent eux aussi se représenter des états mentaux. C'est vers cet âge que les enfants réussissent les tests de fausse croyance de 2<sup>nd</sup> ordre : par exemple, Marie croit que Jean pense que l'objet est dans telle boîte. Ils comprennent aussi des états mentaux plus complexes comme l'ironie, le mensonge.

Beaucoup considèrent que les compétences de base de la théorie de l'esprit sont en place vers 5-6 ans et qu'ensuite cette capacité s'enrichit par l'expérience c'est-à-dire en se confrontant à de situations nouvelles et de plus en plus complexes. Cependant, pour d'autres, la théorie de l'esprit n'est qu'une étape dans le développement de la cognition sociale. Selon Thommen , « *la compréhension des représentations d'autrui devient une première étape du développement qui amènera l'adolescent à réfléchir en termes relatifs sur les raisons et les circonstances d'une action. Pour Selman, c'est à douze ans que débute la compréhension par l'enfant du fait que ses propres actions peuvent être motivées par quelque chose qu'il ignore. Il engage des relations avec autrui en fonction de perspectives abstraites, de partages d'intérêts culturels ou symboliques. La personne devient cet être complexe inséré dans de nombreuses interactions sociales ou l'inter-individuel et l'intra-individuel se conjuguent* ». Thommen cite les travaux de Selman qui repère cinq grandes étapes du développement de la cognition sociale : (a) indifférenciation du psychologique et du physique à 3 ans ; (b) représentation de la pensée de l'autre à 5 ans ; (c) récursivité et relativité des points de vue à 8 ans (l'enfant peut réfléchir sur sa propre pensée et se rendre compte que les autres peuvent en faire de même, il comprend que quelqu'un peut accomplir une action qu'il n'a pas forcément voulue, il comprend la réciprocité des pensées et des croyances et non seulement celle des actions) ; (d) théorisation d'autrui à la troisième personne à 12 ans (l'adolescent considère la personne comme un système stable d'attitudes et de valeurs dans le temps et est capable de réfléchir simultanément sur les intentions, les actions et leurs conséquences sur autrui), et finalement (e) compréhension de l'idée d'inconscient et de relation interpersonnelle au niveau culturel et social à 15 ans.

Après avoir précisé les étapes de développement de la capacité de théorie de l'esprit, nous allons passer en revue différents modèles et théorisations proposés pour comprendre ce développement.

## Modèles et théorisations sur le développement de la théorie de l'esprit

---

### Les architectures modulaires

Le principe de ces modèles est que la théorie de l'esprit repose sur un module cognitif spécifique et inné : la théorie de l'esprit serait déterminée par des traitements spécialisés c'est-à-dire qui ne s'appliquent pas à d'autres domaines cognitifs et qui peuvent être sélectivement perturbés.

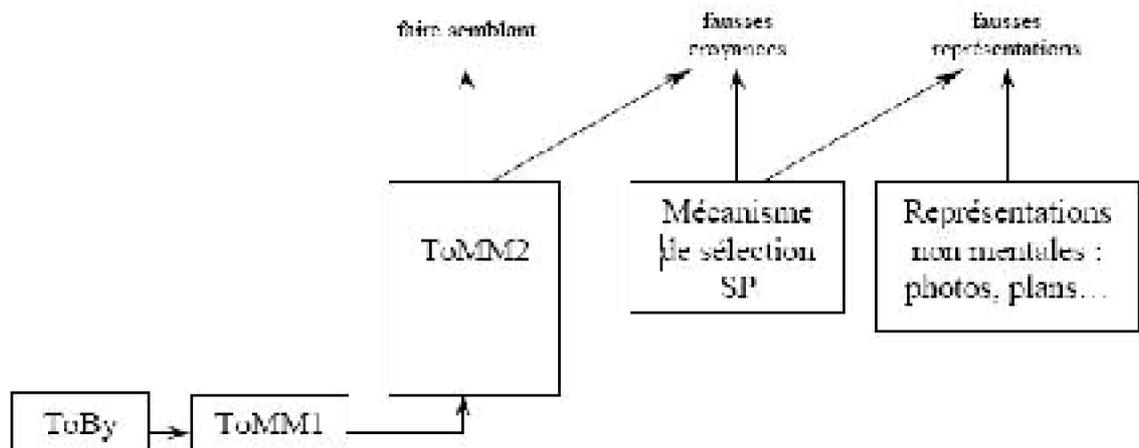
Premack et Premack distinguent 3 systèmes. Le *système intentionnel* constitue le

premier niveau et est activé par des mouvements autonomes, dirigés vers un but et automatiquement interprétés comme intentionnels. Le deuxième système, appelé *système social*, est activé par les interactions entre des objets intentionnels c'est-à-dire par les représentations formées par le système intentionnel. Il permet d'attribuer des attributs positifs et négatifs à ces interactions. Les représentations du système social sont envoyées à un système de *théorie de l'esprit* qui explique les interactions en termes d'états mentaux.

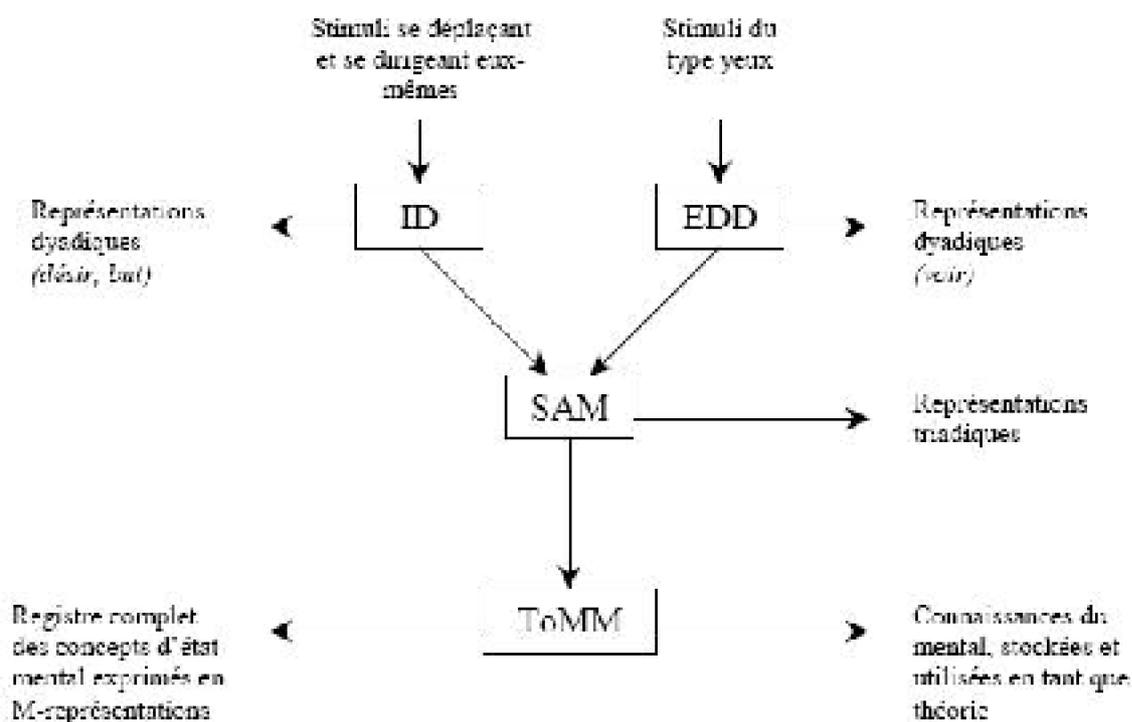
Leslie propose un modèle de la compréhension de l'agentivité et postule l'existence de trois modules. Le premier module ToBy (« *Theory of Body Mechanism* ») se met en place vers 3-4 mois et permet à l'enfant de reconnaître que les agents ont une source interne d'énergie qui rend possible les déplacements auto-propulsés, autonomes. Les deux autres modules traitent les propriétés intentionnelles des agents plutôt que leurs propriétés mécaniques. ToMM1 (« *Theory of Mind Mechanism system1* ») se développe vers 6-8 mois et permet à l'enfant de considérer les personnes et les agents comme pouvant percevoir l'environnement et réaliser des buts. Le troisième module, ToMM2 (« *Theory of Mind Mechanism system2* ») se développe pendant la seconde année de vie et permet à l'enfant de se représenter les agents comme possédant des états mentaux. Au cours du développement, ces trois modules sont distincts et organisés de manière hiérarchique : ToBy fournit les entrées à ToMM1 et ToMM1 fournit les entrées à ToMM2.

Les deux modules de ToMM sont indispensables à la capacité de faire semblant, pour comprendre le faire semblant d'autrui et attribuer des états mentaux, et sont indépendants des mécanismes liés au développement d'autres types de représentations n'impliquant pas les états mentaux (photographies, cartes, graphiques).

Néanmoins, selon Leslie et collaborateurs, ToMM doit être supplanté par un autre mécanisme quand l'enfant doit sélectionner le contenu correct des états mentaux, notamment quand l'enfant doit sélectionner le contenu correct des croyances qui sont fausses. Ainsi, pour réussir les tâches de fausse croyance, ToMM identifie spontanément au moins deux croyances possibles : une croyance vraie (la localisation réelle de l'objet) et une croyance fausse. Un mécanisme de sélection (SP, « *Selective Processor* ») est alors nécessaire pour permettre à l'enfant d'inhiber la réponse la plus saillante basée sur la localisation réelle de l'objet. SP est un mécanisme exécutif non modulaire, dont la fonction est d'inhiber des réponses saillantes mais non pertinentes. Ce mécanisme ne serait pas fonctionnel avant l'âge de 4 ans. Cela implique d'une part qu'avant 4 ans, les enfants pourraient réussir des tâches de théorie de l'esprit n'impliquant pas SP ; et d'autre part que les enfants de moins de 4 ans ne réussissent pas les tâches classiques de fausse croyance, non pas par manque de théorie de l'esprit, mais parce que le mécanisme de sélection n'est pas fonctionnel.



Baron-Cohen propose un autre modèle composé de trois modules précoces et constitutifs d'un dernier module de théorie de l'esprit (ToMM). Il distingue un détecteur d'intentionnalité (ID, « *Intentionality Detector* »), un détecteur de la direction des yeux (EDD, « *Eye Direction Detector* ») et un mécanisme d'attention partagée (SAM, « *Shared Attention Mechanism* »). Les deux premiers modules sont élémentaires, perceptifs et disponibles dès la naissance. Le détecteur d'intentionnalité permet d'interpréter les stimuli qui agissent de manière autonome en termes d'états mentaux volitionnel de but et de désir. Il rapproche ce mécanisme des mécanismes ToBy et ToMM1 décrits par Leslie. Le détecteur de la direction des yeux permet de détecter la présence des yeux, d'évaluer la direction des yeux et surtout d'interpréter les stimuli en termes de ce que voit l'agent : si un agent a les yeux dirigé vers un objet, alors il voit cet objet. Ces deux premiers modules sont nécessaires au développement du module SAM (vers 12-18 mois) qui est plus complexe et dont la fonction est de créer des représentations triadiques c'est-à-dire de préciser les relations entre le sujet, une autre personne et un objet (qui peut être une troisième personne). Il permet également de relier EDD à ID : la direction du regard peut être interprétée en termes de désirs et de buts. Le dernier module ToMM se développe (de 18 à 48 mois) à partir des représentations triadiques de SAM et les convertit en métareprésentations.



### L'approche théorie-théorie

Cette approche considère que la théorie de l'esprit repose sur une théorie psychologique, une théorie naïve de ce que sont les états mentaux d'autrui. Cette théorie articule des « lois » empiriques reposant sur des généralisations inductives, des mécanismes inférentiels. Ces lois s'appuient sur des relations causales et fonctionnelles entre états mentaux et comportements .

Les partisans de la théorie-théorie insistent sur l'importance de l'expérience dans le développement de la théorie de l'esprit. Ils considèrent que l'expérience confronte les jeunes enfants à des situations qui les obligent à réviser et à améliorer leur théorie de l'esprit. Cette capacité se développerait donc progressivement par corrections et enrichissements d'hypothèses, plusieurs théories de l'esprit de plus en plus complexes se succéderaient à partir d'une théorie initiale innée.

### L'approche simulationniste

Cette approche considère au contraire qu'il n'est pas nécessaire de postuler l'existence d'une théorie mais que nous simulons le point de vue de l'autre et nous utilisons le résultat du processus de simulation pour comprendre l'autre et prédire son comportement.

Certains auteurs (Goldman, Harris) considèrent un accès premier à nos propres états mentaux. Le sujet doit se projeter dans la même position qu'autrui, être capable d'identifier ses propres états mentaux (perspective à la 1<sup>ère</sup> personne) pour ensuite attribuer les mêmes états mentaux à autrui (perspective à la 3<sup>ème</sup> personne). Ainsi avant de pouvoir simuler les états mentaux d'autrui, il faut déjà être capable d'appliquer les concepts mentaux correspondant à son propre vécu interne. Cela suppose que le sujet ait

déjà l'expérience de l'état mental attribué à autrui et donc l'acquisition des états mentaux ne se ferait pas sur la base de la simulation d'autrui mais demanderait un apprentissage préalable.

Gordon a une position plus radicale et estime que la théorie de l'esprit dépend entièrement de la simulation des comportements sans qu'aucune conceptualisation à la première personne ne soit requise. Pour simuler autrui il n'est pas nécessaire d'avoir des concepts d'états mentaux, il suffit de se placer dans la situation où se trouve autrui, « *il suffit d'avoir la capacité correspondante d'activer des croyances et des désirs en réponse à une situation, c'est-à-dire de former des représentations pour être capable d'en attribuer* ». Dans cette perspective, la simulation conditionne l'acquisition des concepts mentaux.

La simulation est un processus « off-line » dans le sens où elle n'engage pas directement l'action de celui qui simule. Nous nous représentons les actions que nous produirions nous-mêmes dans la même situation, mais la réalisation de ces actions est inhibée : il n'y a aucune action réelle mais uniquement la prévision et la compréhension du comportement. Dans ce cadre, la difficulté des enfants de moins de 4 ans dans les tâches de fausse croyance peut s'expliquer par une difficulté à inhiber leurs propres croyances.

### **Bases neurales de la théorie de l'esprit**

---

Ces dernières années ont vu naître un nombre croissant de recherches sur les régions et structures du système nerveux impliquées dans la théorie de l'esprit.

Dans son modèle, Baron-Cohen avait proposé des hypothèses quant aux structures cérébrales sous-jacentes à chacun des modules. EDD dépendrait d'un relais entre le sillon temporal supérieur et l'amygdale. ID et SAM pourraient être localisés dans le sillon temporal supérieur mais sans que cela ne soit aussi évident pour SAM. Enfin le module de ToMM serait localisé dans le cortex fronto-orbitaire.

Les premières études d'imagerie fonctionnelle ont utilisé un paradigme qui consistait à faire lire aux sujets des histoires dites de théorie de l'esprit (largement inspirées du scénario de Maxi et le chocolat) et des histoires physiques n'impliquant pas l'attribution d'états mentaux. Une étude en tomographie par émission de positons et deux études d'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique ont montré une activation spécifique du cortex préfrontal médian (CPFM) pour la tâche d'attribution d'états mentaux chez des sujets adultes sains. Une activation du CPFM apparaît également lorsque l'attribution des états mentaux se fait à partir d'images et non plus à partir d'histoires lues. En outre, dans l'ensemble de ces études, des activations importantes mais moins spécifiques ont été observées dans les lobes temporaux et le sillon temporal supérieur.

Par ailleurs, Baron-Cohen et al. ont montré une activation de l'amygdale dans une tâche nécessitant d'attribuer un état mental ou émotionnel à partir de l'expression du regard.

Des études auprès de patients cérébrolésés ont mis en évidence des déficits dans les tâches de théorie de l'esprit lors de lésions de l'hémisphère droit, du cortex frontal

dont le cortex frontal médian et les régions orbitofrontales .

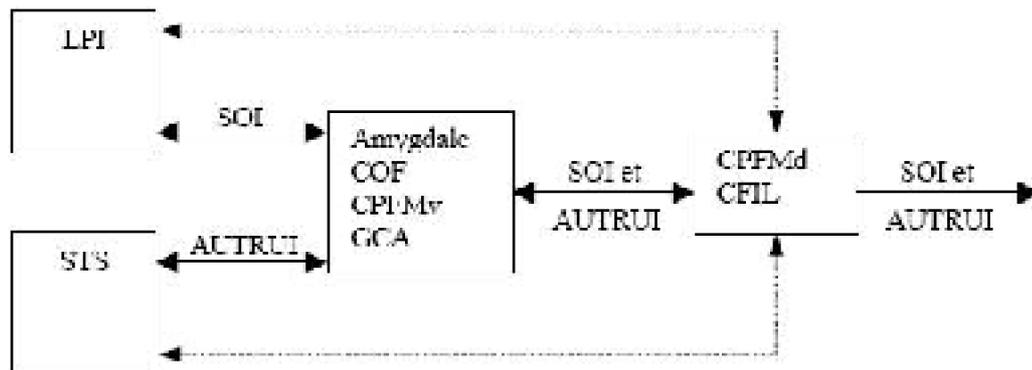
Frith et Frith , Gallagher et Frith ont essayé de préciser le rôle de chacune de ces régions. La région du CPFM semble être directement impliquée dans l'attribution des états mentaux. Elle sous-tendrait un mécanisme de « découplage » qui permet de distinguer les représentations en termes d'états mentaux des représentations du monde réel. Ce qui détermine notre comportement ce n'est pas l'état de l'environnement mais nos croyances sur l'état de l'environnement. L'activité du CPFM serait donc en lien avec la création des représentations « découplées » de nos croyances sur l'environnement.

Le sillon temporal supérieur est généralement associé à la perception d'un mouvement biologique et également à l'attention portée sur la direction du regard. Frith et Frith suggèrent donc que le rôle du STS est de détecter le comportement des agents et d'analyser les buts et les issues de ce comportement et qu'il serait également impliqué dans certains précurseurs de la théorie de l'esprit comme la détection de la direction du regard et l'attention partagée. Pour d'autres, la région postérieure du STS serait directement impliquée dans la représentation d'actions intentionnelles .

Les lobes temporaux bilatéraux seraient en lien avec la génération d'un contexte global sémantique et émotionnel pour les stimuli qui sont en cours de traitement ce qui aiderait à l'interprétation de ces stimuli.

Les rôles de l'amygdale et du cortex orbitofrontal dans la théorie de l'esprit sont moins évidents. Ces régions semblent être très importantes dans la cognition sociale en générale mais pas directement responsables de la théorie de l'esprit. Sous-tendent-elles des fonctions essentielles au développement de la théorie de l'esprit ? Fournissent-elles des informations complémentaires pour traiter des tâches sociales plus complexes ? L'amygdale est impliquée dans le traitement des émotions et permet de répondre de manière automatique à des stimuli socialement pertinents. Le cortex orbitofrontal semble plutôt impliqué dans la régulation du comportement social et le traitement des stimuli sociaux ayant une connotation affective. Sabbagh distingue deux composants de la théorie de l'esprit : (a) la détection et ou le décodage des états mentaux sur la base d'informations directement observables (comme les expressions faciales) qui dépendrait d'un circuit impliquant cortex orbitofrontal et régions temporales médianes (dont l'amygdale) ; (b) le raisonnement sur les états mentaux pour prédire le comportement d'autrui qui serait sous-tendu par le cortex préfrontal médian.

Abu-Akel a proposé un autre modèle neuroanatomique. Il a distingué des régions spécifiques à la représentation de ses propres états mentaux (lobe pariétal inférieur) et des régions spécifiques à la représentation des états mentaux d'autrui (STS). Ces représentations d'états mentaux sont envoyées vers des régions permettant l'interprétation et la régulation socioémotionnelle (amygdale, cortex orbitofrontal, cortex préfrontal médian et gyrus cingulaire antérieur). Ces informations sont ensuite traitées par le cortex préfrontal médian et le cortex frontal inférolatéral qui permettent l'application de l'attribution des états mentaux.



Notes : les flèches à double sens indiquent des connexions réciproques.

LIP = Lobe Pariétal Inférieur ; STS = Sillon Temporal Supérieur ; COF = Cortex OrbitoFrontal ;  
 CPMv = Cortex PréFrontal Médian ventral ; GCA = Gyrus Cingulaire Antérieur ;  
 CPFMd = Cortex PréFrontal Médian dorsal ; CFIL = Cortex Frontal InféroLateral

### Simulation et neurones miroirs

Depuis quelques années, les partisans de la théorie de la simulation appuient leur hypothèse sur la mise en évidence d'un système neural s'activant à la fois quand nous exécutons une action et quand nous observons quelqu'un réaliser la même action. Ce système est appelé neurones miroirs. Ces neurones ont été découverts chez le macaque dans le cortex prémoteur ventral, aire F5, puis dans des aires du lobule pariétal inférieur et du STS. Leur caractéristique est qu'ils s'activent non seulement quand le singe réalise une action mais également quand il observe un autre individu réaliser la même action .

Plusieurs études d'imagerie utilisant des méthodes différentes ont suggéré l'existence d'un système miroir comparable dans le cerveau humain adulte. Ainsi, un réseau cortical composé en partie de régions du lobule pariétal inférieur, du cortex frontal inférieur, du sillon temporal supérieur et du cortex prémoteur serait activé aussi bien quand le sujet exécute une action que quand le sujet observe, imite ou simule mentalement la même action . Des données récentes ont montré la fonctionnalité d'un tel système chez des enfants dès 4 ans .

L'activité des neurones miroirs serait à la base de la compréhension de l'action . A chaque fois qu'un individu voit une action réalisée par autrui, les neurones qui représentent cette action sont activés dans le cortex prémoteur. Ces représentations motrices activées correspondent à celles qui sont spontanément générées lors de la réalisation de l'action et dont la finalité est connue par l'individu. Une étude récente réalisée chez le macaque montre que certains neurones miroirs s'activent même quand la fin de l'action est cachée et ne peut donc être qu'inférée .

Selon, Gallese et Goldman le système miroir constitue une condition de la mentalisation dans le sens où les neurones miroirs seraient ce qui permet au sujet de s'engager dans un processus de simulation. Toutefois, la généralisation de la simulation de l'action à l'ensemble des états mentaux demande à être vérifiée. Est-ce que ce qui vaut pour la représentation motrice, la représentation du but de l'action peut expliquer la représentation des désirs et des croyances ?

## Hypothèse d'un trouble de théorie de l'esprit dans l'autisme

---

### Données expérimentales

En 1985, Baron-Cohen, Leslie et Frith ont adapté le paradigme de fausse croyance de Wimmer et Perner et l'ont proposé à des enfants autistes, des enfants avec retard mental non autistes et des enfants normaux. La scène jouée impliquait deux poupées, Sally et Anne, qui avaient chacune un récipient. Sally mettait une balle dans son panier et sortait. Anne prenait la balle de Sally et la déposait dans sa boîte. Sally revenait et on demandait à l'enfant où est-ce que Sally allait chercher sa balle ? Les résultats ont montré que 85 % des enfants normaux, 86 % des enfants avec retard mental mais seulement 20 % des enfants autistes répondaient correctement. La plupart des enfants autistes avaient donc des difficultés pour inférer l'état mental (ici la croyance) d'une personne. Une autre étude a montré que si certains enfants autistes réussissaient les tâches de fausse croyance de premier ordre, très peu réussissaient celles de deuxième ordre reposant sur l'inférence d'états mentaux imbriqués (c'est-à-dire inférer l'état mental d'une personne à propos de l'état mental d'une autre personne, du type Marie croit que Jean pense que...).

Depuis ces expériences princeps, des difficultés de théorie de l'esprit chez les autistes ont été démontrées dans de nombreuses études reposant sur des paradigmes divers, adaptés à l'âge mental et explorant des états mentaux variés et autres que la fausse croyance (voir Tableau 1). Par exemple, les enfants autistes ont des difficultés à distinguer des événements physiques et mentaux, à comprendre que des émotions peuvent être la conséquence d'états mentaux complexes (tels que des croyances), à comprendre la tromperie. Leur lexique de termes référant à des états mentaux (comme penser, savoir, espérer, souhaiter) est limité, tant sur le plan expressif (discours spontané) que sur le plan réceptif (en reconnaissance). Ils ont des difficultés à inférer des états mentaux à partir de la direction et de l'expression du regard. Ils sont peu capables de jeux symboliques et de faire semblant.

**Tableau 1. Quelques tests de théorie de l'esprit échoués par les enfants autistes.**

1	Distinction mental – physique	Baron-Cohen, 1989a
2	Compréhension des fonctions de l'esprit	Baron-Cohen, 1989a
3	Distinction apparence – réalité	Baron-Cohen, 1989a
4	Fausse croyance de 1 <sup>er</sup> ordre	Baron-Cohen et al. 1985, 1986; Leekam et Perner 1991; Perner et al. 1989; Reed et Peterson 1990; Swettenham 1996; Swettenham et al. 1996
5	« Voir c'est savoir »	Baron-Cohen et Goodhart 1994; Leslie et Frith 1988
6	Reconnaissance de termes exprimant des états mentaux (penser, savoir, imaginer)	Baron-Cohen et al. 1994
7	Production spontanée de termes exprimant des états mentaux	Baron-Cohen et al. 1986; Tager-Flusberg 1992
8	Jeu de faire semblant	Baron-Cohen 1987; Lewis et Boucher 1988; Ungerer et Sigman 1981; Wing et Gould 1979
9	Compréhension que les émotions peuvent être liées à des états mentaux complexes (croyances)	Baron-Cohen 1991; Baron-Cohen et al. 1993
10	Inférence d'états mentaux simples à partir de la direction du regard	Baron-Cohen et Cross 1992; Baron-Cohen et al. 1995
11	Monitoring de ses propres intentions	Phillips et al. 1998
12	Tromperie	Baron-Cohen 1992; Sodian et Frith 1992; Yirmiya et al. 1996
13	Compréhension de l'ironie, des métaphores et des sarcasmes	Happé, 1993
14	Analyse de la pragmatique du discours	Baron-Cohen 1988; Tager-Flusberg 1993
15	Reconnaissance de violations de règles de la pragmatique	Surian et al. 1996
16	Imagination	Scott et Baron-Cohen 1996
17	Corrélation avec les compétences sociales	Frith et al. 1994
18	Fausse croyance de 2 <sup>nd</sup> ordre	Baron-Cohen 1989b; Bowler 1992; Happé 1993; Ozonoff et al. 1991
19	Compréhension d'histoires impliquant des états mentaux complexes	Happé 1994
20	Décodage d'états mentaux complexes à partir de l'expression du regard	Baron-Cohen et Hammer 1997; Baron-Cohen et al. 1997a,b

Données tirées de Baron-Cohen, S. . Les références des études citées dans ce tableau sont fournies en Annexe 1.

A partir de ces données, l'hypothèse d'un déficit spécifique et primaire dans la capacité de théorie de l'esprit chez l'enfant autiste a été proposée. Un tel déficit permettrait de rendre compte des principaux troubles des relations sociales, de la communication et de symbolisation observés dans l'autisme .

Si les personnes autistes ne saisissent pas l'effet de leur comportement sur celui d'autrui, s'ils n'ont pas conscience que les autres et eux-mêmes sont des êtres capables de mentalisation, alors leurs interactions sociales seront entravées. Cependant tout le champ des interactions sociales n'est pas forcément atteint : seuls les comportements sociaux nécessitant la mentalisation seraient perturbés.

Les problèmes de langage observés dans l'autisme concernent principalement le domaine de la communication et les aspects pragmatiques du langage. Ceux-ci peuvent s'expliquer par une incapacité à comprendre le sens du message et les intentions du locuteur. Ainsi les personnes autistes ont des difficultés importantes à comprendre les métaphores ou l'ironie et ont tendance à tout prendre au sens littéral.

Le déficit de symbolisation serait la conséquence d'une difficulté à attribuer et à représenter des états mentaux non directement en lien avec la réalité et même opposés à la réalité.

Selon Georgieff , cette hypothèse d'un défaut de théorie de l'esprit s'est avérée féconde pour la compréhension de la clinique de l'autisme offrant « *une relecture des anomalies de la représentation de soi, d'autrui, et de la distinction entre soi et le monde objectal ou autrui, de l'absence des jeux symboliques et de faire semblant, toutes anomalies largement étudiées déjà en psychologie clinique en termes d'identité et d'intersubjectivité.* »

## **Retour aux modèles théoriques**

Selon Baron-Cohen , les modules de détection du regard et d'intentionnalité ne sont pas atteints dans l'autisme. En revanche, les personnes autistes présenteraient un déficit massif du fonctionnement du mécanisme d'attention partagée et donc des déficits dans le développement et/ou le fonctionnement de ToMM. En fait il distingue deux sous-groupes d'autisme : un sous-groupe présentant un déficit de SAM et ToMM et un autre sous-groupe présentant un déficit uniquement de ToMM. Il précise également que certaines personnes autistes ne souffrent pas d'une absence totale de théorie de l'esprit, mais plutôt d'un retard dans le développement de cette capacité sans pour autant jamais atteindre le niveau de maturité (ce qui expliquerait que certains réussissent les tâches simples de fausse croyance).

Leslie situe également le déficit des enfants autistes dans le module le plus élaboré ToMM2 alors que les modules ToBy et ToMM1 seraient préservés ainsi que le mécanisme de sélection. Leslie et collaborateurs montrent que les enfants de moins de 4 ans et les enfants autistes n'échouent pas les tests de fausse croyance pour les mêmes raisons. Les enfants de moins de 4 ans possèdent un mécanisme de ToMM fonctionnel

mais le mécanisme de sélection n'est pas suffisamment développé pour réussir les tâches de fausse croyance et de fausse représentation (voir schéma précédent). Inversement, chez les enfants autistes (de plus de 4 ans d'âge mental), le mécanisme de sélection est préservé (et donc ils réussissent les tâches de fausse représentation) alors que le mécanisme de ToMM est altéré.

Quant aux théoriciens de la simulation, ils tendent à considérer l'hypothèse qu'une perturbation du système miroir pourrait être directement impliquée dans la génération des différents troubles observés dans l'autisme . Une telle perturbation pourrait en effet interférer avec les capacités d'imitation considérées par beaucoup, y compris les partisans de la théorie-théorie, comme une fonction indispensable au développement de la théorie de l'esprit. Pour Meltzoff et Gopnik , l'imitation induit de saisir les équivalences entre les transformations corporelles perçues chez autrui et les transformations corporelles ressenties par soi, c'est-à-dire de mettre en correspondance les intentions propres et les intentions d'autrui. Cela constituerait une étape préalable à l'appréhension des correspondances entre états mentaux propres et états mentaux d'autrui et ainsi à la construction d'une théorie de l'esprit. L'imitation est en donc considérée comme un précurseur de la théorie de l'esprit et un déficit des capacités d'imitation pourrait entraîner une cascade de déficits dans les domaines des émotions, de l'attention partagée, du jeu de faire semblant et de la théorie de l'esprit . Nous reviendrons plus tard sur l'importance de l'imitation dans la mise en place de ses capacités.

### **Autisme, théorie de l'esprit et cerveau**

Dans une étude en PET, Happé et al. ont repris le paradigme en histoires utilisé chez les sujets sains pour comparer les activations chez six adultes normaux et cinq adultes avec syndrome d'Asperger. Alors que les deux groupes de sujets réussissaient la tâche, les adultes Asperger présentaient une activation moins importante dans la région préfrontale médiane mais ils montraient une activation d'une région immédiatement adjacente et plus ventrale.

Dans une étude en IRMf, Baron-Cohen et al. ont comparé six adultes avec autisme de haut niveau et douze adultes normaux dans une tâche de jugement d'états mentaux et émotionnels à partir de photos montrant l'expression d'un regard d'une personne. Comparés aux normaux, les sujets autistes présentaient une activation plus faible dans les régions frontales et une absence d'activation au niveau de l'amygdale.

Dans une étude en PET, Castelli et al. ont présenté à dix adultes normaux et dix adultes avec autisme de haut niveau ou Asperger des séquences animées représentant des formes géométriques se déplaçant soit de manière aléatoire, soit de manière à évoquer l'attribution de simples actions ou d'états mentaux. Les sujets autistes utilisaient moins de termes d'états mentaux ou des états mentaux non appropriés dans leurs descriptions et ils présentaient une activation moindre dans les régions du cortex préfrontal médian, du STS et des pôles temporaux par rapport aux sujets normaux. En revanche, une activation du gyrus occipital était observée dans les deux groupes, mais la connectivité entre cette région occipitale et STS était plus faible chez les autistes. Une étude récente a également montré une connectivité réduite entre le cortex occipital et le

cortex frontal inférieur chez des personnes autistes . Ce dernier résultat est interprété comme pouvant signifier un déficit du système miroir. Des anomalies d'activation de la région frontale inférieure sont également rapportées chez des sujets Asperger et autistes de haut niveau dans une étude en magnétoencéphalographie lors d'une tâche d'imitation de mouvements orofaciaux et dans une étude en IRMf lors d'une tâche d'observation et d'imitation d'expressions faciales , anomalies suggérant également un dysfonctionnement des régions sous-tendant le système miroir.

Ainsi, le nombre d'études en imagerie fonctionnelle sur les personnes autistes dans des tâches de théorie de l'esprit est pour l'instant peu conséquent mais ces premiers résultats confortent l'hypothèse dans l'autisme d'un trouble d'un réseau neuronal sous-tendant spécifiquement la capacité de théorie de l'esprit.

## **Déficit de théorie de l'esprit comme déficit primaire ?**

---

Un déficit primaire peut être considéré comme la cause cognitive proximale des différentes perturbations comportementales caractéristiques d'une pathologie. Pennington et Ozonoff ont précisé certains critères définissant un déficit primaire :

- il doit être universel, c'est-à-dire un déficit observable chez tous les sujets présentant une même pathologie ;
- il doit être spécifique, c'est-à-dire un déficit observable uniquement dans cette pathologie ;
- et il doit être nécessaire et suffisant, c'est-à-dire un déficit qui permet de rendre compte de l'ensemble de troubles caractéristiques de la pathologie.

Si nous considérons l'hypothèse d'un déficit primaire de théorie de l'esprit dans l'autisme, au vu de ces critères plusieurs limitations apparaissent.

Premièrement, le déficit en théorie de l'esprit dans l'autisme manque d'universalité. Si la théorie de l'esprit est un trouble universel dans l'autisme, comment expliquer qu'un nombre significatif de personnes autistes soit capable de réussir les tests de fausse croyance ou d'autres tests de théorie de l'esprit ? Selon les études, 15 à 60 % des autistes réussissent les tâches de fausse croyance. Ces enfants qui réussissent sont souvent plus âgés et ont de meilleures capacités verbales que ceux qui échouent, mais ils présentent malgré tout d'importantes difficultés dans la compréhension de situations sociales. Happé a montré une corrélation importante entre la réussite aux tâches de fausse croyance et l'âge mental verbal. Selon Baron-Cohen, certains sujets autistes pourraient développer des capacités de mentalisation sans pour autant atteindre un niveau correspondant à leur âge réel ou utiliser des stratégies compensatrices qui restent néanmoins peu automatiques et moins efficaces.

Deuxièmement, le déficit en théorie de l'esprit ne semble pas spécifique à l'autisme. Des déficits dans les tâches de théorie de l'esprit ont été mis en évidence dans la schizophrénie , chez des enfants avec retard mental , des enfants sourds de naissance , des enfants porteurs d'une trisomie 21 ou d'un syndrome de Williams-Beuren . Les partisans de la théorie de l'esprit considèrent que les problèmes observés dans ces

autres pathologies sont souvent moins sévères et plus subtiles, parfois liés au retard global et particulièrement verbal, parfois la conséquence d'autres troubles cognitifs. En effet l'échec dans les tâches de théorie de l'esprit est souvent corrélé avec d'autres déficits en particulier des déficits exécutifs. Est-ce que les déficits en théorie de l'esprit observés dans ces autres pathologies sont de même nature ou non que ceux observés dans l'autisme ? A notre avis, la réponse à cette question demande un nombre plus important d'études et une comparaison directe entre sujets autistes et autres pathologies.

Ces deux premières critiques soulèvent le problème des tâches de fausse croyance . Nous avons vu que les tâches de fausse croyance sont considérées comme des tâches classiques, standards pour évaluer les capacités de théorie de l'esprit. Cependant, les tâches de fausse croyance sont des tâches complexes qui ne mesurent qu'un aspect de la théorie de l'esprit et dont la réussite peut dépendre d'autres fonctions que la théorie de l'esprit (compréhension syntaxique, mémoire, raisonnement, fonctions exécutives). Ainsi, de nombreuses études ont tenté de simplifier les tâches de fausse croyance en modifiant par exemple la forme des questions ou en simplifiant les demandes attentionnelles et mnésiques. De telles modifications contribuent à accroître la réussite des sujets dans ce type de tâche et on observe une réussite à des âges plus précoces. Une étude récente de Onishi et Baillargeon montrent ainsi une forme implicite de compréhension de la fausse croyance chez des enfants normaux dès 15 mois.

Leslie et collaborateurs soulignent eux-mêmes l'importance des processus d'inhibition dans la réussite des tâches de fausse croyance chez les enfants normaux, hypothèse reprise et confirmée par de nombreuses données .

Enfin, bien que la théorie de l'esprit permette de rendre compte de nombreux symptômes observés dans l'autisme, en particulier ceux concernant la cognition sociale et la communication, certaines limites apparaissent. En effet, le mécanisme de théorie de l'esprit tel que décrit par les approches modulaires n'est fonctionnel que vers l'âge de 4 ans, or des perturbations comportementales sont observées dès le plus jeune âge chez les enfants autistes. Par exemple dès la première année les enfants autistes ont des difficultés d'interactions sociales, manquent de sourire social, d'expressions faciales et de réponses émotionnelles appropriées.

En outre, le déficit de théorie de l'esprit explique difficilement les autres symptômes de nature non sociale et pourtant caractéristiques de l'autisme (les comportements restreints et stéréotypés, les intérêts limités, les écholalies, les capacités cognitives supérieures dans certains domaines). Selon les partisans de la théorie de l'esprit, ces troubles sont moins spécifiques de l'autisme et pourraient être la conséquence d'un déficit associé. Frith a ainsi proposé l'hypothèse d'un trouble d'intégration des informations perceptives afin de rendre compte des excellentes capacités visuospatiales observées dans l'autisme. Selon Frith, les autistes présenteraient un déficit de cohérence centrale c'est-à-dire un avantage dans le traitement des informations locales associé à des difficultés relatives dans le traitement et l'intégration des informations à un niveau global. De telles difficultés perceptives ont été démontrées dans les domaines de la perception auditive, de la perception visuelle (tâches visuospatiales, illusions visuelles, perception du mouvement, etc.) et du langage (traitement sémantique) . Au vu de certains résultats, l'hypothèse d'un déficit de cohérence centrale a été modifiée dans le sens où il apparaît

que les autistes sont tout à fait capables de traiter les informations à un niveau global mais contrairement aux sujets normaux ils présenteraient une supériorité et une antériorité du traitement local sur le traitement global. Par ailleurs, d'abord considérée comme un déficit explicatif des troubles sociaux, cette hypothèse de cohérence centrale semble plutôt être un déficit associé à d'autres troubles plus primaires notamment à un déficit en théorie de l'esprit.

Au regard de ces nombreuses critiques, certains auteurs se sont intéressés à d'autres perturbations fondamentales dans l'autisme et plus particulièrement à un trouble des fonctions exécutives.

## **L'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives**

### **Définition des fonctions exécutives**

---

Dans une acceptation très générale, le terme de fonctions exécutives renvoie à un ensemble complexe de mécanismes cognitifs qui permettent d'organiser, de contrôler et de réaliser nos actions et pensées. Parmi ces mécanismes, on peut citer : la planification de séquences d'actions, l'inhibition de réponses prépondérantes ou routinières, la flexibilité et l'ajustement attentionnel sélectif au contexte, l'organisation des procédures en mémoire de travail. Ce domaine des fonctions exécutives recouvre partiellement celui de l'attention, du raisonnement et de la résolution de problèmes.

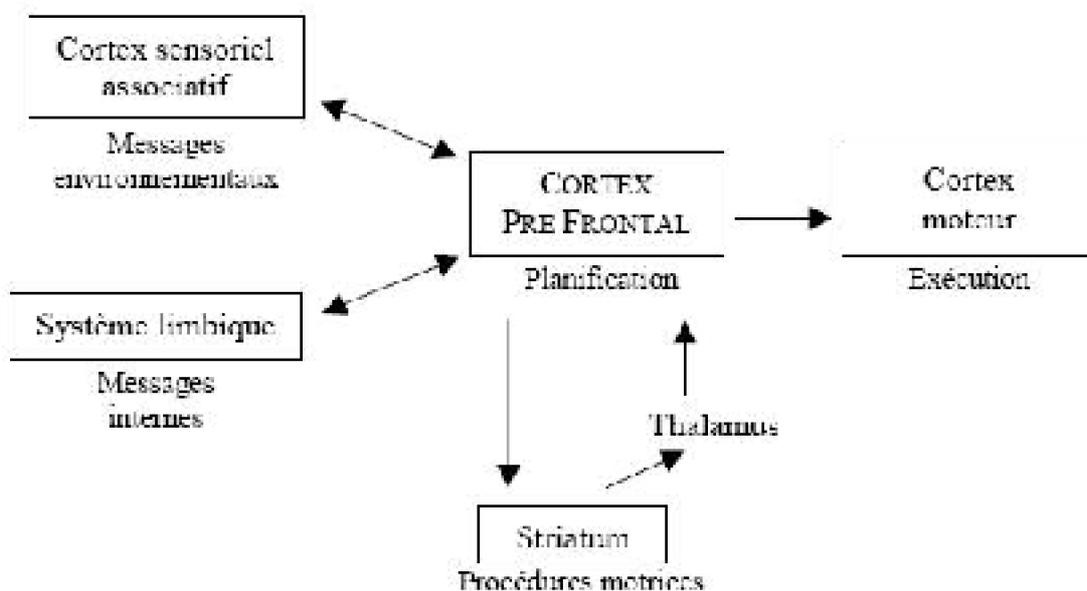
La fonction principale de ce système exécutif est de faciliter l'adaptation du sujet à des situations nouvelles, et ce notamment lorsque les routines d'actions, c'est-à-dire des habiletés cognitives surappries, ne peuvent suffire . Les fonctions exécutives semblent donc commencer là où la tâche requiert la mise en œuvre de processus contrôlés.

### **Le cortex préfrontal**

Classiquement, les structures du cortex préfrontal sont considérées comme le soubassement cérébral des processus exécutifs. En effet, de nombreuses données neuropsychologiques ont montré que les fonctions exécutives étaient sélectivement perturbées lors d'une lésion du cortex frontal. Néanmoins des patients avec lésions frontales peuvent ne pas présenter de déficits exécutifs alors que des patients avec des lésions ne touchant pas le cortex frontal peuvent présenter de tels déficits. La plupart des travaux d'imagerie explorant les substrats cérébraux du fonctionnement exécutif chez des sujets normaux ont mis en évidence une importante hétérogénéité dans les régions activées par différentes tâches exécutives, avec certes une très forte implication des régions frontales mais également un rôle des régions postérieures et plus particulièrement pariétales . Ainsi, le fonctionnement exécutif ne dépendrait pas exclusivement du cortex préfrontal mais exigerait la contribution d'un réseau cérébral beaucoup plus large : le concept de "fonctions exécutives" ne recouvrirait que partiellement celui de "fonctions

préfrontales”.

Anatomiquement, le cortex préfrontal est le lieu où s'intègrent toutes les informations du monde extérieur et du monde intéroceptif et où s'organise le contrôle moteur. En effet le cortex préfrontal établit des connexions réciproques avec toutes les aires impliquées dans l'analyse et le traitement des informations sensorielles ce qui lui confère une action modulatrice et une intégration multisensorielle rendant possible l'élaboration d'une représentation interne du monde extérieur. Il reçoit également de nombreuses projections des aires limbiques intégrant les informations sur le milieu intérieur, l'état affectif et motivationnel. Par ses efférences sur le striatum et le cortex prémoteur, il participe au contrôle moteur et à l'organisation des plans d'action. Ainsi, selon Dubois, Pillon et Sirigu , « le cortex préfrontal, par ce dispositif anatomique, représente une plate-forme d'intégration où s'actualise et se met en place une représentation interne de l'expérience en cours ou de la situation environnementale avec ses attributs motivationnels et affectifs, permettant l'élaboration d'un plan d'action en accord avec des expériences antérieures ».



Le cortex préfrontal comprend plusieurs régions et principalement on distingue le cortex préfrontal dorsolatéral (CPF-DL) et le cortex orbitofrontal (COF) sur la base de connexions neuroanatomiques différentes et de l'implication de systèmes de neurotransmetteurs différents. Le CPF-DL joue un rôle important dans l'intégration des informations sensorielles et mnésiques et dans la régulation de l'action. Le COF est davantage impliqué dans l'intégration des informations émotionnelles et dans la régulation des comportements motivés.

### Le(s) syndrome(s) dysexécutif(s)

De manière schématique, une perturbation des fonctions exécutives retentit sur l'ensemble des activités comportementales, qu'elles soient verbales, motrices ou cognitives, et également sur l'expression de l'affectivité et de la personnalité.

## **Troubles comportementaux**

De nombreux troubles comportementaux dysexécutifs ont été rapportés dans la pathologie frontale. Le Groupe de Réflexion sur l'Évaluation des Fonctions EXécutives (GREFEX) propose une classifications de ces principaux troubles . Il considère :

- une hypoactivité globale caractérisée par une réduction plus ou moins sévère des activités et associée à une aboulie et/ou apathie et/ou aspontanéité ;
- une hyperactivité globale avec instabilité motrice et/ou distractibilité et/ou impulsivité et/ou désinhibition ;
- des persévérations et des comportements stéréotypés ;
- un syndrome de dépendance à l'environnement incluant les comportements d'imitation et d'utilisation .

De manière moins spécifique peuvent également être inclus les confabulations, l'anosognosie, les troubles émotionnels et du comportement social, les troubles du comportement alimentaire, sexuel et sphinctérien.

Certains troubles constitueraient l'expression clinique d'un déficit cognitif. Par exemple, les persévérations traduiraient une atteinte de la flexibilité conceptuelle ; la distractibilité et l'impulsivité, un déficit d'attention.

## **Troubles cognitifs**

Les déficits exécutifs sont examinés par des tests plus ou moins spécifiques. Nous allons brièvement rappeler les déficits les plus fréquents et les tests les plus classiques.

Le test de classement de cartes du Wisconsin (Wisconsin Card Sorting Test, WCST) est considéré comme le marqueur le plus sensible, chez l'adulte, d'un dysfonctionnement exécutif et mesure principalement la capacité de flexibilité cognitive. La tâche du sujet consiste à apparier des cartes selon un critère qu'il doit trouver par déduction logique. L'examineur dit au sujet si l'appariement est correct ou non. Après plusieurs appariements consécutifs corrects, la règle change sans que le sujet soit informé et il doit trouver un nouveau critère et le maintenir pendant un certain nombre de réponses consécutives. La procédure continue jusqu'à ce que le sujet établisse six critères ou que toutes les cartes à apparier aient été présentées.

Dans cette épreuve, les patients fronto-lésés ont des difficultés à découvrir les critères d'appariement et à changer de critère, réalisant de nombreuses erreurs de persévérations (ils persèverent sur le critère précédent).

Certes, cette épreuve de résolution de problèmes est sensible aux difficultés de flexibilité cognitive, mais d'autres processus exécutifs sont susceptibles d'être perturbés, comme la déduction de règles, le maintien temporaire en mémoire de règles, l'exécution de règles.

Les déficits de planification sont observés dans les épreuves de la Tour de Hanoï (pour les adultes) ou la Tour de Londres (pour les enfants). La tâche du sujet consiste à

déplacer des boules afin de reproduire un modèle proposé, mais en un nombre précis de déplacements et en respectant un certain nombre de règles. Il y a plusieurs modèles gradués en difficulté. Pour réussir la tâche, le sujet doit planifier les mouvements à effectuer. Classiquement les patients avec lésion frontale réussissent moins de modèles ou ont besoin de plus de déplacements pour réussir les modèles.

Les déficits d'initiation et d'inhibition de l'action sont par exemple observés dans les épreuves du Trail Making Test<sup>2</sup> et du Stroop<sup>3</sup>. Les patients fronto-lésés sont plus lents pour effectuer des réponses simples, rapides et répétitives et ont des difficultés à inhiber des réponses automatiques.

Des déficits de partage de l'attention et de coordination entre deux tâches (doubles-tâches), de génération d'informations (tâches de fluence) et de mémoire épisodique sont également fréquemment rapportés.

La plupart des tests neuropsychologiques destinés à évaluer les fonctions exécutives diffèrent des situations de résolution de problèmes ou de prise de décision rencontrées dans la vie quotidienne. Ainsi pour essayer de mieux prédire les difficultés des patients dans la vie quotidienne, des outils d'évaluation plus écologiques commencent à être utilisés (comme la tâche des 6 éléments de Shallice et Burgess).

### Les syndromes

Classiquement deux syndromes principaux sont distingués :

a) le syndrome dorsolatéral qui se caractérise par un excès d'inhibition entraînant une diminution de l'activité générale (inertie, apathie), un retrait social, une indifférence affective, une pseudo-dépression, une difficulté à générer des concepts et à élaborer des plans d'action, etc. Les fonctions cognitives affectées étant considérées comme des déficits exécutifs « classiques » ;

b) le syndrome orbitofrontal caractérisé par un défaut d'inhibition associant impulsivité, instabilité, désinhibition sociale, trouble du jugement moral, intolérance à la frustration, etc. Les déficits portent surtout sur les comportements sociaux et émotionnels : on parle de pseudo-sociopathie. Les déficits cognitifs sont plus discrets.

## Caractérisations théoriques des fonctions exécutives

---

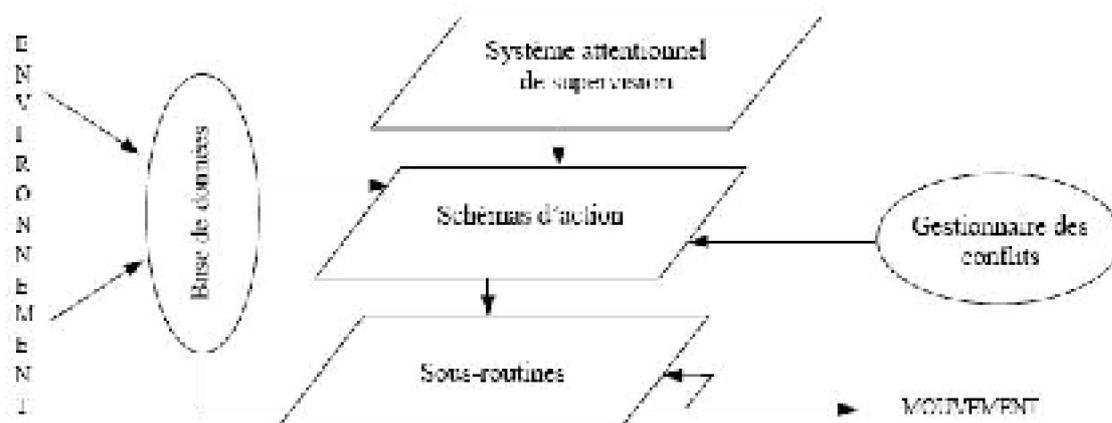
De nombreux modèles ont été proposés afin de prédire et d'expliquer les troubles exécutifs observés suite à des lésions acquises du cortex préfrontal. Parmi ces modèles, la conception de Norman et Shallice est certainement celle qui a reçu le plus d'attention

<sup>2</sup> Dans la partie A, le sujet doit relier le plus vite possible et en ordre croissant des chiffres. Dans la partie B, il doit relier alternativement et en ordre croissant des chiffres et des lettres (1-A-2-B-3 etc.).

<sup>3</sup> Le sujet doit successivement (a) lire des noms de couleurs ; (b) énoncer la couleur de rectangles colorés ; (c) énoncer la couleur de noms de couleur imprimés dans une encre conflictuelle. Dans cette dernière partie, le sujet doit inhiber la lecture du mot pour donner la couleur de l'encre.

tant de la part des chercheurs que des cliniciens.

Ce modèle suppose quatre composants. L'unité centrale est un ensemble de schémas d'actions, c'est-à-dire des structures de connaissances qui contrôlent des séquences d'actions (conduire, fumer, s'habiller, etc.). Chaque schéma contrôle plusieurs sous-routines permettant d'atteindre des sous-buts particuliers (tourner, ralentir, freiner, etc.). Ces schémas ou plans peuvent être activés par des informations perceptives ou par d'autres schémas. Il est fréquent que plusieurs schémas soient activés simultanément mais un seul schéma ne peut être déclenché (car par exemple, deux séries de mouvements ne peuvent pas être réalisées en même temps). Il peut également arriver que deux schémas soient en conflit. Dans ces cas intervient le gestionnaire des conflits qui permet de sélectionner un schéma d'action particulier et cela de manière automatique et uniquement dans des situations routinières. Ce processus serait sous-tendu par les noyaux gris centraux. Lorsque le sujet est confronté à une situation nouvelle ou lorsque les paramètres d'une situation routinière changent, un contrôle attentionnel volontaire est nécessaire et possible grâce au système attentionnel de supervision (SAS), celui-ci étant sous la dépendance du cortex frontal.



En effet, pour Shallice, le rôle des lobes frontaux correspond exactement à celui joué par le SAS et donc les déficits observés chez les patients frontaux sont interprétés comme étant le reflet d'un déficit affectant principalement le SAS. Par exemple les comportements d'utilisation sont expliqués par un déficit du SAS entraînant une activation automatique des schémas d'action même si ceux-ci ne sont pas pertinents .

Le SAS n'est pas un mécanisme général unitaire mais remplirait plusieurs fonctions sous-tendues par des régions frontales différentes. Ainsi, différents mécanismes de contrôle sont distingués : établissement d'un but, formulation d'un plan, création de marqueurs, déclenchement des marqueurs, processus d'évaluation du plan et mécanismes de correction en cours de réalisation .

Si les processus de contrôle du SAS s'appliquent essentiellement lors de situations nouvelles, certaines données amènent à considérer également une implication des régions frontales dans la gestion, le contrôle et l'exécution de plans d'action pour les situations familières .

D'autres approches théoriques des fonctions exécutives et/ou du rôle des lobes

frontaux dans le fonctionnement cognitif ont été proposées mais ne seront pas exposées ici (voir Seron, Van der Linden, & Andrès pour une présentation de ces modèles alternatifs). Certaines conceptions apportant d'intéressantes nuances au modèle de Shallice alors que d'autres s'en démarquent de manière plus importante ou se centrent sur l'analyse de certains aspects qui ne sont pas pris directement en compte dans ce modèle (comme par exemple la théorie de marqueurs somatiques de Damasio).

Ces modèles concernent le fonctionnement exécutif chez l'adulte car à ce jour, il n'existe pas de modèle théorique neuropsychologique sur le développement des fonctions exécutives chez l'enfant. Nous allons cependant rapporter un certain nombre de données afin de mieux comprendre le développement de ces fonctions.

## Développement des fonctions exécutives

---

Ce n'est qu'à partir des années 1980 que les chercheurs ont commencé à s'intéresser au développement des fonctions exécutives. Comparé aux autres régions cérébrales, le cortex préfrontal se développe longtemps après la naissance et sa maturation continue de s'effectuer progressivement durant une période se prolongeant jusqu'à la fin de l'adolescence. Par exemple, à 7 ans, la densité synaptique au niveau du cortex préfrontal est encore supérieure de 10 % environ à celle observée chez l'adulte . Les fonctions que sous-tend le lobe frontal, dont les fonctions exécutives, évolueraient parallèlement . Ainsi, Welsh et Pennington considèrent que les fonctions exécutives émergent dès la première année de vie et continuent à se développer jusque tard dans l'adolescence et même au-delà (voir également la méta-analyse réalisée par Romine et Reynolds ). Certaines sont fonctionnelles très tôt, d'autres beaucoup plus tard dans le développement.

Les études sur le développement précoce des fonctions exécutives ont principalement consisté à comparer les performances de très jeunes enfants et de singes avec lésion du cortex préfrontal. Diamond a ainsi montré que des nourrissons de 9-11 mois réussissaient une tâche de détour et une tâche de recherche d'objet (paradigme piagétien A-non B) alors que les singes cérébrolésés persévéraient à atteindre l'objet sans faire de détour ou à rechercher en A l'objet caché en B. L'acquisition de tels comportements dirigés vers un but peut être mise en lien avec certaines données neurobiologiques mettant en évidence une maturation frontale émergente. Par exemple, Chugani, Phelps, & Mazziotta ont observé une augmentation de la consommation de glucose dans le cortex préfrontal dorsolatéral entre 8 et 11 mois. Bell et Fox ont montré un changement d'activité électrique plus important au niveau frontal chez les nourrissons qui supportent des délais de rétention plus longs dans la tâche A-non B.

Chez les enfants plus âgés (après 3 ans), les chercheurs ont adapté les tâches classiques dites exécutives qui permettent de mettre en évidence des troubles spécifiques chez des patients adultes avec lésion frontale. La majorité des recherches ont montré une amélioration significative des performances avec l'âge suggérant un développement des fonctions exécutives. Mais ce développement serait complexe et asynchrone, avec plusieurs tendances développementales plus ou moins marquées. Par exemple, Welsh, Pennington et Groisser ont comparé les performances d'enfants de 3 à 12 ans et d'un groupe de sujets adultes dans une batterie comprenant différentes tâches exécutives. Les

résultats ont montré que dès 3 ans plusieurs fonctions exécutives sont en place mais la maturité progressive des lobes frontaux amène une plus grande maîtrise des différentes tâches exécutives et les différentes fonctions sont matures à différents moments. Ainsi, selon les tâches considérées, les auteurs distinguent trois étapes dans l'intégration et la maturation des fonctions exécutives : à 6 ans, à 10 ans et vers 12 ans.

L'étude des enfants qui souffrent d'une lésion frontale acquise apporte également des informations importantes sur le rôle de cette région dans le développement cognitif. La symptomatologie chez l'enfant fronto-lésé apparaît être très proche de celle observée chez l'adulte, se caractérisant principalement par des difficultés de planification, de flexibilité mentale et d'inhibition. Certains troubles sont immédiats mais d'autres séquelles peuvent apparaître beaucoup plus tardivement. Les troubles des comportements sociaux, adaptatifs et émotionnels sont prédominants suggérant une forte implication des régions frontales dans le développement affectif et social .

Marlowe a décrit le cas d'un enfant de 3 ans 11 mois ayant subi une lésion préfrontale droite. Quatorze jours après l'accident, il présentait d'importantes sautes d'humeur, une labilité émotionnelle, une agitation et un comportement destructeur et agressif. À 6 ans, il restait violent et agité notamment dans les situations peu prévisibles pour lui. Il ressentait peu de remords. Williams et Mateer ont également rapporté le cas d'un enfant de 8 ans 11 mois qui, suite à une lésion frontale gauche, présentait des accès de colère et d'agressivité surtout en cas d'imprévus. À 16 ans, ses comportements émotionnels étaient peu variés, il présentait des idées fixes et une préoccupation excessive pour tout ce qui se rapportait à la violence. Il n'avait pas d'amis, ses interactions sociales étaient marquées par des difficultés avec le langage social et métaphorique, une tendance à tout interpréter au sens littéral et à ne pas comprendre les situations sociales.

Ces quelques observations suggèrent donc un développement précoce et complexe des fonctions exécutives et une probable implication du cortex préfrontal dans ce développement et dans la régulation du comportement intentionnel, social et émotionnel, et ce, dès le plus jeune âge. Au-delà des données issues du développement normal et de la pathologie acquise chez l'enfant, la question des rapports entre cortex frontal, fonctions exécutives et comportement social a été envisagée dans le cadre de pathologies neurodéveloppementales, et notamment dans l'autisme.

## **Hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives dans l'autisme**

---

L'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives chez les enfants autistes a fait suite à l'observation de déficits ET de comportements proches de ceux de patients fronto-lésés . Il ne s'agit que d'une « métaphore frontale » puisque jusqu'à présent aucune perturbation frontale définie, tant au plan structural que fonctionnel, n'a été clairement démontrée dans l'autisme.

### **Nature des déficits**

### **Déficits exécutifs et aspects plus comportementaux**

Une anomalie des lobes frontaux dans l'autisme a été suggérée par Damasio et Maurer dès 1978 sur la base d'une similarité de déficits moteurs, langagiers et comportementaux avec des patients fronto-lésés . Par exemple, un rapprochement est habituellement fait entre le caractère répétitif et rigide commun à la quasi-totalité des comportements autistiques et les persévérations observées chez les patients fronto-lésés. Un manque de flexibilité et de planification est également illustré par les comportements stéréotypés, persévératifs et les difficultés dans la régulation et la modulation des actes moteurs. Une étude récente a même montré une forte corrélation entre les difficultés de flexibilité cognitive mesurées par la tâche du WCST et les comportements restreints et répétitifs observés chez des adultes autistes .

Nous souhaitons cité le témoignage d'un père d'un enfant autiste illustrant le manque de régulation comportementale. Charles Hart, père d'un enfant autiste raconte qu'il était très content d'avoir appris à son fils à laver son linge et à le ranger convenablement. Cette activité était acquise depuis longtemps. Pourtant, un jour, il eut la surprise de découvrir du linge trempé mais bien plié dans ses tiroirs. Le sèche-linge était en panne, son fils avait suivi les séquences indiquées mais on avait omis de lui préciser une toute petite séquence intermédiaire : en sortant le linge du séchoir, il fallait vérifier qu'il était sec !

Ce témoignage montre le manque de flexibilité du comportement : l'enfant autiste a appris une séquence d'actions et quelles que soient les modifications de l'environnement, il continue à appliquer cette séquence. Nous pouvons faire l'hypothèse d'un défaut de contrôle du comportement ou d'une impossibilité à réagir convenablement du fait d'une incapacité à planifier à nouveau comportement adapté (celui n'ayant pas été appris).

### **Déficits exécutifs dans les tâches expérimentales**

De nombreuses études ont souligné les faibles performances des sujets autistes dans les épreuves visant à tester les fonctions exécutives (Tableaux 2a, 2b, 2c) . Les déficits les plus robustes sont d'une part des erreurs persévératives et une difficulté à changer de stratégie dans les épreuves de type Wisconsin Card Sorting Test ; et d'autre part des déficits dans des tâches de planification comme la Tour de Hanoï ou la Tour de Londres. Sur vingt-cinq études explorant la flexibilité et la planification, seulement quatre n'ont pas trouvé de déficit chez les sujets autistes, et deux de ces études ont comparé les performances des sujets autistes avec des sujets atteints d'un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDAH), ces derniers présentant également des perturbations exécutives.

En ce qui concernent les fonctions d'inhibition, les résultats sont contradictoires. Certaines études ont rapporté des difficultés d'inhibition de réponses prédominantes dans la tâche du Trail Making Test ou dans une tâche d'inhibition motrice, alors que d'autres montrent que les enfants autistes n'ont pas de difficultés dans le test de Stroop et les épreuves de type Go/NoGo considérés pourtant comme des tests classiques d'inhibition. L'inhibition n'étant pas un mécanisme unitaire, il est possible que chez les sujets autistes certains aspects soient préservés et d'autres altérés .

Pennington et collaborateurs ont proposé d'expliquer les troubles exécutifs observés dans l'autisme comme étant la conséquence d'un sévère déficit en mémoire de travail. Ces auteurs ont ainsi montré que les autistes avaient des difficultés dans différentes tâches de mémoire de travail, obtenant un pattern de déficits similaire à celui observé chez des patients avec lésion frontale . Cependant ces déficits ne sont pas retrouvés dans toutes les études .

D'autres auteurs ont mis en évidence des troubles du monitoring ou du contrôle de l'action mais là encore certains résultats sont contradictoires .

Il est important de souligner que la plupart des études ayant exploré les fonctions exécutives chez les sujets autistes ont mis en évidence des déficits massifs y compris chez les sujets de haut niveau de fonctionnement (autisme de haut niveau et Asperger). Beaucoup de travaux concernent des sujets autistes relativement âgés (adolescents et jeunes adultes) et peu retardés, mais quelques études réalisées avec des sujets plus jeunes ou plus retardés laissent à penser que des troubles exécutifs sont présents dès la petite enfance et quel que soit le niveau intellectuel .

**Tableaux 2a, 2b et 2c. Principales études évaluant les fonctions exécutives dans l'autisme.**

Tableau 2a. Etudes explorant les capacités de planification chez des sujets autistes comparativement à des groupes contrôles appariés.			
Tâches	Etudes	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.
Tour de Hanoi – Tour de Londres	Ozonoff et al. (1991)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[22]
	Ozonoff & McEvoy (1994)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[20]
	Bennetto et al. (1996)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[1]
	Ozonoff & Jensen (1999)	TDAH, syndrome de Tourette, normaux	[19]
	Lopez et al. (2005)	Normaux	[15]
Tour (Nepsy)	Joseph et al. (2005)	Normaux	[13]
Stockings of Cambridge (Cantab)	Hughes et al. (1994)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[12]
	Ozonoff et al. (2004)	Normaux	[24]
Luria's bar task	Hughes (1996a)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[9]
Labyrinthes de Milner	Prior & Hoffmann (1990)	Normaux	[25]
Dessins	Booth et al. (2003)	TDAH, normaux	[3]
Tâches	Etudes : différence non significative	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.
Stockings of Cambridge (Cantab)	Happé et al. (2006)	TDAH, normaux	[8]
Tableau 2b. Etudes explorant les capacités de flexibilité chez des sujets autistes comparativement à des groupes contrôles appariés.			
Tâches	Etudes : différence significative	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.
WCST	Rumsey (1985)	Normaux	[26]
	Ciesielski & Harris (1997)	Normaux	[5]
	Rumsey & Hamburger (1988 ; 1990)	Normaux	[27] [28]
	Prior & Hoffmann (1990)	Normaux	[25]
	Szatmari et al. (1990)	Pathologies diverses (TDAH, troubles des conduites...)	[33]
	Ozonoff et al. (1991)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[22]
	Ozonoff & McEvoy (1994)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[20]
	Ozonoff (1995)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[18]
	Bennetto et al. (1996)	Pathologies diverses (TDAH, troubles d'apprentissage...)	[1]
	Ozonoff & Jensen (1999)	TDAH, syndrome de Tourette,	[19]

**Approche neuropsychologique de l'autisme infantile : entre théorie de l'action et théorie de l'esprit.**

		normaux	
	Goldstein et al. (2001)	Normaux	[7]
	Liss et al. (2001)	Troubles du langage	[14]
	Shu et al. (2001)	Normaux	[32]
	Lopez et al. (2005)	Normaux	[15]
Version informatisée du WCST	Ozonoff (1995)	Normaux	[18]
	Tsuchiya et al. (2005)	Normaux	[34]
ID/ED	Ozonoff et al. (2004)	Normaux	[24]
	Hughes et al. (1994)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[12]
Tâches	Etudes : différence non significative	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.
WCST	Minschew et al. (1992 ; 1997)	Normaux	[16][17]
	Tsuchiya et al. (2005)	TDAH	[34]
ID/ED	Happé et al. (2006)	TDAH, normaux	[8]
Tableau 2c. Etudes explorant les capacités d'inhibition chez des sujets autistes comparativement à des groupes contrôles appariés.			
Tâches	Etudes : différence significative	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.
Trail-making B	Ciesielski & Harris (1997)	Normaux	[5]
	Rumsey & Hamburger (1998)	Normaux	[27]
	Goldstein et al. (2001)	Normaux	[7]
Stroop	Goldstein et al. (2001)	Normaux	[7]
Windows task	Russell et al. (1991)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[29]
	Hughes & Russell (1993)	Troubles modérés d'apprentissage	[11]
Automated windows task	Russell et al. (2003)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[31]
Switch tasks	Hughes & Russell (1993)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[11]
	Bíro & Russell (2001)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[2]
Go/No-Go	Ozonoff et al. (1994)	Normaux, syndrome de Tourette	[23]
Réponses contrariées	Hughes (1996b)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[10]
	Joseph et al. (2005)	Normaux	[13]
	Lopez et al. (2005)	Normaux	[15]
Tâches	Etudes : différence non significative	Groupe(s) contrôle(s)	Réf.

Trail-making B	Minshe et al. (1992 ; 1997)	Normaux	[16][17]
Stroop	Eskes et al. (1990)	Normaux	[6]
	Ozonoff & Jensen (1999)	TDAH, syndrome de Tourette, normaux	[19]
	Lopez et al. (2005)	Normaux	[15]
Test jour – nuit	Russell et al. (1999)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[30]
	Joseph et al. (2005)	Normaux	[13]
Go/No-Go	Happé et al. (2006)	TDAH, normaux	[8]
Stop-signal task	Ozonoff & Strayer (1997)	Normaux	[21]
Tâche d'amorçage négatif	Ozonoff & Strayer (1997)	Normaux	[21]
	Brian et al. (2003)	Normaux	[4]
Tubes task	Russell et al. (1999)	Normaux, troubles modérés d'apprentissage	[30]

Tableaux adaptés de Hill, E. L. . Les références des études citées dans ces tableaux sont fournies en Annexe 2.

### Autisme et cortex frontal

De nombreuses études ont rapporté des anomalies anatomiques et fonctionnelles dans plusieurs régions corticales et sous-corticales chez des sujets autistes, mais les résultats sont loin d'être concordants d'une étude à une autre .

Plusieurs études ont mis en évidence des anomalies neuroanatomiques, métaboliques et électrophysiologiques au niveau du lobe frontal .

Il nous semble qu'un des résultats les plus marquants ces dernières années a été l'observation d'une diminution transitoire de la perfusion frontale chez de très jeunes enfants autistes suggérant un retard dans la maturation métabolique du lobe frontal chez ces enfants . Des données plus récentes ont montré chez les enfants autistes une augmentation excessive du volume cérébral dans les régions frontales pendant les premières années de vie, suivie par une période de ralentissement de la croissance cérébrale dans ces mêmes régions . Ainsi, les volumes de substance grise et de substance blanche du cortex frontal augmentaient respectivement de 20 % et 45 % chez les enfants normaux entre 2-4 ans et 9-11 ans ; alors qu'ils ne progressaient respectivement que de 1% et 13 % chez les enfants autistes sur la même période de développement. Un tel décalage de maturation dans le lobe frontal pourrait conduire à des anomalies importantes dans l'organisation neuronale globale parce que les connexions avec d'autres réseaux corticaux ne pourraient se faire normalement. Pour Courchesne et Pierce , ces variations dans la maturation cérébrale entraîneraient une augmentation des connexions courtes au sein du lobe frontal et surtout une réduction des connexions longues et réciproques entre le cortex frontal et les autres régions cérébrales.

De récentes données d'imagerie fonctionnelle rapportent également un défaut de

connectivité fonctionnelle c'est-à-dire des perturbations dans la synchronisation temporelle des activations des différentes aires impliquées dans une tâche. Ce manque de connectivité fonctionnelle concernerait particulièrement les connexions longues fronto-corticales comme mis en évidence lors de la réalisation de tâches de compréhension de phrases , de mémoire de travail , de planification et de coordination visuomotrice .

La plupart des études d'imagerie fonctionnelle chez des sujets autistes ont montré des perturbations dans l'activation des régions frontales lors de la réalisation d'activités cognitives complexes (langage ou cognition sociale). Ce n'est que récemment que certains chercheurs se sont intéressés aux anomalies d'activation susceptibles d'être observées lors de la réalisation de tâches exécutives classiques. Quelques études ont rapporté chez des sujets autistes des anomalies fonctionnelles au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral et du cortex cingulaire lors de la réalisation de tâches de mémoire de travail et de mémoire de travail spatiale .

Schmitz et al. ont étudié les activations cérébrales de sujets autistes et contrôles lors de trois tâches exécutives : des tâches de Go/No-Go et de Stroop reposant sur l'inhibition motrice, et une tâche de flexibilité cognitive. Alors que les sujets autistes présentaient des performances similaires aux contrôles dans ces trois tâches, ils démontraient des augmentations d'activité au niveau du cortex orbitofrontal et du cortex frontal inférieur gauche (Go/No-Go), de l'insula gauche (Stroop) et du cortex pariétal droit (flexibilité). Par ailleurs, les sujets autistes présentaient une augmentation de la densité de matière grise dans le cortex frontal inférieur, suggérant ainsi la coexistence d'anomalies anatomiques et fonctionnelles au niveau des régions frontales chez ces sujets.

Lors de la réalisation d'une tâche de Tour de Londres, Just et al. ont mis en évidence des performances comportementales et un pattern d'activations cérébrales similaires entre sujets autistes et sujets contrôles. Cependant, les sujets autistes présentaient une faible connectivité fonctionnelle entre les régions frontales et pariétales, ainsi que des anomalies anatomiques au niveau du corps calleux corrélées à la faible connectivité fronto-pariétale.

## **Déficit des fonctions exécutives comme déficit primaire ?**

---

Nous avons montré qu'un nombre important de données convergent vers l'existence d'un déficit exécutif dans l'autisme et certains ont proposé qu'un tel déficit pourrait être primaire. Nous allons donc reprendre les critères d'un déficit primaire tels que définis par Pennington et Ozonoff .

Premièrement, en ce qui concerne la question de l'universalité de ce déficit, nous avons déjà souligné que des troubles exécutifs ont été observés à tous les niveaux d'âge et de développement. Des anomalies des fonctions exécutives ont même été observées chez des parents de sujets autistes .

Toutefois, il paraît important de préciser les différentes perturbations exécutives possibles et d'étudier leur expression au cours du développement. En effet la nature des déficits exécutifs dans l'autisme semble varier avec le niveau de développement.

C'est-à-dire qu'un déficit particulier observé pendant l'enfance peut évoluer et s'exprimer de manière différente à un âge plus avancé. Par exemple, des déficits d'inhibition motrice sont souvent rapportés chez les jeunes enfants autistes, alors qu'ils ne sont pas observés chez des adolescents autistes non retardés, ces derniers présentant plutôt des difficultés de flexibilité et de planification.

Si les fonctions exécutives se développent chez l'enfant normal de la petite enfance jusqu'à l'adolescence et même au-delà, quelle est la courbe de développement de telles fonctions en cas de perturbation ? Est-ce que le développement est anormal ou simplement retardé sans jamais atteindre le niveau de maturité ? Est-ce que le développement de toutes les fonctions exécutives est pareillement perturbé ?

Deuxièmement, les déficits exécutifs semblent peu spécifiques de l'autisme car ils sont observés dans d'autres pathologies comme par exemple dans le trouble d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) ou le syndrome de Gilles de la Tourette. Cependant nous allons avancer quelques arguments qui permettent de ne pas s'arrêter à cet apparent manque de spécificité.

Tout d'abord, la majorité des tâches exécutives classiques sont des tâches complexes et multidéterminées c'est-à-dire qu'elles impliquent une multitude de sous-processus. Par exemple, des difficultés dans l'épreuve du WCST peuvent être liées à des problèmes de compréhension des exigences de la tâche, à un déficit de flexibilité comportementale, à une difficulté à utiliser les feedbacks de l'examineur, à un déficit dans la conceptualisation des règles de classement, à des difficultés de maintien en mémoire des règles, à une difficulté à inhiber des réponses persévératives ou non pertinentes, etc. Cette complexité des épreuves exécutives augmente leur sensibilité à un dysfonctionnement frontal mais elle complique l'analyse des perturbations sous-jacentes. Ainsi les échecs à une même tâche pourraient être expliqués par des causes différentes suivant les pathologies considérées.

Par ailleurs, certaines études ont montré des patterns distincts de déficits exécutifs selon les groupes : les autistes présenteraient davantage de difficultés en flexibilité, mémoire de travail et planification, alors que les enfants TDAH auraient essentiellement des déficits d'inhibition et de maintien de l'attention . La confrontation de différentes populations au moyen d'un ensemble bien différencié et hiérarchisé de tâches évaluant diverses composantes exécutives permettrait de mieux préciser des profils distincts de troubles exécutifs. Mais pour cela il est indispensable de contrôler l'existence de comorbidité dans les pathologies étudiées. En effet très peu d'études semblent avoir tenu compte de la présence possible de pathologies associées (par exemple, des enfants autistes présentant un TDAH), et dans ce cas comment comprendre ce qui est spécifique à l'autisme ou ce qui est commun à une association de troubles neurodéveloppementaux.

Il se peut également que des pathologies distinctes présentent un déficit central des fonctions exécutives mais que celui-ci soit lié à des mécanismes cérébraux différents. Pennington et Ozonoff suggèrent par exemple : (a) des différences de sévérité dans une perturbation frontale ; (b) des différences dans le moment de survenue de la perturbation au cours du développement cérébral ; (c) une perturbation de différentes parties du cortex préfrontal ; (d) une perturbation frontale associée à une atteinte localisée ou diffuse, d'une

ou plusieurs autres régions cérébrales selon les pathologies.

Enfin si les liens entre troubles exécutifs et comportements restreints, répétitifs et stéréotypés ont déjà été abordés, une question demeure : est-ce que les troubles exécutifs peuvent rendre compte des autres symptômes caractéristiques de l'autisme ?

Il apparaît que de nombreuses données attribuées à un défaut de cohérence centrale peuvent être expliquées par un déficit exécutif . La tendance à traiter préférentiellement les informations à un niveau local pourrait être la conséquence d'un problème de « shifting » entre les niveaux local et global. Plusieurs tâches visuospatiales impliquent d'inhiber les informations d'un niveau afin de traiter efficacement celles à un autre niveau. Un trouble de mémoire de travail pourrait orienter les traitements vers de plus petites unités d'informations. Des déficits de planification pourraient entraîner un traitement fragmentaire dans certaines tâches. La cohérence centrale impliquerait donc des processus exécutifs mais elle ne peut pas pour autant être réduite à cela. Les études s'intéressant aux interactions entre fonctions exécutives et cohérence centrale sont encore peu nombreuses, ce qui limite les interprétations sur ce point.

Qu'en est-il des liens entre déficits exécutifs et troubles des interactions sociales et de la communication ? Pour certains, le développement de l'attention conjointe est associé à la maturation des lobes frontaux, des déficits d'attention conjointe étant fréquemment rapportés chez les enfants fronto-lésés. D'autre part, il apparaît qu'il existe une forte corrélation entre attention conjointe et flexibilité cognitive chez les enfants normaux et chez les enfants autistes .

Sur le plan de la communication verbale, des anomalies typiques comme les écholalies, les inversions pronominales, la rigidité et la persévération des mêmes thèmes pourraient être rattachées à un défaut de contrôle exécutif.

Le jeu de faire semblant, habituellement déficitaire dans l'autisme, implique une distanciation par rapport à la réalité et d'inhiber temporairement les plans d'actions évoqués par les objets et de générer un plan d'action différent .

L'imitation requiert de prêter attention, de maintenir en mémoire et de reproduire la séquence de mouvements ou d'actions réalisée par le modèle. Or nous avons déjà souligné que pour de nombreux auteurs, les capacités imitatives jouent un rôle crucial dans le développement des relations sociales et interpersonnelles . Donc un trouble précoce de l'imitation, consécutif d'un dysfonctionnement exécutif, entraînerait une cascade de déficits touchant la sphère des interactions sociales.

Il apparaît que ces fonctions d'attention conjointe, de faire semblant et d'imitation sont classiquement considérées comme des précurseurs de la capacité de théorie de l'esprit. La question est de savoir si l'atteinte de ces différentes fonctions est liée à un trouble exécutif ou un trouble métareprésentationnel, c'est-à-dire lequel des deux déficits, théorie de l'esprit ou fonctions exécutives, est primaire dans l'autisme.

## **Liens entre théorie de l'esprit et fonctions exécutives**

Entre les partisans de chacune des théories cognitives précédemment décrites, un débat s'est ouvert pour savoir lequel de ces deux déficits, théorie de l'esprit ou fonctions exécutives, est primaire dans l'autisme. Or nous avons souligné les limites principales de chacune des théories et il apparaît que ni le déficit en théorie de l'esprit, ni le déficit exécutif, ne correspond entièrement à la définition d'un déficit primaire.

Malgré cela, les expériences se sont multipliées pour mettre en évidence chez les enfants autistes des perturbations soit dans des tâches de théorie de l'esprit soit dans des tâches exécutives. L'objectif de ces expériences étant pour les uns d'interpréter les déficits exécutifs comme le produit d'un manque de théorie de l'esprit et pour les autres d'interpréter les difficultés en théorie de l'esprit comme la conséquence d'un dysfonctionnement exécutif. Alors qu'aucune donnée n'a permis de postuler clairement l'existence d'une relation causale entre fonctions exécutives et théorie de l'esprit, la question des liens entre ces deux fonctions s'est avérée être d'une grande pertinence.

En effet, il apparaît que ces troubles sont très fréquemment associés et il semble difficile d'admettre que leur cooccurrence ne soit qu'accidentelle. De nombreuses études ont en effet rapporté des corrélations importantes entre des mesures exécutives et des mesures de théorie de l'esprit tant chez les enfants normaux que chez les enfants autistes. Une étude longitudinale a mis en évidence des trajectoires développementales parallèles pour ces deux fonctions chez les enfants autistes, suggérant également une interdépendance possible entre mentalisation et fonctions exécutives.

Nous avons déjà discuté de la probable implication de processus d'inhibition dans les tâches de fausses croyance chez les enfants normaux mais il apparaît que lorsque les tâches de fausse croyance sont modifiées de sorte à réduire les demandes exécutives, les performances dans ces tâches restent fortement corrélées aux performances exécutives.

Alors comment expliquer cette interdépendance ? Une hypothèse est que ces deux fonctions sont sous la dépendance d'un même processus. Pour les uns il s'agit d'une même atteinte au niveau cérébral, pour les autres il s'agit d'identifier un prérequis cognitif commun.

### **Lien au niveau cérébral : forte implication des régions frontales**

---

Ozonoff, Pennington et Rogers ont suggéré que les déficits exécutifs et de mentalisation pouvaient être la conséquence d'un seul et même déficit au niveau cérébral, à savoir une atteinte du cortex préfrontal ou du moins une proximité spatiale de leurs substrats neuronaux respectifs.

Les fonctions exécutives sont classiquement considérées être sous-tendues par le cortex préfrontal et nous avons déjà cité des données neuropsychologiques et d'imagerie montrant une implication des régions frontales, et plus particulièrement du cortex préfrontal médian, dans la théorie de l'esprit. Nous avons également souligné que le développement des structures préfrontales jouait un rôle central dans le développement des fonctions exécutives tout comme dans le développement social et affectif.

Cependant nous avons vu que théorie de l'esprit et fonctions exécutives n'impliquent

pas exclusivement le cortex préfrontal et qu'elles reposent toutes deux sur un réseau cérébral beaucoup plus vaste. Dès lors, même si ces deux fonctions sont souvent associées, des dissociations peuvent être observées. Par exemple Fine, Lumsden et Blair ont rapporté le cas d'un patient avec une lésion au niveau de l'amygdale qui présentait des difficultés en théorie de l'esprit sans déficit exécutif associé. Inversement, Bach, Happé, Fleminger et Powell ont décrit le cas d'un patient avec lésion orbitofrontale qui présentait certes des troubles des comportements sociaux et des perturbations exécutives mais qui réussissait les tâches de théorie de l'esprit.

Selon Russell, quelle que soit la relation entre mentalisation et fonctions exécutives au niveau cérébral, il est hautement probable qu'elles s'influencent réciproquement au niveau psychologique. En outre s'il existe une relation étroite entre elles au niveau cérébral, il est probable qu'il existe une raison psychologique pour qu'il en soit ainsi.

## **Lien au niveau cognitif : un processus commun ?**

---

Une autre hypothèse pour expliquer les liens entre fonctions exécutives et mentalisation est de suggérer l'existence d'un mécanisme cognitif commun et donc d'expliquer les troubles observés dans l'autisme par une atteinte cognitive plus bas niveau.

Pour cela nous avons choisi de chercher dans les étapes précoces du développement de ces fonctions.

### **Les précurseurs de la théorie de l'esprit**

Nous avons vu dans les différents modèles et théorisations que la capacité de théorie de l'esprit dépendait du développement d'autres fonctions plus bas niveau, de précurseurs. Toutefois avant de pouvoir avancer l'hypothèse d'un trouble primaire au niveau de la théorie de l'esprit dans l'autisme, il nous semble indispensable de s'assurer de l'intégrité de tous les précurseurs de cette capacité. En effet, si un trouble est observé dans l'autisme au niveau d'un ou plusieurs précurseurs, le déficit en théorie de l'esprit apparaît comme secondaire, comme une conséquence d'un déficit plus bas niveau.

Un certain nombre de travaux se sont intéressés aux aspects émotionnels, à la perception du regard, à l'attention conjointe mais peu se sont préoccupés des aspects liés à l'action. Or, nous pouvons remarquer l'importance de l'action dans les différents modèles et théorisations de la théorie de l'esprit et nous nous étonnons que ce niveau ait été peu étudié dans l'autisme.

Dans leur modèle respectif, Baron-Cohen et Leslie situent le déficit des sujets autistes au niveau du dernier module, le module de théorie de l'esprit. Or, dans le modèle de Baron-Cohen, des perturbations sont par exemple observées dès le module d'attention partagée. Par ailleurs, il nous semble que le nombre d'arguments en faveur de l'intégrité du module ID (détecteur d'intentionnalité) est insuffisant et nous nous interrogeons sur la pertinence des études rapportées qui ont essentiellement exploré la compréhension du désir sans tenir compte de l'aspect très élémentaire et perceptif de ce module. En effet, ID est un mécanisme qui fonctionne sur une base sensorielle et qui permet « *d'interpréter tout ce qui a mouvement propre ou tout ce qui produit un son non*

*aléatoire comme un agent avec des objectifs et des désirs* ». Plusieurs études ont mis en évidence des difficultés chez des sujets autistes dans un paradigme considéré par Baron-Cohen lui-même comme un indice de fonctionnement de ID. Ce paradigme est basé sur le travail de Heider et Simmel et consiste à présenter aux sujets des formes géométriques se déplaçant les unes par rapport aux autres. Les sujets normaux ont tendance à interpréter ces mouvements en termes volitionnels et intentionnels. Face à ce type de matériel, les descriptions données par les personnes autistes sont apparues moins précises et moins adaptées .

Beaucoup s'accordent pour suggérer que la capacité de mentalisation a évolué à partir d'un système de représentation de l'action . Mais la possibilité d'un déficit au niveau de ce système dans l'autisme a été peu étudiée, à l'exception de l'imitation. Des difficultés d'imitation dans l'autisme sont en effet fréquemment rapportées . Les troubles observés sont variés : difficultés d'imitation de postures et de mouvements corporels symboliques ou non symboliques, difficultés d'imitation de gestes séquentiels et d'actions familières ou nouvelles, difficultés d'imitation différée et de mime d'actions, etc.

Pour Rogers et Pennington , les difficultés d'imitation des personnes autistes seraient liées à un défaut dans la coordination des représentations de soi et d'autrui expliqué par les partisans de l'approche simulationniste par un défaut du système miroir. En effet pour Rizzolatti et collaborateurs , le système miroir est directement impliqué dans la compréhension de l'action et l'imitation en permettant la formation et l'intégration des représentations soi-autrui, encore appelées représentations partagées.

### **Les fonctions exécutives de « bas niveau »**

Les fonctions exécutives sont directement impliquées dans la planification, le contrôle et l'exécution de mouvements, d'actions et d'activités quotidiennes. A partir de l'analyse d'enregistrements vidéo, de nombreux auteurs ont rapporté la présence de troubles du mouvement chez les sujets autistes tels que des perturbations de la posture, du tonus musculaire et de la locomotion, des troubles des mouvements de la tête, des mimiques faciales et du regard, des anomalies dans la gestuelle et les actions volontaires, etc. . Selon Teitelbaum et al. , ces troubles pourraient être utilisés pour diagnostiquer l'autisme dès les premiers mois de vie.

Deux études portant sur l'observation des comportements d'enfants autistes en situation naturelle ont montré des difficultés spécifiques dans l'exécution d'actions dirigées vers un but . Schmitz, Martineau, Barthelemy et Assaiante ont réalisé des enregistrements cinématiques et électromyographiques au cours d'une tâche de soulèvement d'objet et ont montré que les enfants autistes étaient ralentis dans leur mouvement de soulèvement. Cette anomalie du contrôle postural est interprétée par les auteurs comme un dysfonctionnement des processus d'anticipation.

D'autres études sur le contrôle moteur ont mis en évidence des déficits chez des enfants autistes dans la coordination et la planification de séquences de mouvements simples dirigées vers un but . Rinehart et al. ont montré que les enfants autistes présentaient des difficultés spécifiques au niveau de la préparation/planification d'un mouvement alors que l'exécution de ce même mouvement présentait des caractéristiques

normales.

De plus, les capacités d'imitation de séquences d'actions, d'imitation différée et de mime d'actions sont sévèrement altérées dans l'autisme et seraient en lien avec un déficit dans la représentation des mouvements composants l'action. En effet, ces différentes formes d'imitation requièrent particulièrement la formation, la manipulation et l'exécution de représentations, de plans d'action.

Ainsi les différentes difficultés rencontrées par les sujets autistes dans les domaines de l'anticipation et du contrôle moteur, de la planification et de l'imitation, pourraient avoir une source commune dans un trouble de la représentation de l'action.

## **Problématique : autisme et représentation de l'action**

---

Nous avons rapporté un certain nombre de données suggérant que des anomalies exécutives de bas niveau et que certaines fonctions nécessaires au développement de la théorie de l'esprit peuvent reposer sur un mécanisme de représentation de l'action. Cependant, la représentation de l'action chez les personnes autistes n'a pas encore fait l'objet d'une exploration empirique directe.

Classiquement, les théories cognitives postulent que les séquences d'événements et d'actions sont représentées en mémoire sous forme de structures d'informations assimilables à des scripts. Nous allons définir cette notion de script et exposer différents modèles théoriques et résultats expérimentaux basés sur la manipulation de telles structures d'informations, avant d'envisager leur utilisation auprès de sujets autistes.

### **La notion de script**

Shank et Abelson ont défini le script comme une représentation mentale qui sous-tend une activité fréquemment entreprise par exemple « aller au cinéma ». Selon ces auteurs, le script s'apparente à un plan d'action prototypique constitué d'une série d'événements (ou d'actions) finalisées. Toute action humaine est orientée vers un but et sa réalisation implique nécessairement la mise en œuvre de séquences d'actes organisées en fonction du but. Nelson affirme que le script permet, dans un contexte donné, de savoir comment se comporter ou encore de savoir comment comprendre et expliquer le comportement des autres. Il fournit en effet des informations sur : la situation, les acteurs et les rôles qu'ils ont à tenir, le but à atteindre, les objectifs nécessaires à la réalisation des actions, l'organisation séquentielle des actions, l'organisation hiérarchique des actions et donc sur les principales étapes (ou sous-buts) à atteindre. Dans cette perspective, le script devient un guide des comportements moteurs et cognitifs qui, une fois activé, permet d'accéder à l'ensemble des étapes menant à la réalisation d'un but. Nous avons cité deux aspects primordiaux des scripts. D'une part, leur structure est hiérarchique c'est-à-dire qu'un script est composé de sous-scripts ou de sous-étapes. D'autre part, leur structure est séquentielle c'est-à-dire que les sous-étapes sont organisées suivant des liens temporels, causaux et spatiaux.

Un certain nombre de données ont montré que, très tôt, les enfants sont sensibles aux informations temporelles d'une séquence d'événements. Par exemple, dès 12 mois,

les enfants sont capables de relier deux actions dans une séquence dirigée vers un but sur la base des liens causaux entre ces deux actions . Dès trois ans, ils peuvent élaborer des scripts à propos d'événements familiaux et progressivement leur capacité à manipuler les scripts s'améliore : ils peuvent inclure une plus grande quantité d'informations, considérer plusieurs événements en même temps et faire preuve d'une plus grande flexibilité dans l'utilisation de ces scripts .

### **Script et modèles neuropsychologiques**

Dans le domaine de la neuropsychologie adulte, nous avons déjà présenté le modèle de Norman et Shallice qui suppose l'existence de schémas d'action contrôlés, sous certaines conditions, par un système attentionnel de supervision supporté par le cortex préfrontal. Cependant, la structure même des schémas d'action est peu détaillée.

Dans une autre démarche, Grafman va mettre l'accent sur le type de représentations stockées plutôt que sur la nature des processus effectués par le cortex préfrontal. Il suggère que, ce qui différencie le fonctionnement des lobes frontaux des structures cérébrales postérieures et sous-corticales relève de la complexité des unités de connaissances sur lesquelles ils interviennent. Grafman considère en effet que les représentations se complexifient selon un gradient postéro-antérieur : les régions cérébrales postérieures stockeraient des unités de connaissances simples (un mot, une forme), alors que les régions antérieures stockeraient des unités beaucoup plus complexes (comme une série d'événements). Il définit des unités de connaissances stockées en mémoire et regroupant des séries d'événements, d'actions ou d'idées particulièrement impliquées dans la planification et le comportement social et qu'il appelle Managerial Knowledge Unit (MKU). Ces MKU sont des représentations abstraites comme des plans, scripts, thèmes, schémas. Les événements qui composent les MKU sont organisés temporellement en fonction de contraintes physiques, culturelles ou individuelles ; et ils n'ont pas tous la même valeur (certains sont plus centraux ou critiques pour l'activation, l'exécution ou le rappel d'une MKU). Les MKU sont hiérarchiquement organisées. Au niveau le plus haut se trouvent des MKU abstraites qui représentent des séries d'événements qui ont un début, des buts, des actions et une fin, sans faire référence à une activité particulière. Ensuite sont définies des MKU indépendantes du contexte qui représentent des comportements spécifiques (manger un repas), puis des MKU dépendantes du contexte qui représentent des comportements dans un contexte spécifique (manger un repas dans un restaurant) et juste en-dessous des MKU épisodiques qui représentent un temps et une localisation spécifiques (aller dîner chez Bourse). Au dernier niveau, sont définies les règles, procédures et tâches (attendre d'être placé par le maître d'hôtel, utiliser un couteau et une fourchette pour couper la viande,...). Cette architecture serait construite de manière bottom-up c'est-à-dire que les unités les plus abstraites n'émergent qu'après la formation de plusieurs unités épisodiques et dépendantes du contexte.

Les MKU seraient également organisées en catégories : il pourrait ainsi exister des MKU pour les comportements sociaux, alimentaires...

Selon Grafman, les MKU seraient stockées dans le cortex préfrontal. Quelques

études d'imagerie ont conforté cette hypothèse et ont montré une activation des régions frontales chez les sujets sains dans des tâches de manipulation de scripts .

De nombreuses données ont par ailleurs rapporté des difficultés chez les patients fronto-lésés dans des tâches de génération, de catégorisation, d'arrangement séquentiel et d'exécution de scripts . Des difficultés d'arrangement séquentiel ont été relevées dans les différentes études suggérant une atteinte dans l'organisation syntaxique de l'action alors que les aspects liés à la sémantique de l'action semble moins touchés. Cela conforte la position de Fuster qui considère que le cortex préfrontal est directement impliqué dans la représentation de la structure temporelle de l'action, c'est-à-dire que les actions sont organisées les unes par rapport aux autres selon un ordre temporel précis, déterminé, guidé par un but. C'est ce qui est appelé « syntaxe de l'action ».

La sémantique des scripts serait supportée par d'autres régions cérébrales à l'intérieur d'un réseau cérébral fonctionnel beaucoup plus vaste.

## **Hypothèses**

---

Nous allons présenter dans le chapitre suivant deux expériences visant à déterminer si les mécanismes de représentation de l'action sont perturbés dans l'autisme et reposant sur des méthodologies évaluant les connaissances scriptales.

La première étude avait pour objectif d'évaluer la capacité des sujets autistes à se représenter différents types d'actions dirigées vers un but, dans une tâche impliquant la manipulation de scripts et s'inspirant directement des travaux réalisés chez les patients fronto-lésés. Nous nous attendons qu'un trouble de la représentation de l'action se traduise chez les autistes d'une part par des difficultés dans la détection du but des actions et, d'autre part, par des erreurs dans la mise en séquence d'actions dirigées vers un but.

La deuxième étude visait à évaluer la capacité des sujets autistes à segmenter des séquences d'actions en unités pertinentes, capacité impliquant également des mécanismes de représentation d'action. Nous nous attendons à ce que les personnes autistes présentent des difficultés à segmenter le flux d'informations en unités pertinentes c'est-à-dire à identifier les frontières entre les actions et cela tant pour des actions courtes que pour des actions longues.

## Chapitre 3 : Travaux expérimentaux

### Etude 1 : Etude de la représentation d'actions dirigées vers un but

#### Justification de l'expérience

---

Nous avons déjà évoqué un certain nombre d'études évaluant la manipulation des scripts chez des patients avec lésion frontale mais des déficits dans l'utilisation des scripts ont également été rapportés chez des patients atteints de la maladie de Parkinson, de la maladie de Huntington et chez des patients schizophrènes. Les tâches proposées font souvent intervenir de la génération verbale de scripts et de la mise en séquence d'événements présentés sous une forme écrite (chaque action composant un événement étant écrite séparément sur un morceau de papier). L'utilisation d'un matériel verbal écrit auprès d'enfants nous limitait à tester des enfants ayant un bon niveau de lecture. Nous avons donc préféré représenter les différentes actions sous une forme imagée, matériel qui nous semble plus proche du quotidien des enfants.

Les études réalisées chez les enfants pour mieux comprendre le développement des connaissances et de la structuration des scripts se sont essentiellement basées sur des

tâches de génération verbale de scripts . Ce type de tâche nous a semblé difficile à utiliser chez les enfants autistes et avec retard mental du fait d'un retard de langage et des difficultés d'expression et d'initiation verbales fréquemment observées. Une étude a utilisé une tâche de mise en ordre d'images représentant les actions de deux séquences (aller au restaurant et fêter son anniversaire) : les enfants de 4, 5 et 7 ans étaient capables d'arranger correctement les images et de raconter oralement chaque séquence en respectant l'ordre des événements .

Quelques études ont tenté d'évaluer les capacités d'utilisation des scripts chez des enfants atteints d'autisme mais dans un contexte de routines sociales. Dans ces expériences, les enfants devaient, selon un script socialement préétabli, décrire oralement des activités ou réagir à une anecdote qu'on leur racontait. Les enfants autistes ont montré des difficultés importantes dans la génération de tels scripts. L'inconvénient est que ces études ont utilisé les scripts pour tester les difficultés sociales des enfants autistes sans faire référence au domaine de la planification de l'action qui est pourtant à la base de la notion de script. Elles se sont davantage intéressées au contexte social de l'action, qu'au déroulement de l'action elle-même. Par ailleurs, les difficultés observées dans ces tâches de génération de scripts sont fortement corrélées aux capacités verbales des enfants autistes et peuvent être expliquées par des difficultés d'initiation et d'élaboration verbales que nous avons mentionnées.

Volden et Johnston ont utilisé des scripts d'une manière plus structurée et ont montré que certains aspects des connaissances sur les scripts étaient préservés chez des enfants autistes de haut niveau. Ces aspects concernent la prédiction d'actions et la reconnaissance de violations à l'intérieur d'un script.

Deux études se sont intéressées à la capacité d'enfants autistes à manipuler les aspects séquentiels des scripts . Des difficultés de mise en séquence des actions ont été observées mais, d'après Baron-Cohen, ces difficultés seraient spécifiques des activités impliquant la compréhension d'états mentaux complexes.

L'expérience qui va être décrite ici a consisté à adapter le paradigme des scripts tel qu'habituellement utilisé auprès des patients frontaux afin d'évaluer les capacités de tri et d'arrangement de séquences d'événements et d'actions chez des personnes autistes.

---

## **Méthode**

### **Participants**

Nous avons comparé les performances de trois groupes de sujets : 16 adolescents autistes (15 garçons et 1 fille), 14 adolescents présentant un retard mental (9 garçons et 5 filles) et 15 adolescents normaux (9 garçons et 6 filles). Les caractéristiques des trois groupes sont présentées en détail dans le Tableau 3.

	Sujets autistes (n=16)	Sujets avec retard mental (n=14)	Sujets normaux (n=15)
<b>Age (années ; mois)</b>			
<i>Moyenne (E.T.)</i>	14;0 (3;1)	14;0 (1;10)	8;1 (2;5)
<i>Rang</i>	7;1 – 18;2	10;0 – 16;7	4,9 – 12,4
<b>QI Total</b>			
<i>Moyenne (E.T.)</i>	58 (13)	61 (10)	--
<i>Rang</i>	42 – 88	46 – 78	
<b>QI Verbal</b>			
<i>Moyenne (E.T.)</i>	61 (15)	61 (9)	--
<i>Rang</i>	46 – 91	50 – 79	
<b>QI Performance</b>			
<i>Moyenne (E.T.)</i>	62 (17)	68 (12)	--
<i>Rang</i>	46 – 96	46 – 83	
<b>Age Mental Verbal<sup>1</sup></b>			
<i>Moyenne (E.T.)</i>	8;4 (2;1)	8;6 (1;5)	--
<i>Rang</i>	5;11 – 14;2	6;6 – 11;6	
<b>Nombre de sujets réussissant Sally Anne OU Smarties</b>	5/16	--	1/15
<b>Nombre de sujets réussissant Sally-Anne ET Smarties</b>	8/16	--	14/15

<sup>1</sup> dérivé du QI verbal à partir de l'équation AMV = AC x QIv / 100

**Tableau 3. Caractéristiques des sujets**

Nous avons recruté les sujets autistes à l'ITTAC (Service de Psychiatrie Infanto-Juvenile du Vinatier, Villeurbanne) et tous répondaient aux critères diagnostiques DSM-IV soit pour Trouble Autistique (n=10) soit pour Trouble Envahissant du Développement Non Spécifié (forme atypique d'autisme) (n=6). Le diagnostic a été établi par un pédopsychiatre sur la base de différentes sources d'informations comprenant entre autre : une évaluation psychologique standardisée, des observations cliniques, une interview avec les parents afin d'établir l'anamnèse et repérer les symptômes autistiques, des questionnaires complétés par les parents et permettant d'évaluer les compétences sociales et comportementales de l'enfant, des évaluations antérieures et des observations scolaires. Afin d'estimer la sévérité des symptômes autistiques, l'échelle CARS (Childhood Autistic Rating Scale) a été complétée pour 12 adolescents : le score moyen était de 31.7 (écart-type = 6), dix obtenant un score correspondant à un autisme léger à modéré et deux obtenant un score correspondant à un autisme sévère. Tous les sujets autistes testés bénéficiaient de prises en charge éducatives et psychothérapeutiques

depuis de nombreuses années.

Nous avons recruté les adolescents avec retard mental à l'ITTAC et à l'Institut Médico-Educatif Yves Farges (Vaulx-en-Velin). Il s'agissait d'une population hétérogène composée de sujets avec retard mental isolé ou avec difficultés modérées d'apprentissage.

Le groupe de sujets normaux était composé d'adolescents scolarisés dans différentes écoles de Villeurbanne et ne présentant aucun trouble neurologique et psychiatrique avéré et aucun retard scolaire.

Les adolescents autistes et avec retard mental étaient appariés sur l'âge chronologique et les quotients intellectuels (QI Total, QI Verbal et QI Performance) établis avec la troisième édition de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants . Bien que les sujets avec retard mental présentaient un QI Performance légèrement plus élevé, la différence n'était pas significative ( $t = -1,2$ ;  $p > 0,24$ ). De plus nous avons apparié l'âge chronologique des sujets normaux avec l'âge mental verbal des sujets autistes et retardés mentaux (ce dernier étant dérivé du QI Verbal).

Le groupe des sujets autistes était essentiellement composé de garçons, ce qui n'était pas le cas des deux groupes témoins. Etant donné cette distribution de sexe inégale, nous avons exécuté une analyse statistique pour mesurer l'effet du genre. Aucun effet significatif du genre n'a été trouvé sur les variables de la tâche.

Les sujets autistes et normaux ont passé deux tâches classiques de fausse croyance : la tâche de Sally & Anne et la tâche des Smarties . Tous les sujets ont réussi les questions-contrôle (mémoire et réalité). Huit des seize sujets autistes ont réussi les deux tâches de fausse croyance, alors que cinq sujets ont réussi seulement une des deux épreuves et trois ont échoué les deux épreuves. Quatorze des quinze sujets normaux ont réussi les deux tâches alors que seulement un sujet a échoué une des deux tâches (Tableau 3). Les résultats des sujets retardés mentaux pour les tâches de fausse croyance ne sont pas disponibles. Etant donné la proportion élevée de sujets autistes qui ont réussi les tâches de fausse croyance, l'analyse de corrélation Pearson a été réalisée pour examiner si la performance dans ces épreuves était corrélée avec l'âge mental verbal, comme suggéré par Happé . La performance dans les tâches de fausses croyances était effectivement corrélée avec l'âge mental verbal ( $r = 0,66$ ;  $z = 2,84$ ;  $p = 0,004$ ).

## **Stimuli**

Nous avons présenté aux sujets des séquences de cinq images. Chaque image représentait un événement ou une partie d'une activité familière. Les images ont été réalisées en noir et blanc sur une carte de 5 X 7 cm par une dessinatrice professionnelle.

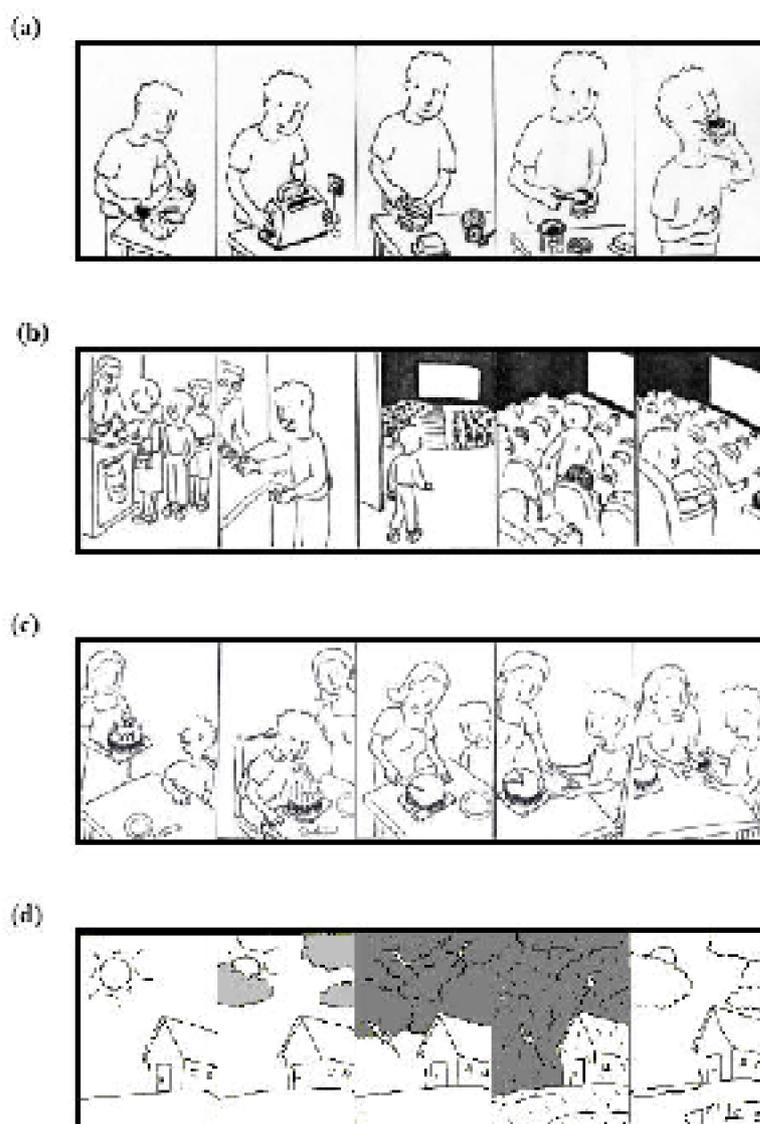
Nous avons utilisé quatre types de séquences (Figure 1) :

(1) *Actions courtes* : 8 séquences d'actions intentionnelles réalisées par un seul personnage dans un contexte spatio-temporel limité (*préparer une tartine, boire un verre de coca, aller se coucher, se laver les mains, se laver les dents, faire chauffer du lait, téléphoner, s'habiller*) (Fig. 1a).

(2) *Actions longues* : 8 séquences d'actions intentionnelles réalisées par un seul personnage dans un contexte spatio-temporel plus vaste (*aller au cinéma, prendre le bus, prendre le train, prendre l'ascenseur, aller chercher le courrier, sortir le chien, envoyer une lettre, acheter un magazine*) (Fig. 1b).

(3) *Interactions entre personnes* : 8 séquences d'actions intentionnelles reposant sur l'interaction entre deux personnages engagés dans des routines sociales mais ne nécessitant pas l'attribution d'états mentaux (*aller chez le docteur, commander un repas au restaurant, acheter un gâteau dans une boulangerie, aller chez le coiffeur, fêter son anniversaire, offrir un bonbon, acheter une glace, décorer un sapin de Noël avec sa mère*) (Fig. 1c).

(4) *Événements physiques* : 8 séquences d'événements physiques ou d'interaction causale entre des objets (*un vase tombant d'une table, un ballon éclatant sur la branche d'un arbre, un nid tombant d'un arbre, un poussin brisant sa coquille, un éclair brisant une branche, un rocher dévalant une montagne, une dynamite faisant exploser un tas de pierre, un orage éclatant au-dessus d'une maison*) (Fig. 1d). Les séquences physiques étaient utilisées comme condition contrôle.



**Figure 1.** Exemples des quatre types de séquences : a) actions courtes ; b) actions longues ; c) interactions entre personnes ; d) événements physiques.

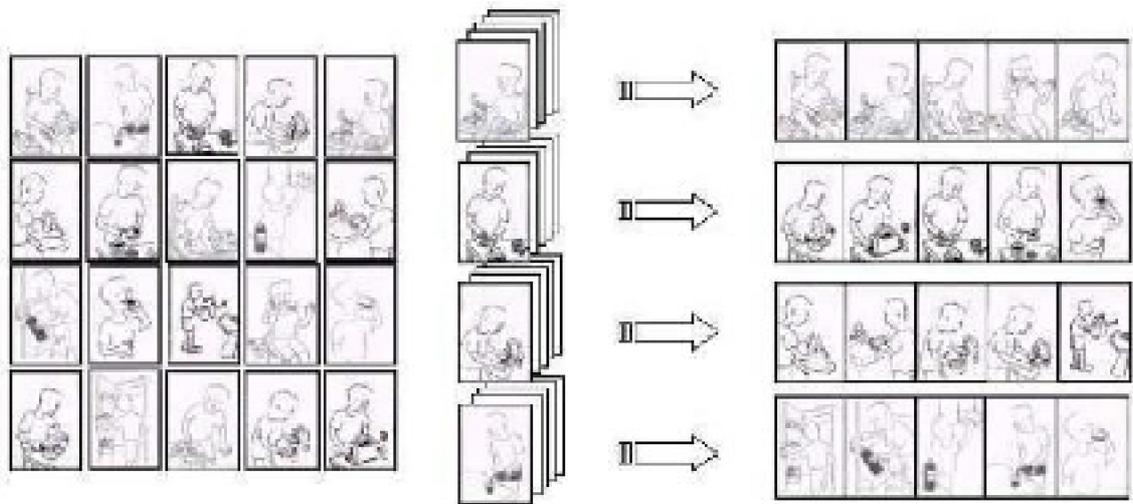
### Procédure

Les sujets autistes et avec retard mental ont été testés au sein des institutions qui assurent leur prise en charge, et les sujets normaux ont été testés au sein des écoles. Dans chacun des lieux, une salle ou un bureau avait été mis à disposition : chaque sujet était donc seul avec l'expérimentateur.

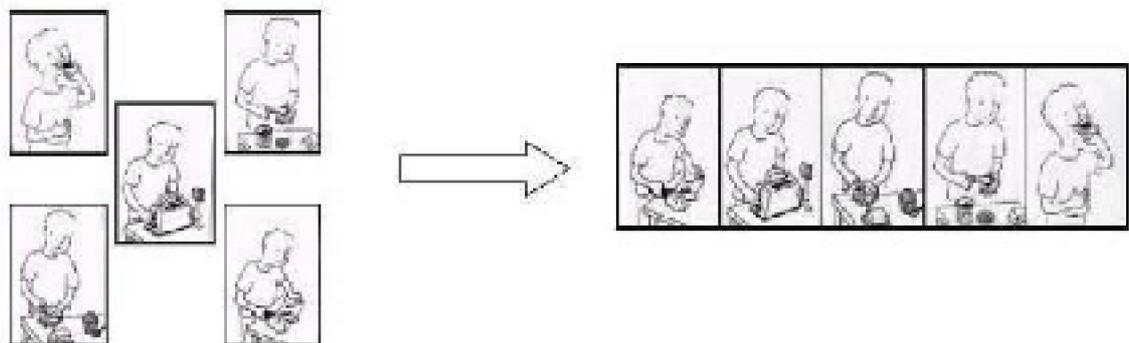
La tâche des sujets consistait à replacer dans l'ordre une série d'images afin de construire une histoire logique. Les sujets devaient donner un titre à chaque séquence et en cas de difficulté l'expérimentateur les aidait. Afin de contrôler tout problème perceptif ou attentionnel pouvant affecter la compréhension du contenu des images, les sujets devaient décrire chaque image. Si les sujets avaient des difficultés à comprendre les images, l'expérimentateur les aidait en leur expliquant le contenu de chaque image.

L'expérimentateur vérifiait régulièrement que les sujets comprenaient et retenaient les instructions en leur demandant de répéter les instructions et en leur rappelant fréquemment.

Deux conditions étaient proposées : une condition dite non mélangée et une condition dite mélangée. Dans la condition mélangée, les images de quatre séquences différentes appartenant au même type d'actions (courtes, longues, interactions ou physiques) étaient présentées simultanément et mélangées les unes avec les autres. Dans un premier temps, les sujets devaient trier les images appartenant à chacune des séquences et, dans un deuxième temps, mettre les images de chaque séquence dans le bon ordre.



Dans la condition non mélangée, les images d'une seule séquence étaient présentées à la fois, et les sujets devaient seulement arranger les images dans le bon ordre. Cette condition non mélangée devait permettre de réduire les demandes en mémoire de travail. En effet dans la condition mélangée, la présentation simultanée des images appartenant à quatre histoires différentes implique le traitement d'une grande quantité d'informations, ce qui pourrait augmenter les demandes attentionnelles et de mémoire de travail.



Tous les sujets réalisaient les deux conditions, c'est-à-dire que chaque séquence d'images était présentée deux fois : une fois dans la condition non mélangée et une fois dans la condition mélangée. L'ordre de passation des conditions était contrebalancé et les différents types de séquences dans les deux conditions étaient présentés de manière

semi-aléatoire.

Une fois que les sujets avaient terminé la séquence ou l'ensemble de quatre séquences, l'expérimentateur notait l'ordre dans lequel les images étaient placées et le temps total nécessaire. Les sujets avaient alors la possibilité de vérifier leur production et de se corriger s'ils repéraient une erreur.

### **Analyses statistiques**

Nous avons réalisé des ANOVA à mesures répétées entre les deux facteurs groupe et condition. Nous avons utilisé le test exact de Fisher pour les analyses post-hoc. Le seuil de significativité considéré pour ces analyses était  $p < .05$ .

Nous avons analysé les variables suivantes :

**Temps de regroupement.** Nous avons calculé le temps de réponse moyen nécessaire pour trier les cinq images appartenant à chaque séquence. Cette variable mesure la capacité du sujet à identifier les liens thématiques et sémantiques reliant les composants de chaque séquence.

**Temps de mise en ordre des séquences.** Nous avons calculé le temps moyen nécessaire pour arranger les images selon l'ordre approprié dans les conditions mélangée et non mélangée.

**Erreurs de fusion.** Une erreur de fusion se produit dans la condition mélangée quand le sujet introduit une image qui n'appartient pas à la séquence considérée. Une autre erreur de fusion possible consiste en la fusion de deux ou plusieurs séquences. Dans ce cas, les sujets ne définissent pas de manière appropriée le début et la fin de chaque séquence et produisent une séquence plus longue en ignorant l'absence de lien logique ou causal entre des événements séquentiellement et causalement éloignés.

**Erreurs de séquence.** Nous avons mesuré le nombre moyen d'erreurs réalisées pour mettre en ordre les images de chaque séquence dans les conditions mélangée et non mélangée. Nous avons considéré comme erreurs de séquence les inversions entre deux événements c'est-à-dire quand un événement ne peut pas être la conséquence physique ou logique de l'événement suivant.

**Position de l'erreur dans la séquence.** Cette analyse permet de déterminer les événements mal placés à l'intérieur de chaque séquence. Une erreur peut se produire (a) au début de la séquence quand le sujet est incapable de commencer la séquence avec la bonne image ; (b) au milieu de la séquence quand un ou plusieurs événements centraux sont intervertis ; (c) à la fin de la séquence quand le sujet est incapable d'identifier l'événement ou le but final. Nous avons analysé la position des erreurs commises seulement pour les sujets autistes et uniquement dans la condition non mélangée.

## **Résultats**

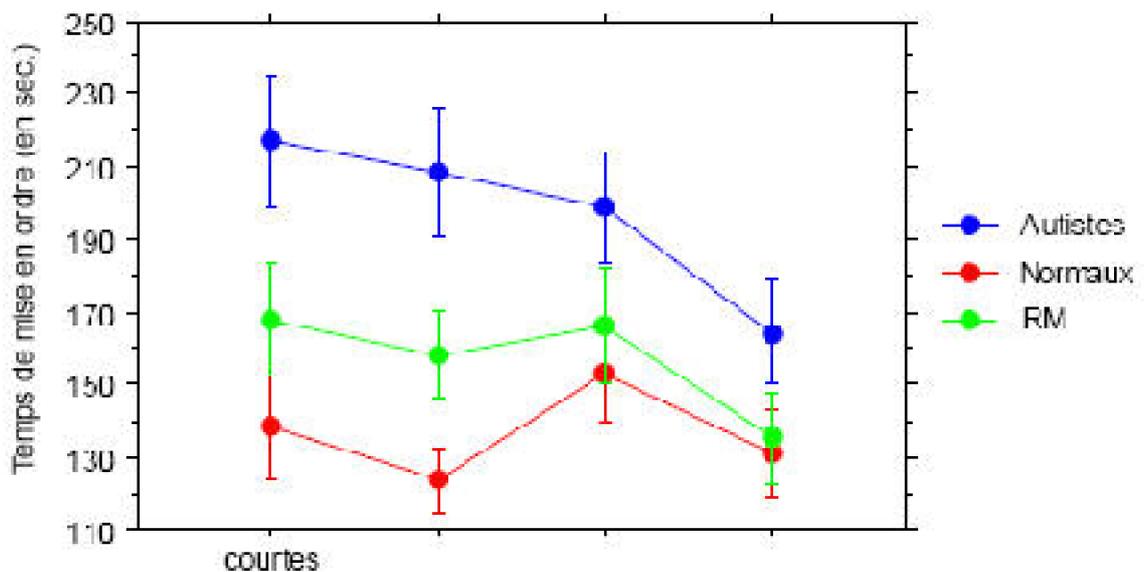
---

**Temps de regroupement.** La différence entre les groupes n'était pas significative [ $F(2, 40) = 3, p = .059$ ] bien que les sujets autistes avaient tendance à être plus lents que les sujets normaux. En revanche, il existait un effet très significatif du facteur catégorie [ $F(3,$

40) = 9.5,  $p < .0001$ ]. Les sujets étaient plus lents pour regrouper les séquences d'actions longues par rapport aux séquences d'actions courtes ( $p = 0.003$ ), aux séquences interactions ( $p < .0001$ ) et aux événements physiques ( $p < .0001$ ). Le temps nécessaire pour regrouper les séquences d'actions courtes était également plus long que celui nécessaire pour regrouper les événements physiques ( $p = .03$ ).

L'interaction groupe par catégorie n'était pas significative.

**Temps de mise en ordre.** Les effets simples des facteurs groupe [ $F(2, 40) = 4.5$ ,  $p = .016$ ] et catégorie [ $F(3, 40) = 11.2$ ,  $p < .0001$ ] étaient significatifs ainsi que l'interaction groupe par catégorie [ $F(6, 120) = 2.4$ ,  $p = .03$ ] (Figure 2).



**Figure 2.** Temps de mise en ordre pour chacun des groupes en fonction du type de séquences

Les sujets autistes étaient plus lents que les sujets normaux et avec retard mental pour mettre en ordre les séquences d'actions courtes (respectivement,  $p < .0009$  and  $p = .03$ ) et longues (respectivement,  $p < .0001$  and  $p = .01$ ).

Par ailleurs, les sujets autistes étaient plus lents que les sujets normaux pour mettre en ordre les séquences interactions ( $p = .02$ ), alors qu'ils ne différaient pas des sujets avec retard mental ( $p = .12$ ). L'effet de la catégorie était lié au fait que les sujets étaient plus lents pour arranger les séquences d'actions courtes ( $p < .0001$ ), longues ( $p < .0001$ ) et interactions ( $p < .0001$ ) par rapport aux événements physiques.

Il n'existait pas d'effet de la condition (mélangée vs non mélangée) [ $F(1, 40) = 3$ ,  $p = .08$ ] ni d'interaction groupe par condition [ $F(2, 40) = 1.8$ ,  $p = .17$ ].

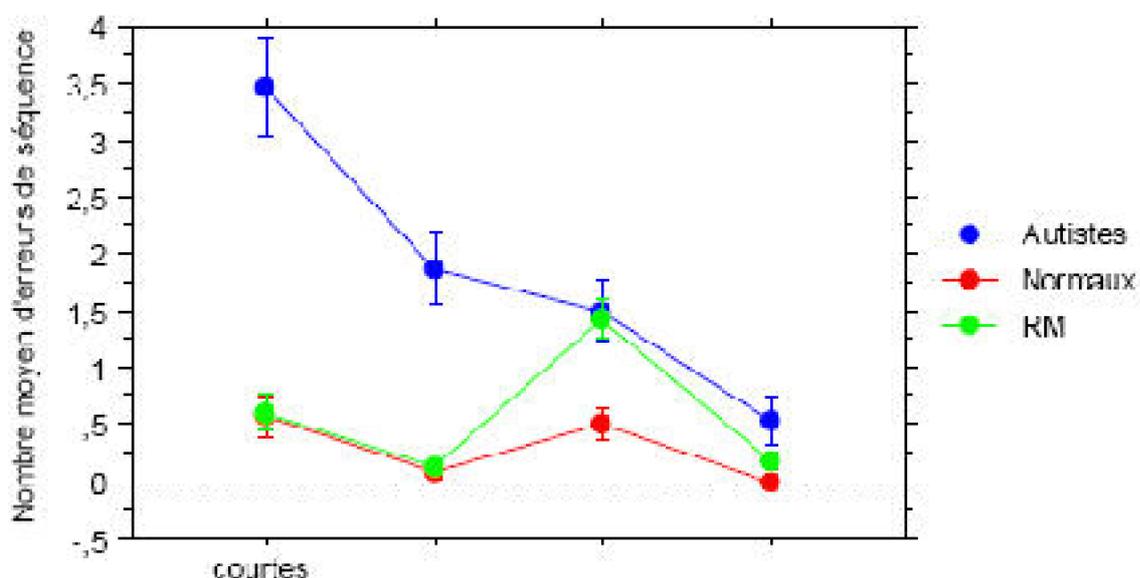
**Erreurs de fusion.** Nous n'avons pas observé d'effet des facteurs groupe et catégorie sur le nombre d'erreurs de fusion. Les sujets normaux n'ont fait aucune erreur de fusion alors que les sujets autistes et avec retard en mental en ont réalisé quelques-unes (respectivement, nombre moyen d'erreurs = 0.094 et 0.036).

**Erreurs de séquence.** Nous avons observé des effets très significatifs des facteurs groupe [ $F(2, 40) = 18.2$ ,  $p < .0001$ ] et catégorie [ $F(3, 40) = 15.1$ ,  $p < .0001$ ], ainsi qu'un effet

significatif de l'interaction groupe par catégorie [ $F(6, 120) = 8.1, p < .0001$ ].

Les sujets autistes faisaient plus d'erreurs de séquence que les sujets contrôles normaux et avec retard mental (pour les deux groupes contrôles,  $p < .0001$ ). Des analyses post-hoc ont montré que le nombre d'erreurs était plus important sur les séquences d'actions courtes ( $p < .0001$ ), longues ( $p = .01$ ) et interactions ( $p < .0001$ ) par rapport aux séquences physiques. D'autre part, le nombre d'erreurs sur les séquences d'actions courtes était plus important que le nombre d'erreurs sur les séquences d'actions longues ( $p < .0001$ ) et les séquences d'interactions ( $p = .008$ ) (Figure 3).

L'effet d'interaction significatif était dû au fait que les sujets autistes commettaient plus d'erreurs sur les séquences d'actions courtes et longues que les sujets normaux et avec retard mental ( $p < .0001$ ) ; alors qu'ils réalisaient un nombre plus important d'erreurs sur les séquences d'interactions seulement par rapport aux sujets normaux ( $p = .0008$ ). Il n'y avait pas de différence entre les groupes pour les séquences d'événements physiques.



**Figure 3.** Nombre moyen d'erreurs de séquence pour chacun des groupes en fonction du type de séquences

Pour la séquence « aller au lit », un sujet autiste a construit la séquence suivante : (1) entrer dans la chambre ; (2) mettre son pyjama ; (3) se déshabiller ; (4) se mettre dans le lit ; (5) éteindre la lumière. Pour la séquence « prendre le bus », un autre sujet autiste a produit la séquence suivante : (1) aller à l'arrêt du bus ; (2) attendre le bus ; (3) s'asseoir dans le bus ; (4) descendre du bus ; (5) monter dans le bus. Nous avons remarqué que plusieurs sujets autistes plaçaient facilement quatre images dans l'ordre correct mais étaient en difficulté pour insérer la dernière image. Comme dans l'exemple suivant – la séquence « préparer une tartine » – un sujet autiste n'a pas réussi à placer la carte « mettre de la confiture sur la tranche de pain » après avoir correctement arrangé les quatre autres cartes : (1) couper une tranche de pain ; (2) faire griller une tranche de pain ; (3) beurrer une tranche de pain ; (4) manger la tartine.

La seule différence significative ( $p = 0.002$ ) observée entre sujets avec retard mental et

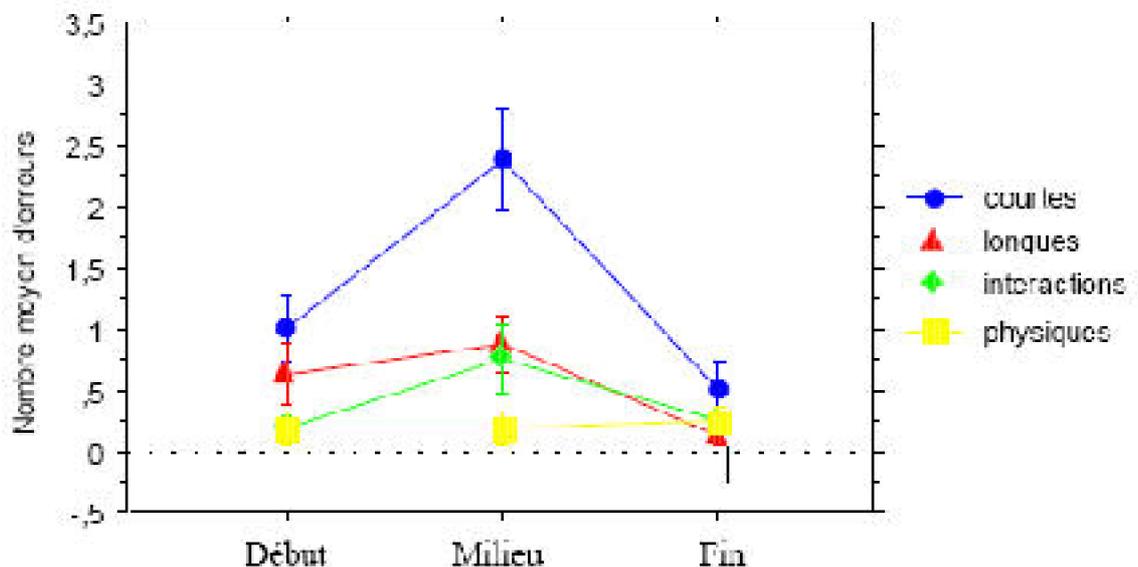
sujets normaux portait sur les séquences d'interactions : les sujets avec retard mental réalisant plus d'erreurs que les sujets normaux sur ce type de séquence.

Nous n'avons pas observé d'effet de la condition (mêlée vs non mêlée) sur le nombre d'erreurs de séquence.

**Position de l'erreur dans la séquence.** Les inversions d'événements n'étaient pas distribuées de manière équivalente à l'intérieur de la séquence [ $F(2, 15) = 21.9, p < .0001$ ]. Le test post-hoc de Fisher a montré que le nombre d'erreurs était plus important au milieu de la séquence qu'au début ou à la fin (pour les deux,  $p < .0001$ ).

Nous avons observé des effets significatifs du facteur catégorie [ $F(3, 15) = 11.6, p < .0001$ ] et de l'interaction position par catégorie [ $F(6, 45) = 6.3, p < .0001$ ]. L'interaction était liée au fait que :

- pour les séquences simples, le nombre d'erreurs était plus important au milieu par rapport au début ET à la fin de la séquence ;
- pour les séquences longues, le nombre d'erreurs était plus important au milieu uniquement par rapport à la fin de la séquence ( $p = .01$ ) ;
- pour les séquences d'interactions, les erreurs au milieu étaient plus nombreuses mais uniquement par rapport au début de la séquence ( $p = 0.03$ ) ;
- et il n'y avait aucune différence dans la position des erreurs pour les séquences d'événements physiques (Figure 4).



**Figure 4.** Nombre moyen d'erreurs en fonction de leur position dans la séquence pour le groupe des sujets autistes

## Discussion de l'expérience 1

L'objectif de cette étude était d'évaluer la capacité des sujets autistes à trier et produire des arrangements cohérents de séquences d'actions afin de mieux comprendre leur

capacité de représentation de l'action.

Nous avons montré que les sujets autistes présentaient des difficultés spécifiques à mettre en ordre des séquences d'actions dirigées vers un but, courtes et longues, par rapport aux deux groupes contrôles. Alors que les sujets autistes ont réalisé un nombre plus important d'erreurs de séquence que les sujets normaux pour les trois types de séquences d'actions, leur performance ne différait pas de celle des sujets avec retard mental concernant les séquences d'interactions entre personnes. De plus, les sujets autistes ont eu besoin de plus de temps que les sujets normaux et avec retard mental pour arranger les actions appartenant aux séquences courtes et longues. Aucune différence n'a été retrouvée entre les trois groupes de sujets concernant les histoires physiques. Ainsi, les difficultés de mise en séquences observées chez les sujets autistes semblent liées aux actions dirigées vers un but et elles ne peuvent être expliquées par un déficit général de traitement des aspects séquentiels.

Il est important de remarquer que la performance des trois groupes de sujets n'a pas variée en fonction des conditions mélangée et non mélangée, suggérant que les erreurs de séquence ne sont pas la conséquence d'une augmentation des ressources attentionnelles et de mémoire de travail puisqu'elles ont été minimisées dans la condition non mélangée.

Les sujets autistes ont donc réalisé un nombre plus important d'erreurs sur les séquences d'actions courtes et à un moindre degré sur les séquences d'actions longues, par rapport aux autres types de séquences. Ainsi plus les séquences impliquaient la connaissance de la fonction d'objets familiers et des actions associées à leur utilisation, plus les sujets autistes réalisaient des erreurs. Des difficultés similaires ont été observées chez des patients avec apraxie idéatoire . Par ailleurs, ce résultat est en accord avec les données cliniques et expérimentales qui mettent en évidence des troubles dans l'utilisation d'objets et dans l'imitation d'actions chez les enfants autistes. Il est vrai que l'imitation d'actions avec des objets est moins sévèrement atteinte que l'imitation de gestes symboliques ou non symboliques . Toutefois, il n'est pas exclu que les enfants autistes soient aidés par des programmes moteurs plus automatisés ou par l'affordance des objets dans les tâches d'imitation d'actions. Ainsi, Hammes et Langdell ont montré que les enfants autistes avaient tendance à réaliser l'action habituellement associée à l'objet plutôt que d'imiter l'action réalisée par l'expérimentateur (pouvant suggérer une certaine forme de comportement d'utilisation tel qu'observé chez les patients avec lésion frontale). Or selon Jeannerod , les comportements d'utilisation « *traduisent l'asservissement du sujet aux affordances présentes dans l'environnement ; ils donnent en somme une image de ce que serait la vie sans représentations, où l'action serait guidée par les seuls événements du monde extérieur et par les affordances extraites de l'environnement. Chez le sujet normal, heureusement, les lobes frontaux jouent leur rôle normal qui consiste à participer à la construction de représentations et de plans d'action à long terme et à inhiber les réponses aux événements intercurrents et sans rapport avec le but à atteindre* ».

Selon la conception de Shallice, les séquences d'actions de la vie quotidienne et centrées sur les objets sont censées être plus automatisées car plus familières et donc moins sous la dépendance du fonctionnement frontal. Cependant, contrairement à

l'exécution d'actions, une tâche d'arrangement implique de rechercher activement en mémoire des représentations d'action et de les rendre conscientes afin d'analyser leur organisation séquentielle. Lors de l'exécution, la présence d'objets réels permet de nombreuses activations "bottom-up" supplémentaires qui facilitent l'organisation séquentielle. Allain et Le Gall (2004) ont ainsi montré que les patients avec lésion frontale ne réalisaient pas le même type d'erreurs en exécution et en arrangement de scripts. Les patients faisaient beaucoup d'erreurs de séquence et d'omissions dans la tâche d'arrangement. Dans la tâche d'exécution, la fréquence des erreurs de séquence diminuait alors que les patients commettaient nettement plus d'ajouts d'actions, d'attitudes de dépendance et de manifestations comportementales. Il va de soi qu'en exécution une erreur de séquence peut immédiatement conduire à l'impossibilité de poursuivre l'exécution de la tâche ce qui n'est pas le cas en arrangement ou en génération.

Nous pensons que les processus de recherche active en mémoire et d'activation de ces représentations dans un contexte qui n'est pas celui de l'exécution de l'action (activation "off-line") sont des processus complexes qui impliquent le système attentionnel de supervision donc le cortex frontal. Par exemple, si nous vous demandons de décrire, dans l'ordre et le plus précisément possible, toutes les étapes nécessaires pour faire un créneau avec votre voiture : même si vous exécutez cette activité plusieurs fois par jour depuis plusieurs années, il vous faudra un certain temps pour rechercher en mémoire les différentes étapes nécessaires à la réalisation de l'activité, pour maintenir ces étapes en mémoire de travail et pour mettre dans le bon ordre ces étapes. Certains passeront même par le mime des gestes nécessaires à la réalisation de l'activité afin de faciliter l'activation des représentations.

Un autre résultat de notre étude est que les sujets autistes faisaient très peu d'erreurs de fusion et n'avaient pas besoin de plus de temps que les sujets contrôles pour regrouper les images appartenant à chaque séquence et cela quel que soit le type de séquences (courte, longue, interaction et physique). Ils étaient donc capables d'identifier les images appropriées et de les intégrer dans leur contexte approprié. De plus, ils n'ont pas montré de trouble particulier pour décrire verbalement les actions représentées sur les images ou pour identifier le but de chaque séquence. Ces résultats peuvent suggérer que les sujets autistes possèdent une représentation du but et des sous-buts intacte, alors que les processus d'analyse des relations temporelles entre sous-buts et but sont perturbés. Cette hypothèse est renforcée par l'observation d'un nombre plus important d'erreurs de séquence au milieu de la séquence. Un trouble dans la détection du but aurait pu entraîner davantage d'erreurs en fin de séquence.

En d'autres termes, les sujets autistes n'auraient pas de difficulté pour catégoriser les actions c'est-à-dire pour respecter les liens sémantiques entre les actions, alors que les traitements de nature syntaxique seraient déficitaires. Chez les patients frontaux, des difficultés ont été rapportées tant sur les aspects syntaxiques (organisation séquentielle) que sur les aspects sémantiques (organisation catégorielle), bien qu'il semble que la gestion de la dimension sémantique soit préservée pour les actions ayant un fort contenu sémantique. Par ailleurs, des dissociations entre capacité à produire des arrangements temporellement cohérents et capacité à écarter des actions non pertinentes ont pu être

observées chez des patients frontaux suggérant une certaine autonomie entre ces deux processus, d'autant plus qu'ils seraient sous-tendus par des circuits neuronaux distincts au sein du lobe frontal. Le déficit de traitement séquentiel serait lié à des lésions frontales dorsolatérales et le déficit de gestion des distracteurs à des lésions frontales orbitaires .

D'autres études sont néanmoins nécessaires avant de pouvoir exclure une perturbation de la composante sémantique des scripts dans l'autisme. L'utilisation d'un matériel visuel a pu simplifier la catégorisation des différentes actions, certains sujets expliquant clairement trier les cartes en fonction d'un ou plusieurs indices visuels (objets, contexte, etc.). En outre, les actions représentées étaient certainement les plus centrales et donc les plus distinctives pour chaque séquence, limitant dès lors les confusions possibles. Il pourrait être intéressant d'évaluer la performance de sujets autistes dans une tâche de catégorisation de scripts en faisant varier le niveau de centralité et de distinctivité des composants et en ajoutant des distracteurs sémantiques pertinents.

Les résultats de notre étude apparaissent en contradiction avec ceux obtenus dans l'étude de Baron-Cohen, Leslie, & Frith . Dans cette étude, les enfants autistes étaient capables d'arranger des séquences d'actions routinières et familières et des séquences d'interactions entre personnes, alors qu'ils avaient des difficultés importantes pour mettre en ordre des séquences impliquant l'attribution d'états mentaux complexes. Cependant, le nombre de séquences présentées était limité (trois à six par condition) et les sujets avaient seulement trois événements à mettre en ordre, la première image étant placée par l'expérimentateur. Cette procédure a pu sensiblement réduire le nombre possible d'erreurs de séquence. Par ailleurs, dans l'étude de Baron-Cohen et al. (1986), les enfants autistes avaient des âges mentaux (verbal et non verbal) supérieurs à ceux des deux groupes contrôles. Ainsi le niveau mental des sujets normaux et avec retard mental pourrait expliquer, du moins en partie, leur faible performance dans l'arrangement des séquences n'impliquant pas la théorie de l'esprit.

Comme nous n'avons pas inclus de séquences impliquant des états mentaux complexes dans notre étude, nous pouvons difficilement pousser plus loin nos interprétations sur ce point. Pourtant, nous notons que les résultats de l'étude de Baron-Cohen et collaborateurs n'ont pas été reproduits dans deux études utilisant pourtant le même matériel et la même procédure. Oswald et Ollendick n'ont ainsi pas retrouvé de différence entre enfants autistes et avec retard mental pour les séquences de théorie de l'esprit. Les résultats pour les autres types de séquence n'ont malheureusement pas été décrits. Ozonoff et al. ont montré que les enfants autistes avaient des difficultés d'arrangement des séquences d'événements physiques et des séquences d'actions mais ne différaient pas des enfants avec retard mental pour les séquences de théorie de l'esprit.

En fait, les enfants avec retard mental réalisaient bien toutes les séquences (entre 5,3 et 6 bonnes réponses sur 6), et particulièrement les séquences d'événements physiques (6 bonnes réponses sur 6), excepté les séquences de théorie de l'esprit (3,9 sur 6). En revanche, les autistes réalisaient peu d'erreurs pour les séquences physiques (5,61 et 5,26 sur 6) mais avaient des difficultés pour les séquences d'actions et les séquences de théorie de l'esprit. Ainsi la différence entre enfants autistes et avec retard mental sur les événements physiques semble plutôt liée à la très bonne performance

des enfants avec retard mental pour ce type de séquences (effet plafond).

Selon Baron-Cohen (1995), les résultats de leur étude permettent de conclure que le détecteur d'intentionnalité fonctionne normalement chez les enfants autistes, tandis que le module de théorie de l'esprit est spécifiquement altéré. En revanche, nos résultats mettent en évidence un déficit dans la formation de relations causales entre les actions pouvant suggérer une atteinte de certaines fonctions du détecteur d'intentionnalité. Certes, les sujets autistes semblent capables de distinguer l'animé (un concept proche de celui d'agentivité) ou encore d'utiliser et d'identifier des états mentaux volitionnels, mais ils ont des difficultés à décrire et analyser les actions dirigées vers un but. Nous rappelons qu'il ne s'agit certainement pas d'un trouble général de la compréhension de la causalité, mais d'un trouble spécifique de la compréhension des actions dirigées vers un but.

Nous allons examiner dans une deuxième étude si un tel déficit de représentation de l'action est également observé au niveau de l'encodage perceptif des actions.

## **Etude 2 : Etude de la perception de l'action dans l'autisme infantile**

### **Justification de l'expérience**

---

La perception du comportement humain est une capacité cognitive importante car elle fournit des indices utilisables pour interpréter l'intention de la personne observée. Selon Baldwin, Baird, Saylor et Clark, la capacité à interpréter le comportement d'autrui en termes intentionnels dépend de compétences de base telle que la capacité à segmenter une action continue en unités pertinentes. Les sujets ne peuvent inférer des intentions que s'ils sont capables d'identifier les composants adéquats à l'intérieur du flux comportemental, et ceux-ci devraient être les composants qui coïncident avec le début et l'achèvement des intentions de l'acteur.

Les activités humaines sont généralement perçues comme des séquences continues d'actions où les transitions entre deux actions semblent souvent floues. Cependant, comme nous l'avons vu, les actions sont organisées de manière hiérarchique : des mouvements (prendre une assiette) sont à la base de séquences d'actions simples (laver l'assiette), elles-mêmes constitutives de séquences plus complexes (faire la vaisselle). Et il semble que cette organisation hiérarchique influence notre perception.

La technique habituellement utilisée pour étudier la capacité à segmenter le flux d'informations provenant de l'observation d'un comportement a été développée par Newton. Elle consiste à demander à des sujets de visionner des vidéos d'événements et d'appuyer sur un bouton chaque fois qu'ils pensent qu'un événement se termine et qu'un autre commence. Les études utilisant ce protocole ont montré que les sujets étaient capables de segmenter en actions discrètes le flux continu du comportement d'un individu et qu'il y avait un fort degré d'accord entre sujets dans les frontières identifiées. Les

frontières avaient tendance à correspondre au moment où les caractéristiques physiques de l'activité étaient modifiées. Ces études ont montré que la perception des actions reposait sur des mécanismes bottom-up (les caractéristiques physiques de l'activité) mais également sur des influences top-down (la représentation d'action). En effet, quand on manipulait le niveau d'analyse, c'est-à-dire quand on demandait aux sujets de segmenter en repérant les frontières soit entre des actions courtes soit entre des actions plus longues, les sujets appuyaient plus souvent pour les actions courtes que pour les actions longues, et les frontières entre les unités longues coïncidaient avec celles des unités courtes. Ainsi, la perception de l'action serait guidée en partie par des mécanismes de représentation de l'action, tout comme dans les activités de planification ou d'imitation.

Ce dernier point tend à être confirmé par des études d'imagerie montrant que le réseau neuronal sous-tendant la planification est également activé pendant la perception d'action. Zacks et al. ont par ailleurs mis en évidence une activation des régions occipito-temporales bilatérales et du cortex frontal droit dans une tâche de segmentation d'action.

Deux études ont mis en évidence des difficultés dans une tâche de segmentation d'action chez des patients avec lésion préfrontale et chez des patients schizophrènes. Les deux groupes de patients présentaient des problèmes dans la détection de frontières pour les actions longues suggérant un déficit dans l'intégration des actions simples en une séquence, en une représentation plus complexe.

Concernant les capacités de segmentation chez l'enfant, les études sont peu nombreuses. Certaines données ont montré que dès 6 mois les enfants étaient capables d'individualiser les actions d'une séquence comportementale et vers 10-11 mois ils étaient sensibles aux actions segmentées suivant des frontières intentionnelles.

Une étude chez des enfants d'âge scolaire a employé un paradigme comparable à celui utilisé chez l'adulte sur des séquences d'animation de figures géométriques. Cette étude a montré que les enfants utilisaient des stratégies de découpage d'un continuum en unités discrètes et que ces stratégies devenaient de plus en plus efficaces avec l'âge. Toutefois il y avait peu d'accord dans les unités identifiées par les enfants mais à noter que l'attention des enfants n'était pas orientée sur des niveaux d'analyse différents (c'est-à-dire qu'il n'y avait pas de distinction entre des actions courtes et des actions longues). Thommen considérait que la segmentation d'un continuum en unités discrètes était une activité cognitive complexe non immédiatement réalisable par les enfants : avant 7 ans, ceux-ci ne comprendraient pas la tâche demandée.

L'expérience qui va être décrite a consisté à adapter le paradigme de segmentation d'action utilisé habituellement chez les sujets adultes normaux afin d'évaluer les capacités de perception et de segmentation de séquences d'actions chez des personnes autistes.

---

## **Méthode**

### **Participants**

Nous avons testé différents groupes de sujets :

---

protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

- 7 jeunes adultes (7 hommes) et 8 enfants autistes (1 fille, 7 garçons) ;
- 6 jeunes adultes (6 hommes) et 7 enfants présentant un retard mental (2 filles, 5 garçons) ;
- 17 jeunes adultes (2 femmes, 15 hommes) et 29 enfants normaux de différents niveaux d'âge : 10 enfants d'environ 8 ans (5 filles, 5 garçons) ; 9 enfants d'environ 12 ans (4 filles, 5 garçons) et 10 adolescents d'environ 15 ans (10 garçons).

Les sujets autistes ont été recrutés à l'ITTAC (Service de Psychiatrie Infanto-Juvenile du Vinatier, Villeurbanne) et tous répondaient aux critères diagnostiques DSM-IV (American Psychiatry Association, 2000) soit pour Trouble Autistique (4 adultes autistes et 7 enfants autistes) soit pour Trouble Envahissant du Développement Non Spécifié (3 adultes autistes et 1 enfant autiste). Le diagnostic a été établi par un psychiatre du service sur la base de différentes sources d'informations telles qu'énoncées dans l'expérience précédente. La sévérité des symptômes autistiques a été évaluée avec l'échelle CARS (Childhood Autistic Rating Scale) pour 5 des adultes (score moyen = 32.4, minimum 26 et maximum 44.5), et pour 6 des enfants (score moyen = 31.5, minimum 26.5 et maximum 36). Tous les sujets autistes testés bénéficiaient de prises en charge éducatives et psychothérapeutiques depuis de nombreuses années.

Les enfants avec retard mental ont également été recrutés à l'ITTAC et constituaient une population hétérogène composée de sujets avec retard mental isolé ou avec difficultés modérées d'apprentissage.

Nous avons recruté les adultes avec retard mental dans un atelier protégé et un CAT.

Les groupes d'enfants normaux étaient composés d'enfants et d'adolescents scolarisés dans différentes écoles et collèges de Villeurbanne et de Lyon. Ces enfants ne présentaient aucun trouble neurologique et psychiatrique avéré et aucun retard scolaire.

Les jeunes adultes normaux étaient des étudiants de niveau baccalauréat à baccalauréat + 2.

Les enfants autistes et avec retard mental étaient appariés sur les quotients intellectuels (QI Total, QI Verbal et QI Performance) établis avec la troisième édition de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants . En ce qui concerne l'âge chronologique, les enfants autistes étaient plus âgés que les enfants avec retard mental et les enfants de 8 ans (ces deux groupes ne différant pas entre eux), mais ils étaient plus jeunes que les enfants de 12 et 15 ans. Les caractéristiques des sujets sont présentées en détail dans le Tableau 4.

Tous les enfants ont passé deux tâches de fausse croyance : la tâche de Sally & Anne et la tâche des Smarties . Tous les enfants normaux réussissaient ces tâches, ce qui était attendu au vu de leur âge. Trois enfants autistes ont échoué les deux tâches et deux enfants autistes ont échoué seulement la tâche des Smarties. Un enfant avec retard mental a échoué les deux tâches et un autre a échoué seulement la tâche de Sally et Anne. Le test exact de Fisher a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative en ce qui concerne le nombre d'enfants autistes et avec retard mental échouant une des deux tâches de théorie de l'esprit.

Les adultes autistes et avec retard mental étaient appariés sur l'âge chronologique et les quotients intellectuels (QI Total, QI Verbal et QI Performance) établis avec la troisième édition de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes . Les caractéristiques des sujets sont présentées en détail dans le Tableau 5.

Nous avons proposé les deux tâches de théorie de l'esprit aux adultes autistes et avec retard mental. Tous les adultes avec retard mental ont réussi les deux tâches alors que deux adultes autistes ont échoué une des deux tâches.

## **Stimuli**

Nous avons réalisé des séquences vidéo représentant des activités de la vie quotidienne. Chaque activité respectait un ordre temporel naturel et possible dans la vie réelle. Toutes les séquences vidéo étaient muettes, en couleur, avec un seul acteur et seulement les objets nécessaires à l'activité. Avant l'enregistrement l'acteur était familiarisé avec un script préétabli précisant les étapes essentielles de l'activité. Il était demandé à l'acteur d'effectuer lentement mais de manière fluide les gestes nécessaires.

Nous avons utilisé à titre d'exemple une séquence vidéo représentant un enfant en train de faire de la peinture. La séquence était présentée de façon segmentée, étape par étape, tout en expliquant aux sujets que l'on peut « découper » une action en différentes étapes. La séquence comportait les étapes suivantes : « *l'enfant prend un verre sur la table, ouvre un robinet, remplit le verre d'eau, ferme le robinet, pose le verre sur la table, s'assied, ouvre la boîte de peinture, prend le pinceau, mouille son pinceau, prend de la peinture, dessine sur la feuille, rince son pinceau, l'essuie avec un chiffon, le repose dans la boîte, ferme la boîte de peinture et montre son dessin.* »

Dans la phase expérimentale, nous avons utilisé quatre séquences vidéo différentes :

1. une séquence d'essai représentant une personne qui met la table.

« *Une personne entre dans la pièce, se dirige vers le buffet, prend un dessous-de-plat et le pose sur la table. Elle ouvre une porte du buffet, prend deux assiettes et les pose sur la table. Elle prend deux verres et les pose sur la table. Elle referme la porte du buffet. Elle ouvre un tiroir, prend deux fourchettes, les pose sur la table et fait de même avec deux couteaux et deux cuillères, puis referme la porte du tiroir. La personne sort de la pièce.* »

2. et trois séquences test :

a) une séquence représentant une personne qui se lave les dents.

« *Une personne entre dans une salle de bain. Elle prend une brosse à dents. Elle prend le tube de dentifrice. Elle ouvre le tube de dentifrice et met du dentifrice sur la brosse à dents. Elle referme et repose le tube de dentifrice. Elle ouvre le robinet, mouille la brosse à dents et se brosse les dents. Elle pose la brosse à dents, prend un verre, remplit le verre d'eau. Elle boit un peu d'eau pour se rincer et recrache l'eau (trois fois de suite). Elle repose le verre. Elle passe sa main sous l'eau et se nettoie la bouche. Elle prend la brosse à dents, la rince et la range. Elle ferme le robinet. Elle prend la serviette, s'essuie les mains et la bouche et quitte la pièce.* »

Cette séquence durait 1 minute et 27 secondes et comprenait 2178 images (1 image toutes les 0,04 secondes).

b) une séquence représentant une personne qui se sert un verre de coca.

*« Une personne entre dans une cuisine. Elle ouvre la porte du réfrigérateur, cherche quelque chose, prend une bouteille de coca et ferme la porte du réfrigérateur. Elle pose la bouteille sur l'évier. Elle ouvre la porte du placard, cherche quelque chose, prend un verre, le pose près de la bouteille et ferme la porte du placard. Elle prend la bouteille, l'ouvre, verse le coca dans le verre et referme la bouteille. Elle ouvre la porte du réfrigérateur, pose la bouteille et referme la porte du réfrigérateur. Elle prend le verre et boit. »*

Cette séquence durait 1 minute et 6 secondes et comprenait 1650 images (1 image toutes les 0,04 secondes).

c) une séquence représentant une personne qui prépare du café

*« Une personne entre dans une cuisine. Elle soulève le capot de la cafetière, regarde s'il y a de l'eau et referme le capot. Elle prend la verseuse, se dirige vers l'évier, ouvre le robinet, remplit la verseuse d'eau et ferme le robinet. Elle retourne vers la cafetière, soulève le couvercle, met l'eau dans la cafetière et repose la verseuse. Elle prend une boîte de filtres, ouvre la boîte, prend un filtre, ferme la boîte et la repose. Elle ouvre le filtre et le place dans la cafetière. Elle prend un paquet de café et une cuillère, ouvre le paquet, prend une cuillère de café et met le café dans la cafetière (trois fois de suite). Elle met la cuillère dans le paquet, ferme et repose le paquet. Elle ferme le capot de la cafetière, appuie sur le bouton de mise en marche et sort de la pièce. »*

Cette séquence durait 1 minute et 34 secondes et comprenait 2363 images (1 image toutes les 0,04 secondes).

Nous avons supposé que la familiarité des activités utilisées dans les séquences test était différente : l'activité « se laver les dents » est une activité de tous les jours, quotidienne ; l'activité « boire un verre de coca » est une activité familière, habituelle mais pas obligatoirement quotidienne ; l'activité « préparer du café » est une activité beaucoup moins familière en tout cas pour les tranches d'âge des sujets que nous avons testés.

## Procédure

La tâche de segmentation était expliquée aux sujets à partir de la séquence exemple (l'enfant qui fait de la peinture). Nous donnions la consigne suivante : *« Regardez bien cet enfant. Il veut faire un dessin avec de la peinture. Vous voyez, on peut découper ce qu'il fait en différentes parties, comme ceci »* (les différentes actions apparaissaient les unes après les autres, dans l'ordre, et étaient dénommées oralement).

Ensuite, les sujets visualisaient trois fois chaque séquence essai et test. La présentation des séquences test était contrebalancée selon un ordre semi-aléatoire (trois ordres possibles : dents coca café ; coca café dents ; café dents coca).

Lors de la première visualisation, les sujets devaient appuyer sur un bouton chaque fois qu'ils pensaient qu'un événement était terminé et qu'un autre commençait. Cette

étape était appelée phase de **segmentation spontanée** (intitulée par la suite **FREE**). La consigne suivante était donnée : « *Vous allez voir sur cet écran des petits films. Je veux que vous soyez très attentif car vous allez devoir appuyer sur cette touche chaque fois que le personnage a fini de faire quelque chose et qu'il commence à faire autre chose. Pour voir si vous avez bien compris, nous allons faire un essai.* »

Les sujets réalisaient la séquence "essai" et nous nous assurons que la tâche était bien comprise. En cas de difficultés, la consigne était réitérée et l'essai proposé autant de fois que nécessaire. Une fois l'essai réalisé, nous présentions aux sujets les trois séquences test et nous leur donnions la consigne suivante : « *C'est bien. Maintenant, je vais vous montrer 3 petits films et donc, pour chaque film, vous allez appuyer sur cette touche dès que le personnage a fini de faire quelque chose et qu'il commence à faire autre chose. Vous êtes prêt ?* »

A la fin de la première visualisation de chaque séquence, nous posions aux sujets les questions suivantes :

a) une question d'identification : « *Donnez-moi le titre de cette histoire ?* »

b) rappel libre : « *Racontez-moi tout ce que la personne a fait ?* »

c) des questions de reconnaissance : « *Répondez par oui ou par non : est-ce que vous avez vu la personne faire telle ou telle action ?* ». Six questions étaient posées dont trois vraies et trois fausses. L'ordre des questions vraies et fausses était aléatoire mais le même pour tous les sujets.

Pendant la deuxième et la troisième visualisation, l'attention des sujets était orientée soit vers un niveau de **segmentation en petites unités** (intitulé **SMALL**) soit vers un niveau de **segmentation en grandes unités** (intitulé **LARGE**). L'ordre de présentation de ces deux types de segmentation était contrebalancé entre les sujets. Les consignes suivantes étaient données : « *Dans une activité, comme celles que vous venez de voir, on peut distinguer des actions courtes et des actions longues. Par exemple, dans l'activité « aller au cinéma », on a des actions longues comme « acheter un billet », « prendre des pop-corn » et « trouver un siège ». Chacune de ces actions longues inclut des actions plus courtes. Par exemple, « acheter un billet » inclut « prendre son porte-monnaie », « ouvrir son porte-monnaie », « prendre de l'argent » et « donner l'argent pour acheter un billet ».*

Pour la segmentation en petites unités, nous complétions de la manière suivante : « *Vous allez revoir les mêmes films. Je veux que vous soyez très attentif car cette fois vous allez devoir appuyer sur cette touche chaque fois que le personnage fait une action courte. Par exemple, dans l'activité « aller au cinéma », une action courte pourrait être « ouvrir son porte-monnaie » alors qu'une action plus longue serait « acheter un billet ». Je veux que vous appuyiez sur la touche pour toutes les actions courtes. Pour voir si vous avez bien compris nous allons faire un essai.* »

Les sujets réalisaient la séquence "essai" et nous nous assurons que la tâche était bien comprise. En cas de difficultés, la consigne était réitérée et l'essai proposé autant de fois que nécessaire. Une fois l'essai réalisé, nous présentions aux sujets les trois séquences test et nous leur donnions la consigne suivante : « *C'est bien. Maintenant, je*

*vais vous remonter les 3 petits films et donc, pour chaque film, vous allez appuyer sur cette touche dès que le personnage fait une action courte. Vous êtes prêt ? »*

Pour la segmentation en grandes unités, nous complétions de la manière suivante : « *Vous allez revoir les mêmes films. Je veux que vous soyez très attentif car cette fois vous allez devoir appuyer sur cette touche uniquement quand le personnage fait une action longue, une action importante. Par exemple, dans l'activité « aller au cinéma », une action longue pourrait être « acheter un billet », alors qu'une action courte serait plutôt « ouvrir son porte-monnaie ». Je veux que vous appuyiez sur la touche uniquement pour les actions longues, les actions importantes. Pour voir si vous avez bien compris nous allons faire un essai. »*

Les sujets réalisaient la séquence "essai" et nous nous assurons que la tâche était bien comprise. En cas de difficultés, la consigne était réitérée et l'essai proposé autant de fois que nécessaire. Une fois l'essai réalisé, nous présentions aux sujets les trois séquences test et nous leur donnions la consigne suivante : « *C'est bien. Maintenant, je vais vous montrer une dernière fois les 3 petits films et donc, pour chaque film, vous allez appuyer sur cette touche dès que le personnage fait une action longue, une action importante. Vous êtes prêt ? »*

Entre la deuxième et la troisième visualisation s'écoulait un délai d'une dizaine de minutes pendant lesquelles les sujets réalisaient une autre tâche (tâche de théorie de l'esprit pour les groupes pathologiques et les enfants, tâche de répétition de séries de chiffres à l'endroit et à l'envers pour les adolescents et adultes normaux). Cette tâche intermédiaire avait pour but de faciliter le passage d'un niveau de segmentation à un autre et d'éviter une certaine persévération sur la consigne précédente.

L'expérimentateur répétait avant la visualisation de chaque séquence et aussi souvent que nécessaire les instructions et le niveau de segmentation recherché.

### **Analyses statistiques**

Nous avons réalisé les analyses statistiques suivantes : le test U de Mann-Whitney pour analyser l'effet du facteur groupe et l'Anova de Friedman et le test de Wilcoxon pour analyser l'effet du type de segmentation.

Le seuil de significativité considéré pour ces analyses était  $p < .05$ .

Nous avons analysé les variables suivantes :

**Nombre d'actions énoncées dans la tâche de rappel libre.** Nous avons calculé le nombre d'actions énoncées pour chaque séquence.

Pour les groupes pathologiques, nous avons analysé la qualité des productions en observant la présence : de répétitions (nombre d'actions énoncées plusieurs fois), d'inversions (erreurs de séquence entraînant une incohérence temporelle comme mettre du dentifrice après s'être brossé les dents), de décalages (erreurs de séquence par rapport à la séquence vidéo mais qui ne rend pas l'action incohérente comme mouiller sa brosse à dents avant ou après avoir mis le dentifrice), d'ajouts (ajouts d'actions en lien avec le script) et de commentaires inutiles ou d'insertion d'actions non liées au script.

**Nombre de réponses correctes en reconnaissance.** Nous avons calculé le nombre de réponses correctes pour chaque séquence.

**Nombre d'appuis.** Nous avons calculé le nombre d'appuis réalisés dans les trois conditions (FREE, SMALL et LARGE).

**Nombre de frontières identifiées.** Nous avons calculé le pourcentage de frontières identifiées (nombre total de frontières identifiées sur le nombre total de frontières prototypiques) dans les conditions SMALL et LARGE.

Pour analyser cette dernière variable, nous avons établi un script de base précisant le nombre d'actions constituant chaque séquence. Ainsi, pour la séquence « se laver les dents », nous avons retenu 37 actions dans la condition SMALL et 6 actions dans la condition LARGE. Pour la séquence « boire un verre de coca », nous avons retenu 20 actions dans la condition SMALL et 5 actions dans la condition LARGE. Enfin dans la séquence « préparer du café », nous avons retenu 33 actions dans la condition SMALL et 5 actions dans la condition LARGE.

Nous avons ensuite établi les frontières de chacune de ces actions en repérant le numéro de l'image correspondant au début et à la fin d'une action. Dans la condition SMALL, le début d'une action suivait immédiatement la fin de l'action précédente. Par exemple, l'action « prend la brosse à dents » commençait à l'image 77 et se terminait à l'image 144 et l'action suivante, « prend le dentifrice », commençait à l'image 145 et se terminait à l'image 225. Dans la condition LARGE, la détermination des frontières fut un peu plus compliquée car elle impliquait de regrouper plusieurs actions. Par exemple, l'action « met du dentifrice » regroupait les actions « ouvre le dentifrice », « met du dentifrice » et « ferme le dentifrice » et était donc délimitée par l'image qui commence la première action et celle qui termine la dernière action. Ainsi le moment de l'appui était plus variable d'un sujet à un autre : certains appuyaient au début de la séquence donc sur l'action « ouvre le dentifrice », d'autres sur l'action centrale « met du dentifrice » et d'autres sur la fin de la séquence « ferme le dentifrice ».

A noter, pour la condition LARGE, une compréhension de la tâche plus difficile et cela quel que soit l'âge des sujets et le groupe considéré.

A partir de ce script de base, nous avons établi un script prototypique pour chaque séquence en conservant les actions identifiées par au moins 70 % des sujets adultes normaux. Une action est considérée comme identifiée si le sujet réalise un appui à un moment de l'intervalle défini dans le script de base.

Dans la condition SMALL.

- Pour la séquence « se laver les dents », 28/37 actions ont été identifiées par au moins 70 % des sujets adultes normaux (dont 18 identifiées par plus de 90 % des sujets). Seules 19 actions sur ces 28 ont également été identifiées par au moins 70 % des enfants normaux, les 9 actions manquantes étant cependant perçues par 41 à 69 % des enfants.
- Pour la séquence « boire un verre de coca », 17/20 actions ont été identifiées par au moins 70 % des sujets adultes normaux (dont 11 identifiées par plus de 90 % des

sujets). Quinze actions ont également été identifiées par au moins 70 % des enfants normaux, les 2 actions manquantes étant cependant perçues par 55 et 69 % des enfants.

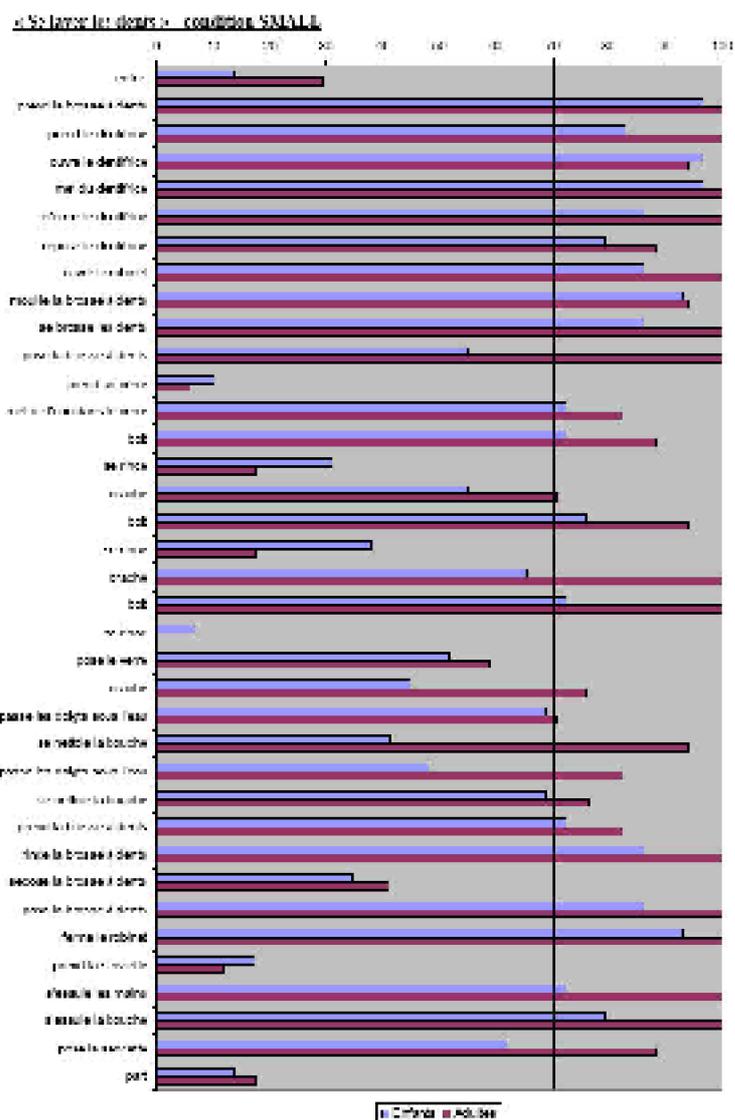
- Pour la séquence « préparer du café », 20/33 actions ont été identifiées par au moins 70% des sujets adultes normaux (dont 9 identifiées par plus de 90 % des sujets). Quinze actions ont également été identifiées par au moins 70 % des enfants normaux, les 5 actions manquantes étant cependant perçues par plus de 45 % des enfants.

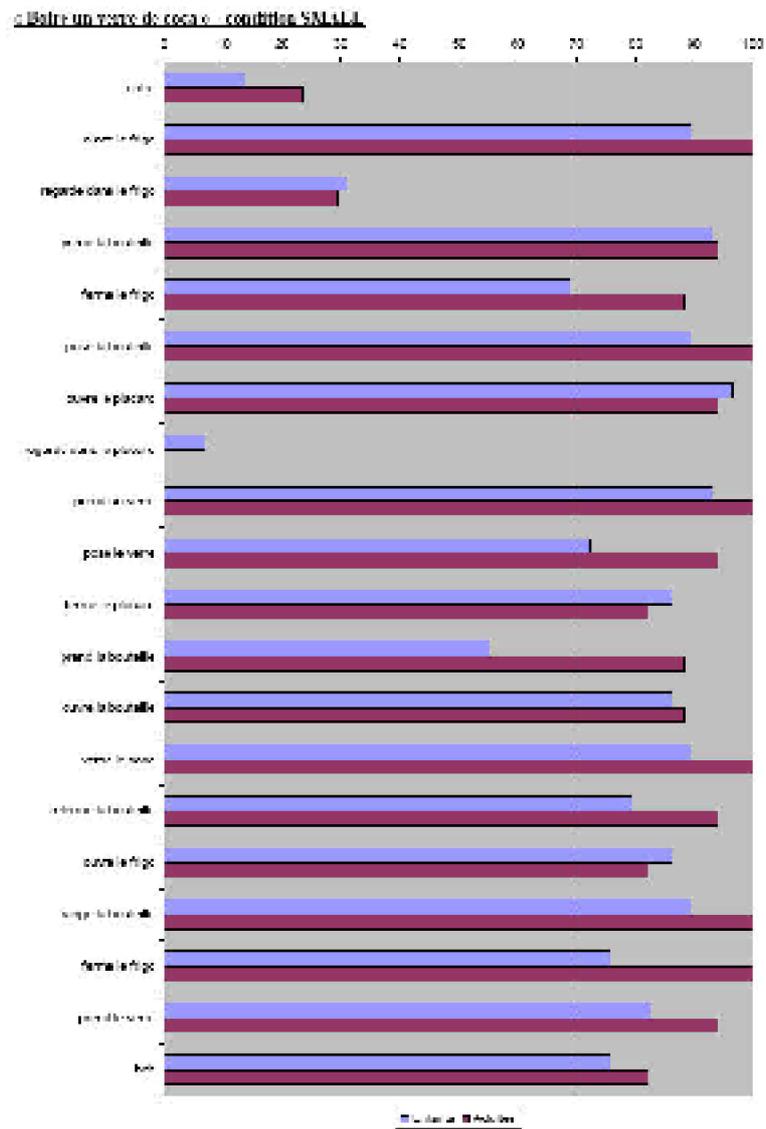
Dans la condition LARGE.

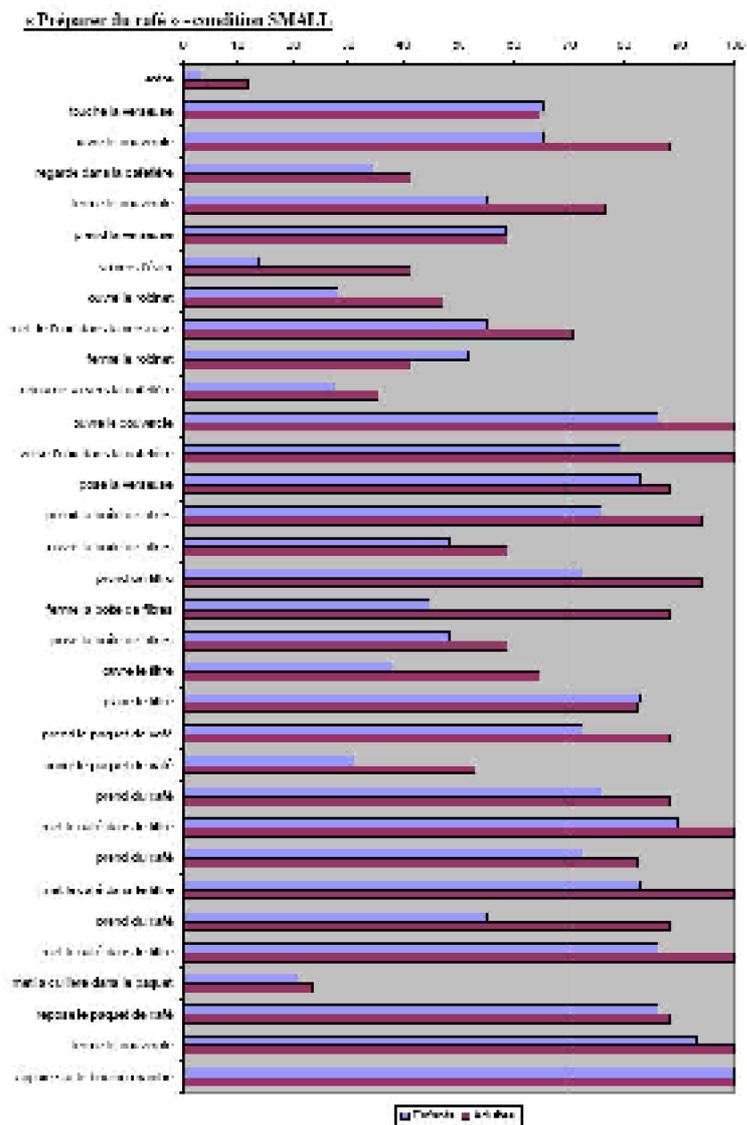
- Pour la séquence « se laver les dents », 4/6 actions ont été identifiées par au moins 70% des sujets adultes normaux et également par les enfants normaux.
- Pour la séquence « boire un verre de coca », les 5 actions du script de base ont été identifiées par au moins 70% des sujets adultes normaux ; et 4/5 actions ont été identifiées par au moins 70% des enfants normaux.
- Pour la séquence « préparer du café », les 5 actions du script de base ont été identifiées par au moins 70% des sujets adultes normaux. Seules 3 actions ont été identifiées par au moins 70% des enfants normaux, les 2 actions manquantes étant cependant perçues par plus de 62 et 66 % des enfants.

Nous avons représenté sur les graphiques ci-après le pourcentage d'enfants et d'adultes ayant identifié chacune des actions du script de base pour chaque séquence et pour les conditions SMALL et LARGE.

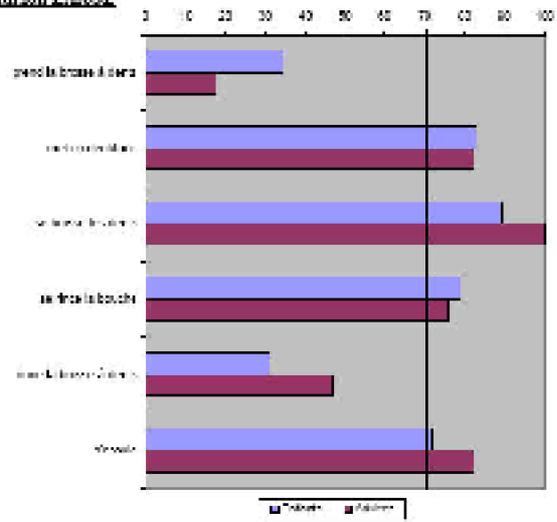
# Approche neuropsychologique de l'autisme infantile : entre théorie de l'action et théorie de l'esprit.



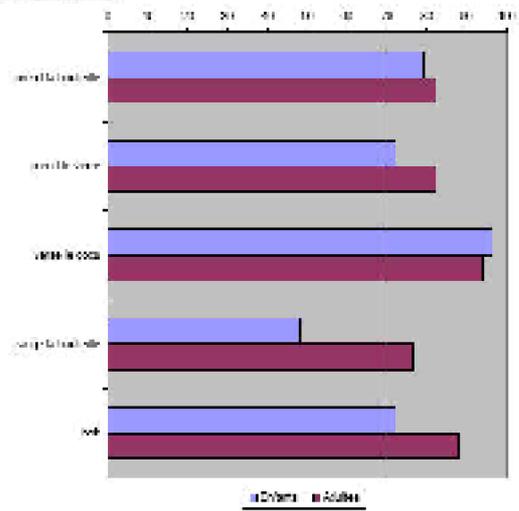




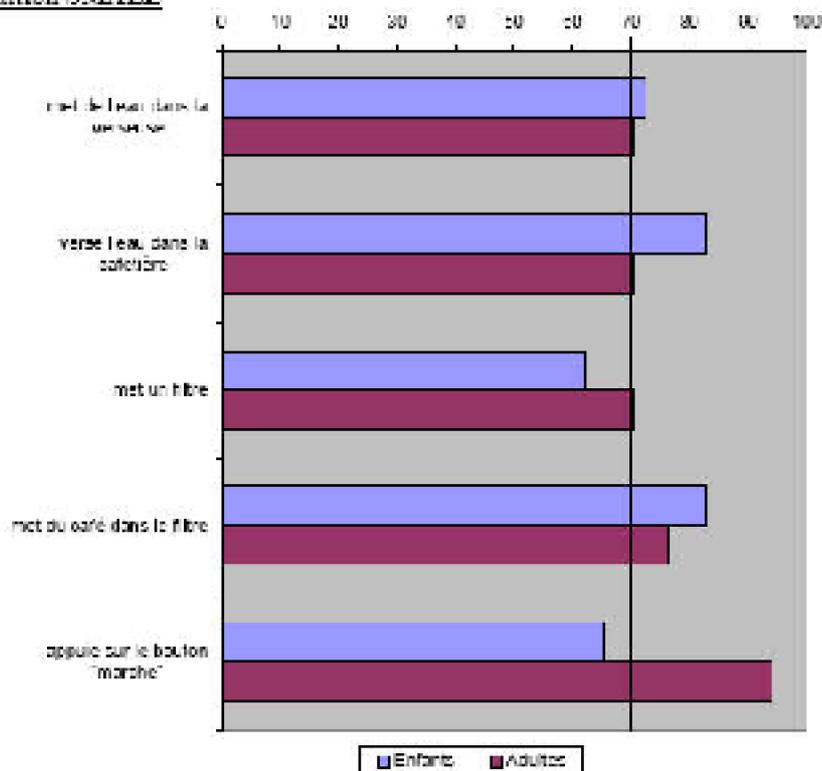
x Se laver les dents - condition LARGE



x Baiser un verre de coca - condition LARGE



« Préparer du café » - condition SMALL



Pour les scripts prototypes nous avons déterminé les frontières de chaque action en fonction des appuis des sujets normaux, adultes et enfants. Les intervalles étaient très proches de ceux définis dans le script de base. Nous avons alors choisi de conserver les intervalles du script de base et avons considéré que les sujets autistes et avec retard mental identifiaient une action s'ils réalisaient un appui à un moment de l'intervalle tel que défini dans le script de base mais uniquement pour les actions du script prototypique (c'est-à-dire pour les actions identifiées par au moins 70% des sujets adultes normaux).

Pour les sujets normaux, en plus du pourcentage de frontières identifiées, nous avons calculé la moyenne des points d'appuis afin d'évaluer la concordance des frontières entre adultes et enfants, et entre les conditions SMALL et LARGE.

## Résultats

### Sujets normaux, adultes et enfants

#### Compréhension des actions.

Identification. Tous les sujets, adultes et enfants, ont identifié correctement les trois séquences.

Familiarité. La séquence « se laver les dents » était jugée familière par tous les sujets. La séquence « boire un verre de coca » était jugée familière par tous les sujets excepté un enfant de 8 ans affirmant ne s'être jamais servi à boire tout seul. En revanche, la séquence « préparer du café » était jugée familière par seulement 20 % des enfants de

8 ans, 67 % des enfants de 12 ans, 40 % des enfants de 15 ans et 76 % des adultes.

Rappel libre. Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les groupes concernant le nombre d'actions rappelées et cela pour les trois séquences (pour toutes les comparaisons,  $p > .14$  avec le test U de Mann et Whitney).

Reconnaissance. Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les groupes concernant le nombre de réponses correctes en reconnaissance et cela pour les trois séquences (plus de 96 % de réponses correctes quelle que soit la séquence).

Nombre d'appuis. Voir Figure 5.

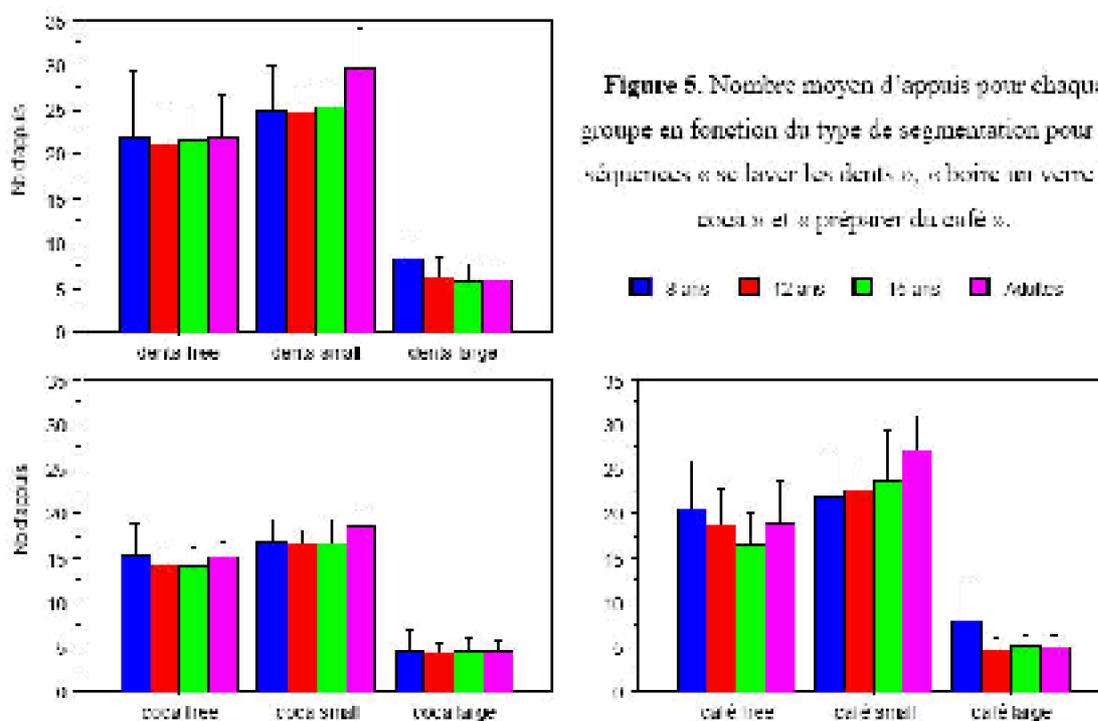
Pour les trois séquences, les analyses ont révélé un effet significatif de la variable « type de segmentation » sur le nombre d'appuis et cela pour tous les groupes considérés (Anova de Friedman,  $p < .0007$ ). Des analyses plus précises ont montré que tous les sujets ont réalisé moins d'appuis dans la condition LARGE par rapport aux conditions SMALL et FREE (Wilcoxon,  $p < .008$ ).

Pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café », les sujets ont fait plus d'appuis dans la condition SMALL que dans la condition FREE, excepté les enfants de 8 ans chez lesquels le nombre d'appuis dans ces deux conditions ne différait pas.

Pour la séquence « se laver les dents », les adultes ont également fait plus d'appuis dans la condition SMALL que dans la condition FREE ( $p = .0003$ ), alors que la différence n'était pas significative pour tous les groupes d'enfants (pour les enfants de 8 ans,  $p = .15$  ; pour les enfants de 12 ans,  $p = .08$  et pour les enfants de 15 ans,  $p = .05$ ).

En ce qui concerne l'effet du facteur « groupe » sur le nombre d'appuis en fonction de la condition, les analyses avec le test U de Mann-Whitney ont montré que :

- dans la condition FREE, les groupes ne différaient pas entre eux et cela quelle que soit la séquence ;
- dans la condition SMALL, les adultes avaient tendance à faire plus d'appuis que les enfants : pour la séquence « se laver les dents » les adultes faisaient plus d'appuis que les trois groupes d'enfants ; pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café » les adultes faisaient plus d'appuis que les enfants de 8 et 12 ans seulement ;
- dans la condition LARGE, alors qu'il n'y avait pas de différence entre les sujets pour la séquence « boire un verre de coca », les enfants de 8 ans réalisaient plus d'appuis que les autres sujets pour la séquence « préparer du café » et que les enfants de 15 ans et les adultes pour la séquence « se laver les dents ».



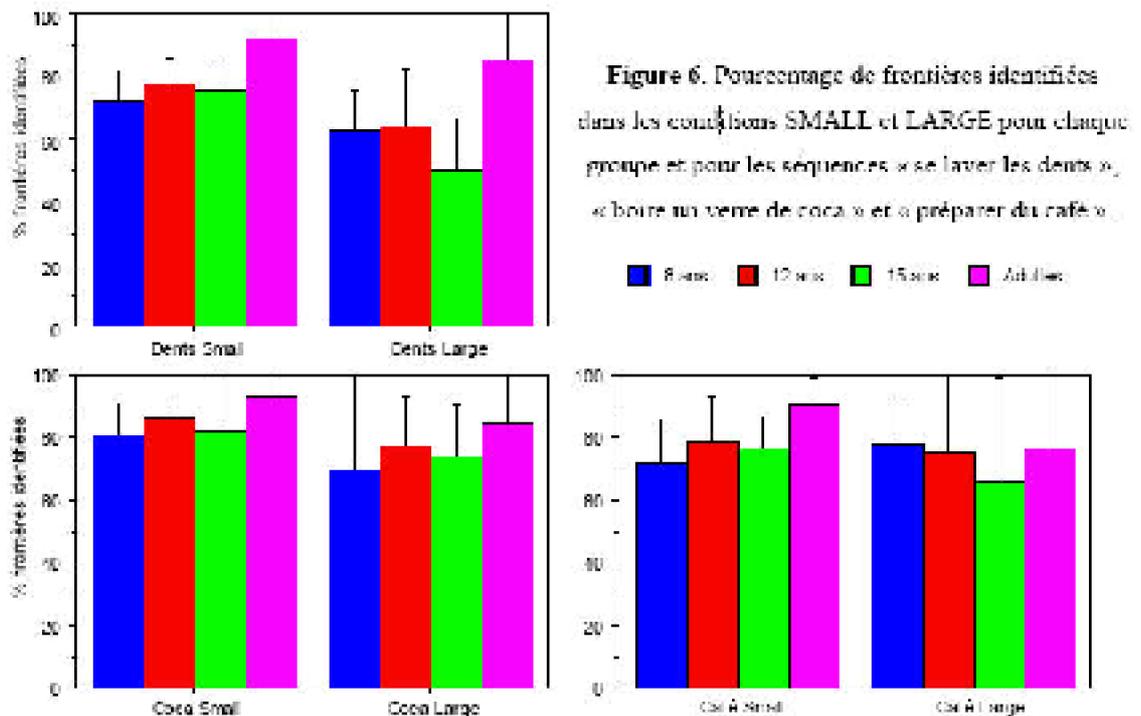
**Figure 5.** Nombre moyen d'appuis pour chaque groupe en fonction du type de segmentation pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

**Nombre de frontières identifiées.** Voir Figure 6.

Les analyses réalisées avec le test U de Mann-Whitney ont montré que, dans la condition SMALL, les adultes ont identifié plus de frontières que les enfants et cela pour les trois séquences (pour toutes les différences  $p < .03$ ). Dans la condition LARGE, les adultes ont identifié plus de frontières que les enfants pour la séquence « se laver les dents » alors qu'aucune différence n'était significative pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

Les enfants de 8 ans et les adultes ont identifié autant de frontières dans la condition SMALL que dans la condition LARGE et cela pour les trois séquences. Les enfants de 12 et 15 ans ont également identifié autant d'actions dans la condition SMALL que dans la condition LARGE pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café »,

alors que pour la séquence « se laver les dents », ils ont identifié plus de frontières dans la condition SMALL que dans la condition LARGE (pour les 12 ans,  $p=.04$  et pour les 15 ans,  $p=.007$ ).



**Figure 6.** Pourcentage de frontières identifiées dans les conditions SMALL et LARGE pour chaque groupe et pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

Il nous semble important de souligner que nous avons observé une concordance importante entre les frontières définies par les adultes et celles définies par les enfants. En considérant la moyenne des points d'appuis pour chaque action, il est apparu que dans la condition SMALL, l'écart minimal entre les sujets adultes et enfants était de 0,05 image et l'écart maximal de 19,46 images. Dans la condition LARGE, l'écart minimal entre les sujets normaux adultes et enfants était de 0,59 image et l'écart maximal de 41,08 images. Cela correspond à moins d'1,7 seconde d'écart entre enfants et adultes toutes conditions confondues. Par exemple, dans la condition SMALL, pour l'action « prend la brosse à dents » les adultes appuyaient en moyenne sur l'image 100,71 et les enfants sur

l'image 100,00. Pour l'action « prend la bouteille de coca », les adultes appuyaient en moyenne sur l'image 266,25 et les enfants sur l'image 265,00.

Par ailleurs, les frontières des actions dans la condition LARGE coïncidaient avec les frontières de ces mêmes actions dans la condition SMALL (moins de 2 secondes  $\frac{1}{2}$  d'écart) et cela tant pour les enfants que pour les adultes. Par exemple, pour l'action « met le filtre », les adultes appuyaient en moyenne sur l'image 1365,64 dans la condition SMALL et sur l'image 1370,33 dans la condition LARGE.

### **Enfants : normaux, autistes et avec retard mental**

Comme nous n'avons pas mis en évidence de différence importante entre les enfants normaux de 8, 12 et 15 ans et afin de faciliter les analyses, nous avons regroupé les résultats des 3 groupes d'enfants normaux.

#### **Compréhension des actions.**

Identification. Tous les sujets ont identifié correctement les séquences « se laver les dents » et « préparer du café » alors que deux sujets autistes et un sujet avec retard mental n'ont pas pu donner un titre pour la séquence « boire un verre de coca ».

Familiarité. La séquence « se laver les dents » était jugée familière par tous les sujets. La séquence « boire un verre de coca » était jugée familière par tous les sujets autistes mais seulement par trois enfants avec retard mental. Aucun enfant autiste et avec retard mental n'a jugé la séquence « préparer du café » comme étant une activité familière.

Rappel libre. Un enfant autiste n'a pas pu réaliser les tâches de rappel libre et de reconnaissance du fait de difficultés importantes d'expression verbale.

Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les enfants autistes et avec retard mental concernant le nombre d'actions rappelées et cela pour les trois séquences (pour toutes les comparaisons  $p > .22$  avec le test U de Mann et Whitney). En revanche, les deux groupes de patients ont rappelé moins d'actions que les enfants normaux et cela pour les trois séquences.

L'analyse des productions a montré que les enfants autistes et avec retard mental réalisaient beaucoup d'erreurs de séquence de type inversions mais en quantité relativement équivalente. Ces erreurs de séquence étaient surtout observées pour la séquence « se laver les dents ». Par ailleurs, les autistes avaient tendance à faire beaucoup de répétitions.

Reconnaissance. Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les groupes concernant le nombre de réponses correctes en reconnaissance et cela pour les trois séquences (plus de 93 % de réponses correctes quelle que soit la séquence).

Nombre d'appuis. Voir Figure 7.

Pour les trois séquences, les enfants normaux ont réalisé plus d'appuis dans la condition SMALL par rapport aux conditions FREE et LARGE, et plus d'appuis dans la condition FREE par rapport à la condition LARGE (SMALL > FREE > LARGE).

Pour la séquence « se laver les dents », les enfants autistes ont réalisé autant

d'appuis dans les conditions FREE et SMALL, et le nombre d'appuis dans ces deux conditions était supérieur à celui observé dans la condition LARGE (FREE = SMALL > LARGE). En revanche les enfants avec retard mental présentaient le même profil de réponse que les enfants normaux (c'est-à-dire SMALL > FREE > LARGE).

Pour la séquence « boire un verre de coca », les enfants autistes et avec retard mental ont réalisé autant d'appuis dans les conditions FREE et SMALL, et le nombre d'appuis dans ces deux conditions était supérieur à celui observé dans la condition LARGE.

Pour la séquence « préparer du café », le nombre d'appuis réalisés par les enfants autistes dans la condition FREE ne différait pas du nombre d'appuis réalisés dans les conditions SMALL et LARGE, et la différence entre la condition SMALL et LARGE était limite (Wilcoxon,  $p=.045$ ). En revanche, les enfants avec retard mental présentaient le même profil de réponse que les enfants normaux (c'est-à-dire SMALL > FREE > LARGE).

En ce qui concerne l'effet du facteur « groupe » sur le nombre d'appuis en fonction de la condition, les analyses avec le test U de Mann-Whitney ont montré que, quelles que soient la condition et la séquence, les enfants avec retard mental ne différaient pas des enfants autistes ET des enfants normaux, mis à part dans la condition LARGE pour la séquence « boire un verre de coca » où les enfants avec retard mental avaient une légère tendance à réaliser plus d'appuis que les enfants normaux ( $p=.044$ ).

Dans la condition FREE, les enfants autistes ont réalisé moins d'appuis que les enfants normaux pour les séquences « se laver les dents » ( $p<.02$ ) et « préparer du café » ( $p<.006$ ), mais ils ne différaient pas entre eux pour la séquence « boire un verre de coca ».

Dans la condition SMALL, les enfants autistes ont réalisé moins d'appuis que les enfants normaux pour les trois séquences ( $p<.004$ ).

Enfin, dans la condition LARGE, alors qu'enfants autistes et normaux ne différaient pas entre eux pour la séquence « se laver les dents », les enfants autistes ont réalisé plus d'appuis que les enfants normaux pour les séquences « boire un verre de coca » ( $p<.007$ ) et « préparer du café » ( $p<.01$ ).

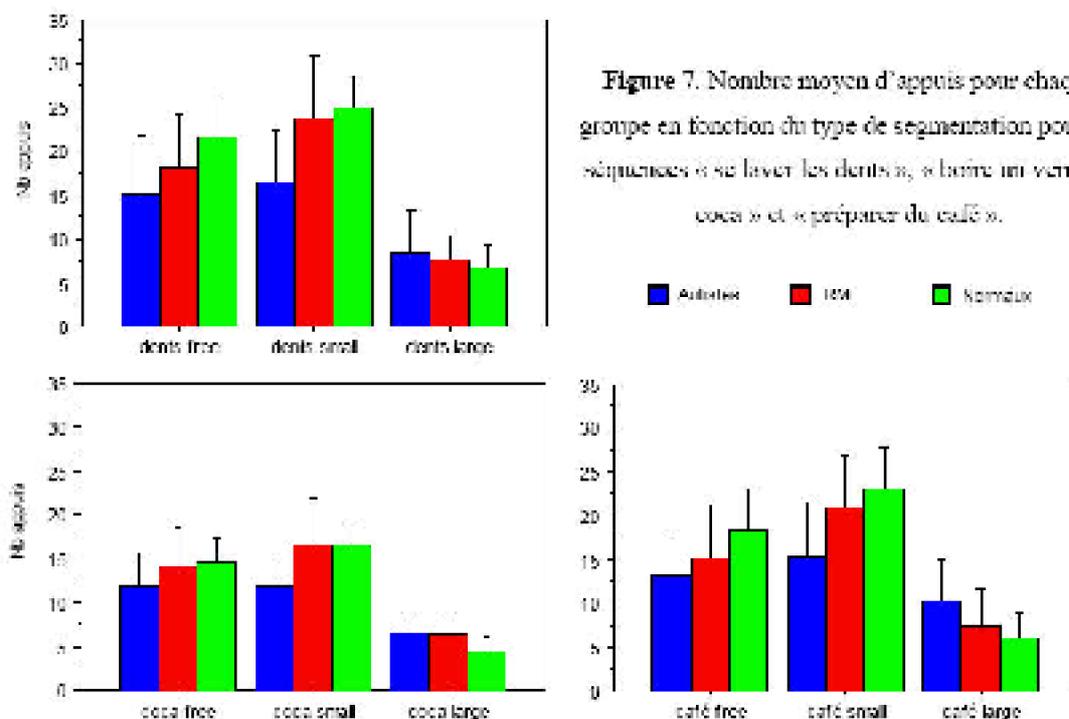


Figure 7. Nombre moyen d'appuis pour chaque groupe en fonction du type de segmentation pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

**Figure 7.** Nombre moyen d'appuis pour chaque groupe en fonction du type de segmentation pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

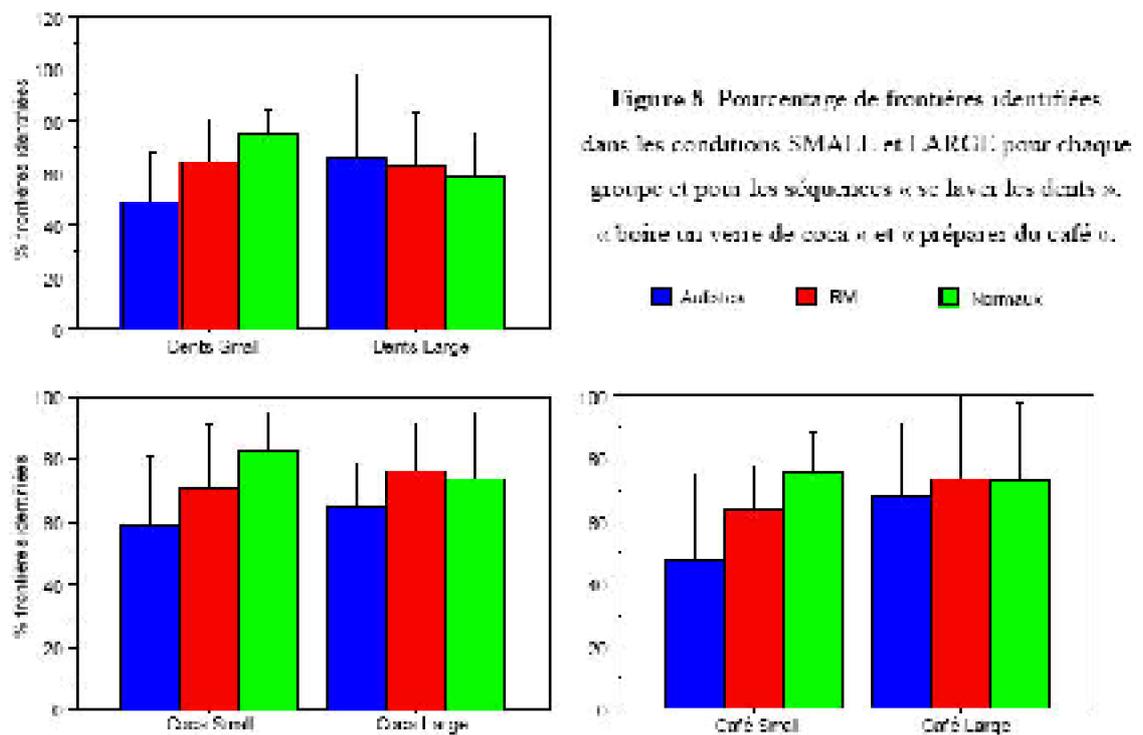
**Nombre de frontières identifiées.** Voir Figure 8.

Les analyses réalisées avec le test U de Mann-Whitney ont montré que, dans la condition SMALL pour les trois séquences, les enfants avec retard mental ne différaient pas des enfants autistes ET des enfants normaux. En revanche, les enfants autistes identifiaient moins de frontières que les enfants normaux (quelle que soit la séquence,  $p < .01$ ).

Dans la condition LARGE, aucune différence n'a été observée entre les groupes.

Tous les enfants, autistes, avec retard mental et normaux, ont identifié autant de frontières dans la condition SMALL que dans la condition LARGE pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café ». En revanche, pour la séquence « se laver les dents », les enfants normaux identifiaient plus de frontières dans la condition

SMALL par rapport à la condition LARGE ( $p=.0002$ ), alors que les enfants autistes avaient tendance à identifier plus de frontières dans la condition LARGE que dans la condition SMALL ( $p=.04$ ). Quant aux enfants avec retard mental, ils identifiaient autant de frontières dans les deux conditions.



**Figure 8.** Pourcentage de frontières identifiées dans les conditions SMALL et LARGE pour chaque groupe et pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

### Adultes : normaux, autistes et avec retard mental

#### Compréhension des actions.

Identification. Tous les sujets ont identifié correctement les trois séquences.

Familiarité. La séquence « se laver les dents » était jugée familière par tous les sujets normaux et avec retard mental et la quasi-totalité des autistes (seul un sujet dit savoir se laver les dents mais le faire rarement !). La séquence « boire un verre de coca » était

jugée familière par tous les sujets. En revanche, la séquence « préparer du café » était jugée familière par seulement 67 % des adultes avec retard mental et 7 % des adultes autistes.

Rappel libre. Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les adultes autistes et avec retard mental concernant le nombre d'actions rappelées et cela pour les trois séquences (pour toutes les comparaisons  $p > .43$  avec le test U de Mann et Whitney). En revanche, les deux groupes de patients rappelaient moins d'actions que les adultes normaux et cela pour les trois séquences.

L'analyse des productions a montré que les adultes autistes et avec retard mental réalisaient beaucoup d'erreurs de séquence de type inversions mais en quantité relativement équivalente. Ces erreurs de séquence étaient surtout observées pour la séquence « se laver les dents ».

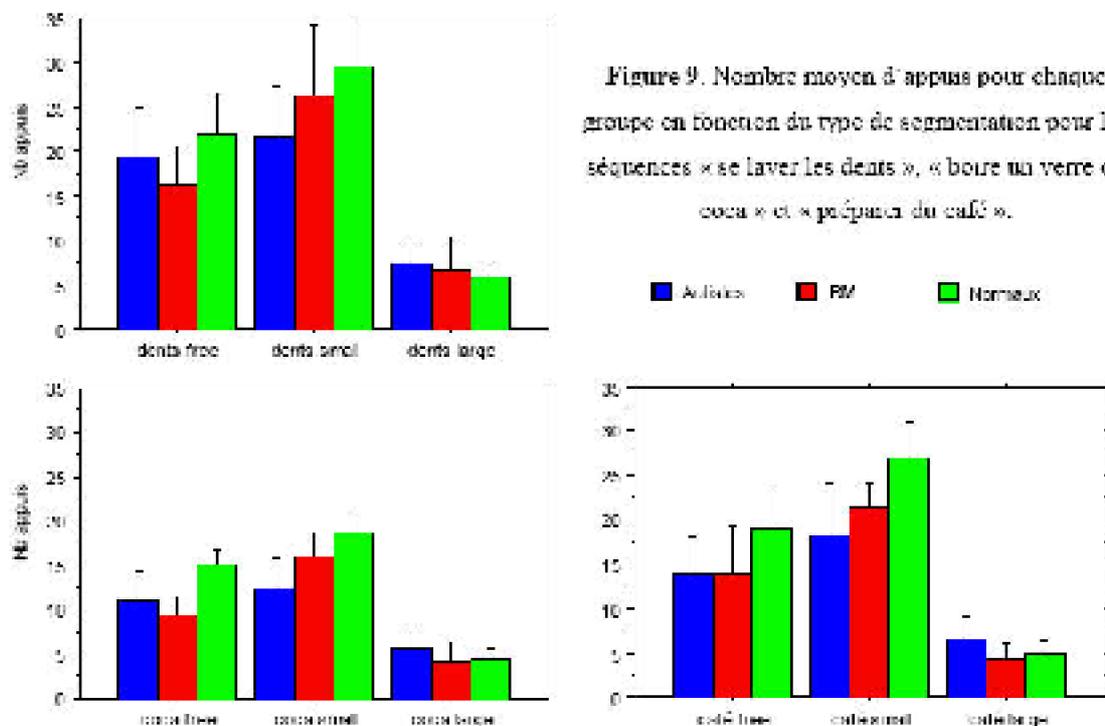
Reconnaissance. Les analyses n'ont révélé aucune différence entre les groupes concernant le nombre de réponses correctes en reconnaissance pour les séquences « boire un verre de coca » et « préparer du café » (seul un autiste a fait une erreur).

Pour la séquence « se laver les dents », les autistes n'ont commis aucune erreur alors que trois sujets avec retard mental se sont trompés (test U de Mann-Whitney,  $p = .04$ ).

Nombre d'appuis. Voir Figure 9.

En ce qui concerne le facteur « type de segmentation », les analyses ont montré que les adultes avec retard mental réalisaient plus d'appuis dans la condition SMALL par rapport aux conditions FREE et LARGE, et plus d'appuis dans la condition FREE par rapport à la condition LARGE (SMALL > FREE > LARGE) ; et cela pour les trois séquences. Ce profil de performance est semblable à celui observé chez les adultes normaux.

Pour les séquences « se laver les dents » et « boire un verre de coca », les adultes autistes ont réalisé autant d'appuis dans les conditions FREE et SMALL, et le nombre d'appuis dans ces deux conditions était supérieur à celui observé dans la condition LARGE (FREE = SMALL > LARGE). En revanche pour la séquence « préparer du café », ils présentaient le même profil de réponse que les adultes normaux et avec retard mental (c'est-à-dire SMALL > FREE > LARGE).



**Figure 9.** Nombre moyen d'appuis pour chaque groupe en fonction du type de segmentation pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

En ce qui concerne l'effet du facteur « groupe » sur le nombre d'appuis en fonction de la condition, les analyses avec le test U de Mann-Whitney ont montré que, quelles que soient la condition et la séquence, il n'y avait pas de différence entre les adultes autistes et avec retard mental (pour toutes les comparaisons,  $p > .08$ ).

Dans la condition LARGE, il n'y avait pas de différence entre les trois groupes de sujets pour les trois séquences.

Dans la condition SMALL et pour les trois séquences, les adultes normaux ont réalisé plus d'appuis que les deux groupes de patients.

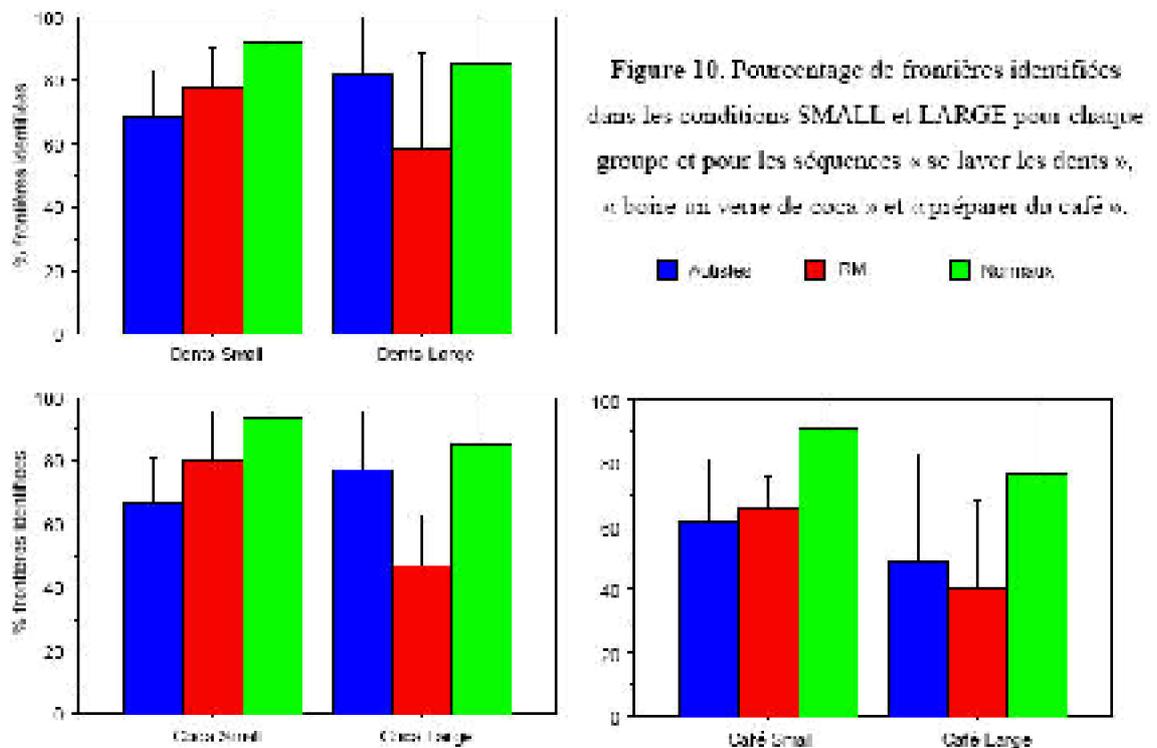
Dans la condition FREE pour la séquence « se laver les dents », les adultes autistes ne différaient pas des adultes normaux, alors que les adultes avec retard mental réalisaient moins d'appuis que les adultes normaux. Pour la séquence « boire un verre de

coca », les adultes autistes et avec retard mental ont réalisé moins d'appuis que les adultes normaux. Enfin, pour la séquence « préparer du café », les adultes autistes réalisaient moins d'appuis que les adultes normaux, alors que les adultes avec retard mental ne différaient pas des adultes normaux.

**Nombre de frontières identifiées.** Voir Figure 10.

Les analyses réalisées avec le test U de Mann-Whitney ont montré que, dans la condition SMALL et pour les trois séquences, les adultes normaux ont identifié plus de frontières que les groupes de patients ( $p < .02$ ). En revanche les deux groupes de patients ne différaient pas entre eux.

Dans la condition LARGE et pour les trois séquences, les adultes autistes ont identifié autant d'actions que les adultes normaux, alors que les adultes avec retard mental ont identifié moins d'actions que les adultes normaux. Pour les séquences « se laver les dents » et « préparer du café », les différences entre adultes autistes et avec retard mental n'étaient pas significatives, alors que pour la séquence « boire un verre de coca », les autistes identifiaient plus d'actions que les adultes avec retard mental (test U de Mann-Whitney,  $p = .012$ ).



**Figure 10.** Pourcentage de frontières identifiées dans les conditions SMALL et LARGE pour chaque groupe et pour les séquences « se laver les dents », « boire un verre de coca » et « préparer du café ».

En ce qui concerne l'effet du facteur « groupe » sur le nombre de frontières identifiées en fonction du type de segmentation, les analyses n'ont révélé aucune différence significative c'est-à-dire que tous les sujets identifiaient autant d'actions dans la condition SMALL que dans la condition LARGE. En fait, seuls les sujets avec retard mental avaient tendance à identifier moins d'actions dans la condition LARGE par rapport à la condition SMALL pour la séquence « boire un verre de coca » (Wilcoxon,  $p=.046$ ).

## Discussion de l'expérience 2

L'objectif de cette étude était d'évaluer la capacité de sujets autistes à segmenter des séquences d'actions dirigées vers un but. Cependant, avant d'interpréter les résultats obtenus chez les autistes, nous allons faire le point sur les performances des enfants et

des adultes normaux.

Les résultats de cette étude ont confirmé un certain nombre de données de la littérature. Nous avons montré que les sujets normaux étaient capables de segmenter et d'orienter leur attention sur un niveau ou un autre de la structure des séquences d'actions et cela quel que soit le niveau d'âge. En effet, les sujets réalisaient plus d'appuis quand nous leur demandions de segmenter la séquence en petites unités que lorsqu'ils devaient réaliser une segmentation en unités plus larges. Ce résultat suggère que, pendant la perception d'action, les consignes peuvent influencer la façon dont les informations sont encodées en orientant l'attention sur différents niveaux de la structure hiérarchique des actions. Nous avons également montré que les frontières identifiées coïncidaient fortement entre les unités courtes et les unités plus longues comme mis en évidence des études précédentes .

Ces données ont été observées tant chez les adultes que chez les enfants, suggérant une similitude des stratégies de segmentation. D'autre part, l'établissement du script prototypique a mis en évidence une grande concordance entre les actions identifiées par les enfants et par les adultes. Les scripts définis par les enfants étaient certes moins précis, mais la plupart des actions identifiées par les adultes l'étaient également par les enfants. De même, nous avons souligné le fort degré d'accord entre les enfants et les adultes dans les frontières détectées.

Des différences apparaissent néanmoins entre enfants et adultes. Les enfants, notamment les enfants de 8 ans, avaient quelques faiblesses à affiner leur segmentation car ils avaient tendance à ne pas faire plus d'appuis dans la segmentation fine que dans la segmentation spontanée. Tout se passe comme si dans la condition spontanée, les enfants orientaient immédiatement leur attention vers le niveau le plus bas de la structure de l'événement. Par ailleurs, les enfants de 8 ans faisaient plus d'appuis dans la segmentation en unités larges alors qu'ils n'identifiaient pas plus de frontières correctes pour cette condition que les enfants plus âgés ou les adultes. En d'autres termes, ils incluaient trop d'actions dans la segmentation en unités larges. Cela évoque des difficultés à regrouper les petites unités en unités plus larges, plus importantes.

L'ensemble de ces résultats nous permet de proposer que les enfants et les adultes possèdent des scripts de base identiques mais avec l'expérience et donc avec l'âge, d'une part le nombre d'actions composant les scripts augmente et d'autre part la structure hiérarchique des scripts se complexifie. Thommen avait montré que les stratégies de segmentation devenaient de plus en plus efficaces avec l'âge, mais nous considérons également que les représentations guidant la segmentation deviennent de plus en plus précises et riches avec l'âge. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Hudson et al. suggérant qu'avec l'âge, les scripts incluent une plus grande quantité d'informations et sont utilisés de manière plus efficace et flexible. Grafman avait proposé que soit des représentations complètes pouvaient être stockées dès la petite enfance mais en un nombre limité qui augmentait avec l'expérience ; soit les représentations étaient d'abord composées de quelques événements et avec l'âge, elles devenaient plus complexes et plus longues sur la base de la fréquence de cooccurrence des événements et de l'ordre dans lequel ils se réalisent. Nos résultats vont plutôt dans le sens de cette deuxième possibilité.

Considérons maintenant les résultats dans les groupes pathologiques. Comme les sujets normaux et avec retard mental, les enfants et adultes autistes étaient capables de segmenter et d'orienter leur attention sur un niveau ou un autre de la structure des séquences d'actions c'est-à-dire qu'ils réalisaient plus d'appuis dans la segmentation en unités courtes qu'en unités larges. Seuls les enfants autistes ont montré quelques difficultés pour la séquence moins familière où le passage d'un niveau à un autre d'analyse semblait moins évident. Le fait que le nombre d'appuis variait de manière similaire dans les différents groupes en fonction du type de segmentation, fin ou large, suggère que tous avaient correctement compris la tâche. Nous aurions pu nous attendre à observer des difficultés de shifting d'un niveau d'analyse à un autre chez les sujets autistes, mais le protocole a été élaboré afin de faciliter un tel shifting (délai entre les deux conditions, répétition des consignes et du niveau de segmentation).

En revanche, les sujets autistes, enfants et adultes, présentaient des difficultés à affiner leur segmentation en orientant immédiatement leur attention vers le niveau le plus bas de la structure de l'événement (du fait de l'absence de différence entre la segmentation spontanée et la segmentation en unités fines). Ce profil de performance avait tendance à être observé chez les enfants de 8 ans pouvant suggérer un simple retard chez les sujets autistes. Cependant les sujets avec retard mental ne présentaient pas cette difficulté (excepté les enfants avec retard mental pour la séquence « boire un verre de coca »). De plus, les enfants autistes ont identifié moins d'actions que les enfants normaux tant en segmentation spontanée qu'en segmentation en unités fines et ils détectaient moins de frontières pour les unités fines, suggérant des représentations moins précises, moins riches. Ce faible nombre d'actions et de frontières identifiées était également observé chez les adultes autistes mais leur performance ne différait pas de celle des adultes avec retard mental.

Les résultats ont également montré que les enfants autistes réalisaient plus d'appuis que les enfants normaux dans la segmentation en unités larges alors qu'ils identifiaient autant de frontières correctes suggérant quelques difficultés à regrouper les petites unités en unités plus larges, plus importantes. Ces résultats étaient également observés chez les enfants de 8 ans mais pas chez les enfants avec retard mental.

En revanche, pour la segmentation en unités larges, les adultes autistes réalisaient autant d'appuis et ils identifiaient autant de frontières correctes que les adultes avec retard mental et normaux. Seuls les adultes avec retard mental avaient des difficultés dans l'identification des unités larges : ils réalisaient autant d'appuis que les autres sujets mais identifiaient moins de frontières correctes.

Dans cette étude, les différences significatives étaient essentiellement observées entre les sujets autistes et les sujets normaux, les sujets avec retard mental présentant souvent des performances intermédiaires entre autistes et normaux. Cela peut suggérer un effet du retard mental mais qui n'est pas suffisant pour expliquer l'importance des difficultés présentées par les sujets autistes.

En outre, les difficultés observées chez les sujets autistes ne nous semblent pas liées à un trouble d'attention ou de mémoire car les autistes réussissaient aussi bien que les sujets avec retard mental les tâches de reconnaissance et de rappel libre. Les sujets

autistes et avec retard mental avaient tendance à rappeler les événements de manière désorganisée mais surtout pour la séquence non pas la plus longue dans le temps mais contenant une quantité d'informations plus importantes (il y a plus d'actions dans la séquence « se laver les dents »). Cela peut suggérer quelques difficultés de mémoire de travail mais tant chez les autistes que chez les sujets avec retard mental.

En résumé, les sujets autistes étaient capables d'orienter leur attention à différents niveaux d'analyse de la structure hiérarchique des actions : leurs représentations pouvaient influencer leur perception des actions. Par ailleurs, ils semblaient avoir une représentation préservée des buts et des principaux sous-but (segmentation en unités larges) mais ils présentaient des difficultés plus marquées à produire des scripts fins et précis c'est-à-dire à détecter toutes les actions nécessaires à l'accomplissement des buts et des sous-but.

Les performances des sujets autistes sont différentes de celles observées chez les patients fronto-lésés et chez les patients schizophrènes qui présentaient au contraire des difficultés pour segmenter les actions en unités larges alors que l'analyse en unités fines semblait intacte. Les autistes présentent donc des perturbations dans la représentation hiérarchique des actions mais à un niveau différent des patients fronto-lésés et schizophrènes. C'est moins la représentation du but que la définition des moyens nécessaires à la réalisation du but qui serait affectée chez les autistes.

Zacks, Tversky et Iyer ont demandé à des adultes normaux de décrire les actions pendant une tâche de segmentation et ils ont montré que les descriptions étaient qualitativement différentes entre la segmentation en unités fines et celle en unités larges. Au niveau le plus large, les descriptions portaient sur des actions impliquant différents objets ou différentes parties importantes d'un objet, alors qu'au niveau le plus fin, les descriptions impliquaient différentes actions réalisées sur un même objet. En d'autres termes, les unités larges seraient « ponctuées » par les objets et les unités fines seraient « ponctuées » par des actions précises sur un même objet. Dans notre étude, les sujets autistes semblent donc avoir plus de difficultés au niveau impliquant la définition d'actions précises et réalisées sur un seul et même objet.

Par ailleurs, selon Byrne , un comportement nouveau, c'est-à-dire qui n'est pas encore dans le répertoire moteur, peut être imité en disséquant ce comportement en une séquence d'actes, de mouvements plus simples qui sont eux déjà mémorisés. Dans cette étude, les anomalies observées chez les autistes portent justement sur la segmentation en unités plus fines et donc peuvent rendre compte de leur difficulté accrue à imiter les gestes sans signification (généralement nouveaux) par rapport à l'imitation d'utilisation d'objets.

Ces résultats peuvent également suggérer que les influences top-down des représentations sont efficaces alors que les mécanismes bottom-up d'extraction des caractéristiques physiques des actions sont perturbés. Or un certain nombre de données ont rapporté des troubles dans certains aspects de la perception visuelle des mouvements qu'il s'agisse du mouvement physique ou du mouvement biologique . Ainsi, les enfants autistes ont une faible réactivité posturale à la vision du mouvement environnemental , des difficultés dans la reconnaissance de mouvements biologiques et

---

dans la détection d'un mouvement cohérent, global dans un ensemble bruité . Ces difficultés perceptives semblent d'autant plus manifestes que le mouvement est rapide .



## Chapitre 4 : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

L'objectif de ce travail doctoral était d'évaluer les processus de représentation de l'action chez des sujets autistes. Pour ce faire, nous avons développé deux protocoles expérimentaux : l'un testant les capacités d'organisation de séquences d'actions, l'autre évaluant les capacités de perception d'actions. Les résultats obtenus peuvent être synthétisés de la manière suivante :

a) l'organisation hiérarchique globale semble intacte avec une préservation de la représentation du but et des sous-buts et des aspects catégoriels/sémantiques (bien qu'une exploration plus précise soit nécessaire) ;

b) l'organisation hiérarchique plus fine semble perturbée avec des troubles dans l'analyse des différentes sous-étapes nécessaires à la réalisation du but et dans l'organisation séquentielle de ces différentes sous-étapes ;

c) les niveaux de représentation les plus perturbés sont ceux directement en lien avec l'utilisation d'objet.

Dans un premier temps, nous allons revenir sur ces principaux résultats et ensuite nous développerons notre réflexion sur une analyse des différents niveaux de représentation de l'action et la question des liens entre perception et action.

## Représentation de l'action : nature du déficit dans l'autisme

Dans les deux expériences présentées, les sujets autistes se montrent capables d'identifier les buts et principaux sous-buts d'une action ou du moins les actions les plus centrales. Ils peuvent déterminer le début et la fin d'une séquence. Ils sont capables de retrouver les différents composants d'une action et de segmenter une action en ses principales étapes. Toutefois, nous avons testé leurs capacités uniquement sur des séquences relativement courtes et familières. Il pourrait être intéressant d'évaluer la capacité d'organisation des sujets autistes pour des séquences plus longues (plus de 5 actions à mettre dans l'ordre ou des séquences vidéo de plus de 2 minutes) et incluant des actions distrayantes sémantiquement proches et en leur demandant par exemple d'isoler l'action la plus importante de chaque scène. Selon Corson, les aspects de centralité (importance de l'action par rapport au but) et de distinctivité (spécificité des actions par rapport au script) constitueraient le noyau dur, le cœur sémantique du script.

En revanche, les sujets autistes présentent un déficit dans l'analyse et le traitement des séquences d'actions à un niveau plus fin, plus précis : ils ont des difficultés à identifier toutes les étapes nécessaires à la réalisation du but ou des sous-buts (expérience 2) et à organiser de façon séquentielle ces différentes étapes (expérience 1).

Searle distingue deux formes d'intentions : l'intention préalable et l'intention en action. L'intention préalable concerne des actions dont le but est complexe et à long terme, c'est-à-dire des actions comportant plusieurs étapes ou des actions dirigées vers des buts absents ou abstraits. Les intentions en action sont dirigées vers un but immédiatement accessible et guident des actions brèves, en une étape, elles-mêmes englobées dans un plan d'actions plus large. Par exemple, nous pouvons considérer l'intention préalable de boire un café. Celle-ci implique plusieurs étapes comme prendre une pièce, aller à la machine à café, mettre la pièce, appuyer sur le bouton approprié, etc. Chacune de ces étapes implique une intention en action plus locale guidant la réalisation des mouvements nécessaires à l'accomplissement des étapes. D'après les résultats de nos études, les enfants autistes semblent capables de détecter l'intention préalable mais ils présentent des difficultés à identifier les intentions en action et à les coordonner en fonction de l'intention préalable.

Selon la théorie de la cohérence centrale, nous aurions pu nous attendre à un profil de performance inversé c'est-à-dire à des difficultés plus marquées au niveau de la structure hiérarchique globale. Néanmoins, Happé et Frith considèrent que l'arrangement de schémas d'événements implique non pas des processus de cohérence centrale mais une sorte de cohérence locale, une cohérence intra-domaine, un processus de liaison item par item. En outre, au-delà d'un simple regroupement des informations locales à un niveau d'intégration plus complexe, nous considérons que l'organisation hiérarchique de l'action repose sur des mécanismes de toute autre nature et en lien avec la représentation

de l'action. L'activité d'arrangement est guidée par la représentation de l'action et dès lors la mise en relation des constituants de l'action implique un traitement des liens temporels et causaux en vu de l'accomplissement d'un but donné.

Ainsi l'ensemble de nos résultats conforte l'hypothèse d'un trouble de la représentation de l'action chez les sujets autistes.

Nous avons déjà évoqué que ce trouble n'était pas totalement similaire à celui observé chez les patients adultes fronto-lésés. Cet écart peut être la conséquence d'une perturbation de régions frontales différentes. Dans la tâche d'arrangement de scripts, les autistes présentent essentiellement un déficit du traitement séquentiel comme les patients avec lésion frontale dorsolatérale, alors que des lésions plus orbitaires ne perturbent pas ce type de traitement.

Les différences de performance peuvent également être liées au moment de survenue de la perturbation. L'autisme est un trouble du développement, c'est donc la formation des fonctions cognitives qui est atteinte. Dès le plus jeune âge, les enfants autistes agissent moins, explorent moins et prennent moins d'initiatives dans leur environnement : leur répertoire d'actions est plus pauvre et utilisé de manière moins efficace. En revanche, les patients avec lésion frontale présentent des perturbations cognitives suite à une période de développement normal : leurs représentations d'action se sont construites normalement mais l'atteinte frontale entraîne une dégradation de la structure de ces représentations et des troubles dans leur utilisation.

Dans ce cadre, il nous semble pertinent d'explorer les mécanismes de représentation de l'action chez des enfants présentant une lésion frontale et/ou chez des enfants TDAH afin de comparer leur profil de performances avec celui des enfants autistes. À notre connaissance une seule étude a évalué la génération de scripts chez des adolescents TDAH et a mis en évidence un nombre important d'erreurs de séquence contrastant avec une préservation de la structure sémantique des scripts . Ainsi, chez les enfants TDAH, les aspects syntaxiques semblent également plus perturbés que les aspects sémantiques.

Par ailleurs, même si nous avons pris comme modèle cérébral le fonctionnement du cortex préfrontal dans les différents composants du contrôle de l'action, nous avons conscience que la représentation de l'action inclut un réseau cérébral beaucoup plus large (avec notamment un rôle important des régions pariétales et du sillon temporal supérieur). Il n'est pas exclu que les troubles de la représentation de l'action soient la conséquence d'une perturbation frontale associée à l'atteinte d'une ou plusieurs de ces autres régions cérébrales qui peuvent varier suivant les pathologies considérées.

Nous avons proposé l'hypothèse qu'un trouble de la représentation de l'action dans l'autisme pouvait rendre compte d'une part des déficits exécutifs et d'autre part des déficits de théorie de l'esprit. Certes, nous avons mis en évidence un trouble de la représentation de l'action mais nous n'avons pas exploré les liens possibles avec la théorie de l'esprit ou d'autres tâches de fonctions exécutives.

Nous souhaiterions reproduire les résultats obtenus avec le protocole des scripts en images en les corrélant avec les performances des sujets autistes dans différentes tâches de planification, d'imitation et d'exécution de gestes et d'actions. Nous avons déjà souligné que, chez les patients avec lésion frontale, l'exécution de scripts n'entraînait pas

nécessairement le même type d'erreurs que l'arrangement et la génération de scripts. Par ailleurs, il semble que l'exécution soit plus sensible aux troubles de planification que la génération de scripts : le surcroît de stimulation occasionné par la mise en situation d'exécution démultiplie le nombre de choix d'actions à effectuer et de décisions à prendre

Dans nos deux expériences, les sujets autistes ont relativement bien réussi les tâches de théorie de l'esprit mais les tâches utilisées ne sont peut-être pas les plus sensibles au regard de l'âge et de l'âge mental verbal des sujets. En effet, pour les tâches que nous avons utilisées, Happé a montré que la réussite des enfants autistes dépendait de leur âge mental verbal. Avant 6 ans d'âge mental verbal, tous les enfants autistes sont en échec, vers 9 ans d'âge mental verbal, les enfants autistes ont 50 % de chance de réussir les deux tâches et au-delà de 11 ans d'âge mental verbal tous les enfants autistes réussissent les deux tâches. Il est donc possible que les sujets autistes que nous avons testés dans nos deux études réussissent relativement bien les épreuves de théorie de l'esprit du fait de leur âge chronologique avancé et d'un niveau verbal suffisant.

D'autre part, dans nos deux expériences, nous avons délibérément choisi des sujets autistes présentant un niveau de compréhension verbale suffisant pour comprendre les consignes des tâches expérimentales. Enfin, tous les sujets testés bénéficient de prises en charge pluridisciplinaires, dont certaines ont pour objectif de développer les capacités de mentalisation.

## **Différents niveaux de représentation de l'action**

Comme nous l'avons préalablement esquissé, il existe une organisation hiérarchique de l'action, c'est-à-dire que la représentation de l'action est distribuée à plusieurs niveaux. Nous allons examiner les capacités de représentation des sujets autistes pour ces différents niveaux.

### **Représentations d'action centrées sur les objets ou représentations motrices**

---

Considérons les actions simples orientées vers un objet, comme le fait de saisir un objet avec la main. Cette action peut se subdiviser en schémas élémentaires (approche de la main, pince digitale, orientation de la main par rapport à l'objet, etc.). Ces schémas élémentaires sont assemblés et guidés par un schéma d'un ordre hiérarchique plus élevé qui représente la posture finale de la main, lui-même guidé par la représentation du but, l'intention même de l'agent.

Selon Jeannerod, la représentation motrice est composée d'une représentation du corps en action et d'une représentation des buts de l'action. Cette dernière inclut des informations sur l'objet sur lequel l'action est dirigée et sur l'état final de l'organisme une fois le but accompli. En d'autres termes, la représentation motrice encode non seulement

les propriétés du système moteur central et périphérique, mais aussi les propriétés des objets utiles à l'action : la forme et la taille de l'objet, le poids présumé de l'objet, etc. Jeannerod a utilisé le terme de représentation pragmatique pour qualifier ce mode de représentation centré sur les objets et déterminant comment agir avec lui. Les attributs des objets sont ainsi traités dans une représentation pragmatique comme des affordances, activant certains schémas moteurs.

Nous avons déjà souligné que les enfants autistes présentent de nombreuses perturbations du mouvement, et plus particulièrement du mouvement dirigé vers un but, pouvant suggérer une atteinte des représentations motrices.

Les difficultés d'anticipation motrice rapportées chez des enfants autistes dans une tâche de soulèvement d'objet peuvent être interprétées comme une atteinte de la construction des représentations sensorimotrices .

Dans une tâche de saisie d'objet, Mari et al. ont montré que les enfants autistes avaient des difficultés à coordonner les programmes moteurs des mouvements d'atteinte et de saisie de l'objet. Néanmoins ils étaient capables de réguler les paramètres de chacun de ces mouvements, suggérant que certaines propriétés visuelles des objets étaient encodées correctement.

Il est possible que certains paramètres du geste soient correctement traités quand le but est de saisir l'objet, mais qu'en est-il quand cette saisie est guidée par un but d'ordre supérieur ? Par exemple, la saisie d'un crayon ne sera pas la même si le but est de tracer un trait sur une feuille ou bien de jeter ce crayon le plus loin possible droit devant soi. Jeannerod rapporte une étude réalisée par Ron Marteniuk en 1987 qui consistait à demander aux sujets, dont les mouvements du bras étaient enregistrés, de saisir un jeton et de le placer soit dans un logement étroit soit dans une boîte de plus grande taille. Les résultats de l'analyse cinématique du mouvement d'atteinte et de saisie ont montré une différence en relation avec le but final de l'action.

Hughes a demandé à des enfants autistes, avec retard mental et normaux, de saisir une barre et de la placer dans un disque. Suivant l'extrémité de la barre à placer dans le disque, les sujets devaient saisir la barre de manière différente afin de réaliser le geste de façon confortable. Les résultats ont montré que les enfants autistes ne planifiaient pas correctement la saisie avant de placer l'objet (ils réalisaient toujours la même saisie) et qu'ils n'adaptaient pas leur mouvement en cas de position inconfortable (malgré la réalisation de plusieurs essais, ils ne changeaient pas de stratégie). Malheureusement les paramètres du geste de saisie n'ont pas été mesurés dans cette tâche.

Ces données suggèrent que certaines propriétés visuelles de l'objet pourraient activer automatiquement et correctement certains schémas moteurs mais est-ce que pour autant la représentation de la fonction de l'objet est suffisamment élaborée pour guider une action dirigée vers un but ? La saisie de l'objet peut être correcte mais la saisie pour une action précise pourrait être perturbée. D'autres études évaluant les paramètres du mouvement sont nécessaires afin de mieux comprendre la construction des représentations motrices chez les enfants autistes.

Par ailleurs, il pourrait être intéressant d'étudier cette question de l'affordance pour la catégorie particulière d'objets que sont les outils. En effet, les paramètres des

mouvements sont généralement mesurés dans des tâches de saisie ou de soulèvement d'objets tels que des barres ou des cubes, c'est-à-dire des objets qui n'ont pas de fonction particulière. Selon Jeannerod, un outil est un objet possédant une signification « pragmatique » et son utilisation est contrainte par la représentation de l'action correspondante. Un sujet ne peut utiliser correctement un outil tant qu'il n'a pas appris à utiliser cet outil, tant qu'il n'a pas encodé une représentation des actions nécessaires à la manipulation de l'outil. Chez l'enfant, l'utilisation correcte d'un crayon ou de ciseaux repose obligatoirement sur l'apprentissage des actions nécessaires à leur manipulation.

Une étude en cours de réalisation dans notre équipe a pour objectif d'évaluer la capacité d'enfants autistes à prédire la fin d'une séquence d'action pour trois types de séquences : (a) des gestes de saisie d'objets, d'outils, comme prendre un couteau ; (b) des actions simples d'utilisation d'objets comme couper du pain ; (c) des actions plus longues et complexes comme préparer un sandwich. Plusieurs réponses possibles étaient proposées. Pour les gestes de saisie, en plus de la saisie correcte, les sujets pouvaient choisir une réponse montrant une saisie aberrante, une autre montrant une mauvaise orientation du geste de saisie et une dernière où l'objet était saisi comme un autre objet. Pour les deux autres types de séquences, les réponses distractrices comportaient soit une finalité aberrante, soit une erreur chronologique (action qui appartient au script mais qui n'est pas la suite logique de la séquence), soit une finalité possible mais peu probable au vu du contexte global.

Les résultats préliminaires montrent que les enfants autistes ont des difficultés de prédiction pour tous les niveaux considérés même pour les gestes de saisie. Alors que des erreurs chronologiques sont observées pour les actions simples et complexes, la prédiction de la fin des gestes de saisie comporte essentiellement des erreurs sur l'orientation de la préhension de l'objet. Sur le plan qualitatif nous avons remarqué que les erreurs d'orientation sont observées chez les enfants autistes les plus jeunes. Les plus âgés réalisent moins d'erreurs, mais ils miment la prise de l'objet avant de répondre correctement (comme s'ils ne pouvaient pas activer automatiquement une représentation correcte de ce geste).

En résumé, il semble que les enfants autistes, ou au moins un sous-groupe d'enfants autistes, présentent des difficultés dès le niveau des représentations motrices mais d'autres études sont nécessaires afin de mieux comprendre la nature du déficit : est-ce un défaut dans la construction des représentations motrices, un trouble dans la réactualisation de ces représentations en fonction des informations proprioceptives ou un trouble dans la coordination de plusieurs programmes moteurs et/ou l'intégration de ces représentations en une représentation d'actions plus complexe ?

## **Représentations de séquences d'actions**

---

Les représentations des actions orientées vers un objet forment les constituants de représentations plus larges encodant des plans à plus long terme. Ce niveau plus complexe d'organisation de l'action fait intervenir des schémas de plus haut niveau contrôlant la sélection, l'activation et l'inhibition de schémas plus élémentaires. Dans la mesure où ces représentations encodent des buts complexes, elles doivent refléter le

déroulement temporel des actions nécessaires à l'accomplissement du but. Ainsi à ce niveau, un traitement primordial est le codage temporel des actions les unes par rapport aux autres.

La première étude que nous avons présentée a justement mis en évidence une atteinte spécifique du traitement temporel chez les enfants autistes : que la construction des représentations motrices soit ou non perturbée, l'intégration de ces représentations en un plan d'action plus complexe semble déficitaire. Ce traitement temporel est généralement sous-tendu par le cortex préfrontal dorsolatéral et, chez le sujet normal, la préparation et la programmation d'une action volontaire s'accompagnent de l'activation d'une zone du cortex préfrontal dorsolatéral gauche. Cette zone pourrait représenter le point de convergence d'informations nécessaires à la construction d'un plan d'action, puis au maintien de ces informations en mémoire de travail.

L'organisation hiérarchique des représentations de l'action influencerait l'exécution et l'imitation d'actions mais également la façon dont les personnes décrivent et mémorisent leurs activités dirigées vers un but et la façon dont elles comprennent et mémorisent un texte décrivant de telles activités . Elle guiderait également la perception de ses propres actions et la perception des actions d'autrui.

### Représentations partagées

---

Le concept de représentation d'action peut s'étendre, au-delà de la représentation de nos propres actions, à celle d'actions exécutées par autrui. L'expression « représentation partagée » signifie que la même action peut être représentée simultanément par celui qui l'exécute (ou qui a l'intention de l'exécuter) et par celui qui l'observe (ou qui cherche à en déchiffrer le contenu).

Nous avons cité un certain nombre de travaux en psychologie cognitive et en neuropsychologie suggérant que les mêmes processus de représentation de l'action guident la perception des actions d'autrui, la perception de ses propres actions et la réalisation de ses propres actions. Au niveau neurobiologique, la découverte des neurones miroirs qui s'activent quand le sujet exécute, observe, imite ou simule mentalement une même action, a renforcé cette hypothèse d'une équivalence entre les représentations motrices propres au sujet et les représentations motrices d'autrui. Selon Georgieff , « *l'existence des neurones miroirs et la notion de représentation partagée suggèrent un système de représentation d'action assurant de manière identique l'encodage des actions de soi et d'autrui, qui peut être activé par la voie endogène (l'engagement intentionnel d'une action ou de sa seule représentation) comme exogène (par la seule perception d'actes), et qui constitue une interface entre l'individu et autrui* ».

Les représentations partagées seraient impliquées dans de nombreuses activités cognitives telles que la compréhension de l'action d'autrui, l'imitation et l'apprentissage de nouveaux comportements mais également dans la compréhension du langage et la mentalisation.

La représentation activée chez l'observateur lui permettrait de comprendre l'action réalisée par autrui en accédant au but de l'action et aux moyens nécessaires à

l'accomplissement du but ainsi qu'aux conséquences de l'action. Un tel processus serait également utilisé dans les activités d'imitation nécessitant une compréhension du but de l'action. Cependant il est possible de reproduire une action sans en saisir le but. Dans ce cas-là, comme dans l'apprentissage de nouveaux comportements moteurs, c'est l'observation de l'action d'autrui qui crée chez l'observateur une représentation de cette action : cette représentation pouvant par la suite faciliter et guider l'exécution de la même action par l'observateur.

Par ailleurs, Rizzolatti et Arbib ont suggéré que le système miroir pourrait constituer le mécanisme neurophysiologique à partir duquel le langage a évolué. Cette hypothèse est basée sur le fait que le système miroir crée un lien entre celui qui envoie un message et celui qui le reçoit. D'autre part, elle souligne l'importance du geste, de la communication gestuelle, dans l'évolution du langage.

Enfin pour Gallese et Goldman, le système miroir serait un précurseur de la capacité de théorie de l'esprit. La compréhension des actions n'impliquerait peut-être pas une compréhension précise des états mentaux complexes telles que les croyances, mais elle constituerait au moins une étape indispensable au développement d'une capacité de théorie de l'esprit. Le système miroir permettrait à l'observateur de s'engager dans un processus de simulation qui lui donnerait accès à la représentation du but, donc à l'intention de celui qui exécute l'action. Cependant comme le soulignent Jacob et Jeannerod, la simulation de l'action perçue permettrait à l'observateur de se représenter l'intention en action de l'agent mais pas l'intention préalable, plus complexe et haut niveau et donc encore moins de se représenter une « intention sociale » (définie comme l'intention d'agir ou plutôt d'interagir avec un autre individu).

Même s'il est légitime de se demander jusqu'où il est possible d'appliquer le modèle de la simulation et des neurones miroirs, il est intéressant de noter qu'un mécanisme similaire serait impliqué dans notre capacité à comprendre les états émotionnels des autres. La perception d'une expression émotionnelle provoquerait chez l'observateur l'activation des représentations motrices correspondant à la formation de cette expression, qui à leur tour provoqueraient l'évocation de l'émotion perçue.

Revenons maintenant à l'autisme. Nous avons essayé de montrer que les sujets autistes présentaient un trouble de la représentation de l'action pouvant perturber tant la représentation de ses propres actions que la représentation des actions d'autrui (trouble de la perception du mouvement et de l'action d'autrui). Si d'autres études sont nécessaires afin de mieux comprendre les atteintes possibles de la représentation de l'action dans l'autisme, il est dès à présent tentant de supposer une perturbation des représentations partagées dans cette pathologie. Une telle perturbation pourrait en effet rendre compte tant des difficultés exécutives et de la régulation de l'action que des difficultés au niveau du langage et de la théorie de l'esprit.

Trois études récentes utilisant différentes techniques électrophysiologiques ont rapporté des anomalies chez des adultes autistes et Asperger dans les régions sous-tendant normalement le système miroir dans des tâches d'imitation d'actions et d'observation d'actions. Une étude en IRMf a mis en évidence une moindre activation des neurones miroirs dans la région frontale inférieure à la fois dans une tâche d'observation

et d'imitation d'expressions faciales . Nishitani et al. montraient également des anomalies dans la région frontale inférieure dans une tâche d'imitation de mouvements orofaciaux.

Ces résultats sont intéressants mais d'autres études sont nécessaires afin d'examiner si le système miroir est normalement activé ou non à la fois lors de l'exécution d'actions et lors de l'observation, l'imitation et la simulation d'actions. A priori, l'observation et l'imitation d'actions chez les autistes n'activent pas correctement les régions sous-tendant les représentations des actions d'autrui. Pour autant, est-ce que la réalisation d'actions active correctement les régions sous-tendant les représentations motrices internes ? Est-ce que les zones cérébrales activées pendant l'exécution, la simulation et l'observation de l'action se superposent de la même façon chez les autistes et chez les sujets normaux ? Est-ce que l'atteinte du système miroir reflète une mauvaise organisation des représentations et/ou un manque de communauté entre représentation d'action de soi et représentation d'action d'autrui ?

Ainsi d'autres explorations doivent être réalisées avant de pouvoir conclure à un déficit du système miroir et des représentations partagées dans l'autisme, d'autant plus que quelques études comportementales ne confortent pas une telle hypothèse.

Sebanz, Knoblich, Stumpf et Prinz ont réalisé une étude auprès d'enfants autistes afin d'évaluer si la perception des actions réalisées par autrui pouvait influencer l'exécution de nos propres actions. Sur un écran d'ordinateur est présentée une main dont l'index est pointé soit vers la droite soit vers la gauche. Cet index porte un anneau soit rouge soit vert. Dans une première condition, la tâche du sujet consiste à appuyer sur le bouton droit si l'anneau est vert et sur le bouton gauche si l'anneau est rouge et donc d'ignorer l'information directionnelle donnée par l'index. Dans une deuxième condition, deux sujets réalisent la tâche ensemble en ayant pour consigne d'ignorer l'action de la personne assise à leur côté. L'un des participants a pour consigne de répondre à la couleur, l'autre à la direction de l'index. Les temps de réaction des sujets sont normalement plus rapides lorsque la direction de leur réponse est congruente avec celle de leur voisin, et plus lente lorsqu'elle est non congruente. Le même effet est observé chez les adultes autistes suggérant qu'ils forment une représentation de l'action de leur voisin même si celle-ci interfère avec leur propre performance.

Grezes et De Gelder cite une autre étude montrant que le phénomène de contagion automatique d'une expression faciale est observé chez des sujets adultes autistes.

Par ailleurs, bien qu'il soit admis que les sujets autistes présentent des difficultés importantes d'imitation, Nadel souligne que toutes les évaluations se font à partir de tâches d'imitation induites peu motivantes pour l'enfant et qui sollicitent donc la mise en jeu de fonctions exécutives que l'on sait déficientes dans l'autisme. Lorsque, au contraire, on produit devant un enfant autiste, sans rien lui demander, des activités attractives et de niveaux de complexité divers, il est très fréquent de le voir imiter spontanément.

En outre une des questions posées par ce concept de représentations partagées est celle de l'agentivité, c'est-à-dire comment le sujet peut distinguer la représentation interne de ses propres actions de la représentation des actions d'autrui ?

En effet, les représentations partagées renvoient à une communauté des processus entre représentation interne et représentation d'autrui. Mais les activations cérébrales

observées pendant l'exécution et l'observation d'une action ne se superposent que partiellement. Ainsi les neurones miroirs ne rempliraient qu'une propriété des représentations partagées : ils peuvent rendre compte de la compréhension de l'action mais pas de la différenciation entre actions propres et actions d'autrui. Un autre mécanisme serait nécessaire pour l'attribution d'action . Alors que ce mécanisme semble perturbé chez les patients schizophrènes, quelques données ont montré que les sujets autistes seraient capables de distinguer et de se rappeler les actions réalisées par soi-même et par autrui .

Nadel rapporte une étude où dès 18 mois d'âge de développement, les enfants autistes sont capables d'imiter au moins quelques actions simples avec un objet familier et ils manifestent tous une reconnaissance d'être imité. Cela signifie que les enfants autistes sont capables d'attribuer à eux-mêmes l'origine des actions des autres. Pour Nadel, « *un premier pas vers la reconnaissance de sa propre agentivité (c'est-à-dire du sentiment d'être l'auteur et le responsable de ses actions) est de discriminer entre les perceptions dont sa propre action est la cause et les perceptions causées par l'extérieur (et notamment par les autres agents)* ».

## **Représentations sociales**

---

Pour terminer, nous voulons souligner que les représentations motrices partagées devraient ensuite être interprétées dans un contexte d'interactions sociales.

Il est certes indispensable de reconnaître et de comprendre les actions et émotions d'autrui mais il est encore plus utile de savoir comment réagir aux actions et émotions d'autrui et comment autrui peut réagir à nos propres actions et émotions.

Les difficultés des autistes sont nécessairement accrues à ce niveau de représentation qui repose sur l'intégration d'informations et de connaissances contextuelles et sociales diverses et variées.

## **Conclusion**

Nous avons commencé notre travail en présentant une vue d'ensemble de deux dysfonctionnements cognitifs majeurs observés dans l'autisme : un trouble de théorie de l'esprit et un déficit exécutif. Cela nous a conduit à nous interroger sur les liens possibles entre ces deux fonctions et à proposer l'hypothèse que tant le déficit en théorie de l'esprit que le déficit exécutif pourraient dériver d'un trouble plus fondamental et général affectant les processus de perception et de représentation de la structure finalisée du mouvement, des actes et d'actions plus complexes.

Le principal apport de ce travail est d'avoir utilisé les modèles issus de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie afin de mettre en évidence des difficultés dans l'organisation même des représentations de l'action dans l'autisme. Les perturbations mises en évidence concernent d'une part les niveaux les plus simples de l'organisation

hiérarchique des représentations de l'action, ceux directement en lien avec l'utilisation des objets, et d'autre part l'établissement des liens temporels et causaux entre les différentes étapes nécessaires à l'accomplissement d'un but donné.

Certes de nombreuses questions restent ouvertes concernant la nature de ces difficultés et la cascade de déficits qui en découle tant sur le plan de la régulation du comportement que de la cognition sociale.

Par ailleurs, une de principale limite à la compréhension des troubles chez l'enfant autiste est le manque de théorisations et de données empiriques concernant d'une part le développement normal des différents mécanismes de perception et de contrôle de l'action, et d'autre part de l'implication de ces mécanismes dans le développement de fonctions cognitives plus haut niveau. L'alternative consistant à utiliser les modèles de fonctionnement adulte permet de proposer un certain nombre d'hypothèses intéressantes sur les déficits cognitifs primaires rencontrés dans l'autisme mais les interprétations sont rapidement limitées par le manque de données développementales.

Ainsi, l'hypothèse d'une perturbation du système miroir dans l'autisme est d'un intérêt théorique important, permettant d'établir un lien entre la théorie de l'action et la théorie de l'esprit, mais nous insistons sur la nécessité de comprendre comment se met en place un tel système dans le développement normal afin d'affiner nos hypothèses dans le cadre de pathologie(s) neurodéveloppementale(s).



---

## REFERENCES

- Abu-Akel, A. (2003). A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews*, 43(1), 29-40.
- Allain, P., & Le Gall, D. (2004). Fonctions exécutives et scripts. In T. Meulemans, F. Collette & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des fonctions exécutives* (pp. 109-136). Marseille: Solal Editeurs.
- Allain, P., Le Gall, D., Etcharry-Bouyx, F., Aubin, G., & Emile, J. (1999). Mental representation of knowledge following frontal-lobe lesion: dissociations on tasks using scripts. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 21(5), 643-665.
- Allain, P., Le Gall, D., Etcharry-Bouyx, F., Forgeau, M., Mercier, P., & Emile, J. (2001). Influence of centrality and distinctiveness of actions on script sorting and ordering in patients with frontal lobe lesions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(4), 465-483.
- Allain, P., Verny, C., Aubin, G., Bonneau, D., Dubas, F., & Le Gall, D. (2004). Processing of 'scripts' and frontal lobe function in Huntington's disease. *Revue de Neurologie*, 160(4), 434-440.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th Edition DSM-IV-TR (Text Revision)*. Washington, D.C.: American Psychiatric Press.
- Andres, C. (2002). Molecular genetics and animal models in autistic disorder. *Brain Research Bulletin*, 57(1), 109-119.

- Astington, J. W. (2001). The future of theory-of-mind research: understanding motivational states, the role of language, and real-world consequences. *Child Development, 72*(3), 685-687.
- Bach, L. J., Happé, F., Fleming, S., & Powell, J. (2000). Theory of mind: Independence of executive function and the role of the frontal cortex in acquired brain injury. *Cognitive Neuropsychiatry, 5*(3), 175-192.
- Bailey, A., Phillips, W., & Rutter, M. (1996). Autism: towards an integration of clinical, genetic, neuropsychological, and neurobiological perspectives. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*(1), 89-126.
- Baldwin, D. A., Baird, J. A., Saylor, M. M., & Clark, M. A. (2001). Infants Parse Dynamic Action. *Child Development, 72*(3), 708-717.
- Baron-Cohen, S. (1988). Social and pragmatic deficits in autism: cognitive or affective ? *Journal of Autism and Developmental Disorders, 18*(3), 379-402.
- Baron-Cohen, S. (1989). The autistic child's theory of mind: a case of specific developmental delay. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 30*(2), 285-297.
- Baron-Cohen, S. (1995). *Mindblindness. An Essay on Autism and Theory of Mind*. Cambridge: MIT Press.
- Baron-Cohen, S. (2000). Theory of mind and autism: a fifteen year review. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D. J. Cohen (Eds.), *Understanding Other Minds. Perspectives From Developmental Cognitive Neuroscience* (Second Edition ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a 'theory of mind' ? *Cognition, 21*(1), 37-46.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1986). Mechanical, behavioural and intentional understanding of picture stories in autistic children. *British Journal of Developmental Psychology, 4*, 113-125.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., et al. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience, 11*(6), 1891-1898.
- Bell, M. A., & Fox, N. A. (1992). The relations between frontal brain electrical activity and cognitive development during infancy. *Child Development, 63*, 1142-1163.
- Belmonte, M. K., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L. M., Carper, R. A., & Webb, S. J. (2004). Autism and abnormal development of brain connectivity. *The Journal of Neuroscience, 24*(42), 9228-9231.
- Bennetto, L., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1996). Intact and impaired memory functions in autism. *Child Development, 67*(4), 1816-1835.
- Bertone, A., & Faubert, J. (2006). Demonstrations of Decreased Sensitivity to Complex Motion Information Not Enough to Propose an Autism-Specific Neural Etiology. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 36*(1), 55-64.
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science, 14*(2), 151-157.
- Bloom, P., & German, T. P. (2000). Two reasons to abandon the false belief task as a

- test of theory of mind. *Cognition*, 77(1), B25-B31.
- Boddaert, N., Chabane, N., Gervais, H., Good, C. D., Bourgeois, M., Plumet, M. H., et al. (2004). Superior temporal sulcus anatomical abnormalities in childhood autism: a voxel-based morphometry MRI study. *Neuroimage*, 23(1), 364-369.
- Bowler, D. M., & Thommen, E. (2000). Attribution of mechanical and social causality to animated displays by children with autism. *Autism*, 4(2), 147-171.
- Brambilla, P., Hardan, A., di Nemi, S. U., Perez, J., Soares, J. C., & Barale, F. (2003). Brain anatomy and development in autism: review of structural MRI studies. *Brain Research Bulletin*, 61(6), 557-569.
- Braun, C. M., Godbout, L., Desbiens, C., Daigneault, S., Lussier, F., & Hamel-Hebert, I. (2004). Mental genesis of scripts in adolescents with attention deficit/hyperactivity disorder. *Child Neuropsychology*, 10(4), 280-296.
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Bayle, M. C., & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *Neuroimage*, 11(2), 157-166.
- Byrne, R. W. (2003). Imitation as behaviour parsing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 358, 529-536.
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72(4), 1032-1053.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Breton, C. (2002). How specific is the relation between executive function and theory of mind ? Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development*, 11(2), 73-92.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Claxton, L. J. (2004). Individual differences in executive functioning and theory of mind: An investigation of inhibitory control and planning ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(4), 299-319.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Hix, H. R. (1998). The role of inhibitory processes in young children's difficulties with deception and false belief. *Child Development*, 69(3), 672-691.
- Carper, R. A., & Courchesne, E. (2000). Inverse correlation between frontal lobe and cerebellum sizes in children with autism. *Brain*, 123 ( Pt 4), 836-844.
- Carper, R. A., Moses, P., Tigue, Z. D., & Courchesne, E. (2002). Cerebral lobes in autism: early hyperplasia and abnormal age effects. *Neuroimage*, 16(4), 1038-1051.
- Castelli, F., Frith, C., Happé, F., & Frith, U. (2002). Autism, Asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution of mental states to animated shapes. *Brain*, 125(8), 1839-1849.
- Chakrabarti, S., & Fombonne, E. (2005). Pervasive developmental disorders in preschool children: confirmation of high prevalence. *American Journal of Psychiatry*, 162(6), 1133-1141.
- Charman, T., Campbell, A., & Edwards, L. S. (1998). Theory of mind performance in children, adolescents, and adults with a mental handicap. *Cognitive Development*, 13(3), 307-322.
- Chevignard, M., Pillon, B., Pradat-Diehl, P., Taillefer, C., Rousseau, S., Le Bras, C., et al. (2000). An ecological approach to planning dysfunction: script execution. *Cortex*, 36(5), 649-669.

- Chugani, H., Phelps, M., & Mazziotta, J. (1987). Positron emission tomography study in human brain functional development. *Annals of Neurology*, 22, 487-497.
- Cody, H., Pelphrey, K., & Piven, J. (2002). Structural and functional magnetic resonance imaging of autism. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 20(3-5), 421-438.
- Collette, F. (2004). Exploration des fonctions exécutives par imagerie cérébrale. In T. Meulemans, F. Collette & M. Van der Linden (Eds.), *Neuropsychologie des fonctions exécutives* (pp. 25-51). Marseille: Solal Editeurs.
- Corcoran, R. (1993). Theory of mind in other clinical conditions : is a selective 'theory of mind' deficit exclusive to autism ? In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D. J. Cohen (Eds.), *Understanding Other Minds. Perspectives from autism*. (pp. 391-421). Oxford: Oxford University Press.
- Corson, Y. (1990). The structure of scripts and their constituent elements. *Cahiers de Psychologie Cognitive : European Bulletin of Cognitive Psychology*, 10, 157-183.
- Courchesne, E. (1997). Brainstem, cerebellar and limbic neuroanatomical abnormalities in autism. *Current Opinion in Neurobiology*, 7(2), 269-278.
- Courchesne, E., & Pierce, K. (2005a). Brain overgrowth in autism during a critical time in development: implications for frontal pyramidal neuron and interneuron development and connectivity. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 23, 153-170.
- Courchesne, E., & Pierce, K. (2005b). Why the frontal cortex in autism might be talking only to itself: local over-connectivity but long-distance disconnection. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 225-230.
- Crozier, S., Sirigu, A., Lehericy, S., van de Moortele, P. F., Pillon, B., Grafman, J., et al. (1999). Distinct prefrontal activations in processing sequence at the sentence and script level: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 37(13), 1469-1476.
- Csibra, G., Biro, S., Koos, O., & Gergely, G. (2003). One-year-old infants use teleological representations of actions productively. *Cognitive Science*, 27(1), 111-133.
- Csibra, G., & Gergely, G. (1998). The teleological origins of mentalistic action explanations: A developmental hypothesis. *Developmental Science*, 1(2), 255-259.
- Csibra, G., Gergely, G., Biro, S., Koos, O., & Brockbank, M. (1999). Goal attribution without agency cues: the perception of 'pure reason' in infancy. *Cognition*, 72(3), 237-267.
- Damasio, A. R., & Maurer, R. G. (1978). A neurological model for childhood autism. *Archives of Neurology*, 35(12), 777-786.
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., et al. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9(1), 28-30.
- Dawson, G., Meltzoff, A. N., Osterling, J., & Rinaldi, J. (1998). Neuropsychological correlates of early symptoms of autism. *Child Development*, 69(5), 1276-1285.
- Decety, J., & Grezes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(5), 172-178.

- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., et al. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120(10), 1763-1777.
- Diamond, A. (1988). Differences between adult and infant cognition: is the crucial variable presence or absence of language ? In L. Weiskrantz (Ed.), *Thought without language* (pp. 337-370). Oxford: Oxford University Press.
- Dubois, B., Pillon, B., & Sirigu, A. (1994). Fonctions intégratrices et cortex préfrontal chez l'homme. In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.), *Neuropsychologie humaine*. (pp. 453-469). Bruxelles: Mardaga.
- Duncan, J. (1986). Disorganisation of behaviour after frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology*, 3(3), 271-290.
- Filipek, P. A. (1999). Neuroimaging in the developmental disorders: the state of the science. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(1), 113-128.
- Fine, C., Lumsden, J., & Blair, R. J. (2001). Dissociation between 'theory of mind' and executive functions in a patient with early left amygdala damage. *Brain*, 124(Pt 2), 287-298.
- Fivush, R., & Slackman, E. (1986). The Acquisition and Development of Scripts. In K. Nelson (Ed.), *Event knowledge. Structure and Function in Development*. (pp. 71-96). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S., et al. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of 'theory of mind' in story comprehension. *Cognition*, 57(2), 109-128.
- Folstein, S. E., & Rosen-Sheidley, B. (2001). Genetics of autism: complex aetiology for a heterogeneous disorder. *Nature Reviews Genetics*, 2(12), 943-955.
- Fombonne, E. (2003). Epidemiological surveys of autism and other pervasive developmental disorders: an update. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33(4), 365-382.
- Frith, C. (2004). Is autism a disconnection disorder ? *The Lancet Neurology*, 3(10), 577.
- Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Interacting minds--a biological basis. *Science*, 286(5445), 1692-1695.
- Frith, U. (1989). *Autism: explaining the enigma*. Oxford: Basil Blackwell.
- Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 358(1431), 459-473.
- Frye, D., Zelazo, P. D., & Palfai, T. (1995). Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development*, 10(4), 483-527.
- Fuster, J. M. (1995). Temporal Processing. In J. Grafman, K. J. Holyoak & F. Boller (Eds.), *Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex*. (Vol. 769, pp. 173-181). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 77-83.
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U., & Frith, C. D.

- (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 11-21.
- Gallese, V. (2006). Intentional attunement: A neurophysiological perspective on social cognition and its disruption in autism. *Brain Research*, 1079(1), 15-24.
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12), 493-501.
- Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(9), 396-403.
- Georgieff, N. (1998). Action et identité : contribution des Sciences Cognitives à l'étude des troubles psychotiques. *Confrontations psychiatriques*, 39, 223-274.
- Georgieff, N. (2002). Autisme infantile. In G. Tiberghien, H. Abdi, J.-P. Desclés, N. Georgieff, M. Jeannerod, J.-F. Le Ny, P. Livet, J. Pynte & G. Sabah (Eds.), *Dictionnaire des Sciences Cognitives* (pp. 43-45). Paris: Armand Colin.
- Georgieff, N., & Jeannerod, M. (1998). Beyond consciousness of external reality: a 'who' system for consciousness of action and self-consciousness. *Consciousness and Cognition*, 7(3), 465-477.
- Gepner, B. (2005). Malvoyance du mouvement dans l'autisme : de la clinique à la recherche et à la rééducation. In A. Berthoz, C. Andres, C. Barthélémy, J. Massion & B. Rogé (Eds.), *L'autisme. De la recherche à la pratique*. (pp. 205-226). Paris: Odile Jacob.
- Gepner, B., & Mestre, D. R. (2002a). Brief Report: Postural Reactivity to Fast Visual Motion Differentiates Autistic from Children with Asperger Syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(3), 231-238.
- Gepner, B., & Mestre, D. R. (2002b). Rapid visual-motion integration deficit in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(11), 455.
- Gergely, G., & Csibra, G. (1997). Teleological reasoning in infancy: the infant's naive theory of rational action. A reply to Premack and Premack. *Cognition*, 63(2), 227-233.
- Gergely, G., & Csibra, G. (2003). Teleological reasoning in infancy: the naïve theory of rational action. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 287-292.
- Gergely, G., Nadasdy, Z., Csibra, G., & Biro, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, 56(2), 165-193.
- Gillberg, C. (2005). Autisme : troubles médicaux associés. In A. Berthoz, C. Andres, C. Barthélémy, J. Massion & B. Rogé (Eds.), *L'autisme. De la recherche à la pratique*. (pp. 27-49). Paris: Odile Jacob.
- Godbout, L., & Doyon, J. (1995). Mental representation of knowledge following frontal-lobe or postrolandic lesions. *Neuropsychologia*, 33(12), 1671-1696.
- Godefroy, O. (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *Journal of Neurology*, 250(1), 1-6.
- Gopnik, A. (1993). How we know our minds : the illusion of first-person knowledge of intentionality. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 1-14.
- Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the Mind. Domain Specificity in Cognition and Culture* (pp.

- 257-291). Cambridge: Cambridge University Press.
- Grafman, J. (1995). Similarities and distinctions among current models of prefrontal cortical functions. In J. Grafman, K. J. Holyoak & F. Boller (Eds.), *Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex*. (Vol. 769, pp. 337-368). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Grattan, L. M., & Eslinger, P. J. (1992). Long-term psychological consequences of childhood frontal lobe lesion in patient DT. *Brain and Cognition*, 20(1), 185-195.
- Grezes, J., Armony, J. L., Rowe, J., & Passingham, R. E. (2003). Activations related to 'mirror' and 'canonical' neurones in the human brain: an fMRI study. *Neuroimage*, 18(4), 928-937.
- Grezes, J., & De Gelder, B. (2005). Contagion motrice et émotionnelle. In A. Berthoz, C. Andres, C. Barthélémy, J. Massion & B. Rogé (Eds.), *L'autisme. De la recherche à la pratique*. (pp. 295-319). Paris: Odile Jacob.
- Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12(1), 1-19.
- Grezes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon-Martin, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does Perception of Biological Motion Rely on Specific Brain Regions ? *Neuroimage*, 13(5), 775-785.
- Hammes, J. G. W., & Langdell, T. (1981). Precursors of symbol formation and childhood autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 11(3), 331-346.
- Hanson, C., & Hirst, W. (1989). On the representation of events: A study of orientation, recall, and recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(2), 136-147.
- Happé, F. (1994). An advanced test of theory of mind: understanding of story characters' thoughts and feelings by able autistic, mentally handicapped, and normal children and adults. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24(2), 129-154.
- Happé, F. (1995). The role of age and verbal ability in the theory of mind task performance of subjects with autism. *Child Development*, 66(3), 843-855.
- Happé, F. (1999). Autism: cognitive deficit or cognitive style ? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(6), 216-222.
- Happé, F., Brownell, H., & Winner, E. (1999). Acquired 'theory of mind' impairments following stroke. *Cognition*, 70(3), 211-240.
- Happé, F., Ehlers, S., Fletcher, P., Frith, U., Johansson, M., Gillberg, C., et al. (1996). 'Theory of mind' in the brain. Evidence from a PET scan study of Asperger syndrome. *Neuroreport*, 8(1), 197-201.
- Happé, F., & Frith, U. (2006). The Weak Coherence Account: Detail-focused Cognitive Style in Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 5-25.
- Happé, F., Malhi, G. S., & Checkley, S. (2001). Acquired mind-blindness following frontal lobe surgery ? A single case study of impaired 'theory of mind' in a patient treated with stereotactic anterior capsulotomy. *Neuropsychologia*, 39(1), 83-90.
- Harris, P. (1993). Pretending and planning. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D.

- Cohen (Eds.), *Understanding other minds: perspectives from autism*. (pp. 228-246). Oxford: Oxford University Press.
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243-259.
- Hill, E. L. (2004). Executive dysfunction in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 26-32.
- Hill, E. L., & Russell, J. (2002). Action memory and self-monitoring in children with autism: self versus other. *Infant and Child Development*, 11(2), 159-170.
- Hudson, J. A., Sosa, B. B., & Shapiro, L. R. (1986). Scripts and plans : the development of preschool children's event knowledge and event planning. In K. Nelson (Ed.), *Event Knowledge. Structure and Function in Development*. (pp. 77-102). London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Hughes, C. (1996). Brief report: planning problems in autism at the level of motor control. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 26(1), 99-107.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers : Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253.
- Hughes, C., Leboyer, M., & Bouvard, M. (1997). Executive function in parents of children with autism. *Psychological Medicine*, 27(1), 209-220.
- Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, 28(6), 517-527.
- IMGSAC. (1998). A full genome screen for autism with evidence for linkage to a region on chromosome 7q. International Molecular Genetic Study of Autism Consortium. *Human Molecular Genetics*, 7(3), 571-578.
- IMGSAC. (2001). A genomewide screen for autism: strong evidence for linkage to chromosomes 2q, 7q, and 16p. *American Journal of Human Genetics*, 69(3), 570-581.
- Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 21-25.
- Jamain, S., Quach, H., Betancur, C., Rastam, M., Colineaux, C., Gillberg, I. C., et al. (2003). Mutations of the X-linked genes encoding neuroligins NLGN3 et NLGN4 are associated with autism. *Nature Genetics*, 34, 27-29.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187-245.
- Jeannerod, M. (2002). *La nature de l'Esprit*. Paris: Odile Jacob.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor Cognition: What Actions tell the Self*. Oxford: Oxford University Press.
- Johnson, S. C. (2003). Detecting agents. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 358(1431), 549-559.
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., Kana, R. K., & Minshew, N. J. (2006). Functional and Anatomical Cortical Underconnectivity in Autism: Evidence from an fMRI Study of an Executive Function Task and Corpus Callosum Morphometry. *Cerebral Cortex*, Advance Access published online.

- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Minshew, N. J. (2004). Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of underconnectivity. *Brain*, *127*(8), 1811-1821.
- Kana, R. K., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2006). Sentence comprehension in autism: thinking in pictures with decreased functional connectivity. *Brain*, Advance Access published online.
- Klin, A. (2000). Attributing social meaning to ambiguous visual stimuli in higher-functioning autism and Asperger syndrome: The Social Attribution Task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *41*(7), 831-846.
- Koshino, H., Carpenter, P. A., Minshew, N. J., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Just, M. A. (2005). Functional connectivity in an fMRI working memory task in high-functioning autism. *Neuroimage*, *24*(3), 810-821.
- Lauritsen, M., & Ewald, H. (2001). The genetics of autism. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *103*(6), 411-427.
- Leary, M. R., & Hill, D. A. (1996). Moving on: autism and movement disturbance. *Mental Retardation*, *34*(1), 39-53.
- Lehmkuhl, G., & Poeck, K. (1981). A disturbance in the conceptual organization of actions in patients with ideational apraxia. *Cortex*, *17*(1), 153-158.
- Lepage, J.-F., & Theoret, H. (2006). EEG evidence for the presence of an action observation-execution matching system in children. *European Journal of Neuroscience*, *23*(9), 2505-2510.
- Leslie, A. M. (1987). Pretense and representation: The origins of 'theory of mind'. *Psychological Review*, *94*(4), 412-426.
- Leslie, A. M. (1994). ToMM, ToBy, and Agency : Core architecture and domain specificity. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the Mind. Domain Specificity in Cognition and Culture* (pp. 119-149). Cambridge: Cambridge University Press.
- Leslie, A. M. (1995). A Theory of Agency. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate* (pp. 121-141). Oxford: Oxford University Press.
- Leslie, A. M., German, T. P., & Polizzi, P. (2005). Belief-desire reasoning as a process of selection. *Cognitive Psychology*, *50*(1), 45-85.
- Leslie, A. M., & Polizzi, P. (1998). Inhibitory processing in the false belief task : two conjectures. *Developmental Science*, *1*(2), 247-253.
- Leslie, A. M., & Thaiss, L. (1992). Domain specificity in conceptual development : neuropsychological evidence from autism. *Cognition*, *43*, 225-251.
- Lhermitte, F. (1983). 'Utilization behaviour' and its relation to lesions of the frontal lobes. *Brain*, *106* (Pt 2), 237-255.
- Lopez, B. R., Lincoln, A. J., Ozonoff, S., & Lai, Z. (2005). Examining the Relationship between Executive Functions and Restricted, Repetitive Symptoms of Autistic Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *35*(4), 445-460.
- Lord, C., Cook, E. H., Leventhal, B. L., & Amaral, D. G. (2000). Autism spectrum disorders. *Neuron*, *28*(2), 355-363.

- Losche, G. (1990). Sensorimotor and action development in autistic children from infancy to early childhood. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 31(5), 749-761.
- Loveland, K. A., & Tunali, B. (1991). Social scripts for conversational interactions in autism and Down syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 21(2), 177-186.
- Luna, B., Minshew, N. J., Garver, K. E., Lazar, N. A., Thulborn, K. R., Eddy, W. F., et al. (2002). Neocortical system abnormalities in autism. An fMRI study of spatial working memory. *Neurology*, 59, 834-840.
- Maestrini, E., Paul, A., Monaco, A. P., & Bailey, A. (2000). Identifying autism susceptibility genes. *Neuron*, 28(1), 19-24.
- Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 358(1430), 393-403.
- Marlowe, W. B. (1992). The impact of a right prefrontal lesion on developing brain. *Brain and Cognition*, 20(1), 205-213.
- McEvoy, R. E., Rogers, S. J., & Pennington, B. F. (1993). Executive function and social communication deficits in young autistic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(4), 563-578.
- Meltzoff, A., & Gopnik, A. (1993). The role of imitation in understanding persons and developing a theory of mind. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D. J. Cohen (Eds.), *Understanding Other Minds. Perspectives from autism*. Oxford: Oxford University Press.
- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others. Re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31, 838-850.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1995). Infants' understanding of people and things : from body imitation to folk psychology. In J. Bermúdez, A.J. Marcel & N. Eilan (Eds.), *The body and the Self* (pp. pp. 43-69). Cambridge MA: MIT Press.
- Muckstein, E., & Klicpera, C. (1987). [Reproduction of picture stories by autistic, learning disordered and normal children]. *Zeitschrift für Kinder und Jugendpsychiatrie*, 15(4), 302-314.
- Nadel, J. (2005). Imitation et autisme. In A. Berthoz, C. Andres, C. Barthélémy, J. Massion & B. Rogé (Eds.), *L'autisme. De la recherche à la pratique*. (pp. 343-371). Paris: Odile Jacob.
- Nelson, K. (1986a). Event knowledge and cognitive development. In K. Nelson (Ed.), *Event knowledge. Structure and Function in Development*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nelson, K. (1986b). *Event Knowledge. Structure and Function in Development*. London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Newton, D. (1973). Attribution and the unit of perception of ongoing behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 28, 28-38.
- Newton, D., & Engquist, G. (1976). The perceptual organization of ongoing behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, 12(5), 436-450.
- Nishitani, N., Avikainen, S., & Hari, R. (2004). Abnormal imitation-related cortical

- activation sequences in Asperger's syndrome. *Annals of Neurology*, 55(4), 558-562.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action : willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 190-198.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Hashimoto, T., Kunihiro, T., Nishikawa, M., Uema, T., et al. (2000). Abnormal regional cerebral blood flow in childhood autism. *Brain*, 123 ( Pt 9), 1838-1844.
- Onishi, K. H., & Baillargeon, R. (2005). Do 15-Month-Old Infants Understand False Beliefs ? *Science*, 308(5719), 255-258.
- Oswald, D. P., & Ollendick, T. H. (1989). Role taking and social competence in autism and mental retardation. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 19(1), 119-127.
- Ozonoff, S., & Jensen, J. (1999). Brief report: specific executive function profiles in three neurodevelopmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(2), 171-177.
- Ozonoff, S., & McEvoy, R. E. (1994). A longitudinal study of executive function and theory of mind development in autism. *Development and Psychopathology*, 6, 415-431.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991a). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1081-1105.
- Ozonoff, S., Rogers, S. J., & Pennington, B. F. (1991b). Asperger's syndrome: evidence of an empirical distinction from high-functioning autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1107-1122.
- Ozonoff, S., & Strayer, D. L. (1997). Inhibitory function in nonretarded children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27(1), 59-77.
- Ozonoff, S., & Strayer, D. L. (2001). Further evidence of intact working memory in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(3), 257-263.
- Partiot, A., Grafman, J., Sadato, N., Flitman, S., & Wild, K. (1996). Brain activation during script event processing. *Neuroreport*, 7(3), 761-766.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(1), 51-87.
- Pennington, B. F., Rogers, S. J., Bennetto, L., McMahon Griffith, E., Taffy Reed, D., & Shyu, V. (1997). Validity tests of the executive dysfunction hypothesis of autism. In J. Russell (Ed.), *Autism as an Executive Disorder* (pp. 143-184). Oxford: Oxford University Press.
- Perner, J., Frith, U., Leslie, A. M., & Leekam, S. R. (1989). Exploration of the autistic child's theory of mind: knowledge, belief, and communication. *Child Development*, 60(3), 688-700.
- Perner, J., & Lang, B. (1999). Development of theory of mind and executive control.

- Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 337-344.
- Perner, J., Lang, B., & Kloo, D. (2002). Theory of mind and self-control: more than a common problem of inhibition. *Child Development*, 73(3), 752-767.
- Perner, J., & Wimmer, H. (1985). 'John thinks that Mary thinks that...' attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 39(3), 437-471.
- Premack, D., & Premack, A. J. (1995). Intention as psychological cause. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate* (pp. 121-141). Oxford: Oxford University Press.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind ? *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515-526.
- Proust, J. (2000). Pour une théorie motrice de la simulation. *Psychologie Française*, 45(4), 295-306.
- Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2001). Movement preparation in high-functioning autism and Asperger disorder : a serial choice reaction time task involving motor reprogramming. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 79-88.
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language without grasp. *Trends in Neuroscience*, 21, 188-194.
- Rizzolatti, G., & Fadiga, L. (2005). The mirror neuron system and action recognition. In H. J. Freund, M. Jeannerod, M. Hallett & R. Leiguarda (Eds.), *Higher-order motor disorders. From neuroanatomy and neurobiology to clinical neurology*. (pp. 141-157). Oxford: Oxford University Press.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996a). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., et al. (1996b). Localization of grasp representations in humans by PET : 1.Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111, 246-252.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 661-670.
- Rogers, S. J. (1999). An examination of the imitation deficit in autism. In J. N. G. Butterworth (Ed.), *Imitation in Infancy* (pp. pp 254-283). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rogers, S. J., & Pennington, B. F. (1991). A theoretical approach to the deficits in infantile autism. *Development and Psychopathology*, 3, 137-162.
- Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A Model of the Development of Frontal Lobe Functioning: Findings From a Meta-Analysis. *Applied Neuropsychology*, 12(4), 190-201.
- Rosenberg, M. (1990). Les troubles autistiques du contact affectif. Traduction de l'article de L. KANNER : Autistic disturbances of affective contact. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence.*, 38(1-2), 65-84.

- 
- Roth, D., & Leslie, A. M. (1998). Solving belief problems: toward a task analysis. *Cognition*, 66(1), 1-31.
- Ruble, L. A., & Scott, M. M. (2002). Executive functions and the natural habitat behaviors of children with autism. *Autism*, 6(4), 365-381.
- Rumsey, J. M., & Ernst, M. (2000). Functional neuroimaging of autistic disorders. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 171-179.
- Russell, J. (1998). Les racines exécutives (non modulaires) des perturbations de la mentalisation dans l'autisme. In H. Grivois & J. Proust (Eds.), *Subjectivité et conscience d'agir : approche cognitive et clinique de la psychose* (pp. 139-206). Paris: PUF.
- Russell, J., & Hill, E. L. (2001). Action-monitoring and intention reporting in children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(3), 317-328.
- Russell, J., & Jarrold, C. (1998). Error-correction problems in autism : evidence for a monitoring impairment ? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 28(3), 177-188.
- Russell, J., & Jarrold, C. (1999). Memory for actions in children with autism: self versus other. *Cognitive Neuropsychiatry*, 4(4), 303-331.
- Russell, J., Jarrold, C., & Henry, L. (1996). Working memory in children with autism and with moderate learning difficulties. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(6), 673-686.
- Russell, J. E. (1997). *Autism as an executive disorder*. Oxford: Oxford University Press.
- Rutter, M., Silberg, J., O'Connor, T., & Simonoff, E. (1999a). Genetics and child psychiatry: I Advances in quantitative and molecular genetics. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(1), 3-18.
- Rutter, M., Silberg, J., O'Connor, T., & Simonoff, E. (1999b). Genetics and child psychiatry: II Empirical research findings. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(1), 19-55.
- Sabbagh, M. A. (2004). Understanding orbitofrontal contributions to theory-of-mind reasoning: implications for autism. *Brain and Cognition*, 55(1), 209-219.
- Saxe, R., Xiao, D. K., Kovacs, G., Perrett, D. I., & Kanwisher, N. (2004). A region of right posterior superior temporal sulcus responds to observed intentional actions. *Neuropsychologia*, 42(11), 1435-1446.
- Schmitz, C., Martineau, J., Barthelemy, C., & Assaiante, C. (2003). Motor control and children with autism: deficit of anticipatory function ? *Neuroscience Letters*, 348(1), 17-20.
- Schmitz, N., Rubia, K., Daly, E., Smith, A., Williams, S., & Murphy, D. G. M. (2006). Neural Correlates of Executive Function in Autistic Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry*, 59(1), 7-16.
- Schwartz, M. F. (1995). Re-examining the Role of Executive Functions in Routine Action Production. In J. Grafman, K. J. Holyoak & F. Boller (Eds.), *Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex*. (Vol. 769, pp. 321-335). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Searle, J. R. (1983). *Intentionality: an essay in the philosophy of mind*. Cambridge:

Cambridge University Press.

- Sebanz, N., Knoblich, G., Stumpf, L., & Prinz, W. (2005). Far from action-blind: representation of others' actions in individuals with autism. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3-4), 433-454.
- Selman, R. L. (1980). *The growth of interpersonnal understanding*. New York: Academic Press.
- Seron, X., Van der Linden, M., & Andres, P. (1999). Le lobe frontal : A la recherche de ses spécificités fonctionnelles. In M. Van der Linden, X. Seron, D. Le Gall & P. Andres (Eds.), *Neuropsychologie des lobes frontaux* (pp. 33-87). Marseille: Solal Editeurs.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298, 199-209.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114 ( Pt 2), 727-741.
- Shallice, T., Burgess, P. W., Schon, F., & Baxter, D. M. (1989). The origins of utilization behaviour. *Brain*, 112 ( Pt 6), 1587-1598.
- Shank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sharon, T., & Wynn, K. (1998). Individuation of Actions from Continuous Motion. *Psychological Science*, 9(5), 357-362.
- Silk, T. J., Rinehart, N., Bradshaw, J. L., Tonge, B., Egan, G., O'Boyle, M. W., et al. (2006). Visuospatial Processing and the Function of Prefrontal-Parietal Networks in Autism Spectrum Disorders: A Functional MRI Study. *American Journal of Psychiatry*, 163(8), 1440-1443.
- Sirigu, A., Zalla, T., Pillon, B., Grafman, J., Agid, Y., & Dubois, B. (1995a). Selective impairments in managerial knowledge following pre-frontal cortex damage. *Cortex*, 31(2), 301-316.
- Sirigu, A., Zalla, T., Pillon, B., Grafman, J., Agid, Y., & Dubois, B. (1996). Encoding of sequence and boundaries of scripts following prefrontal lesions. *Cortex*, 32(2), 297-310.
- Sirigu, A., Zalla, T., Pillon, B., Grafman, J., Dubois, B., & Agid, Y. (1995b). Planning and script analysis following prefrontal lobe lesions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 277-288.
- Smith, I. M., & Bryson, S. E. (1994). Imitation and action in autism: a critical review. *Psychological Bulletin*, 116(2), 259-273.
- Spelke, E. S., Phillips, A., & Woodward, A. L. (1995). Infant's knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate* (pp. 44-78). Oxford: Oxford University Press.
- Spencer, J., O'Brien, J., Riggs, K., Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2000). Motion processing in autism: evidence for a dorsal stream deficiency. *Neuroreport*, 11(12), 2765-2767.
- Stone, V. E., Baron-Cohen, S., & Knight, R. T. (1998). Frontal lobe contributions to theory of mind. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(5), 640-656.

- 
- Stuss, D. T. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20(1), 8-23.
- Stuss, D. T., Gallup, G. G., Jr., & Alexander, M. P. (2001). The frontal lobes are necessary for 'theory of mind'. *Brain*, 124(Pt 2), 279-286.
- Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., & Picton, T. W. (1995). A Multidisciplinary Approach to Anterior Attentional Functions. In J. Grafman, K. J. Holyoak & F. Boller (Eds.), *Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex*. (Vol. 769, pp. 191-211). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Suddendorf, T., & Whiten, A. (2001). Mental evolution and development: evidence for secondary representation in children, great apes, and other animals. *Psychological Bulletin*, 127(5), 629-650.
- Tager-Flusberg, H., & Sullivan, K. (2000). A componential view of theory of mind : evidence from Williams syndrome. *Cognition*, 76(1), 59-90.
- Teitelbaum, P., Teitelbaum, O., Nye, J., Fryman, J., & Maurer, R. G. (1998). Movement analysis in infancy may be useful for early diagnosis of autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(23), 13982-13987.
- Theoret, H., Halligan, E., Kobayashi, M., Fregni, F., Tager-Flusberg, H., & Pascual-Leone, A. (2005). Impaired motor facilitation during action observation in individuals with autism spectrum disorder. *Current Biology*, 15(3), R84-R85.
- Thommen, E. (1998). La segmentation en unités d'action d'un continuum de mouvements par les enfants. In G. Quiroz, I. Berthoud-Papandropoulou, E. Thommen & C. Vogel (Eds.), *Les unités discursives dans l'analyse sémiotique : la segmentation du discours* (pp. 133-142). Berne: Peter Lang.
- Thommen, E. (2001). *L'enfant face à autrui*. Paris: Armand Colin.
- Trillingsgaard, A. (1999). The script model in relation to autism. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 8(1), 45-49.
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., et al. (2001). I know what you are doing. A neurophysiological study. *Neuron*, 31(1), 155-165.
- Vernazza-Martin, S., Martin, N., Vernazza, A., Lepellec-Muller, A., Rufo, M., Massion, J., et al. (2005). Goal Directed Locomotion and Balance Control in Autistic Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(1), 91-102.
- Villalobos, M. E., Mizuno, A., Dahl, B. C., Kemmotsu, N., & Muller, R. A. (2005). Reduced functional connectivity between V1 and inferior frontal cortex associated with visuomotor performance in autism. *Neuroimage*, 25(3), 916-925.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., et al. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *Neuroimage*, 14(1 Pt 1), 170-181.
- Volden, J., & Johnston, J. (1999). Cognitive scripts in autistic children and adolescents. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(3), 203-211.
- Wassink, T. H., Brzustowicz, L. M., Bartlett, C. W., & Szatmari, P. (2004). The search for autism disease genes. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 10(4), 272-283.
- Wechsler, D. (1996). *WISC-III. Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Enfants*. Paris:

ECPA.

- Wechsler, D. (2000). *WAIS-III. Echelle d'Intelligence de Wechsler pour Adultes*. Paris: ECPA.
- Wellman, H. M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysis of theory-of-mind development: the truth about false belief. *Child Development, 72*(3), 655-684.
- Wellman, H. M., & Woolley, J. D. (1990). From simple desires to ordinary beliefs: the early development of everyday psychology. *Cognition, 35*(3), 245-275.
- Welsh, M. C., & Pennington, B. F. (1988). Assessing frontal lobe functioning in children : views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology, 4*(3), 199-230.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function : a window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology, 7*(2), 131-149.
- Williams, D., & Mateer, C. A. (1992). Developmental Impact of Frontal Lobe Injury in Middle Childhood. *Brain and Cognition, 20*(1), 196-204.
- Williams, E., Costall, A., & Reddy, V. (1999). Children with Autism Experience Problems with Both Objects and People. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 29*(5), 367-378.
- Williams, J. H., Whiten, A., & Singh, T. (2004). A systematic review of action imitation in autistic spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 34*(3), 285-299.
- Williams, J. H., Whiten, A., Suddendorf, T., & Perrett, D. I. (2001). Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 25*(4), 287-295.
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition, 13*(1), 103-128.
- Woodward, A. L. (1998). Infants selectively encode the goal object of an actor's reach. *Cognition, 69*(1), 1-34.
- Woodward, A. L., & Sommerville, J. A. (2000). Twelve-Month-Old Infants Interpret Action in Context. *Psychological Science, 11*(1), 73-77.
- Woolfe, T., Want, S. C., & Siegal, M. (2002). Signposts to development: theory of mind in deaf children. *Child Development, 73*(3), 768-778.
- Wynn, K. (1996). Infant's individuation and enumeration of actions. *Psychological Science, 7*(3), 164-169.
- Yirmiya, N., Erel, O., Shaked, M., & Solomonica-Levi, D. (1998). Meta-Analyses Comparing Theory of Mind Abilities of Individuals With Autism, Individuals With Mental Retardation, and Normally Developing Individuals. *Psychological Bulletin, 124*(3), 283-307.
- Zacks, J. M., Braver, T. S., Sheridan, M. A., Donaldson, D. I., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., et al. (2001a). Human brain activity time-locked to perceptual event boundaries. *Nature Neuroscience, 4*(6), 651-655.
- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin, 127*(1), 3-21.

- 
- Zacks, J. M., Tversky, B., & Iyer, G. (2001b). Perceiving, remembering, and communicating structure in events. *Journal of Experimental Psychology: General.*, 130(1), 29-58.
- Zalla, T., Bouchilloux, N., Labruyere, N., Georgieff, N., Bougerol, T., & Franck, N. (2006a). Impairment in event sequencing in disorganised and non-disorganised patients with schizophrenia. *Brain Research Bulletin*, 68(4), 195-202.
- Zalla, T., Labruyere, N., & Georgieff, N. (2006b). Goal-Directed Action Representation in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(4), 527-540.
- Zalla, T., Posada, A., Franck, N., Georgieff, N., & Sirigu, A. (2001). A component analysis of action planning processes in schizophrenia: A comparison with patients with frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychiatry*, 6(4), 271-296.
- Zalla, T., Pradat-Diehl, P., & Sirigu, A. (2003). Perception of action boundaries in patients with frontal lobe damage. *Neuropsychologia*, 41(12), 1619-1627.
- Zalla, T., Sirigu, A., Pillon, B., Dubois, B., Agid, Y., & Grafman, J. (2000). How patients with Parkinson's disease retrieve and manage cognitive event knowledge. *Cortex*, 36(2), 163-179.
- Zalla, T., Sirigu, A., Pillon, B., Dubois, B., Grafman, J., & Agid, Y. (1998). Deficit in evaluating pre-determined sequences of script events in patients with Parkinson's disease. *Cortex*, 34(4), 621-627.
- Zalla, T., Verlut, I., Franck, N., Puzenat, D., & Sirigu, A. (2004). Perception of dynamic action in patients with schizophrenia. *Psychiatry Research*, 128(1), 39-51.
- Zanini, S., Rumiati, R. I., & Shallice, T. (2002). Action sequencing deficit following frontal lobe lesion. *Neurocase*, 8(1-2), 88-99.
- Zelazo, P. D., Burack, J. A., Benedetto, E., & Frye, D. (1996). Theory of mind and rule use in individuals with Down's syndrome: a test of the uniqueness and specificity claims. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(4), 479-484.
- Zilbovicius, M., Boddaert, N., Belin, P., Poline, J. B., Remy, P., Mangin, J. F., et al. (2000). Temporal lobe dysfunction in childhood autism: a PET study. Positron emission tomography. *American Journal of Psychiatry*, 157(12), 1988-1993.
- Zilbovicius, M., Garreau, B., Samson, Y., Remy, P., Barthelemy, C., Syrota, A., et al. (1995). Delayed maturation of the frontal cortex in childhood autism. *American Journal of Psychiatry*, 152(2), 248-252.



# ANNEXES

## Annexe 1. Références du Tableau 1.

- Baron-Cohen, S. (1987). Autism and symbolic play. *Br. J. Dev. Psychol.*, 5, 139-148.
- Baron-Cohen, S. (1988). Social and pragmatic deficits in autism: cognitive or affective? *J. Autism Dev. Disord.*, 18(3), 379-402.
- Baron-Cohen, S. (1989a). Are autistic children behaviourist ? An examination of their mental-physical and appearance-reality distinctions. *J. Autism Dev. Disord.*, 19, 579-600.
- Baron-Cohen, S. (1989b). The autistic child's theory of mind: a case of specific developmental delay. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 30(2), 285-297.
- Baron-Cohen, S. (1991). Do people with autism understand what causes emotion. *Child Dev.*, 62, 385-395.
- Baron-Cohen, S. (1992). Out of sight or out of mind ? Another look at deception in autism. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 33(7), 1141-1155.
- Baron-Cohen, S., & Cross, P. (1992). Reading the eyes: evidence for the role of perception in the development of a theory of mind. *Mind and Language*, 6, 173-186.

- Baron-Cohen, S., & Goodhart, F. (1994). The 'seeing leads to knowing' deficit in autism: the Pratt and Bryant probe. *Br. J. Dev. Psychol.*, *12*, 397-402.
- Baron-Cohen, S., & Hammer, J. (1997). Parents of children with Asperger Syndrome: what is the cognitive phenotype ? *J. Cogn. Neurosc.*, *9*, 548-554.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a 'theory of mind' ? *Cognition*, *21*(1), 37-46.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1986). Mechanical, behavioural and intentional understanding of picture stories in autistic children. *British J. Dev. Psychol.*, *4*, 113-125.
- Baron-Cohen, S., Spitz, A., & Cross, P. (1993). Can children with autism recognize surprise ? *Cognition and Emotion*, *7*, 507-516.
- Baron-Cohen, S., Ring, H., Moriarty, J., Schmitz, B., Costa, D., & Ell, P. (1994). Recognition of mental state terms. Clinical findings in children with autism and a functional neuroimaging study of normal adults. *Br. J. Psychiatry*, *165*(5), 640-649.
- Baron-Cohen, S., Campbell, R., Karmiloff-Smith, A., Grant, J., & Walker, J. (1995). Are children with autism blind to the mentalistic significance of the eyes ? *Br. J. Dev. Psychol.*, *13*, 379-398.
- Baron-Cohen, S., Jolliffe, T., Mortimore, C., & Robertson, M. (1997a). Another advanced test of theory of mind: evidence from very high functioning adults with autism or Asperger Syndrome. *J. Child Psychol. Psychiatry*, *38*, 813-822.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Jolliffe, T. (1997b). Is there a 'language of the eyes' ? Evidence from normal adults and adults with autism or Asperger Syndrome. *Visual Cognition*, *4*, 311-331.
- Bowler, D.M. (1992). Theory of mind in Asperger Syndrome. *J. Child Psychol. Psychiatry*, *33*, 877-895.
- Frith, U., Happé, F., & Siddons, F. (1994). Autism and theory of mind in everyday life. *Social Dev.*, *3*, 108-124.
- Happé, F. (1993). Communicative competence and theory of mind in autism: a test of Relevance Theory. *Cognition*, *48*, 101-119.
- Happé, F. (1994). An advanced test of theory of mind: understanding of story characters' thoughts and feelings by able autistic, mentally handicapped, and normal children and adults. *J. Autism Dev. Disord.*, *24*(2), 129-154.
- Leekam, S., & Perner, J. (1991). Does the autistic child have a metarepresentational deficit ? *Cognition*, *40*, 203-218.
- Leslie, A. M., & Frith, U. (1988). Autistic children's understanding of seeing, knowing, and believing. *Br. J. Dev. Psychol.*, *6*, 315-324.
- Lewis, V., & Boucher, J. (1988). Spontaneous, instructed and elicited play in relatively able autistic children. *Br. J. Dev. Psychol.*, *6*, 325-339.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *J. Child Psychol. Psychiatry*, *32*(7), 1081-1105.
- Perner, J., Frith, U., Leslie, A. M., & Leekam, S. R. (1989). Exploration of the autistic

- child's theory of mind: knowledge, belief, and communication. *Child Dev.*, 60(3), 688-700.
- Phillips, W., Baron-Cohen, S., & Rutter, M. (1998). Understanding intention in normal development and in autism. *Br. J. Dev. Psychol.*, 16, 337-348.
- Reed, T., & Peterson, C. (1990). A comparative study of autistic subjects performance at two levels of visual and cognitive perspective taking. *J. Autism Dev. Disord.*, 20, 555-568.
- Scott, F., & Baron-Cohen, S. (1996). Imagining real and unreal objects: an investigation of imagination in autism. *J. Cogn. Neurosc.*, 8, 400-411.
- Sodian, B., & Frith, U. (1992). Deception and sabotage in autistic, retarded, and normal children. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 33, 591-606.
- Surian, L., Baron-Cohen, S., & Van der Lely, H. (1996). Are children with autism deaf to Gricean Maxims ? *Cogn. Neuropsychiatry*, 1, 55-72.
- Swettenham, J. (1996). Can children with autism be taught to understand false belief using computers ? *J. Child Psychol. Psychiatry*, 37, 157-165.
- Swettenham, J., Baron-Cohen, S., Gomez, J.-C., & Walsh, S. (1996). What's inside a person's head ? Conceiving of the mind as a camera helps children with autism develop an alternative theory of mind. *Cogn. Neuropsychiatry*, 1, 73-88.
- Tager-Flusberg, H. (1992). Autistic children's talk about psychological states: deficits in the early acquisition of a theory of mind. *Child Dev.*, 63, 161-172.
- Tager-Flusberg, H. (1993). What language reveals about the understanding of minds in children with autism. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D. J. Cohen (Eds.), *Understanding Other Minds. Perspectives from autism*. Oxford: Oxford University Press.
- Ungerer, J., & Sigman, M. (1981). Symbolic play and language comprehension in autistic children. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, 20, 318-337.
- Wing, L., & Gould, J. (1979). Severe impairments of social interaction and associated abnormalities in children: epidemiology and classification. *J. Autism Dev. Disord.*, 9, 11-29.
- Yirmiya, N., Solomonica-Levi, D., & Shulman, C. (1996). The ability to manipulate behaviour and to understand manipulation of beliefs: a comparison of individuals with autism, mental retardation, and normal development. *Dev. Psychol.*, 32, 62-69.

## Annexe 2. Références des Tableaux 2a, 2b et 2c.

- Bennetto, L., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1996). Intact and impaired memory functions in autism. *Child Dev.*, 67, 1816-1835.
- Bíro, S., & Russell, J. (2001). The execution of arbitrary procedures by children with autism. *Dev. Psychopathol.*, 13, 97-110.

- Booth, R., Charlton, R., Hughes, C., & Happé, F. (2003). Disentangling weak coherence and executive dysfunction: planning drawing in autism and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 358, 387-392.
- Brian, J. A., Tipper, S. P., Weaver, B., & Bryson, S. E. (2003). Inhibitory mechanisms in autism spectrum disorders: typical selective inhibition of location versus facilitated perceptual processing. *J Child Psychol Psychiatry*, 44(4), 552-560.
- Ciesielski, K. T., & Harris, R. J. (1997). Factors related to performance failure on executive tasks in autism. *Child Neuropsychology*, 3(1), 1-12.
- Eskes, G., Bryson, S., & McCormick, T. (1990). Comprehension of concrete and abstract words in autistic children. *J. Autism Dev. Disord.*, 20, 61-73.
- Goldstein, G., Johnson, C. R., & Minshew, N. J. (2001). Attentional processes in autism. *J. Autism Dev. Disord.*, 31(4), 433-440.
- Happé, F., Booth, R., Charlton, R., & Hughes, C. (2006). Executive function deficits in autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: Examining profiles across domains and ages. *Brain and Cognition*, 61(1), 25-39.
- Hughes, C. (1996a). Brief report: planning problems in autism at the level of motor control. *J. Autism Dev. Disord.*, 26, 99-107.
- Hughes, C. (1996b). Control of action and thought: normal development and dysfunction in autism: a research note. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 37(2), 229-236.
- Hughes, C., & Russell, J. (1993). Autistic children's difficulty with mental disengagement from an object: its implications for theories of autism. *Dev. Psychol.*, 29, 498-510.
- Hughes, C., Russell, J., & Robbins, T. W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia*, 32, 477-492.
- Joseph, R. M., McGrath, L. M., & Tager-Flusberg, H. (2005). Executive dysfunction and its relation to language ability in verbal school-age children with autism. *Dev. Neuropsych.*, 27(3), 361-378.
- Liss, M., Harel, B., Fein, D., Allen, D., Dunn, M., Feinstein, C., et al. (2001). Predictors and correlates of adaptive functioning in children with developmental disorders. *J. Autism Dev. Disord.*, 31, 219-230.
- Lopez, B. R., Lincoln, A. J., Ozonoff, S., & Lai, Z. (2005). Examining the Relationship between Executive Functions and Restricted, Repetitive Symptoms of Autistic Disorder. *J. Autism Dev. Disord.*, 35(4), 445-460.
- Minshew, N. J., Goldstein, G., Muenz, L. R., & Payton, J. B. (1992). Neuropsychological functioning in nonmentally retarded autistic individuals. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 14, 749-761.
- Minshew, N. J., Goldstein, G., & Siegel, D. J. (1997). Neuropsychologic functioning in autism: profile of a complex information processing disorder. *J. Int. Neuropsychol. Soc.*, 3(4), 303-316.
- Ozonoff, S. (1995). Reliability and validity of the Wisconsin card sorting test in studies of autism. *Neuropsychology*, 9, 491-500.
- Ozonoff, S., & Jensen, J. (1999). Brief report: specific executive function profiles in three neurodevelopmental disorders. *J. Autism Dev. Disord.*, 29, 171-177.

- 
- Ozonoff, S., & McEvoy, R. E. (1994). A longitudinal study of executive function and theory of mind development in autism. *Dev. Psychopathol.*, 6, 415-431.
- Ozonoff, S., & Strayer, D. L. (1997). Inhibitory function in nonretarded children with autism. *J. Autism Dev. Disord.*, 27, 59-77.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 32, 1081-1105.
- Ozonoff, S., Strayer, D. L., McMahon, W. M., & Filloux, F. (1994). Executive function abilities in autism and Tourette syndrome: an information-processing approach. *J. Child Psychol. Psychiatry*, 35, 1015-1032.
- Ozonoff, S., Cook, I., Coon, H., Dawson, G., Joseph, R. M., Klin, A., et al. (2004). Performance on Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery subtests sensitive to frontal lobe function in people with autistic disorder: evidence from the Collaborative Programs of Excellence in Autism network. *J. Autism Dev. Disord.*, 34(2), 139-150.
- Prior, M. R., & Hoffmann, W. (1990). Brief report: neuropsychological testing of autistic children through an exploration with frontal lobe tests. *J. Autism Dev. Disord.*, 20, 581-590.
- Rumsey, J. M. (1985). Conceptual problem-solving in highly verbal, nonretarded autistic men. *J. Autism Dev. Disord.*, 15, 23-36.
- Rumsey, J. M., & Hamburger, S. D. (1988). Neuropsychological findings in high-functioning men with infantile autism. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 10(2), 201-221.
- Rumsey, J. M., & Hamburger, S. D. (1990). Neuropsychological divergence of high-level autism and severe dyslexia. *J. Autism Dev. Disord.*, 20, 155-168.
- Russell, J., Mauthner, N., Sharpe, S., & Tidswell, T. (1991). The 'Windows task' as a measure of strategic deception in preschoolers and autistic subjects. *Br. J. Dev. Psychol.*, 9, 101-119.
- Russell, J., Jarrold, C., & Hood, B. (1999). Two intact executive capacities in children with autism: implications for the core executive dysfunctions in the disorder. *J. Autism Dev. Disord.*, 29, 103-112.
- Russell, J., Hala, S., & Hill, E. (2003). The automated windows task: the performance of preschool children, children with autism, and children with moderate learning difficulties. *Cognitive Development*, 18(1), 111-137.
- Shu, B.-C., Lung, F.-W., Tien, A. Y., & Chen, B.-C. (2001). Executive function deficits in non-retarded autistic children. *Autism*, 5, 165-174.
- Szatmari, P., Tuff, L., Finlayson, M. A., & Bartolucci, G. (1990). Asperger syndrome and autism: neurocognitive aspects. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, 29, 130-136.
- Tsuchiya, E., Oki, J., Yahara, N., & Fujieda, K. (2005). Computerized version of the Wisconsin card sorting test in children with high-functioning autistic disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder. *Brain Dev.*, 27(3), 233-236.