



Séminaires Ketty Schwartz 2013

Séminaires de formation destinés
aux associations de malades,
de personnes handicapées
et de leurs familles

FONCTIONS COGNITIVES CHEZ L'ENFANT

PROLONGATION

Avec l'appui scientifique de l'Institut
thématique multi-organisme de l'Aviesan
ITMO Neurosciences, sciences cognitives,
neurologie, psychiatrie

Conception, animation et rédaction

- **Michèle MAZEAU,**
Médecin de rééducation,
spécialisée en neuropsychologie infantile
- **Pierre LAPORTE,**
Psychologue clinicien spécialisé en neuropsychologie,
PH, Docteur en psychologie et membre associé
du groupe de recherche en intervention cognitive de
l'Université Laval à Québec (Canada)

Coordination

Dominique Donnet-Kamel
Responsable

Marie-Ange Litadier-Dossou
Assistante

Mission Inserm Associations

Préface

Le dossier documentaire "Fonctions cognitives chez l'enfant" conclut le séminaire Ketty Schwartz de l'Inserm destiné aux associations.

Que sont les séminaires Ketty Schwartz ? Depuis 2005 l'Inserm, dont la mission essentielle est de faire des recherches dans les sciences de la vie et de la santé pour comprendre, prévenir et soigner les maladies, développe un dialogue avec les associations de malades. Plus de 380 associations couvrant un grand nombre de pathologies et de handicaps sont en lien avec l'Inserm. Pour répondre aux souhaits de beaucoup d'entre elles, l'Institut propose des séminaires de formation aux membres de ces associations pour les familiariser aux concepts, outils et méthodes de la recherche et pour approfondir leur compréhension des questions scientifiques et médicales qui touchent à leurs pathologies ou leurs handicaps.

Pourquoi un séminaire sur les fonctions cognitives chez l'enfant ? Au départ, c'est une demande des associations de parents qui ont souhaité que l'Inserm les aide à mieux comprendre ce que "sont" les fonctions cognitives, ce qu'elles "font" lorsque tout se passe bien afin d'appréhender les mécanismes qui sont en jeu dans les dysfonctionnements que connaissent certains enfants dans leur développement. L'Inserm a mis en place un comité éditorial¹ composé de scientifiques dans le champ des neurosciences et de la cognition et d'associations de parents pour définir le périmètre et le champ couvert par ce séminaire. Et celui-ci s'est avéré particulièrement large avec les fonctions de cognition sociale, le langage écrit et oral, le geste, l'attention, les mémoires, les fonctions exécutives et le calcul.

Michelle Mazeau, médecin en rééducation, spécialisée en neuropsychologie infantile, et Pierre Laporte, psychologue clinicien, docteur en psychologie spécialisé en neuropsychologie ont accepté de relever ce défi. Au fil de leur travail de compilation, de relecture et de synthèse, ils ont réussi à structurer une gigantesque somme de connaissances autour de quelques concepts et axes actuels permettant d'appréhender le développement de la cognition chez l'enfant et de leurs troubles.

¹ Ghislaine Dehaene, Pédiatre, Directrice de Recherche CNRS, Unité Inserm 562 "Neuro imagerie Cognitive" CEA/SAC/DSV/DRM/NeuroSpin
Francis Eustache, Professeur de psychologie à l'université de Caen, Directeur laboratoire Inserm U 923
Anne-Lise Giraud, Laboratoire de Neurosciences Cognitives, DEC, ENS
Christine Gétin, Présidente de l'Association HyperSupers - TDAH France
Nathalie Groh, Fédération française des dys
Valérie Hahn-Barma, Centre de Recherche de l'Institut du Cerveau et de la Moelle Epinière
Lucie Hertz Pannier, Administrative de l'Apetreimc et de la Fondation Motrice
Roger Picard, Président Fondation Denise Picard
Anne Jouvenceau, Chargée de mission de l'Ifmo Neurosciences, sciencescognitives, neurologie et psychiatrie de l'Aviesan

350 personnes déléguées par près de 80 associations de parents, de malades et de personnes handicapées ont participé à ce séminaire de formation organisé préalablement en 5 sessions, qui ont dû être prolongées de 6 sessions supplémentaires, pour répondre à l'afflux d'inscriptions et de demandes. Ce séminaire a répondu à une très grande demande d'information et de clarification des connaissances que les parents et les personnes concernées ont acquises au fur et à mesure de leurs parcours de prise en charge et d'éducation.

Afin de consolider l'appropriation de ces connaissances et d'élargir leur diffusion, la Mission Inserm Associations édite ce dossier documentaire qui sera disponible pour tous les participants. Les sessions de formations sont diffusées également sous forme de vidéos, en accès libre sur le site de l'Inserm (inserm.fr) et relayé sur les sites des associations intéressées.

Dominique Donnet Kamel
Responsable de la Mission Inserm Associations
Inserm.fr/associations-de-malades

Sommaire

Préface	1
INTRODUCTION : Fonctions cognitives	6
Le cerveau : organe d'apprentissage	6
Des méthodes non invasives pour « interroger » les bébés	7
Le paradigme nouveauté/habitude	7
Deux modalités de développement des fonctions cognitives	9
LA COGNITION SOCIALE	
Fonctions sociales précoces	10
Connaissance de soi	10
Cognition sociale : définitions et développement normal	12
Troubles de la cognition sociale : T E D dont l'autisme	14
Petite bibliographie pour aller plus loin	16
Le développement du Langage oral et les dysphasies	18
Introduction : qu'est-ce que le langage ?	18
Une architecture commune à toutes les langues	19
Aspects développementaux	19
La compréhension	20
L'expression	22
Les dysphasies	23
Différentes sortes de dysphasies	24
Petite bibliographie pour aller plus loin ...	25
APPRENTISSAGE DU LANGAGE ECRIT : Aspects normaux et pathologiques (dyslexies)	26
Introduction	26
Les caractéristiques des langues alphabétiques	26
Des langues plus ou moins transparentes ...	27
Processus cognitifs en jeu et aspects développementaux	27
La prise d'information visuelle	27
Le traitement perceptif visuel : l'identification du mot.	29
Les deux voies de la lecture	30
L'apprentissage de l'écrit	32
Aspects développementaux de la conscience phonologique	33
Le rôle de la mémoire de travail auditivo-verbale	34
Conclusion	35
Les dyslexies	35
Petite bibliographie pour aller plus loin	37
LE NOMBRE ET LE CALCUL : Développement normal et troubles	38
Introduction	38
Les aspects cognitifs	39

Les représentations de la quantité _____	39
La coordination des différents systèmes de représentation de la quantité _____	42
Les aspects développementaux _____	43
Le sens du nombre _____	43
Le développement du code verbal _____	45
L'apprentissage du code indo-arabe _____	46
Conclusion-Synthèse _____	47
Les pathologies développementales (dyscalculies) _____	48
Une petite bibliographie pour aller plus loin _____	49
 LE GESTE ET L'ACTION : Fonctionnement normal, développement et troubles _____	 50
Introduction _____	50
La cognition motrice _____	51
Le projet d'action _____	51
La simulation anticipatrice _____	52
La régulation du geste _____	54
Le passage à l'acte _____	55
En résumé _____	56
Le développement du geste chez l'enfant _____	56
Les théories dynamiques _____	57
Les théories cognitivistes _____	58
Les pathologies du développement du geste : TAC, dyspraxies _____	60
Petite bibliographie pour aller plus loin _____	61
 LES FONCTIONS ATTENTIONNELLES Définition, aspects développementaux et troubles _	 62
Le système attentionnel _____	62
La fonction d'alerte (Alerting, i.e. dimension Intensité) _____	62
La fonction d'orientation (Orienting, i.e. dimension Sélectivité) _____	62
La fonction exécutive attentionnelle (exécutive attention) _____	63
La mise en jeu des fonctions attentionnelles _____	63
Données développementales _____	64
Troubles des fonctions attentionnelles _____	66
Petite bibliographie pour aller plus loin _____	68
 LES FONCTIONS MNESIQUES : Définition, aspects développementaux et troubles _____	 70
Introduction et définitions _____	70
Les mémoires perceptives (i.e. registres sensoriels) _____	71
Mémoire de Travail (MdT) _____	71
Les mémoires à long terme _____	73
Les réseaux neuronaux concernés _____	74
Les données développementales _____	74
Les troubles de la mémoire _____	76
Petite bibliographie pour aller plus loin _____	78
 LES FONCTIONS EXECUTIVES : Définition, aspects développementaux et troubles _____	 80
Introduction _____	80
Données développementales _____	82

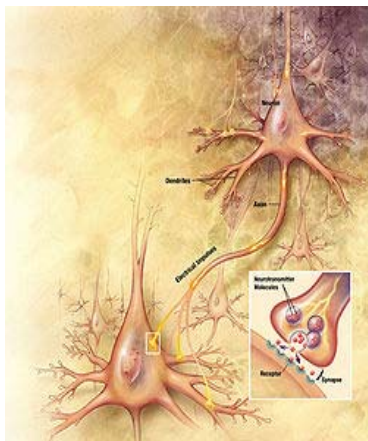
Quelques données préliminaires _____	82
L'inhibition _____	83
La mémoire de travail : maintien et mise à jour _____	84
La flexibilité cognitive _____	84
Données développementales pour les tests de planification _____	85
Les troubles des fonctions exécutives _____	85
Petite bibliographie pour aller plus loin _____	86
 CONCLUSIONS _____	
Le cerveau de l'enfant : un chantier en permanent remaniement _____	88
Des stratégies générales pour les jeunes atteints de troubles cognitifs développementaux ____	89
Quelques préconisations communes à l'ensemble des dys _____	92
 Glossaire _____	

Introduction : Fonctions cognitives

Les neurosciences cognitives ont reçu leur nom à la fin des années 1970. Elles résultent de l'union de la neurobiologie et de la psychologie amenant une prise de conscience nouvelle. Elles étudient comment l'activité du cerveau crée la pensée, en quoi la structure et le fonctionnement du cerveau peuvent expliquer les processus cognitifs.

Le terme **cognitif** « qualifie les processus par lesquels un organisme acquiert des informations sur l'environnement et les élabore pour régler son comportement : perception, formation de concepts, raisonnement, langage, décision, pensée, etc... (H. Piéron, 1987)². C'est ainsi que la **cognition**, ou activité mentale, encore dite intellectuelle, comprend l'acquisition, le stockage, la transformation et l'utilisation des connaissances, ces étapes étant considérées bien distinctes. Comme on peut l'imaginer, la cognition inclut un large éventail de processus mentaux appelés **fonctions cognitives**, qu'elle met en œuvre chaque fois qu'une information est reçue, stockée, transformée et utilisée : la perception, l'attention, la mémoire, les images mentales ou représentations, le langage, la résolution de problèmes, le raisonnement et la prise de décision.

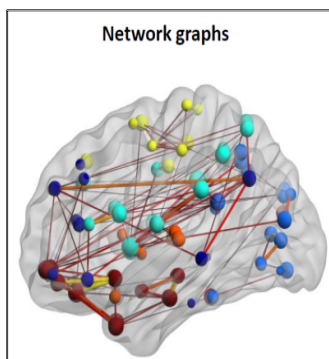
Le cerveau : organe d'apprentissage



Le cerveau est composé de 100 milliards de cellules (les neurones et les cellules gliales) constituant de multiples structures (réseaux neuronaux, modules) en interaction les uns avec les autres.

Les réseaux neuronaux sont composés de neurones et de cellules gliales qui communiquent entre eux par les axones et leurs synapses.

Ils constituent la base anatomique et fonctionnelle qui supporte les fonctions cognitives. Par exemple, le réseau neuronal de l'attention soutenue est une structure anatomiquement définie. La propriété fonctionnelle de ce réseau neuronal spécifique est appelée la concentration.



Ces réseaux forment des « modules » qui sont des sous-ensembles anato-mo-fonctionnels au sein desquels les neurones sont plus fortement liés entre eux qu'avec les autres neurones. Le fonctionnement cognitif (aussi bien normal que pathologique) est une résultante de *l'activité coordonnée* de l'ensemble des modules, supposant entre eux une interdépendance complète et permanente (le fonctionnement de chaque module cognitif est

2 : Piéron, H. (Ed) (1987). Vocab

isolable en pathologie, mais non *isolé*). Toute tâche, toute activité intellectuelle, suppose la gestion et l'intervention *simultanée* de plusieurs modules ⁱ

L'architecture anatomique et fonctionnelle du cerveau est le résultat de la confrontation d'un programme génétiquement piloté d'une extraordinaire précision et d'un environnement d'une extraordinaire diversité (A. Privat, 1994)³. Cette confrontation est rendue possible par les propriétés du fonctionnement cérébral en interaction avec son environnement qu'est la **plasticité cérébrale** qui comporte plusieurs niveaux :

- La **plasticité structurale** implique une modification physique des neurones et des circuits neuronaux.
- La **plasticité fonctionnelle** implique une modification de l'efficacité des circuits neuronaux.
- La **plasticité phénotypique** emprunte à la fois à la structure et à la fonction, sans les modifier formellement. Cette **plasticité utilise la redondance des circuits**, soit en activant des circuits dormants (n'intervenant pas, ou plus) dans le fonctionnement normal du système nerveux, soit en détournant de leur fonction certains circuits en les faisant participer à un ensemble et à une fonction qui ne sont pas les leurs (notion de recyclage neuronal).

Des méthodes non invasives pour « interroger » les bébés

Le paradigme nouveauté/habitude

On utilise, pour « interroger » les bébés, deux actions qu'ils maîtrisent bien : la succion et le regard. On parle de *succion « non nutritive »*, car la tétine que l'on propose à l'enfant est reliée non à un biberon (!) mais à un appareillage informatisé qui enregistre le rythme de tétée du bébé. De même, on peut enregistrer (via des caméras sophistiquées) le lieu de fixation du regard de l'enfant et la durée de ces fixations (technique dite du « *regard préférentiel* »).

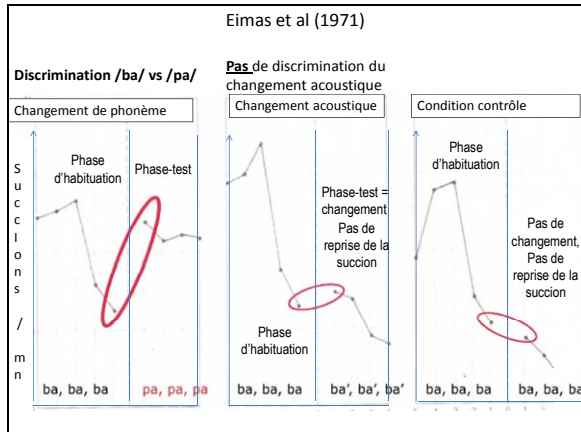
Ces expériences se déroulent toujours selon le même principe de base (= paradigme) :

1. On présente un stimulus *nouveau* (auditif, visuel, tactile, ...) au bébé. Il réagit en tétant vigoureusement ou en le regardant longuement. On lui présente ensuite à plusieurs reprises *le même stimulus*, et ce jusqu'à ce que l'enfant tète (ou le regarde) significativement moins (= habitude)¹¹.
2. Une fois cette habitude obtenue, on introduit alors le stimulus-test, qui ne diffère habituellement des précédents que par un trait, un élément, un détail. Si le bébé distingue ce trait, il le manifeste en considérant le stimulus-test comme *nouveau* et donc en reprenant une succion très active (ou en fixant de nouveau longuement du regard). Au contraire, si l'élément modifié ou introduit dans le stimulus-test n'est pas

3 : Privat A. (1994). La dimension temporelle dans la construction et la plasticité du système nerveux. In : Seron X, Jeannerod M, eds. *Neuropsychologie humaine*. Liège : P. Mardaga ; 4 : 83-103.

perçu, le rythme de succion – ou la durée des fixations oculaires –, faible, ne se modifie pas.

D'une façon générale les bébés têtent plus (ou regardent plus) lorsqu'ils perçoivent quelque chose de nouveau, mais aussi ce qui est étrange (ou impossible).



Légende : Les bébés discriminent-ils /ba/ de /pa/ ? On enregistre le rythme de succion des enfants (4 mois)

1- Phase 1, d'habituation : l'enfant entend une suite de /ba/, /ba/, /ba/, /ba/...

On attend que le rythme de succion s'abaisse de façon significative ;

2- puis (phase test), on introduit le son-test /pa/ : le rythme de succion s'élève significativement : ce son est « nouveau » pour l'enfant, qui le différencie donc bien de /ba/

On propose deux *conditions contrôles* : l'une où la modification concerne non les caractéristiques phonologiques mais les caractéristiques acoustiques du stimulus : l'enfant ne perçoit pas ces modifications comme quelque chose de nouveau p.r. aux /ba/ antérieurs ; l'autre où l'on n'opère *pas de modification* du stimulus : il n'y a en effet pas de reprise de la succion.

(11) : Le seuil de 50 % de moins est fréquemment adopté par les chercheurs

(12) : Pour une synthèse d'actualité, cf. entre autres : Le développement du nourrisson, ss la direction de R. Lecuyer, éd. Dunod, 2004.

Ces techniques sont le point de départ d'importantes recherches en psychologie du développement (« la bébologie ») qui permettront, dès les années 80-85¹², d'explorer de plus en plus finement l'éventail des outils mentaux (compétences perceptives, cognitives, sociales, etc.) dont dispose le bébé *d'emblée*. Sera ainsi peu à peu construit un véritable inventaire des **compétences précoces** (~ innées) du nouveau-né.

Ces compétences présentes à la naissance, sont très immatures et épi génétiquement déterminées (c'est-à-dire issues des interactions entre le génome et l'environnement utérin). Elles constituent de véritables « boîtes à outils cognitives » dédiées à une fonction donnée (le langage, le repérage spatial, la mémoire, etc...) tout en étant interdépendantes. Elles vont permettre au bébé d'analyser, interpréter, comprendre son environnement, favorisant des interactions riches et accessibles, bases du développement progressif des fonctions mentales. Ainsi, le développement s'effectue sous l'effet des interactions avec l'environnement *mais* ce développement est rendu possible et contraint par les « outils » initiaux dont dispose *d'emblée* le bébé (= compétences précoces).

Le développement cognitif de l'enfant est le résultat de la confrontation entre son patrimoine génétique et son environnement (affectif, physique, familial et social, ..)

Il est donc désormais possible de comprendre certaines des difficultés des enfants comme résultant de déficits, d'anomalies ou d'atypies de certaines de ces « boîtes à outils », distordant d'emblée certaines de leurs relations au monde, leurs échanges avec leur environnement et/ou leurs capacités d'apprentissage dans *certain*s secteurs de la cognition.

Le groupe des « dys- » est ainsi constitué, qui s'enrichira au fil des ans, c'est-à-dire au fil des progrès de nos connaissances sur le développement du cerveau du bébé.

Deux modalités de développement des fonctions cognitives

Il est très important, chez l'enfant, de distinguer :

1. Les acquisitions qui se produisent '*spontanément*' (apprentissage implicites) et systématiquement avec le temps et une *exposition* à un stimulus ou un environnement particulier (ex : la marche, le saut, les coordinations oculomotrices, l'orientation spatiale, le langage).
Ces capacités sont *directement dépendantes des différentes « boîtes à outils » dont nous a dotés l'Évolution*. Elles se développent de la même façon et au même rythme dans toute l'espèce humaine (capacités universelles). Leur évolution est liée à la maturation et au libre jeu des systèmes sensori-moteurs et cognitifs en jeu dans un environnement (physique, social et affectif) « habituel ». Une anomalie, une imperfection, un dysfonctionnement d'une de ces « boîtes à outils » se traduira par un *trouble cognitif spécifique*.
2. Pourtant, les énormes capacités d'apprentissages des humains permettent de faire toutes sortes d'apprentissages pour lesquels nous ne disposons *pas* de ces compétences précoces, de ces « boîtes à outils spécifiques ». Ces aptitudes (inédites au regard de l'Évolution) nécessitent alors un *enseignement* explicite, spécialement dirigé par les adultes en direction des enfants ((implication culturelle), *enseignement sans lequel la compétence ne se manifesterait pas* (cf. en particulier **toutes les activités scolaires** : la lecture, le calcul et l'écriture). Bien que « facultatives » au regard de l'Évolution, elles sont absolument indispensables dans une société donnée.

Ces capacités « nouvelles », pour se manifester, nécessitent démonstrations, répétitions et multiples entraînements qui permettront *une modification de la connectique neuronale* (« *recyclage neuronal* »), aboutissant à la création d'un nouveau réseau de neurones dédié à cette nouvelle performance.

Cette possibilité (liberté) d'apprentissages de novo caractérise l'espèce humaine. Cependant, l'éventail de ces apprentissages est contraint par les « outils » sensori-moteurs et cognitifs dont nous sommes génétiquement « équipés ».

« Faire du neuf avec du vieux » (S. Dehaene, Les neurones de la lecture, O. Jacob, 2007) : « L'un des traits saillants d'homo sapiens est de naître avec un cerveau immature et doté d'une grande plasticité » (...) « Notre cerveau n'est pas initialement prévu pour lire mais il s'y convertit tant bien que mal » ; Stanislas Dehaene (les neurones de la lecture, 2007).

Certains enfants peuvent présenter des difficultés particulières à réussir ce « recyclage neuronal », ou à le mener totalement à bien (*automatisation* des nouvelles aptitudes apprises) : on parle alors de *troubles spécifiques des apprentissages*.

La Cognition Sociale

Fonctions sociales précoces

Les fonctions sociales précoces recouvrent en premier lieu le domaine de la connaissance de soi sans laquelle une interaction sociale « soi-monde » ne saurait exister, puis celui des interactions sociales et de la communication.

Les conceptions relatives à ces domaines ont considérablement évolué avec les travaux qui ont renouvelé les connaissances portant sur les compétences cognitives du bébé (voir chapitre précédent). Par exemple, des recherches assez récentes (P. Rochat, 2004, 2001, 1999)^{4a,1b,1c} ont mis en évidence que le nouveau-né arrive au monde extra-utérin avec des capacités de distinction soi-environnement déjà là.

Ces faits nouveaux sont révolutionnaires dans la mesure où ils invalident les théories développementales prévalant jusque-là (J. Piaget ; M. Klein ; J. Lacan)

Connaissance de soi

« Le soi est à la fois un ensemble de représentations mentales personnelles et multidimensionnelles que l'on a sur nous-mêmes, et le phénomène de *conscience* de soi qui lui est associé. Il est à la base de notre identité individuelle et de notre sentiment de continuité au cours du temps. L'existence et le rôle d'autrui dans la construction de représentations mentales personnelles semblent essentiels ; c'est pourquoi le soi apparaît en relation étroite avec la théorie de l'esprit » (C. Duval et al. 2009)⁵.

4a : Rochat, P. (2004). "Connaissance de soi", in R. Lécuyer (éd.), *Le développement du nourrisson*, Paris : Dunod, 371-386 ;

1b : Rochat, P. (2001). *The Infant's World*, Harvard : Harvard University Press. ;

1c : Rochat, P., Striano, T. (1999). "Social-cognitive development in the first year", in P. Rochat (éd.) *Early Social Cognition*, Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum, 3-34.

5 : Duval, C., Desgranges, B., Eustache, F., Piolino, P. (2009). Le Soi à la loupe des neurosciences cognitives : de la conscience de soi à la conscience de l'autre, *Psychol NeuroPsychiatr Vieil*, vol. 7(1), 7-19.

La connaissance de soi part du corps. Dès la naissance (et même sans doute avant dans la mesure où elle repose sur les sensations extéroceptives et intéroceptives combinées, sur les perceptions kinesthésiques, intermodales, du corps en mouvement), le nourrisson possède un sens de son corps comme entité différenciée au sein de son environnement. Il s'agit d'un soi corporel qui est un soi perçu composant ce qu'U. Neisser (1995)⁶ a désigné comme « sens écologique de soi ».

Par exemple, dès la naissance, le bébé montre qu'il discrimine une stimulation péri-orale provoquée par le doigt de l'examineur et celle provoquée par son propre doigt (comparaison des réponses d'enfouissement à la stimulation péri-orale).

Définitions

- Sensations extéroceptives : sensibilité aux stimuli extérieurs
- Sensations intéroceptives : sensibilité aux stimuli qui proviennent de l'organisme
- Perceptions kinesthésiques : sensation de mouvement des parties du corps
- Sensations cœnesthésiques : impression générale résultant de l'ensemble des sensations corporelles
- Sensations intermodales : intégration de plusieurs modalités sensorielles, par exemple, auditives, visuelles etc.
- Stimulation péri-orale : autour de la bouche, des lèvres

Dès la naissance, les bébés sont donc « des systèmes actifs et ouverts, capables d'apprentissages orientés vers les choses, que ce soient des objets physiques ou des personnes » (P. Rochat, 2004)^{1a}, considérés comme existant indépendamment de leur propre corps.

A partir de ce sens d'un « soi écologique » où son corps est perçu comme différencié, capable d'agir et situé dans l'environnement, le jeune enfant va développer une conception de soi par rapport à autrui. L'émergence de cette « co-conscience » est celle de la **conscience de soi sociale**, ou conscience sociale. Dès 18 mois, l'enfant développe ainsi une conscience de soi de concert avec celle d'autrui.

Cinq étapes vont scander le développement de la connaissance de soi et des autres :

1. Dès les 6 premières semaines de vie, l'enfant a un sens du corps comme entité différenciée, située et agente dans l'environnement ; « différenciée » : nous l'avons vu ; « située », car le bébé a très tôt le sens « de où » il se trouve par rapport aux choses (par exemple quand il s'engage dans des activités orientées vers les choses situées autour de lui) ; « agente », car à travers les activités orientées et planifiées, le bébé développe un sens du corps comme agent dans l'environnement (par exemple quand il prend un hochet pour le secouer afin de produire un son, etc..).
2. A partir du 2^{ième} mois et en parallèle avec l'émergence du sourire social vers 6 semaines : naissance du dialogue social et de l'intersubjectivité liée à des échanges en face à face ; cadre des complexes « protoconversations » (premières conversations types) initiées par l'adulte, où jeux imitatifs et mutuels abondent.
3. Entre 2 et 7 mois, le bébé développe des attentes sociales dans ses rapports de réciprocité avec autrui ;

⁶ : Neisser, U. (1995). "Criteria for an ecological self", in P. Rochat (éd.), *The Self in Infancy, Advances in Psychology Book Series*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 17-34.

4. Autour du 9^{ième} mois, apparaissent les premières manifestations de l'attention partagée avec autrui : le bébé commence à explorer la réaction d'autrui en référence à un évènement perçu dans l'environnement ; « cette étape marque les débuts d'échanges sociaux qui deviennent non seulement réciproques mais aussi référentiels aux choses et aux évènements de l'environnement ». Le bébé commence à montrer du doigt des objets de l'environnement en s'assurant que l'autre est attentif à l'objet indiqué.
5. Vers le 18^{ième} mois se manifeste l'apparition d'une co-conscience de soi et des autres : le regard d'autrui est approprié et intégré au regard de l'enfant. Cette dernière étape ouvre les portes de la pensée symbolique. Elle permet en particulier à l'enfant d'entrer de plain-pied dans la culture de l'adulte qui, outre son caractère verbal et hautement symbolique, est basée sur l'enseignement et une capacité de représentation des perceptions, croyances et connaissances d'autrui (ce que l'on nomme aujourd'hui « théories de l'esprit »), auxquelles la conscience de soi vient s'articuler (voir P. Rochat, 2004)^{1a}.

Cognition sociale : définitions et développement normal

Selon K. Merceron et al. (2011)⁷, la cognition sociale peut être définie comme « l'ensemble des processus cognitifs impliqués dans les interactions sociales. Précisément, il s'agit de la capacité à construire des représentations sur les relations entre soi-même et les autres et à utiliser ces représentations de manière flexible pour ajuster et guider son propre comportement social. Le concept de cognition sociale peut donc être vu comme une interface où interagissent diverses dimensions, entre autres, traitement de l'information émotionnelle, capacité inférentielle et de mentalisation, ainsi que l'empathie ».

C'est ainsi que S. A. Miller (2010)⁸ peut préciser que « l'élaboration de diverses formes de compréhension sociocognitive représente l'une des plus importantes réalisations du développement cognitif de l'enfance ».

La cognition sociale désigne donc, pour partie, ce que l'on appelle la « théorie de l'esprit » depuis D. Premack et G. Woodruff (1978)⁹. La théorie de l'esprit désigne la capacité de relier les conduites ou les comportements que l'on observe chez une personne à des états mentaux de cette personne. Par exemple, le bébé observe l'apparition d'un sourire sur le visage de sa mère faisant suite à une vocalisation de sa part ; il en déduit qu'elle est contente et il recommence. La notion de « théorie » indique que l'enfant fait des hypothèses sur les contenus de pensée de l'autre.

Trois grands candidats précurseurs d'une théorie de l'esprit sont actuellement proposés : la synchronie interactionnelle (indissociable de l'échange émotionnel), l'attention conjointe et enfin l'imitation.

7 : Merceron K., Cady, F., Vila, E., Prouteau, A. (2011). Evaluation de la cognition sociale dans la schizophrénie : intérêts et limites, In A. Prouteau (éd.), *Neuropsychologie clinique de la schizophrénie*, Paris : Dunod, 161-199.

8 : Miller, S.A. (2010). Social-cognitive development in early childhood. In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec: Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-6.

<http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/MillerFRxp.pdf>

9 : Premack, D., Woodruff, G. (1978). "Does the chimpanzee have a theory of mind ?", *The Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515-526.

a) La formation d'attentes interactionnelles avec les proches est en lien étroit avec l'attribution d'une intentionnalité aux proches. Dès la fin du 6^{ième} mois, le bébé devient capable de généralisation attribuant donc à tout humain des propriétés d'Être interactif et intentionnel. Nous citerons ici une recherche citée dans J. Nadel (2004)⁷ montrant que des enfants non verbaux atteints d'autisme ne sont pas perturbés lors de leurs entrées seules dans une pièce où se tient un étranger impassible (still face) qui ne s'adresse pas à eux, ceci contrairement aux autres enfants. Après une période d'interaction avec cet adulte, ils expriment alors des attentes sociales et émotionnelles. Ceci marque une difficulté spécifique pour ces enfants: si la personne n'initie pas l'interaction, l'enfant atteint d'autisme ne le fera pas de lui-même. Pour élaborer une théorie sur les pensées de la personne en face, il faut pouvoir la reconnaître comme intentionnelle et donc lui prêter des pensées d'intention d'interagir.

b) L'imitation et la reconnaissance de l'imitation. L'imitation constitue le cas le plus explicite de réponse sélective néonatale à l'environnement humain. Selon A.N. Meltzoff et A. Gopnik (1993)¹⁰, dès 9 semaines, tout bébé imite sa mère..., et toutes les mères imitent leur bébé.... (Mouvements de la tête, du tronc, protrusion de la langue, expressions faciales...). Ils n'imitent pas, par contre, la protrusion de la langue par un leurre, les bébés réagissant préférentiellement à la naissance aux stimuli humains versus les stimuli physiques (voir D. Muir et J. Nadel, 1998, pour une revue de la question)¹¹.

Vers 5 mois, l'enfant réagit émotionnellement au fait d'être imité (rires, pitreries, etc...) et vers 7 mois, émergent des réponses spécifiques telles que l'attente de l'action de l'autre.

Vers 21 mois enfin, l'enfant commence à engager l'imitateur dans des actions ludiques et des jeux de fiction où il s'agit d'imiter et d'être imité. L'imitation est conçue comme une matrice coordonnant différents processus concourant à la capacité à comprendre l'autre comme Être intentionnel.

c) L'attention conjointe. L'accès à l'attention conjointe se situe entre 9 et 12 mois. Il s'agit là d'une véritable coupure ontogénétique et phylogénétique : quand les grands singes pointent leur regard vers un objet pour orienter le regard de l'animalier, c'est pour signifier qu'ils désirent cet objet. Il n'y a pas là ce que l'attention conjointe comporte : *partager l'intérêt pour l'objet ciblé sans que celui-ci soit désigné par l'autre autrement que par le regard*.

- À 2 ans, les enfants manifestent clairement qu'ils ont conscience de la différence entre les pensées qu'ils ont à l'esprit et les choses du monde. Ils jouent par exemple à faire semblant. Ils comprennent que les gens se sentiront heureux s'ils obtiennent ce qu'ils veulent et malheureux dans le cas contraire. Ils voient également qu'il peut y avoir une différence entre ce qu'ils veulent et ce qu'une autre personne peut vouloir. Cela se traduit même dans le langage : à 2 ans ils parlent de ce qu'eux même et les autres veulent, aiment et ressentent ;

10 : 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. Cohen (eds.), *Understanding Other Minds*, Oxford : Oxford University Press, 335-366.

11 : Muir, D., Nadel, J. (1998). Infant social perception, in A. Slater (éd.), *Perceptual Development*, Hove : Psychology Press, 247-285.

- À 3 ans, ils parlent aussi de ce que les gens pensent et savent. Les enfants âgés de 3 ans savent que différentes personnes peuvent vouloir, aimer et ressentir différentes choses.
- Vers 3-4 ans, la direction du regard est utilisée non seulement pour savoir ce que l'autre regarde, mais aussi pour supposer qu'il pense. C'est donc entre 3 et 4 ans qu'émergerait la possibilité d'une théorie de l'esprit explicite et réfléchie à partir de ses prémisses implicites et intuitives.
- A l'âge de 4-5 ans, ils savent que les gens peuvent penser des choses différentes et comprennent les fausses croyances.

Définitions

- Prototypique : expression émotionnelle conforme au type d'expression chez tout le monde ;
- valeur hédonique : valeur exprimant le plaisir.

Troubles de la cognition sociale : T E D dont l'autisme

On appelle TED un ensemble de troubles neuro-développementaux caractérisés par une atteinte des interactions sociales, de la communication et un certain nombre d'intérêts restreints, selon les critères diagnostiques du DSM-IV-TR.

Les TED regroupent le trouble autistique, le Syndrome d'Asperger, le Syndrome de Rett, le trouble désintégratif de l'enfance et les TED Non Spécifié (TED NS) selon les conceptions nosographiques du DSM-IV-TR. Il y a un consensus des cliniciens sur la forme prototypique des TED que représente l'autisme.

Comme le disent C. Aussilloux et A. Baghdadli (2007)¹², il existe, relativement à la délimitation actuelle du champ de l'autisme, une unité du trépied syndromique au-delà de la diversité des troubles, de leur intensité et des pathologies associées. Ce trépied concerne les interactions sociales, la communication et les comportements répétitifs ritualisés.

C'est ainsi que B. Peres-Al Halaby et al (2008)¹³ résumant les conceptions actuelles, avancent que « les troubles autistiques se caractérisent par des troubles précoces du développement de l'enfant qui altèrent l'ensemble des capacités permettant d'établir des interactions sociales entre le sujet et son environnement : déficit de la communication sociale, incapacité à comprendre autrui comme agent intentionnel, manque d'empathie, déficits d'imitation ».

Ces notions caractérisent le champ de la cognition sociale.

C'est pour ces raisons qu'un certain nombre de théoriciens à l'instar de S. Baron-Cohen (1995)¹⁴ ont décrit un déficit spécifique de la théorie de l'esprit comme caractéristique des enfants atteints d'autisme. Cependant d'autres hypothèses existent à ce sujet : même s'il

12 : Aussilloux, C., Baghdadli, A. (2007). *Autisme et TED au regard des données actuelles issues de la recherche*, Journée CREA
<http://www.creaialsace.org/IMG/pdf/Actes/Autisme220307>

13 : Peres-Al Halaby, B., Guedeney, A., Montreynaud, V., Beddock, P., Dugravier, R. (2008). "Contribution à l'étude Baron-Cohen, S. (1995). *Mindblindness : An Essay on Autism and Theory of Mind*, Cambridge, MA : MIT Press; trad. fr. J. Nadel et F. Lefebvre, *La cécité mentale*, Grenoble : PUG, 1998.

14 : Baron-Cohen, S. (1995). *Mindblindness : An Essay on Autism and Theory of Mind*, Cambridge, MA : MIT Press; trad. fr. J. Nadel et F. Lefebvre, *La cécité mentale*, Grenoble : PUG, 1998.

existe bien un développement atypique des théories de l'esprit chez les enfants atteints d'un TED, dont l'autisme et le syndrome d'Asperger, et même si ce développement atypique est responsable de difficultés dans les relations sociales, ce déficit n'explique pas tout, notamment les autres aspects de la symptomatologie (résistance aux changements, stéréotypies,...) ainsi que le font remarquer C. Aussilloux et A. Baghdadli (2007)¹⁴, ou encore E. Thommen et al. (2011)¹⁵. Par ailleurs, ce déficit n'est pas spécifique aux enfants présentant un TED : en effet, les enfants et adultes atteints de déficience intellectuelle présentent eux aussi de tels déficits, comme encore les adultes présentant des pathologies schizophréniques, des troubles de l'humeur, et encore certains troubles de la personnalité.

Ces éléments font conclure à E. Thommen et al. (2011) qu'il « est admis généralement aujourd'hui que la difficulté des enfants avec autisme à propos de la théorie de l'esprit est une conséquence de leur difficulté à analyser les intentions communicatives d'autrui. Toutefois, il est possible pour eux de construire une théorie de l'esprit explicite. (...) Nos données montrent que les enfants atteints d'autisme ou de déficience intellectuelle présentent des difficultés pour maîtriser les raisonnements sur les croyances et les pensées, mais qu'ils sont néanmoins capables de développer ces connaissances ».

Parmi les nombreuses compétences de communication (attention conjointe, pointage, premières conversations) considérées comme étant des prérequis à l'acquisition des théories de l'esprit en ce qu'elles précèdent la compréhension des états mentaux et des intentions, l'accent est alors mis, chez les enfants atteints d'autisme, sur des déficiences dans les processus de l'attention conjointe qui génèrent des déficiences dans la compréhension des états mentaux d'autrui et de leur intentionnalité communicative (E. Thommen et al., 2011 ; S. Baron-Cohen, 1995).

15 : Thommen, E., Cartier-Nelles, B., Guidoux, A., Wiesendanger, S. (2011). Aspects typiques et atypiques du développement de la théorie de l'esprit, *A.N.A.E.*, 23 (112-113), 145-151.

Petite bibliographie pour aller plus loin

- Astington, J.W., Edward, M.J. (2010). *Le développement de la théorie de l'esprit chez les jeunes enfants*. In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec : Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-7. Disponible sur le site : <http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/Astington-EdwardFRxp.pdf>
- Gallagher S. (2011). *When the problem of intersubjectivity becomes the solution*. In: Legerstee M, Haley D, Bornstein M, eds. *The developing infant mind: Integrating biology and experience*. Toronto, ON: Guildford Press
- Haute Autorité de Santé (2010). *Autisme et autres troubles envahissants du développement : état des connaissances hors mécanismes physiopathologiques, psychopathologiques et recherche fondamentale : argumentaire*, www.has-sante.fr
- Miller, S.A. (2010). *Social-cognitive development in early childhood*. In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec: Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-6. <http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/MillerFRxp.pdf>
- Moore, C. (2010). *Cognition sociale dans la prime enfance*. In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec: Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-5. <http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/MooreFRxp.pdf>
- Neisser, U. (1995). "Criteria for an ecological self", in P. Rochat (éd.), *The Self in Infancy*, *Advances in Psychology Book Series*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 17-34.
- Rochat P. (2010). *La cognition sociale est-elle un oxymoron? Commentaires sur les articles d'Astington et Edward, Miller, Moore et Sommerville*. In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec : Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-6. Disponible sur le site : <http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/RochatFRxp1.pdf>
- Rogé, B. (2008). *Autisme, comprendre et agir : santé, éducation, insertion*, 2^{ème} éd. Revue et augmentée, Paris : Dunod.
- Sommerville, J.A. (2010) « Connaissances des nourrissons en matière de cognition sociale ». In: Tremblay RE, Barr RG, Peters RDeV, Boivin M, eds. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants* [sur Internet]. Montréal, Québec : Centre d'excellence pour le développement des jeunes enfants; 2010:1-6. Disponible sur le site : <http://www.enfant-encyclopedie.com/documents/SommervilleFRxp.pdf>
- Sporns, O. (2011). *Networks of the Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

Le développement du langage oral

Introduction : qu'est-ce que le langage ?

Le langage constitue l'ensemble des *processus* utilisant *un code arbitraire mais conventionnel* pour « traduire » la pensée (concepts, émotions, sentiments ou même de l'imaginaire) en mots et/ou en permettre la transmission d'un individu à l'autre.

Le langage est la forme la plus achevée, socialement, de la communication interhumaine (et ce quelle que soit la forme que prenne le langage : oral, écrit, signé¹⁶). Mais la communication est une fonction beaucoup plus large qui inclut la connaissance de *la situation*, des relations sociales entre locuteurs (on ne s'adresse pas de la même façon à son enfant, son patron, ...), les usages culturels, les intentions. L'étude de l'efficacité de la communication concerne *la pragmatique* : cette dernière fait intervenir des aspects langagiers (style et niveau de langage choisi) et des aspects *non* langagiers (intonations, regards, mimiques, gestuelle, attitude générale).

Exemples

- « Espèce de sorcière » peut être une injure ou un mot doux (intonation, sourire aimant, ...) selon que votre interlocuteur est une femme détestée ou votre petite fille adorée ...
- « vous ne trouvez pas qu'il fait chaud ? », dit lors d'une réunion dans une salle surchauffée, doit être compris comme une suggestion polie d'ouvrir une fenêtre.
- « bien le bonjour », « mes hommages », « salut », « ça va ? », « hello ! », autant de façon de dire bonjour, d'initier une relation, en fonction de l'interlocuteur et de la situation.

La parole constitue l'aspect « oralisation », « sonorisation » du langage. Elle dépend de la maturation anatomique et motrice des organes bucco-phonatoires. Ainsi le langage peut très bien exister sans être oralisé (cf. le « langage intérieur ») ou bien donner lieu à une manifestation non sonorisée (langage écrit, langue des signes). Par ailleurs, l'évolution de la parole et du langage ne sont pas toujours parallèles : par exemple, la parole peut être retardée, simplifiée ou inintelligible alors que le langage est normalement développé.

En 1861, P. Broca découvre qu'une zone particulière de l'hémisphère gauche (depuis dénommée *l'aire de Broca*) est la zone de *production* des mots parlés. Dix ans plus tard, C. Wernicke localise, à l'intersection du lobe temporal et du lobe frontal de l'hémisphère gauche, proche du cortex auditif (sons, musiques), une autre aire cérébrale spécifiquement responsable de la *compréhension* des mots.

Depuis, les techniques modernes d'imagerie (ci-contre) ont permis de préciser, non seulement l'architecture fine des *différents systèmes et sous-systèmes* cérébraux dédiés au langage, mais surtout *les aspects dynamiques de leur implication* lorsque les fonctions langagières sont sollicitées.

16 : Référence au langage signé (= gestuel) utilisé dans les communautés sourdes. LSF = langue des signes française

Une architecture commune à toutes les langues

Le langage utilise un ensemble de *symboles* (signes arbitraires) de différents niveaux :

1. La phonétique/la phonologie : les sons de la langue
Il s'agit des sons de parole (par opposition aux sons non-langagiers : bruits, musique). Chaque langue possède un répertoire fini de phonèmes, qui constituent les « petites briques » qui, diversement combinées entre elles, formeront les mots de la langue. Le terme de phonologie insiste sur la valeur distinctive (du point de vue du sens) de certains traits phonétiques (ex., en français : bain //pain //main).
2. Le lexique (~ « vocabulaire ») : les mots de la langue
Le vocabulaire courant, appelé vocabulaire fondamental, oscille entre 7000 et 8000 termes utilisés par un locuteur standard, mais la plupart des individus en connaissent beaucoup plus (env. 50 000 à 100 000 mots compris par les adultes).
3. La syntaxe (~ « grammaire ») : l'organisation des phrases et la levée des ambiguïtés :
En français, il s'agit essentiellement de l'ordre des mots (Paul bat Pierre//Pierre bat Paul), des flexions¹⁷ (adjectifs : heureux, heureuse ; verbes : je chantes, nous chantons, je chantais, je chanterai, j'ai chanté) et des petits mots-fonctions (de, pour, du, à, etc. : je parle de papa, je parle à papa).
4. La sémantique : la signification des mots
La *compréhension* du langage oral (discours, récits) sollicite la collaboration étroite et coordonnée de nombreux réseaux (y compris dans l'hémisphère droit). Cependant, on note l'implication particulière d'une part de la zone de Broca et d'autre part de régions temporales de *l'hémisphère gauche* tout à fait spécifiques.

Chacun de ces systèmes (phonologie, lexique, syntaxe, sémantique) repose sur un sous-secteur cérébral spécialisé qui, en lien dynamique et étroit avec les autres, permet, en temps réel, la compréhension et l'expression *automatiques* du langage

Aspects développementaux

Les bébés naissent équipés de « boîtes à outil » spécifiques qui leur permettent de traiter *d'emblée et automatiquement* certains aspects des informations linguistiques de leur environnement. Le langage se construit donc *dans les interactions* entre ces aptitudes innées et la relation au monde, faite d'échanges affectifs, d'expériences, etc.

« Les résultats obtenus en IRM-f et en potentiels évoqués haute densité chez des nourrissons montrent que le cerveau est précocement organisé en réseaux fonctionnels proches de ceux de l'adulte. (...) Ceci suggère que l'exposition à la langue maternelle ne crée pas de nouveaux réseaux mais façonne des réseaux précontraints par notre patrimoine génétique »¹⁸.

17 : Flexion : modification de la terminaison du mot (désinence) en fonction de ses caractéristiques grammaticales.

18 G. : Dehaene-Lambertz, *Bases cérébrales de l'acquisition du langage : apport de la neuro-imagerie*, 2004, Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence, 52 (2004), 452-459

C'est pourquoi, au-delà des *grandes variations interculturelles et, au sein d'un même groupe, interindividuelles*, le développement du langage oral chez le bébé puis chez l'enfant suit, sur le fond, des étapes invariantes, *universelles*.

La compréhension

L'être humain est doté de mécanismes spécialisés pour *détecter et analyser le signal de parole*. Ainsi, dès la naissance, outre la reconnaissance de la voix de la mère, les bébés montrent une nette préférence (paradigme de succion non nutritive) pour l'écoute de parole dans leur langue maternelle (versus une langue étrangère)¹⁹.

Segmenter le flux de paroles

Le langage oral est en fait un flux *continu* de sons de paroles (cf. ce que l'on entend si l'on est plongé dans une langue étrangère dont on ignore tout : les mots ne sont pas isolables). Les bébés disposent d'un « outil », une sorte de « ciseau » à découper le flux continu de paroles, outil qui utilise en particulier la prosodie. *La prosodie* (accentuations de certains sons dans les mots, de certains mots dans la phrase, « musicalité » propre à la langue, rythme, intonations) est un élément primordial : ainsi, les enfants commencent par placer une « frontière de mot » devant toute syllabe accentuée²⁰.

Exemples

- Les bébés anglophones parviennent d'abord à repérer les mots accentués en position *initiale* (DOctor) mais pas ceux accentués en position finale (surPRISE).
- Les nouveau-nés français distinguent une même séquence syllabique (*mati*) selon qu'une *frontière* de mots est présente (« panorama typique ») ou non (mathématicien²¹).
- Les mots commençant par une consonne sont plus faciles à repérer que ceux commençant par une voyelle (ces dernières posent problème, en français, du fait des phénomènes de liaisons)²². Cf. les erreurs fréquentes des enfants, de type « le navion /un avion»

On remarque d'ailleurs que, dans toutes les langues et toutes les cultures, les adultes (et les grands enfants) s'adressent aux bébés en exagérant massivement les intonations. Ce « mamalais » (ou motherese selon S. Pinker²³, ou encore langage des mamas) facilite le repérage des unités de sens par l'enfant.

Discriminer les sons de sa langue

Chaque langue utilise un éventail fini et caractéristique de sons dont certains sont très proches et ne peuvent pas être discriminés sur des critères *acoustiques*. Chacun peut le constater lorsqu'il tente de répéter un mot dans une langue inconnue : bien que nos capacités auditives (acoustiques) soient excellentes nous ne parvenons pas à « entendre » les sons avec lesquels notre langue ne nous a pas familiarisés. En effet, ce sont les capacités cérébrales, déterminées dans la première enfance en fonction de notre langue maternelle, qui nous permettent de *discriminer* ces sons (ex : ba/pa en français). Or, dans toutes les langues, discriminer les sons proches est fondamental pour différencier les mots

19 : Bosch L., Sebastian-Galles N., 1997, Native-language recognition in 4-month-old infants from monolingual and bilingual environments, *Cognition*, 65, 33-69

20 : Jusczyk PW, Houston D & Newsome M., 1999, *The beginnings of word segmentation in english-learning infants*, *Cognitive psychology*, 39, 159-207

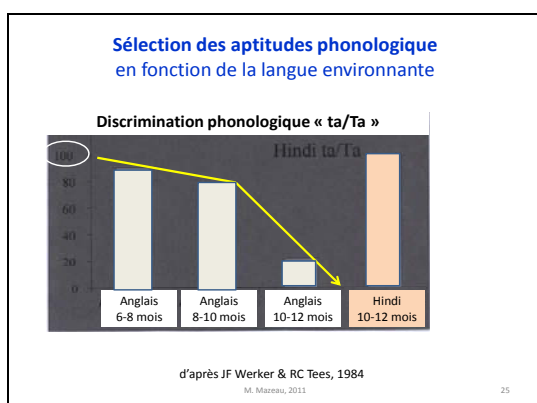
21 : Christophe A. et al, 1994, *Do infants perceive word boundaries ?* *J. of Acoustical Society of America*, 95, 1570-1580

22 : Chevrot JP, Dugua C & Fayol M., 2005, *Liaison et formation des mots en français*, *Langages*, 158, 38-52

23 : S. Pinker, *l'instinct du langage*, Année, O. Jacob

de la langue et ne pas faire de confusions de sens (exemples en français : pain/bain ou classe/glace, cage/cache etc.).

De nombreux travaux effectués chez des tout-petits (0-2 mois) ont montré que les bébés disposent de la capacité à discriminer *tous* les contrastes phonologiques *existants dans les différentes langues connues*. Mais au fil des mois et de l'exposition à leur langue maternelle, ils *perdent* peu à peu la capacité à discriminer les contrastes phonologiques qu'ils n'entendent jamais (mort neuronale et/ou régression de certaines connexions inter-neuronales) et se « spécialisent » dans les sons existants dans leur langue maternelle (création et/ou réarrangements des connexions inter-neuronales, sous l'effet de l'expérience et de l'apprentissage).



Exemple:

Capacité des bébés à distinguer un contraste phonologique, existant ou non dans leur langue (ici : /T/ interdental vs /t/ palatal existant en hindi et non en anglais) : les bébés anglais perdent, vers 10-12 mois, cette capacité de distinguer ce /T/ dont ils étaient initialement dotés. Les jeunes Hindis, qui entendent ce son (/T/) dans leur langue maternelle, conservent cette possibilité intacte.

La *perte* précoce de la capacité à « entendre », discriminer certains sons de la langue étrangère qui n'existent pas dans la langue première rend compte de l'importance de l'âge auquel on apprend une langue seconde.

NB : Le développement, dans ce domaine, consiste donc en une *sélection* de capacités initiales exhaustives. L'enfant gagne en performance (déciffrer sa langue maternelle) *parce qu'il perd en potentialités* initiales (universelles). Le développement ne consiste donc pas toujours en une « accumulation » de savoirs : il peut aussi résulter d'une *spécialisation* progressive permettant de meilleures performances et une adaptation plus étroite à un environnement précis.

Développer des réseaux lexicaux et sémantiques

L'appariement systématique d'une suite de sons (le mot) avec son référent (le concept, le sens), nécessite la conjonction (répétée) de l'audition du mot et d'expériences perceptivo-motrices congruentes (l'observation, la vision, la manipulation, etc.). Il s'agit là d'un apprentissage *implicite*²⁴, directement dépendant des interactions de l'enfant avec son environnement (milieu socio-culturel). Ces associations « suite de sons (= mots) et concepts (= objet, évènement ou idée correspondant) » sont *mémorisées* au sein de réseaux *spécifiquement dédiés* au langage (appelés réseaux lexicaux, réseaux sémantiques). Le lexique fondamental s'acquiert ainsi progressivement entre 0 et 18-36 mois.

24 : Qui se fait spontanément, sans enseignement délibéré.

Quelques repères chronologiques

- 6-9 mois : l'enfant réagit à son prénom, il comprend l'interdiction (« Non ! »)
- 7-12 mois : il exécute un ordre simple et habituel (viens, donne, assieds-toi, prends, ...), éventuellement accompagné du geste. Vers 10-16 mois, le geste est inutile.
- 16-20 mois : il désigne 1 à 5 parties du corps (ventre, mains, cheveux, yeux, bouche,)
- 18-24 mois : il exécute un ordre double (ex : donner quelque chose. à quelqu'un, aller chercher ceci *et* cela)
- 24-30 mois : il désigne 5-8 objets (ou images d'objets) familiers
- 3 ans : il comprend la négation grammaticale (le bébé n'est pas couché) et le pluriel (le bébé dort vs les bébés dorment)

L'expression

La production de *la parole*, qui transforme le langage en sons et en fait un outil de partage, d'échanges, de communication, dépend de la maturation linguistique (ci-dessus) et de *la maturation des voies sensori-motrices et praxiques (gestuelles) de la sphère bucco-phonatoire*

Exemple

Chez les bébés (et chez les mammifères) le larynx est en position haute dans le cou. Cela permet de dissocier respiration et alimentation (tétée) qui peuvent s'effectuer *simultanément*. Progressivement, entre 1 et 2 ans, le larynx s'abaisse chez l'enfant : les sons laryngés émis par les cordes vocales pourront alors être beaucoup mieux modulés, offrant une plus vaste gamme de sons productibles. En contrepartie, les « fausses routes » (déglutition de liquides ou solides dans les voies aériennes, les poumons) deviennent possibles, et il faudra *soit* respirer (et parler) *soit* s'alimenter.

L'expression orale de l'enfant à un moment de son évolution est donc *la résultante* de :

- *l'ensemble* de son développement intellectuel et social (motivation à la relation interpersonnelle),
- de ses capacités de *compréhension* du langage,
- et de ses capacités practo-motrice bucco-phonatoires (parole).

C'est pourquoi l'exploration de toute anomalie développementale dans le domaine de l'expression langagière doit donner lieu à des explorations systématisées et complètes avant de conclure.

Lexique/syntaxe : quelques repères chronologiques

- *Pendant la première année* de la vie, l'enfant produit des lallations constituées de sons différenciés produits de manière non spécifique (gazouillis). Jusque vers 4 mois, tous les bébés produisent les mêmes types de sons²⁵.
- *Ensuite (4-6 mois)*, ce babillage reflète clairement certaines des caractéristiques de la langue maternelle (prosodie). Ainsi les bébés anglais babillent en accentuant la fin de leurs « phrases-gazouillis », alors que les bébés français en accentuent le début ...
- *Vers 8-12 mois*, le babillage devient *canonique* : les bébés produisent des séries de duplication de syllabes (baba, dada, tata, mama,...). C'est une phase très importante, généralement interprétée par l'entourage comme l'émergence des premiers mots

25 : Y compris les bébés sourds, ce qui n'est pas le cas lors de la suite du développement du langage oral.

auxquels les parents vont donner sens (papa/maman en français, avec des dénominations proches dans beaucoup de langues). Mais ce n'est que vers 12-16 mois que l'enfant relie cette suite de sons à la *signification* que lui donne l'entourage et les utilise alors pour désigner (appeler) ses parents.

- *A partir de 12-16 mois*, le système de production phonologique se manifeste : l'enfant peut prononcer plus ou moins distinctement de 20 à 100 mots (moyenne : 50 mots). Beaucoup de mots sont déformés et résultent de duplication de syllabes (« dodo, bobo, tutur' pour voiture ou pour chaussures, ... »).
- *de 16 à 20 mois* : l'enfant commence à utiliser des adjectifs (méchant, sale...), des verbes (tombé, cassé, parti, ...), des expressions toutes faites (tout-fini, à-plus, veut-pas, ...).
- *de 20-24 mois* : il produit ses premières phrases de mots juxtaposés, il acquiert le genre (masculin/féminin) et le nombre (singulier/pluriel).
- *A partir de 2 ans*, le système syntaxique se construit : l'enfant associe des mots (papa pa'ti) et l'organisation des phrases va peu à peu se complexifier.
- A la fin de la 2^{ème} année, on assiste à *un accroissement très important du vocabulaire*.
- A l'âge de 3 ans, la longueur moyenne des énoncés (LME) s'allonge, tandis que les structures syntaxiques se complexifient. L'enfant doit, à cet âge, faire *au minimum* des phrases de 3 mots (pronom-sujet/verbe/complément, ex : papa pa'ti voiture). Outre les noms et les verbes courants, l'enfant utilise couramment la négation (« pas bon »), les pronoms personnels sujets (je, moi, tu, toi, eux, ils), les questions (où ? qui ? quoi ?), les adjectifs courants (lourd, sale, vide, méchant, gentil, petit, grand,...), les numéros (un pour 1, deux pour 2, trois pour « plus que 2 ») et quelques noms de couleurs (pas encore stable).
- Dès l'âge de 4 ans l'enfant possède déjà un vocabulaire de base (fondamental) proche de celui de l'adulte.

Quelques repères chronologiques : phonologie

Sans être constantes, des approximations de production phonologique sont tolérées, certaines jusqu'à 5-6 ans environ immaturité des systèmes praxio-moteurs de la sphère bucco-faciale (immaturité des systèmes praxio-moteurs de la sphère bucco-faciale)

- 2-4 ans : omissions des finales (watu' pour voiture), élisions (bibon pour biberon), assimilations (tato pour gateau), occlusifications (ati pour assis), ...
- 3-4 ½ ans : difficultés avec les sons d/ t/ n/ g/ k/ j/ gn/ z/ ; simplifications sur les bi-consonnatiques (cr/tr/fl/gr/sp/...) : fleur pour fleur, bourette pour bourette, pestacle pour spectacle, ...
- 5-7 ans : le système de prononciation de la parole est intégralement en place.

Les dysphasies

On appelle dysphasies les pathologies qui résultent d'une anomalie (de constitution et/ou de développement) d'un, plusieurs ou tous les systèmes ou sous-systèmes de traitements cérébraux dédiés au langage (phonologie, lexicale, syntaxe, ...). Cela se traduit par un trouble sévère et durable du langage, alors que l'enfant entend bien, ne présente ni TED ni

déficience mentale et a été soumis aux stimulations linguistiques habituelles dans son environnement familial et socio-culturel.

NB : Le développement du langage est *indépendant* de « l'intelligence²⁶ » :

Certains jeunes déficients mentaux développent un langage normal, voire même de bon niveau lexical (ex : syndrome de Williams) ; au contraire, il est facile de montrer que la grande majorité des jeunes dysphasiques présente une intelligence normale, voire supérieure pour certains. Les capacités intellectuelles des jeunes dysphasiques doivent, bien évidemment, être évaluées avec un matériel *non-verbal* (ex : cubes de Kohs, Progressive Matrices, classifications et/ou analyse catégorielles des EDEI-R, etc...) Le jeune dysphasique est empêché de mettre en mots une pensée qu'il conçoit bien²⁷.

Quelles en sont les *causes* ? La cause de ces troubles reste encore *inconnue* dans la grande majorité des cas. Les recherches actuelles privilégient les hypothèses génétiques.

Le diagnostic repose sur *l'élimination* de causes non-linguistiques (troubles de la communication et de la cognition sociale, déficit auditif, ...), *la préservation* des fonctions cognitives non-langagières (raisonnement non-verbal, fonctions visuo-spatiales, ...) et sur la mise en évidence éventuelle de secteurs langagiers spécifiquement déficitaires ou déviants chez l'enfant.

Exemples : Déviations langagières

On désigne sous ce terme des anomalies qu'on ne trouve pas habituellement au décours du développement normal des enfants tout-venants.

On peut ainsi repérer des déviations :

- phonologiques (par exemple le phénomène dit « d'approche phonologique », où l'enfant *cherche* la « bonne forme » sonore du mot, ex : /cancagne, panpagne, tantagne, ... campagne/),
- lexicales (manque du mot, ex : « c'est un ... pour... tu sais, le truc qui ... »)
- ou syntaxiques (ex : « le fille, le garçon, le balle, jouer... » = la fille et le garçon jouent à la balle, ou « moi rentrer maison pour taxi » = je rentre à la maison en taxi)

Différentes sortes de dysphasies

Les dysphasies constituent un *groupe* de pathologies dont les symptômes, les conséquences et le pronostic peuvent être très différents selon les sous-systèmes langagiers atteints ou préservés : il est donc absolument indispensable de préciser, pour un enfant donné, *le type* précis de dysphasie dont il souffre. Le tableau ci-dessous illustre (de façon non exhaustive) la variété des dysphasies d'expression les plus courantes et de leurs symptômes respectifs, en fonction des secteurs langagiers atteints.

VERSANT EXPRESSIF	PHONOLOGIE	LEXIQUE	SYNTAXE
Dysphasie phonologique-syntaxique	↘↘	+/- Normal (ou ↘)	↘↘↘
Tr. de production phonologique	↘↘↘	Normal	+/- ↘
Manque du mot	Normal	↘↘↘	Normale

(Les flèches ↘ indiquent l'importance du déficit ou des anomalies)

²⁶ : Pour faire court et très schématiquement, nous définirons ici l'intelligence comme la capacité de l'enfant, en fonction de son âge, d'effectuer des opérations mentales de catégorisation, classification, déduction logique (cf. « facteur G » ou facteur « d'intelligence générale »).

²⁷ : D. Laplane, 1997, La pensée d'outre-mots : la pensée sans langage et la relation pensée-langage, Les empêcheurs de penser en rond.

D'autres dysphasies affectent les systèmes de compréhension du langage.

Les actions thérapeutiques à entreprendre et le pronostic dépendent du type de dysphasie et de son intensité, ainsi que de la pertinence et de la précocité des actions mises en place. La participation du jeune, l'alliance avec la famille et un partenariat de bonne qualité avec l'école sont un gage d'évolution favorable.

NB : Il est habituel que les jeunes dysphasiques, outre leurs troubles de communication orale, présentent des troubles d'apprentissage secondaires, conséquence de la pathologie langagière : difficultés à accéder au langage écrit (*dyslexies*) et, pour certains, dans l'apprentissage de la numération et du calcul (*dyscalculies*).

Petite bibliographie pour aller plus loin ...

- B. Boysson- Bardies, 1996, *Comment la parole vient aux enfants*, Odile Jacob
- Steven Pinker, 1999, *L'instinct du langage*, Odile Jacob
- Chevrie Muller, 2007 (3^{ème} éd.), *Le langage de l'enfant, aspects normaux et pathologiques*, Masson,
- M. Kail et M. Fayol, 2000, *L'acquisition du langage, de la naissance à 3 ans*, PUF
- C. Gérard & V. Brun (ss la direction de), *Les dysphasies*, 2003, Masson.
- M.A. Schelstraete, *Traitement du langage oral chez l'enfant ; interventions et indications cliniques*, 2011, Masson

L'Apprentissage du langage écrit

Introduction

La représentation du langage par des *signes visibles*, gravés, dessinés ou peints sur un support *durable*, permet d'échanger des informations à *distance* (spatiale ou temporelle) ou encore de les conserver (*mémoire*).

Diverses formes d'écritures seraient apparues aux environs de 5000 avant J.C., dans différentes civilisations, servant essentiellement le commerce et les besoins comptables ; ainsi les écritures cunéiformes datent de 3300 av. J.C. (empire Sumérien) et les hiéroglyphes (Egypte) les plus anciens datent de 2500 av. J.C. Il s'agit donc, *au regard de l'Evolution*, de temps « courts » : c'est pourquoi ce n'est pas une évolution du cerveau humain qui a permis l'apparition de l'écrit (nous ne disposons pas de « boîtes à outils » pré-cablées pour développer la lecture !). Au contraire, pour accéder au langage écrit²⁸ le cerveau humain est « mis en demeure » de recycler²⁹ les outils cognitifs (neuronaux) dont l'évolution nous a dotés, de façon à, malgré tout, apprendre à lire. Ainsi, apprendre la langue écrite, capacité facultative au regard de l'Evolution mais indispensable dans nos sociétés, consiste à créer de novo (par entraînement) des réseaux de neurones inédits qui mettront en relation, dans l'hémisphère gauche, certaines aires visuelles spécifiques (une fraction de la voie visuelle ventrale) et certaines aires spécifiques du langage (celles dédiées à la phonologie et au lexique). Ce n'est que lorsque ces nouveaux réseaux de neurones seront non seulement fonctionnels mais *automatisés* (automatiquement mis en route, de façon harmonieuse et efficace, lors de la perception d'un mot écrit) que l'apprentissage sera réussi (terminé).

Exemple : *Le but de l'apprentissage : une lecture automatique et irrépressible*, cf. l'effet Stroop

On peut mettre cela facilement en évidence en demandant à des sujets normo-lecteurs d'énoncer rapidement la couleur avec laquelle les mots sont écrits : BLEU (il faut dire /rouge/) – JAUNE (il faut dire/vert/, etc...) – VERT – NOIR – ROUGE – JAUNE – ROUGE – BLEU – VERT , etc.

Chacun peut constater qu'il est très difficile de faire abstraction du sens des mots : ce dernier s'impose automatiquement, en dépit de la consigne et de l'intention (volonté consciente) du sujet de ne s'intéresser qu'à la couleur de l'encre.

Les caractéristiques des langues alphabétiques

Les langues écrites qui traduisent et codent *les sons* de la langue orale (langues alphabétiques) utilisent un nombre *restreint* et *limité* de symboles (les lettres³⁰) pour permettre de traduire *tous* les sons de la langue. L'ordre des lettres dans les mots écrits respecte celui des sons dans les mots oraux : cette organisation séquentielle, sérielle est une caractéristique des écritures alphabétiques.

²⁸ : Les anglo-saxons désignent sous le terme de « literacy » toutes les activités liées au langage écrit, c'est-à-dire à la fois la lecture et la production d'écrits.

²⁹ : Recyclage neuronal : selon la formule de Stanislas Dehaene ; cf. introduction.

³⁰ : Lettres (t, d, a, ...) ou groupe de lettres (an, ai, ch, ...), souvent dénommés *graphèmes*.

Leur apprentissage est *génératif* : cela signifie que la connaissance des lettres et des sons correspondants permet de « générer » la lecture/écriture de l'infinité de tous les mots, existants ou possibles, dans cette langue (on peut lire, ou écrire sous dictée aussi bien *trachminou* et *sirvalu* que *fourmi* ou *statistique*). Cet apprentissage est ainsi accessible au plus grand nombre et facilite la scolarisation de masse.

Dans tous les cas, lire c'est extraire du sens à partir de suites séquentielles de signes écrits appartenant à un code arbitraire commun à toute une communauté.

Des langues plus ou moins transparentes ...

Certaines langues sont dites « opaques » (en particulier l'anglais, et à un moindre degré le français) : il n'y a pas de correspondance stricte, régulière, entre les sons de la langue et leur transcription graphique (correspondances graphophonologiques) ; on note de nombreuses irrégularités orthographiques.

Ceci a des conséquences sur la lecture : les mots « irréguliers », qui ne respectent pas les règles de conversion graphophonologique (ex : femme, album, oignon, charisme, etc.) demandent des traitements cognitifs plus longs que les mots réguliers (caméra, soupir, pirate).

Plus les langues écrites sont transparentes, plus elles sont « faciles » à apprendre :

Après 1 an d'apprentissage, parmi une liste de mots courants, les jeunes anglais peuvent en lire correctement 40%, les jeunes français 70% et les jeunes finlandais (langue transparente) 98%. De même l'apprentissage des irrégularités orthographiques sera d'autant plus long, plus laborieux et plus fragile que la langue écrite est plus opaque.

Processus cognitifs en jeu et aspects développementaux

L'acte de lire recouvre deux opérations mentales fondamentales :

- *l'identification des mots*, jusqu'à l'accès à leur signification, opération mentale qui est *spécifique* à la lecture ;
- *la compréhension de l'énoncé ou du texte*, qui elle concerne *l'ensemble* des compétences linguistiques, mais aussi la mémoire, l'attention, les fonctions exécutives et le niveau d'intelligence générale. Cet aspect de la compréhension ne résulte donc pas de processus qui seraient *spécifiques* à l'écrit et ne sera donc pas abordé ici.

La prise d'information visuelle

Bien avant d'impliquer des traitements linguistiques, la lecture impose que l'information écrite soit *saisie* visuellement dans des conditions optimales. Cela concerne en premier lieu les *mouvements* du regard³¹ qui doivent déplacer les yeux à la fois très rapidement, très

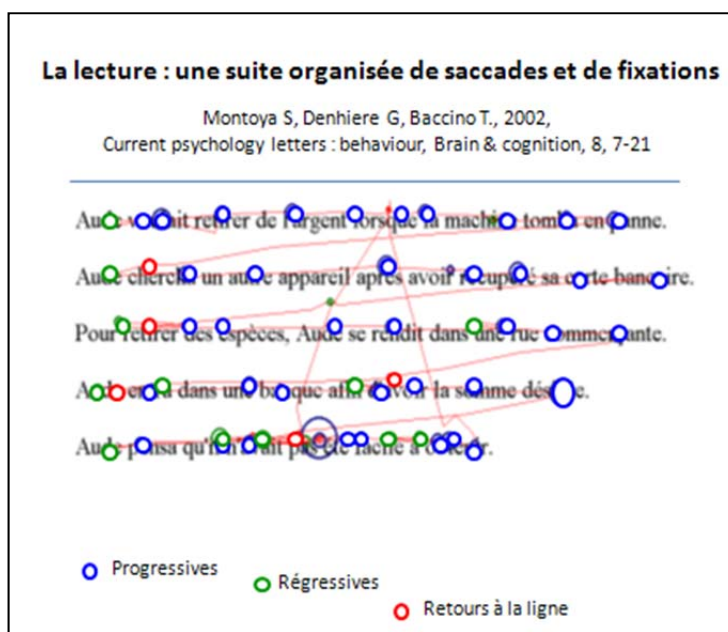
³¹ : On distingue le *regard* = bouger les yeux, qui peuvent être comparés à des caméras qu'il s'agit de diriger correctement (aspects moteurs) et la *vision* = « prendre la photo » qui doit s'imprimer sur la rétine avant d'être traitée par des réseaux cérébraux dédiés (aspect perceptif)

précisément et d'une façon spécialement organisée le long des lignes afin de balayer convenablement le texte.

Les yeux en effet ne se déplacent pas régulièrement au fil du texte, mais ils effectuent une succession de petits sauts, appelés *saccades*, extrêmement rapides d'un mot à un autre (ou d'une partie de mot à une autre). Ces déplacements sont régulièrement interrompus par des pauses (appelées *fixations*) durant lesquelles le mot est « imprimé » sur la rétine et transmis au cerveau pour analyse, identification, compréhension : c'est là que s'effectue le travail cognitif de lecture proprement dite.

- Les saccades

Une saccade bien calibrée doit placer de manière optimale par rapport au mot à lire la *fovéa*³², petite zone centrale de la rétine qui seule permet une vision suffisamment précise et nette pour identifier les lettres. Durant la saccade elle-même il n'y a *pas* de perception.



Légende

Fig. ci-contre : les cercles figurent les fixations, les traits entre les cercles, les saccades.

Les saccades sont organisées, pour l'essentiel de façon linéaire et de gauche à droite, permettant l'avancée dans le texte (en bleu : *saccades de progression*).

De temps à autre, on peut cependant enregistrer quelques *saccades de régression* (en vert) qui interviennent s'il y a un mot long ou si la compréhension impose un retour en arrière.

Enfin, on remarque les *grandes saccades de retour à la ligne* (en rouge), obliques de droite à gauche et orientées vers le bas.

Le calibrage (le contrôle de l'amplitude) de ces saccades³³ est *très précis* et *automatisé* dès le stade dit « de lecture courante » (~ CE2 +/- 1 an). Il est piloté par la perception, dans le champ visuel périphérique, des noirs et blancs adjacents.

Cette organisation particulière des saccades dans la lecture repose sur un long apprentissage d'environ 2-3 ans (fin de maternelle → début de primaire), lequel s'appuie lui-même sur la maturation préalable de compétences oculomotrices précoces³⁴. Ces dernières, universelles, sont *ensuite* « recyclées » si l'enfant est soumis à l'apprentissage de la lecture, pour apprendre les nouveaux gestes de regard indispensables pour lire.

Au début de l'apprentissage de la lecture, les jeunes enfants, qui n'ont pas encore automatisé ces nouveaux gestes oculaires, doivent s'aider de leur doigt pour arriver à suivre la ligne du texte.

³² : Fovéa : petite zone rétinienne riche en cônes, cellules photo-réceptrices de haute résolution.

³³ : Il s'agit bien d'un *apprentissage culturel* (recyclage neuronal) : ainsi, en fonction des caractéristiques de leur langue écrite, les lecteurs automatisent des saccades de progression de droite à gauche (hébreu, arabe, ...).

³⁴ : Compétences précoces : cf. introduction

Dès 6-7 ans³⁵, la fréquence des saccades *régressives* diminue (~ 34%, contre 10-15% en moyenne chez l'adulte normo-lecteur). La longueur des saccades augmente aussi progressivement : à 11 ans, il n'y a pratiquement plus de saccades de 2 caractères alors qu'elles représentent 90% des saccades à 6 ans (chez l'adulte : 7-9 caractères en moyenne).

- Les fixations

C'est pendant les fixations que s'effectuent *les traitements cognitifs* qui aboutiront à l'identification du mot et de son sens.

Différents éléments caractérisent l'efficacité des fixations :

- *La durée (~ 200 à 300 ms)* : chez le lecteur expert le décodage du mot, très rapide, se fait dès le début de la fixation. Cependant, la présence de mots rares (du point de vue du lecteur) augmente la durée des fixations³⁶.
- *Le lieu de la fixation* : la reconnaissance est optimale quand la fixation se situe légèrement à gauche du centre du mot (pour les lecteurs lisant de gauche à droite). Il est à noter que la qualité de l'information visuelle diminue rapidement dès que l'on s'éloigne du point de fixation (d'où l'absolue nécessité de saccades extrêmement précises).
- *L'amplitude ou empan visuo-attentionnel (EVA)* correspond à la quantité de lettres qui peuvent être traités *simultanément* lors d'une fixation. Nous n'identifions vraiment que 10-12 lettres au maximum lors d'une fixation.

La durée des fixations diminue avec l'âge et l'expertise en lecture, de même pour le nombre de fixations. C'est entre 8 et 11 ans que l'empan visuel devient asymétrique, privilégiant la zone située à gauche de la fixation. Le comportement visuel de l'enfant normo-lecteur ressemble à celui de l'adulte aux alentours de l'âge de 12 ans.

Le traitement perceptif visuel : l'identification du mot.

- L'invariance perceptive

Les lettres constituent les unités de base de la perception des mots écrits. L'unité pertinente pour la lecture d'un mot correspond à l'identité *abstraite* des lettres (indépendamment de la police, de la taille, de la casse, ...). Cette connaissance abstraite résulte de l'existence de neurones *détecteurs de traits caractéristiques* dont l'arrangement constitue les lettres : il existe des neurones capables de reconnaître les lettres quelle que soit leur apparence (typographie). Cette invariance perceptive, acquise par apprentissage, nous permet de traiter de la même façon, par exemple, e et E, ou a et A, mais nous permet aussi de percevoir facilement, par amplification, la différence entre r / n, n / h ou c / e.

Les études en IMR-f montrent une implication du cortex temporal ventral (illustration ci-dessous), que les paires soient visuellement identiques *ou non* (rage/RAGE). Cette région ne code donc pas seulement la forme visuelle mais bien *l'identité abstraite des lettres*.

³⁵ : P.Quercia, Mouvements oculaires et lecture, une revue bibliographique, *Journal français d'ophtalmologie*, 2010, 33,416-423

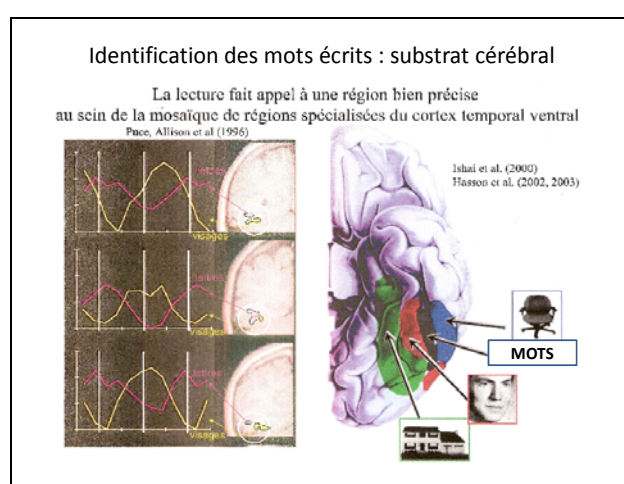
³⁶ : Simola J. et al., Right visual field advantage in parafoveal processing : evidence from eye-fixation-related potentials. *Brain Lang* 2009, 11, 101-103

NB : Cette région cérébrale, « douée » pour l'invariance perceptive quelle que soit l'orientation du stimulus, pourrait aussi être à l'origine de difficultés pour distinguer les items symétriques (cf. erreurs en miroirs, normales chez l'enfant jusque vers 5-7 ans).

- L'ordre des lettres

L'information concernant *la position* des lettres dans le mot est également codée : c'est particulièrement important dans les langues comme le français (mais aussi l'anglais ou l'allemand) qui possèdent beaucoup d'anagrammes (ex : mais/amis, lion/lain, chine/chien).

L'identification du mot repose donc sur l'identification de la suite sérielle des lettres. On a pu mettre en évidence une zone cérébrale dédiée (cortex temporal ventral, hémisphère gauche), dite « aire de la forme visuelle des mots écrits »



Substrat cérébral de l'identification visuelle des mots³⁷

Les deux voies de la lecture

Deux processus différents peuvent être mis en jeu pour lire. Le classique modèle des deux voies de la lecture de Coltheart et al. (2001) a été maintes fois confirmé, à la fois expérimentalement et par l'étude de la pathologie (alexies de l'adulte touchant soit l'une soit l'autre voie de la lecture, et chez l'enfant³⁸).

- Voie d'assemblage (ou voie indirecte)

La suite de lettres et graphèmes est convertie en la *suite de sons* correspondants, suite sonore que le lecteur doit ensuite *assembler* pour reconstituer le mot. Le mot ainsi « sonorisé » est alors reconnu s'il peut être apparié à un mot connu, *préexistant* dans le lexique *auditif* du sujet ; une signification lui alors est assignée au moment où le sujet

³⁷ : Cohen L. et al, 2000, The visual word form area. *Brain*, 132, 291-307

³⁸ : M. Zorman. La dyslexie de surface développementale, étude d'un cas. In "Le dyslexies", ss la dir° R. Cheminal/V. Brun, Rencontre en rééducation, pp 56-65, éd. Masson février 2002.

« s'entend » dire le mot (sauf pour les non-mots³⁹, qui, évidemment, ne peuvent être appariés à une signification).

Ainsi, l'enfant s'entend dire la suite de sons (pi/rra/teu/ ... → pirate) et reconstitue alors le mot qu'il connaît oralement depuis longtemps. Ce type de lecture peut donner lieu à des erreurs de correspondances entre les lettres et les sons (ex : matin peut être lu « malin »)

Cette voie joue un rôle d'autant plus important dans l'accès à la signification que le mot écrit est de rare ou peu connu (voire inconnu) du sujet. C'est donc initialement la seule voie disponible pour le lecteur *débutant*.

-Voie d'adressage (ou voie directe)

Il s'agit là d'un accès direct à l'*identification visuelle* du mot telle que décrite plus haut, sans passer *au préalable* par sa forme phonologique. Cette voie n'est utilisable que pour des mots écrits *déjà* connus du lecteur : il faut que le lecteur ait construit un *lexique orthographique*, c'est-à-dire un répertoire de formes visuelles de mots qui sont appariés à des significations. Cette construction est longue : elle dépend de la fréquence des mots lus. Une fois le mot inscrit dans ce lexique orthographique, le mot identifié visuellement est alors automatiquement apparié à sa signification.

Exemple : L'adressage ne doit pas être assimilé à la lecture dite « globale ».

Cette dernière peut en effet désigner une lecture dite *logographique*, dans laquelle interviennent des aspects picturaux ou autres (couleurs, longueur, signes diacritiques, pictogrammes, ...), *indépendants de la suite des lettres* (ex : graphisme et colorisation de « Coca-Cola »). Si l'on modifie la couleur, ou si l'on oublie un tréma ou un accent, le mot n'est alors plus reconnu. Beaucoup de jeunes enfants (et d'illettrés) reconnaissent ainsi quelques « mots-étiquettes » (prénoms, jours de la semaine, ...) ou certains éléments mémorisés de leur environnement (MacDo, nom de leurs céréales préférées, de leur rue, de la banque, des marques de voitures, etc.).

La voie d'adressage, elle, permet une identification rapide et *précise*, fonction de *la suite exacte* des lettres, permettant de distinguer rapidement et à coup sûr « ils s'attardèrent / ils s'attrapèrent ».

Ce type de lecture par adressage peut donner lieu à des erreurs de précision mais respectant le sens : bateau peut être lu « navire », ou château lu « palais ».

La lecture par adressage permet une lecture plus rapide : or (cf. mémoire de travail), la rapidité en lecture est un gage de compréhension du texte, surtout pour les textes longs.

- La nécessaire coordination des deux voies

En condition normale de lecture, comment ces deux voies interviennent-elles ?

Même lors de l'identification visuelle du mot, s'il utilise la stratégie d'adressage, le lecteur accède *aussi* à la forme sonore du mot et ce *même lors de la lecture silencieuse*.

39 : Non mots (sirvalu) ou pseudo-mots (naison) sont des « faux mots » inventés. En situation écologique de lecture cela correspond soit aux noms propres, soit à un mot inconnu du lecteur (ex : boustrophédon). On peut le lire, le dire, sans lui assigner de sens.

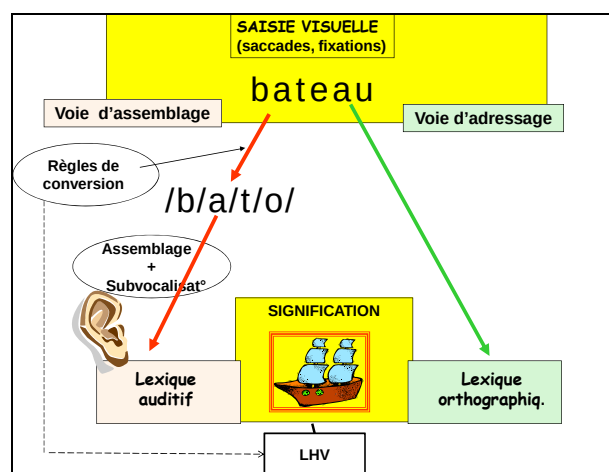
Exemple : Homophonie et catégorisation sémantique

Le sujet doit dire si le mot cible qui apparaît brièvement à l'écran appartient ou non à une catégorie donnée (ex : flowers). On propose un mot appartenant à la même catégorie (rose) ou un homophone (rows) ou un contrôle non-homophone (robs). Les sujets font significativement plus d'erreurs, décidant que l'homophone (rows) est une fleur : la séquence de lettres « r, o, w, s » a bien été codée phonologiquement, interférant avec l'activation de « rose ».

Ces travaux i)- prouvent que le code phonologique est activé de façon irrépessible chez le normo-lecteur, y compris en lecture silencieuse ; ii)- montrent qu'il a un rôle fondamental lors de la récupération de la signification du mot écrit.

Les 2 codes, orthographiques et phonologiques, influencent *conjointement* les performances en lecture silencieuse⁴⁰.

En fait, tout normo-lecteur mobilise *simultanément* les deux voies, activant l'une ou l'autre de façon préférentielle (tableau ci-dessous), selon son degré d'expertise et les mots rencontrés : fréquence, familiarité, ambiguïté, homophonie, régularité orthographique, contexte, etc.



Voie d'assemblage (= indirecte, « déchiffrage »)	Voie d'adressage (= directe)
Requiert la connaissance des règles de conversion grapho- phonologique. La phase d'assemblage sollicite la mémoire de travail auditivo-verbale	Nécessite une prise d'information visuelle optimale (saccades, lieu de la fixation et empan visuo-attentionnel)
- Non-mots (voie obligée) - Mots réguliers - Mots <i>nouveaux</i> pour le lecteur sous leur forme écrite (+++ pour débutants !) → accès au <i>lexique auditif</i> (pré-existant)	- Mots irréguliers (voie obligée) - Mots <i>déjà connus</i> du lecteur sous leur forme écrite → accès au <i>lexique orthographique</i> (à construire, via la voie indirecte)
Durée de lecture dépend de la longueur et de la complexité grapho-phonologique du mot	Lecture plus rapide, indépendante de la longueur et de la complexité du mot
<i>Corrélat cérébral spécifique</i> : zone de Broca	Zone temporale ventrale G

L'apprentissage de l'écrit

L'enfant doit, sous l'effet d'un entraînement *délibéré, explicite et spécifique*,

⁴⁰ : Cf. L. Ferrrand, 2007, psychologie cognitive de la lecture, De Boeck, pp 230

1. réorganiser son regard, développer ses aptitudes visuo-spatiales et visuo-attentionnelles.
2. développer sa capacité à faire des liens entre les sons de la langue et les lettres ou suites de lettres (les graphèmes). Cette capacité-là est dite « **conscience phonologique** » (ou encore « habileté métaphonologique »).

Aspects développementaux de la conscience phonologique

Pour appairer les suites de lettres avec les sons correspondants de la langue et assembler ces sons pour reconstituer un mot, l'enfant prend *conscience* que la langue orale est constituée *de sons*. Il doit pouvoir les repérer, les isoler, puis les manipuler (pour établir ensuite les correspondances avec les suites de lettres).

Ne pas confondre la discrimination phonologique qui fait partie des compétences précoces (implicites) du nouveau-né (cf. langage oral) ; et la conscience phonologique, qui consiste en une manipulation intentionnelle et explicitement enseignée des sons de la langue.

Or, jusque vers 4 ans, l'enfant ne peut accéder qu'à la signification globale des mots. Ainsi, dans /vache/ le jeune enfant ne peut pas entendre /va/. S'il faut « entendre » (!) quelque chose dans /vache/, il évoquera « meuh » !. Ce n'est qu'aux alentours de 4 ans que l'enfant commence à prendre conscience que la langue orale, indépendamment des significations, est constituée de sons : il s'intéresse alors aux jeux de rimes, puis aux syllabes. Toutefois un entraînement limité aux rimes ou aux syllabes ne permet pas d'accéder au principe des langues alphabétiques : de nombreux travaux concordant⁴¹ ont montré à de multiples reprises que cela ne suffit pas pour permettre l'accès à la lecture.

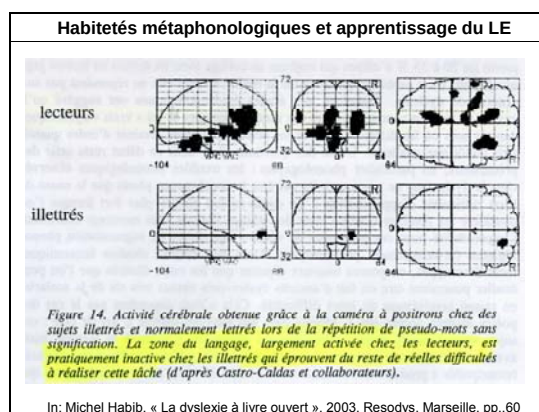
Sous les effets de l'enseignement et de l'entraînement dispensé dans les classes maternelles et en première année d'école primaire, les enfants manipulent de plus en plus finement les sons de leur langue : d'abord les syllabes et les sons voyelliques (~ 5 ans), puis les phonèmes (~ 6 ans).

Exemple : Tâches de conscience phonologique

- au niveau de la syllabe : suppression syllabique (merci → mer), inversion syllabique (radis → dira),
- au niveau du phonème : suppression du 1^{er} phonème (sage → âge, pluie → lui), modification d'un phonème (remplacer /p/ par /n/ : pull → nul, cape → canne), etc.

Dans de nombreux manuels destinés aux enseignants, ces tâches sont détaillées et les progressions dans la difficulté précisées.

Les recherches ont clairement démontré, de façon constante depuis deux décennies, que c'est *l'automatisation* de ces manipulations de sons qui conduit à la reconnaissance rapide, précise et automatique des mots lus et favorise donc, à terme, la compréhension de l'écrit : *les performances en conscience phonologique, en grande section de maternelle, prédisent de façon fiable les performances ultérieures de l'enfant en lecture.*



NB : Ces capacités en métaphonologie reposent sur les réseaux langagiers (cf. langage oral), qui incluent spécifiquement l'aire de Broca, dans l'hémisphère gauche.

Les analphabètes, les illettrés, les lecteurs exclusifs de langues logographiques (chinois), n'activent pas les zones cérébrales correspondantes lors de ces épreuves. (Les chinois qui ont appris l'anglais les activent).

De plus, la connaissance du *nom des lettres* chez les enfants de 5-7 ans est aussi corrélée au niveau de lecture et d'écriture et montre des interactions avec les capacités de segmentation et de manipulation phonologique.

D'où une possibilité éprouvée de repérage et de dépistage des enfants présentant des risques⁴² de difficulté d'accès à l'écrit.

Le rôle de la mémoire de travail auditivo-verbale

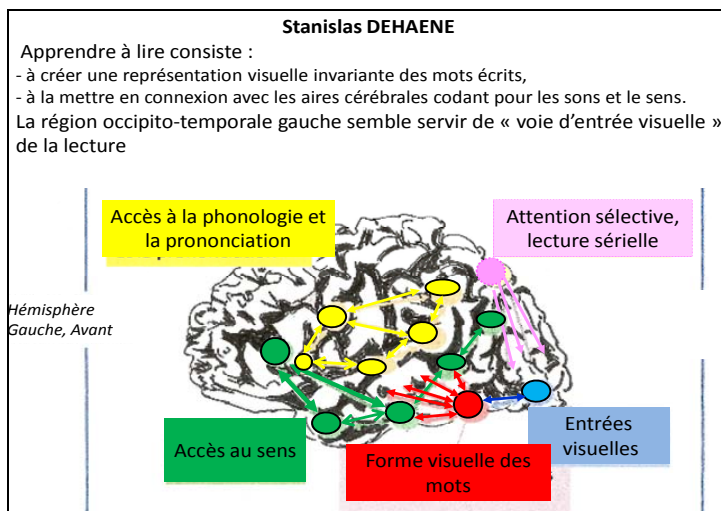
Les différents sons correspondants à la suite de lettres qui composent le mot doivent être brièvement conservés actifs en mémoire de travail, afin d'en permettre l'assemblage puis l'accès au sens. Sans entrer dans les détails du fonctionnement et du développement de la mémoire de travail, il faut savoir que la charge en mémoire de travail (cf. chapitre sur les fonctions mnésiques) est d'autant plus importante que le lecteur est *novice ou peu performant* : les unités de conversion grapho↔phonologiques sont en effet plus petites et donc d'autant plus nombreuses. Moins il est performant, plus l'enfant « traduit » en son lettre à lettre, ou deux lettres par deux lettres et se trouve donc avec un grand nombre d'unités à conserver brièvement en mémoire avant l'assemblage du tout pour former le mot ; il peut alors « oublier » le début du mot (ex : « p...pa...pan...t...ta...lon → *talon* ? ») bien au contraire, tenter d'anticiper, de deviner le mots à partir des tout premiers éléments (ex : librairie : « l...li...lib... → *liberté* ? »)

Même lorsque chaque mot est correctement déchiffré, la *lenteur* du processus de déchiffrage peut aussi gêner considérablement l'accès au sens de phrases longues ou de texte, ainsi que leur mémorisation à long terme.

⁴² Un risque n'est pas un destin : c'est au contraire un événement désagréable prédictible mais évitable si des mesures pertinentes sont mises en œuvre en temps utile.

Conclusion

Le processus d'apprentissage de la lecture, contrairement à celui du langage oral, est lié à un *enseignement explicite* ; il met en jeu de nombreuses compétences (neuro-visuelles, phonologiques, lexicales, attentionnelles, mnésiques, ...) et nécessite un entraînement suffisant pour obtenir une bonne automatisation des différents processus sous-jacents.



Des études en IRM-f montrent que le réseau de base est déjà en place aux alentours de 7 ans.

Les dyslexies

Définition

Certains enfants présentent des anomalies neuro-développementales qui perturbent (à des degrés divers) l'apprentissage de la langue écrite, alors qu'ils manifestent une intelligence normale et ont suivi un entraînement habituel (scolarisation « standard ») dans un milieu éducatif sans particularité.

Comme pour tous les dys, on ne parle de dyslexie que si la performance en lecture de l'enfant est *durablement et significativement faible* en regard de son âge, de son niveau intellectuel et de son niveau scolaire (-1,5 ou 2 D.S dans un test étalonné, ou 18 à 24 mois de décalage p.r. à son niveau scolaire), générant un trouble scolaire et/ou social (handicap).

La *prévalence* de la dyslexie est différente selon les pays, liée à la transparence de la langue. En France, on avance des chiffres différents selon les auteurs⁴³ et les critères retenus. Un consensus semble désormais s'établir⁴⁴ aux alentours de 3,5%.

43 : 5 à 8 % selon Sprenger-Charolles et Colé, Lecture et dyslexie : approche cognitive, 2003, Dunod.

44 : Billard et col, 2007, Résultats préliminaires d'une étude épidémiologique transversale des apprentissages en lecture orthographe et calcul en CE1, *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie, bilan des données scientifiques*, Publications INSERM.

Les recherches actuelles s'orientent vers *des causes génétiques* avec les arguments suivants :

- Geschwind et Galaburda, dès 1979, avaient mis en évidence des micro-anomalies (« ectopies ») dans l'architecture cérébrale de sujets dyslexiques. Ces premières constatations ont ensuite été confirmées⁴⁵.

- A partir des années 2000, des études génétiques ont été menée dans les familles où se rencontraient de nombreux dyslexiques et complétées par des études sur les jumeaux monozygotes (qui ont le même patrimoine génétique). Elles ont montré que, si l'un des jumeaux est atteint, il y a 70 % de risque que l'autre le soit aussi ; ce risque tombe à 45% si les jumeaux sont hétérozygotes (ils n'ont en commun que la moitié de leur patrimoine génétique).

A noter qu'il ne faut pas comprendre ces données génétiques⁴⁶ comme une fatalité : les aspects personnels et environnementaux (familiaux, conditions et âge du diagnostic, thérapeutiques proposées) déterminent une part importante de l'intensité des troubles et de leurs répercussions scolaires et sociales].

- La grande prédominance des garçons (2 à 3 fois plus touchés que les filles, selon les études) a aussi fait évoquer une *hypothèse hormonale* ;

- L'hypothèse *d'une anomalie cérébelleuse* donne aussi lieu à des recherches, avec des arguments qui incluent l'ensemble du « syndrome dyslexique » *débordant la fonction de lecture* : des troubles du geste, du graphisme et de divers apprentissages scolaires sont souvent associés.

- Enfin, citons *la théorie motrice de la perception de la parole* (TMPP) : la représentation mentale de la motricité, de l'articulation des sons de parole serait indispensable au décodage phonologique de l'écrit, et serait déficitaire chez certains enfants dyslexiques.

Dyslexie phonologique

Le déficit de *conscience phonologique* est la racine du mal-lire (fig. ci-dessous, a). On note donc un déficit marqué de *la voie d'assemblage* (bien sur particulièrement sévère pour les non-mots), des erreurs de conversions grapho-phonologiques et de séquentialité des graphèmes et/ou des sons. Les erreurs, associées à la lenteur du déchiffrage, compromettent l'accès au sens. Simultanément, l'enfant cherche à contourner son trouble par des stratégies logographiques (repérage de petits mots fréquents) ou la divination à partir du début du mot.

NB : environ 40% des jeunes dyslexiques ont des antécédents de « retard de parole » ou « retard de parole/langage ». Ils présentent un trouble de discrimination phonologique et manifestent de confusions de sons (ch/s, ch/j, b/p, t/d, en/on, ...).

a) Dyslexies phonologiques

b) Dyslexies visuo-attentionnelles

45 : Galaburda et al, 1985, Developmental dyslexia : four consecutive patients with cortical anomalies, *Ann Neurol.*, 18(2), 222-233

46 : Ramus, F. (2010). Génétique de la dyslexie développementale. In S. Chokron & J.-F. Démonet (Eds.), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* (pp. 67-90). Marseille: Solal.

Dyslexie visuo-attentionnelle⁴⁷

Un empan visuo-attentionnel (EVA) réduit⁴⁸ limite le nombre de lettres identifiées à chaque fixation, perturbant la mémorisation *de la forme orthographique* du mot (donc, la construction du lexique orthographique). Un EVA médiocre ou pathologique contribue à la contre-performance en lecture *aussi* chez les enfants souffrant d'une dyslexie phonologique, mais 60% des dyslexiques ont un déficit unique, *soit* phonologique, *soit* EVA. Ces derniers souffrent de dyslexie visuo-attentionnelle.

Ils échouent à la lecture *des mots irréguliers* et lisent préférentiellement par la voie d'assemblage, lente (frein à la compréhension de textes). Ce recours quasi-exclusif à la voie de conversion grapho-phonologique conduit à *des erreurs de régularisation*, tant en lecture (album → lu /alburne/) qu'en dictée (album → écrit albome). Cf. fig. ci-dessus, b.

Les études en IRM-f avec des tâches explorant spécifiquement l'empan visuo-attentionnel⁴⁹ activent le *lobule pariétal supérieur* (flèches blanches) chez des sujets contrôles et les dyslexiques phonologiques, mais *pas* chez des sujets dyslexiques avec atteinte de l'EVA (fig.b, ci-dessus).

Illettrisme et dyslexie

9% de la population âgée de 18 à 65 ans ne maîtrise pas suffisamment le langage écrit pour être socialement autonome dans nos sociétés (enquêtes INSEE). Les tests de la journée d'appel de préparation à la défense décomptent 5% d'illettrés chez les jeunes de 17 ans.

Les problèmes psycho-sociaux ont souvent été mis en avant pour rendre compte de ces situations, mais des études ont montré que la moitié d'entre eux sont des dyslexiques authentiques⁵⁰ : les difficultés psycho-sociales interviendraient comme « écran » au diagnostic et à la prise en charge de ces jeunes.

Petite bibliographie pour aller plus loin

- *Expertise collective de l'Inserm (2007). Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie: Bilan des données scientifiques. Paris: Editions Inserm.*
- S. Dehaene, *Les neurones de la lecture*, O. Jacob, 2007
- *Apprendre à lire, des sciences cognitives à la salle de classe*, Odile Jacob, 2011
- M. Habib, *Dyslexie : le cerveau singulier*, Marseille : Solal, 1997 + www.resodys.org
- S. Valdois, 2005, *Les dyslexies développementales mixtes : nouvelles perspectives*, *Entretiens d'orthophonie de Bichat* (pp 193-206), Paris : *expansion scientifique*.

⁴⁷ : Les enfants porteurs d'un strabisme banal ou de nystagmus n'ont pas de problème particulier d'apprentissage de la lecture.

⁴⁸ : S. Valdois, 2010, Troubles de l'empan attentionnel dans les dyslexies développementales : de la théorie à la pratique, in *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, S.Chokron, JF Démonet eds, Marseille : Solal éd.

⁴⁹ : Peyrin C. et al, 2011, Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia : fMRI evidence from two case reports, *Brain and Language*, 2011, soumis.

⁵⁰ : Delahaie M. et al, 2000, Dyslexie développementale et illettrisme. Quels marqueurs ?, *ANAE*, 57, 43-49

Le nombre et le calcul

Introduction

Un nombre est un *concept* abstrait permettant d'évaluer et de comparer des quantités ou des rapports de grandeurs, mais aussi d'ordonner des éléments par une numérotation. Souvent écrits à l'aide d'un ou plusieurs *chiffres*, les nombres interagissent par le biais d'*opérations* qui sont résumées par des règles de *calcul*. Les propriétés de ces relations entre les nombres sont l'objet d'étude de l'*arithmétique*. (inspiré de Wikipédia).

Le concept de nombre peut être *défini par les situations* qui lui donnent sens :

- *La désignation* : c'est un rôle « d'étiquette », indépendant de toute idée de quantification (le bus 194 n'est ni inférieur, ni supérieur au bus 198, et ils n'entretiennent pas non plus de relation ordinales, il ne s'agit ni du 194^{ème} bus ni du 198^{ème}) ;
- *Le rangement (nombre ordinal)* permet de repérer les objets les uns par rapport aux autres (on peut repérer la maison qui porte le n° 49 par rapport à celle qui porte le n° précédent ou suivant ; on peut situer le 25 du mois par rapport à la veille, le 24 et au lendemain, le 26 ; on peut situer chaque concurrent d'une course en fonction de son classement à l'arrivée, etc.)
- *La quantification (nombre cardinal)* : il s'agit de répondre à la question « *combien de ...* » ? Il peut s'agir de l'*estimation* d'une collection (environ 20, à peu près 100), ou bien du dénombrement (comptage) exact d'une collection et de sa « *cardinalisation* » : « il y en a N », N est le *cardinal* de la collection. Le cardinal d'une collection permet de garder la mémoire de la quantité et, éventuellement de faire des manipulations opératoires (calculs).
- *Le calcul* permet de déterminer le résultat d'opérations qui consistent en des transformations ou des comparaisons de collections ou de grandeurs.

NB : L'usage d'une base : au lieu de compter uniquement par unités, on compte "par paquets". La plus fréquente est la base décimale (10), mais on trouve également dans l'histoire des bases binaires (2 : base très utilisée en informatique), sexagésimale (60 : cf. les heures), vicésimale (20 : il en reste des traces dans notre numération, tel le « quatre-vingt), duodécimale (12 : cf. les huitres ou les œufs, qui se comptent pas douzaines), quinaire (5), etc.

Ici nous ne nous intéresserons exclusivement au nombre cardinal et aux calculs

- Les procédures de quantification

Quantifier, c'est s'intéresser au « combien de... ». On distingue *trois façons* de quantifier une collection : le subitizing (ou subitisation), l'estimation et le comptage. Chacune de ces procédures repose sur des réseaux de neurones spécifiques.

- *Le subitizing* est la capacité à percevoir (détecter) précisément, d'un seul coup d'œil (sans comptage) la quantité exacte d'une très petite collection (1 à 3 éléments). Ce mécanisme, très *précoce* (existe d'emblée chez les bébés), très rapide et très précis, fait appel à un système cérébral dédié, nettement distinct du comptage et de l'estimation.

- *L'estimation* permet de produire rapidement des résultats approchés, des *approximations*.

- *Le comptage* : c'est obtenir le cardinal *exact* d'une collection.

L'estimation et le comptage (IRM-f) reposent sur des réseaux dédiés dans les régions pariétales postérieures (bilatérales).

Les aspects cognitifs

Les représentations de la quantité

On distingue deux grands systèmes de représentation mentale des quantités :

- une représentation *analogique*, innée et universelle, qui donne accès à une représentation *approximative* de la quantité

- et une représentation *symbolique* (code verbal et indo-arabe), acquise par apprentissage (scolaire), qui donne accès à une représentation *exacte* de la quantité.

Ces deux modes de représentation se développent selon des processus différents et s'influencent mutuellement : ainsi les représentations analogiques *évoluent* avec la connaissance et la maîtrise des codes symboliques.

Il faut tisser des liens entre les différentes représentations (modèle du triple code : analogique, verbale, indo-arabe) pour aboutir à un concept de nombre complet mature, efficace (pour faire des calculs et résoudre des problèmes).

Nous allons expliciter ces différents aspects.

- Les représentations analogiques

Analogique signifie qu'il s'agit d'une représentation *figurative*, qui entretient des *rapports de ressemblance* avec le modèle. En ce qui concerne les quantités, il s'agit de collections-témoins qu'on peut voir, dessiner, manipuler, ... Par exemple : des cailloux, des doigts, des jetons, des traits, un sablier, ...

Ces images mentales sont *automatiquement* activées par les situations de comparaison et d'estimation de quantités. Ce codage analogique présente plusieurs particularités :

- De par sa représentation figurative, il traduit *directement* la taille du nombre, c'est-à-dire à sa magnitude, sa grandeur, l'importance de la quantité.

Exemple

Si l'on *dit* un nombre verbalement (= représentation symbolique verbale), par exemple « cent », cela peut rester un *mot*, une suite de sons auxquels on ne rattache pas de signification précise (comme, par exemple, *sto*, *sută* ou *honderd*⁵¹ !), sans aucune relation avec *la grandeur* que ce nombre représente.

Au contraire, si je dessine une suite de cents traits ou si je fais un tas de cents cailloux (= représentation analogique), je vois qu'il y en a beaucoup, beaucoup plus que si j'ai représenté les quantités huit, ou vingt-sept ou soixante : la représentation analogique de la quantité donne un accès direct à la représentation de la grandeur du nombre, à l'importance de la quantité qu'il désigne.

En ce sens, il s'agit-là d'un aspect *fondateur* du « sens du nombre ». Il donne un *accès sémantique*, ce qui signifie qu'il donne accès à la signification du nombre (sa taille).

- *Très précoce* (~ inné), du moins dans ses aspects précurseurs, très robuste, *universel et indépendant du langage*, le codage analogique est accessible non seulement aux bébés (cf. plus loin) mais aussi à tous ceux qui n'ont pas de code symbolique à leur disposition (illettrés, dysphasiques, etc.). On en trouve des traces très anciennes dans l'histoire de l'humanité (utilisation de cailloux, dont le mot latin « calculus », a donné le mot « calcul »). Avant 5-7 ans, les jeunes enfants tout-venants ont d'ailleurs de meilleures performances lorsqu'ils utilisent un codage analogique (jetons, doigts⁵², buchettes).

- Cette capacité à évaluer approximativement une quantité est sensible à i)- *l'effet de taille* des collections à estimer ou comparer : l'estimation est d'autant plus précise que la collection est plus petite et ii)- *l'effet de distance* : la comparaison de deux quantités est d'autant plus exacte rapide que les deux quantités *diffèrent* fortement.

- La représentation analogique des quantités est la base d'une *organisation mentale* des quantités : la plupart des individus organisent mentalement les nombres sur une *ligne mentale analogique* virtuelle, imaginaire. Les nombres y sont placés de gauche à droite en fonction de leur taille, les plus petits à gauche, les plus grands de plus en plus à droite.

- Les représentations symboliques

Symbolique signifie : qui utilise un code arbitraire mais conventionnel (une communauté s'est mise d'accord pour leur accorder une signification commune), des signes sans rapport de ressemblance, sans lien objectif avec ce qu'ils désignent.

Exemple

Le mot *douăzeci*⁵³ ne dit pas si c'est plus ou moins que *doisprezece*⁵⁴, ni quels sont les rapports entre les deux. De même, si l'on ne connaît pas le code indo-arabe, rien ne précise la quantité ou la grandeur que désignent les signes 8 ou ∞.

On parle de symbole ou de code verbal (pour les mots qui désignent les nombres, qu'ils soient dits oralement ou écrits en lettres) ou encore de code indo-arabe pour les nombres écrits en chiffres. Ces représentations symboliques sont apprises en famille mais surtout à

51 : Il s'agit du mot « cent » en ... serbe, roumain et néerlandais !

52 : R. Brissiaud, 1991, Un outil pour construire le nombre : les collections-témoins de doigts, in « Les chemins du nombre », P. U. de Lille

53 : Vingt, en roumain

54 : Douze, en roumain

l'école ; elles permettent *la quantification exacte*, trouver le « combien de... », le cardinal d'une collection. Elles sont aussi le support de manipulations de quantités (ajouter, enlever, distribuer, comparer, ...) qui se traduisent par des *opérations sur les nombres* (les calculs) et permettent *la résolution de problèmes*.

Le code symbolique permet de *compter* et donc de trouver exactement « combien de... » il y a. Compter, c'est réciter la suite ordonnée des mots-nombres⁵⁵ (un, deux, trois, quatre, ...) en associant chaque mot à la désignation d'un élément de la collection à compter. Cela a l'air simple et évident mais c'est en fait une procédure complexe qui doit être apprise par les jeunes enfants.

Exemples

Il faut être capable de *s'abstraire* de la nature des éléments à compter : par exemple, être capable de « mettre ensemble » des fourmis et des éléphants pour compter le nombre total d'animaux ; ou encore comprendre que trois fourmis et trois éléphants, cela fait toujours « trois pareil », même si les éléphants occupent beaucoup plus de place (beaucoup de petits pensent qu'ils y a des « gros » trois et des « petits » trois !)

Il faut connaître parfaitement la comptine des mots-nombres et les réciter *dans l'ordre*, sans oubli ni erreur

Il faut ne compter *ni trop vite, ni trop lentement* mais associer exactement un mot de la suite des nombres à une désignation d'un élément de la collection

Il faut comprendre que l'élément que je désigne au moment où je dis « huit » *ne s'appelle pas* « huit » (ce n'est pas l'élément numéro 8). Je pourrais commencer mon comptage ailleurs dans la collection, ou disposer les éléments différemment, et ce serait alors un autre élément que je désignerai au moment de dire « huit » ; ce qui fait « huit » au moment où je l'énonce, ce n'est donc pas l'élément désigné à ce moment-là mais *l'ensemble* des éléments désignés jusque-là.

Ainsi le comptage peut être faux en raison de l'absence, de l'immaturité ou du caractère erroné *d'un ou plusieurs* des principes ci-dessus.

Le code verbal, très dépendant des capacités langagières, permet aussi la mémorisation des quantités et du résultat de petites opérations (calcul mental, tables de multiplications, ...).

Le code indo-arabe lui, très dépendant des capacités spatiales (numération de position) est universel et indépendant de la langue.

En synthèse,

	Représentation analogique	Représentation symbolique
Type de quantification	Approximative (évaluation)	Exacte (comptage)
Intérêt	Sens du nombre	Calculs précis
Origine	Inné (Mais évolue avec l'apprentissage scolaire)	Enseignement, scolarité
Caractéristiques	- Effet de taille - Effet de distance	- Code Verbal : dépend de la langue et des capacités langagières - Code Indo-arabe : réclame des compétences visuo-spatiales

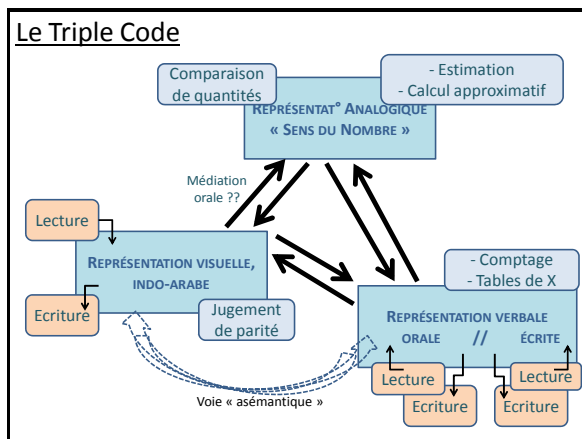
La coordination progressive de ces représentations (analogique et symboliques) au cours de la scolarité conditionne l'efficacité et la réussite des activités arithmétiques.

⁵⁵ On appelle ainsi les mots qui désignent les nombres

La coordination des différents systèmes de représentation de la quantité

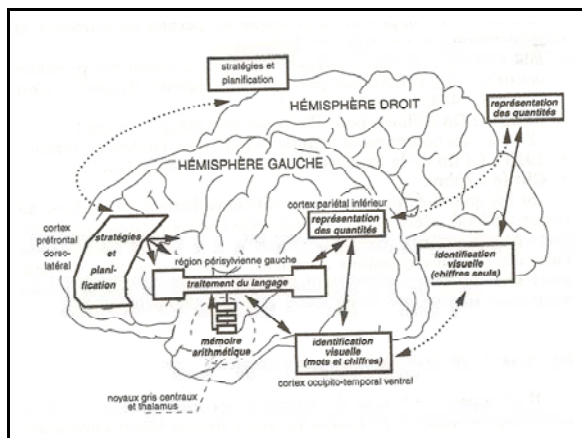
Le *modèle du triple code*, (Dehaene S., 1991, 1992), est celui qui, actuellement, rend pleinement compte des observations cliniques, qu'elles concernent le développement normal ou pathologique, chez l'enfant et chez l'adulte. Il fait apparaître 3 sous-systèmes spécifiquement activés en fonction du code utilisé mais aussi en fonction de la tâche.

a) Le triple code et les tâches arithmétiques associées



• Légende (fig. a) : il est possible de passer *directement* du code indo-arabe au code oral (et inversement) sans médiation par la signification (la représentation analogique, sémantique) du nombre (voie « asémantique »). Ex : On peut *dire* « vingt-trois » en voyant écrit /23/ sans savoir que ce nombre est plus grand que 19, où il se situe dans la suite des nombres, quelle est la taille de la collection qu'il qualifie, sans pouvoir donner 23 éléments, etc... On peut considérer qu'il s'agit alors d'une « lecture/écriture » sans accès au sens, de même que je peux « lire/écrire » le mot /boustrophédon/ sans lui assigner de sens ...

b) corrélats cérébraux⁵⁶



• Légende (fig b) : Les régions pariétales (bilatérales), en particulier les sillons intra-pariétaux sont le support du sens du nombre, des représentations analogiques des quantités⁵⁷. « (Cette figure est) partielle et encore hypothétique, (...). Quoique les deux hémisphères sachent manipuler les chiffres arabes et les quantités numériques, seul l'hémisphère gauche dispose d'une représentation linguistique des nombres et d'une mémoire verbale des tables arithmétiques» (S. Dehaene, op. cit.).

Chez l'enfant, on note les mêmes activations, à ceci près que les activations (en IRM-f) se déplacent progressivement avec les années vers un réseau temporo-pariétal gauche⁵⁸, en particulier sous l'influence de l'apprentissage du code indo-arabe.

⁵⁶ : In S. Dehaene, La bosse des maths 15 ans après, 2011, Odile Jacob, p. 216

⁵⁷ : Dehaene S. et al, 2003, Three parietal circuits for number processing, *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506

⁵⁸ : Rivera S.M. et al, 2005, Developmental changes in mental arithmetic : evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex.

En synthèse :

Type de représentation	Rôle	Corrélatés cérébraux
Analogique	- <i>Innée</i> → comparaison, estimation approximative de quantités (magnitude, accès sémantique <i>indépendant de la langue</i>)	Sillons intra-pariétaux (bilat.)
Symbolique verbale	- Acquisition dans l'enfance, dépendant de la langue, dès 18 mois-2 ans (familial), puis scolaire. - Rôle des doigts ? → Calculs exacts, comptages, mémorisation (calcul mental)	Région temporale peri-sylvienne <i>gauche</i> (+ gyrus angulaire gauche)
Symbolique indo-arabe	- Enseignement scolaire - Code positionnel de base 10 (Importance des traitements visuo-spatiaux). Indépendant de la langue. → Calculs exacts, opérations arithmétiques (pose et résolution)	Régions occipito-temporales (bilat.)

Les aspects développementaux

Le sens du nombre

Sous ce titre nous envisagerons les aspects précoces (innés) de la cognition numérique chez les bébés. Ces travaux montrent que ces compétences sont *universelles* (indépendantes de la culture, de l'éducation) et reposent sur une représentation analogique de la quantité.

La perception de la numérosité

Chez le bébé, des travaux ont montré des activations cérébrales clairement différentes selon que l'on présente à l'enfant des objets ou des numérosités.

Les nouveau-nés (âgés de 48 heures) peuvent déjà discriminer⁵⁹ de petits nombres d'objets : ils peuvent discriminer entre 2 et 3 et inversement (mais pas entre 3 et 4)⁶⁰. La perception de numérosités plus importantes (8, 12, 16, 32 éléments) suit la loi de « l'effet de distance » : c'est *le rapport* entre les deux numérosités proposées qui permet de prédire si l'enfant les distinguera ou non.

Exemple

Les bébés de 6 mois distinguent 8 de 16 mais pas 8 de 12, ou 16 de 32 mais pas 16 de 24. Ainsi à 6 mois, ce rapport doit être de $\frac{1}{2}$; à 9 mois, les bébés perçoivent la différence entre deux numérosités de rapport $\frac{2}{3}$, alors qu'à 3-4 ans, le rapport optimum est de $\frac{3}{4}$ et à 6-7 ans, de $\frac{4}{5}$, tandis que les adultes discriminent 2 quantités si elles sont dans un rapport de 10/11.

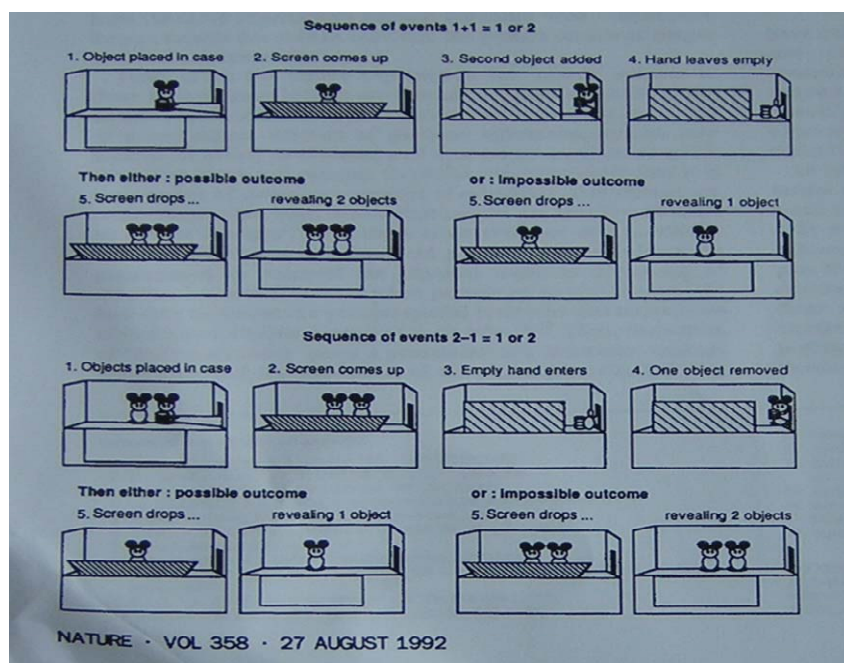
Les opérations numériques chez le bébé

Les expériences de Wynn (Nature, 1992) sont particulièrement célèbres et ingénieuses. Elles s'appuient sur le paradigme du regard préférentiel (cf. introduction), en proposant de petites opérations ($1+1$, ou $2-1$) et leur résultat soit correct ($1+1=2$; $2-1=1$), soit impossible ($1+1=1$, $1+1=3$, $2-1=2$). Si l'enfant détecte l'étrangeté, la

59 : Ces travaux contrôlent bien sûr les aspects non numériques du matériel présenté (organisation spatiale, taille, surface, densité) et portent sur des stimuli visuels divers (nuages de points, images, ...) et/ou des séquences de sons.

60 : Antel S.E & Keating D.P., 1983, Perception of numerical invariance in neonates, *Child development*, 54,695-701

proposition erronée, les temps de fixation oculaire seront *significativement* plus longs pour les événements impossibles que pour les résultats exacts.



Légende :

Bébés de 4 et 5 mois (regard préférentiel)

- Condition « addition »

On place, au vu de l'enfant, 1 Mickey sur un petit théâtre. Puis un écran mobile cache le Mickey. Ensuite, toujours *au vu de l'enfant*, on introduit ostensiblement un second Mickey derrière le cache. Enfin l'écran s'abaisse, révélant soit 2 Mickeys (normal) soit 1 Mickey (impossible)

Après de nombreuses critiques (en particulier portant sur l'interprétation de ces résultats, peut-être perceptifs plutôt que numériques), ces résultats ont ensuite été confirmés par d'autres auteurs⁶¹ répliquant l'expérience et la complétant (par exemple pour des numérosités plus importantes⁶²).

NB. En dépit de ces compétences numériques certaines, il ne s'agit pas d'extrapoler à l'idée que les bébés possèderaient le « concept de nombre » qui suppose, comme nous l'avons dit plus haut la coordination de plusieurs volets cognitifs dont le bébé ne dispose pas encore (cf. diapo de synthèse p. 9).

- Le développement de la représentation analogique des nombres

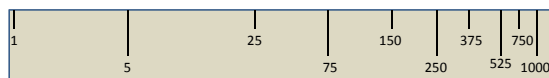
Sous l'influence de l'apprentissage progressif des codes symboliques, les estimations approximatives seront de plus en plus précises, et ce pour des quantités de plus en plus importantes (l'effet de taille augmente). Simultanément, la comparaison approximative de collection (où y a-t-il plus de ...) s'affine et devient efficace pour des collections qui sont de plus en plus proches en taille (l'effet de distance s'affine).

Enfin, *l'organisation mentale* des nombres sur une ligne mentale virtuelle (appelée ligne mentale analogique) se précise : initialement, les grands nombres sont comme « compactés » sur la droite, car les grands nombres, peu familiers, sont sous-estimés (on parle de représentation logarithmique, cf. illustration ci-dessous pour les nombres de 0 à 1000). Peu à peu, cette représentation devient de plus en plus régulière, respectant les écarts réels entre les nombres (on parle alors de représentation linéaire des nombres sur la ligne mentale analogique).

61 : Simon, T., Hespos, S., & Rochat, P. (1995) Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253-269.

62 : McCrink K and Wynn K. 2004. Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychol Sci*. 15(11):776-81.

Exemple de représentation logarithmique de la position des nombres de 0 à 1000 sur une ligne mentale analogique



Il existe une relation significative entre l'âge et la proportion d'enfants qui ont **une représentation linéaire des nombres de 0 à 1000** :

- 97% des adultes,
- 72 % des jeunes niveau 6^{ème},
- 38% de ceux de niveau CM1
- et seulement 9 % des CE1

Légende : La ligne numérique mentale reflète la représentation que se fait l'enfant de la « taille » des nombre : elle traduit son « sens du nombre ».

Le passage progressif d'une représentation « logarithmique » (les grands nombres, sur la droite, ne respectent pas les intervalles réels) à une représentation linéaire (les intervalles entre les nombres sont respectés) est très important, lié à l'évolution des apprentissages arithmétiques à l'école.

Ainsi par exemple, les jeunes enfants de CE1 *doivent* avoir une représentation linéaire des nombres de 0 à 100 : cela traduit qu'ils ont un sens du nombre correct pour l'intervalle 0-100, ce qui est indispensable pour poursuivre leur scolarité arithmétique dans de bonnes conditions.

Le développement du code verbal

Quelques repères chronologiques

- Vers 2 ans, l'enfant repère que les noms de nombres correspondent à une quantité (et non à un aspect perceptif caractérisant les objets en eux-mêmes, comme la taille, le poids ou la couleur). Vers 2 ½ - 3 ans, l'enfant met précisément en relation le mot /deux/ et une collection de 2 objets ; le terme /trois/, lorsqu'il est employé, prend la signification élargie de « plus que 2 ». Ce n'est que vers 3 ans que le mot /trois/ désignera précisément une collection de 3 éléments.
- Ensuite (env. 4 ans), l'enfant apprend les noms de nombre et sait qu'ils recèlent une organisation particulière (ordre sériel) sans pouvoir la maîtriser. A ce stade, il produit une suite de mots-nombres courte et aléatoire (ex : 1,2,3,5,7,4 puis 1,2,3,6,8,2 à un autre moment). Progressivement, la longueur de la chaîne numérique verbale s'accroît, comprenant une partie dite « conventionnelle » (respect de l'ordre sériel) de plus en plus longue, suivie d'une partie « non conventionnelle » mais stable (l'enfant produit toujours la même suite, y compris dans sa partie « fautive »).
- Vers 4 ½ - 5 ans, les enfants commencent à utiliser la combinatoire et à anticiper certaines règles de généralisation (vingt, vingt-et-un → trente, trente-et-un, etc.). Comme pour le langage oral, on peut noter la production « de bonnes fautes » (ex : « vingt-huit, vingt-neuf, vingt-dix ») qui traduisent une bonne compréhension du système.
- Puis (5-7 ans) la chaîne numérique s'allonge, elle devient sécable (l'enfant peut compter à partir de n'importe quel nombre et n'est pas obligé de commencer à 1), le comptage à rebours devient possible. Le comptage s'automatise et devient utilisable pour de petits calculs.

L'influence de la langue

Les langues indo-européennes (occidentales et anglo-saxonnes) sont très opaques dans la mesure où elles sont très irrégulières : de nombreux « mots-nombres » doivent être appris chacun comme des mots nouveaux (cf. onze, douze, treize, quatorze, quinze, seize, puis

vingt, ..), sans que rien ne marque leur ordre dans la série ni ne marque la place spécifique du 10.

Exemple

En français, il faut *apprendre par cœur* que /quinze/ est avant /seize/ et après /quatorze/ car ces dénominations sont tout à fait arbitraires, contrairement aux langues régulières, comme le chinois où ces nombres se disent /dix-quatre/, /dix-cinq/, /dix-six/, etc., où 20 se dit /deux-dix/ ; 30, /trois-dix/ et 37 /trois-dix sept/, etc. Une fois que l'on connaît les premiers nombres, on peut déduire facilement le nom des suivants.

C'est pourquoi au-delà de 10, l'avance des jeunes chinois à 5 ans est nette : ils comptent jusqu'à 100 (jusqu'à 40 pour les enfants américains ; idem pour les jeunes français).

D'autres particularités sont *propres au français* (France) :

Un même mot (/un/) désigne soit le singulier (un jour/des jours), soit le nombre 1 (1 jour/ 3 jours). Ceci a une incidence significativement négative sur les capacités de comptage des petits français (par rapport à des enfants anglophones) à l'âge de 2 ans⁶³.

Les irrégularités verbales après 69 et après 89 (séries 70 et 90) constituent une difficulté supplémentaire dont on peut encore percevoir les effets négatifs jusqu'en CE1/CE2⁶⁴. Les belges et les suisses ne rencontrent pas ce problème supplémentaire (septante, octante, nonante).

Le rôle des doigts

Le lien entre les doigts de la main (représentation analogique pour de petites quantités) et le code verbal peut être considéré à 2 titres :

- en tant que lien fonctionnel : l'usage des doigts permet disposer d'une collection-témoin⁶⁵ pour maintenir la trace du comptage en cours et soulager la mémoire de travail ; cela facilite donc aussi bien l'acquisition du code numérique que son utilisation ;
- en tant que lien structurel : il existe en effet un lien de proximité des aires cérébrales (pariétales) liées au calcul et celles dédiées aux afférences perceptivo-tactiles des doigts de la main (gnosies digitales).

L'apprentissage du code indo-arabe

Cet apprentissage est toujours conduit en lien étroit avec le code oral.

Simple et économique (10 symboles, les chiffres de 0 à 9), le code arabe présente cependant des difficultés particulières pour les apprenants :

- C'est une notation *positionnelle*, qui réclame *donc* des compétences spatiales aussi bien pour la lecture/écriture des nombres que pour la pose et la résolution des opérations ;
- La *non-congruence* entre le code verbal, les unités-mots, et la notation chiffrée (ex : /cent-vingt/ → 10020), aggravée par les irrégularités de la langue (/quatre-vingt-douze/ → 42012 ou 8012) est un obstacle classique pour les enfants en cours d'apprentissage.

NB : L'absence de transparence de la base 10 dans les langues occidentales et les irrégularités des séries 70 et 90 en français ont un impact négatif net sur l'apprentissage de la numération écrite et les transcodages (transposition d'un code à un autre). Ainsi, en CE1, près de 20% des enfants font encore

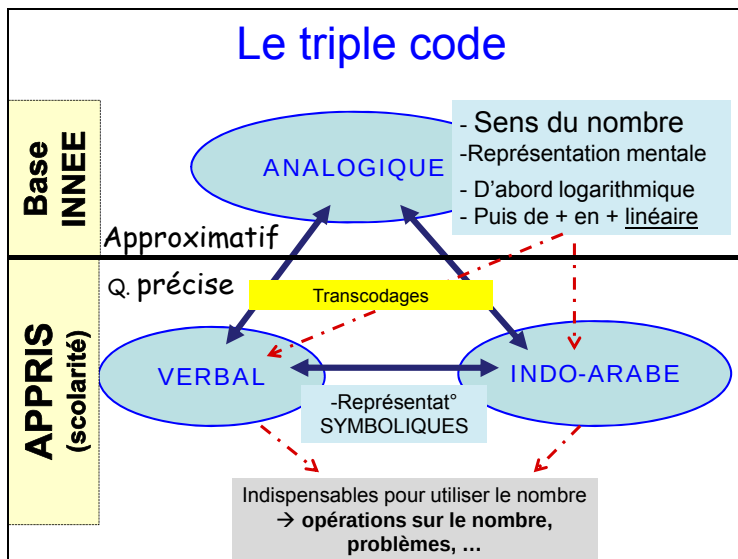
63 : Houdé O., Tzourio-Mazoyer N., 2003, *Opinion: Neural foundations of logical and mathematical cognition*, Nature Reviews Neurosciences. 4, 507-514

64 : Séron X. et Fayol M., 1994, Number transcoding in children : a functional analysis, *British Journal of Developmental Psychology*, 12, 281-300

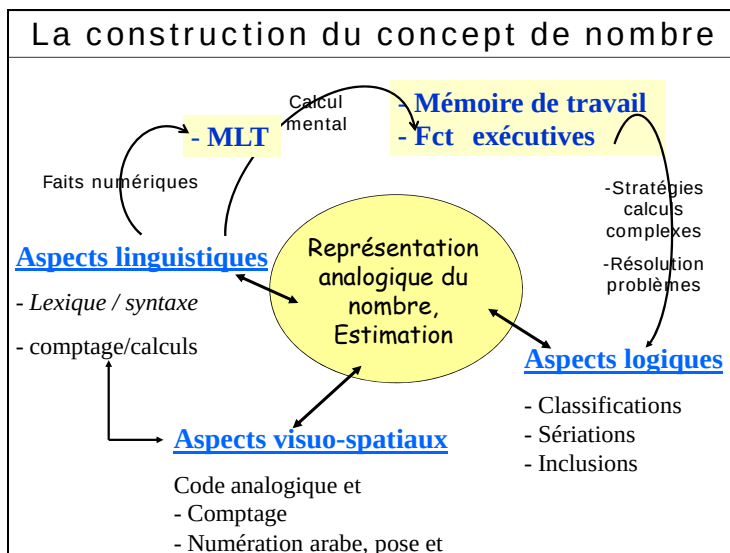
65 : Brissiaud R., 1989, Comment les enfants apprennent à calculer, Retz

des erreurs pour passer du code analogique au code arabe et inversement, ou du code graphémique (lettres) au code arabe⁶⁶.

Conclusion-Synthèse



Légende : Les différentes représentations du nombre et leurs inter-relations. Innés/acquis sont interdépendants : les enfants n'apprennent pas à partir de rien ... Cependant, la question de savoir s'il y a – ou non – *continuité* entre les compétences précoces du bébé, celles des jeunes enfants en début d'apprentissage du code verbal et les acquisitions ultérieures (codes symboliques, transcodages, opérations) reste encore très débattue⁶⁷.



Légende : Fonctions cognitives impliquées dans les apprentissages numériques
MLT : mémoire à long terme – Fct : fonctions

66 : Jarlegan A., Fayol M., Barrouillet P., 1996, De 60 à 72 et inversement, une étude du transcodage chez les enfants de 7 ans, *Revue de Psychologie de l'Education*, 1, 109-131

67 : Houdé et Guichard E., (2001), Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task. *Developmental Science*, 4(1), 119-123

Les pathologies développementales (dyscalculies)

Définition

Les dyscalculies sont un trouble *spécifique* des compétences numériques et des habiletés arithmétiques chez des enfants d'intelligence normale, sans déficit neurologique acquis, ayant bénéficié d'actions éducatives et scolaires « habituelles ».

Fréquence : Les études épidémiologiques sont rares, et les critères d'inclusion dans la catégorie « dyscalculique » peuvent varier : le rapport Inserm (expertise collective, 2007) fait état d'une prévalence de 3,6% à 7,7% selon les études. Une étude⁶⁸ portant sur plus de 1000 enfants de 9 à 10 ans trouve que 1,3% des enfants ont des difficultés *isolées* en mathématiques, confirmée par des études plus récentes⁶⁹.

Différentes dyscalculies

De ce qui précède, on comprend que l'on peut donc rencontrer chez l'enfant, *différentes* dyscalculies :

Le trouble du « sens du nombre » : Cette dyscalculie, en relation avec un déficit des compétences précoces (perception de la numérosité, subitizing, représentation mentale des nombres sur une « ligne analogique », estimation des quantités), sont souvent dénommées dyscalculies « vraies » ou « spécifiques ».

C'est la seule dyscalculie qui constitue *un diagnostic*.

Des remédiations spécifiques peuvent alors être proposées (logiciels tels que « la course aux nombres »⁷⁰, « l'estimateur »⁷¹, ...) qui visent à *rétablir un lien* entre d'une part la connaissance des mots-nombres et leur écriture indo-arabe et d'autre part la représentation analogique de leur taille, leur signification, leur sémantique.

Les « dyscalculies-symptômes »

Les difficultés en numération et calcul sont *la conséquence* d'un déficit en amont, *dans un autre secteur de la cognition* (fig. b, page 9) : langage, gnosies, traitements visuo-spatiaux (on parle alors souvent de dyscalculie spatiale), mémoire de travail, fonctions exécutives, etc. Il convient donc, à partir de ces symptômes (le déficit particulier d'apprentissages arithmétiques chez des enfants intelligents), de « remonter » jusqu'au diagnostic, à savoir le trouble ou les trouble(s) cognitif(s) qui, en amont, en sont responsable(s). C'est l'objet du bilan neuropsychologique. Dans ce cadre, on comprend bien la grande de l'association de ces dyscalculies-symptômes avec d'autres dys- (dyslexies, dyspraxies, dysphasies, ...) qui en sont en fait la cause, même si c'est le trouble du calcul qui a été mis en avant ou qui a motivé la première consultation.

68 : Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P., 1994, The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9 to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology*, 35, 283-292.

69 : Vannetzel L., Eynard L.A. & Meljac C., 2009, Dyscalculie, une rencontre difficile : étude d'une population d'enfants consultant dans un centre de référence pour troubles des apprentissages, *ANAE*, 102, 13-144

70 : *La course aux nombres* (nom original : The Number Race) est un logiciel développé par l'unité de neuroimagerie cognitive de l'INSERM-CEA, en téléchargement gratuit sur leur site.

71 : Vilette B., Mawart C. & Rusinek S., 2010, L'outil Estimateur, La ligne numérique mentale et les habiletés arithmétiques, *Pratiques psychologiques*, 16, 203-214

Des études montrent une corrélation étroite entre les capacités en lien avec les performances en lecture et dyscalculies⁷². L'hypothèse qu'il s'agisse pour certaines, en amont, d'un déficit de la mémoire de travail (MT) est bien documentée⁷³. Les performances en MT en début de CP sont corrélées avec la qualité (la maturité, l'efficacité) des stratégies de comptage, de calcul mental, de calcul « réfléchi » et de résolution d'additions⁷⁴. Ainsi, l'étude citée plus haut²⁰ montre aussi que si 1,3% des enfants de 9-10 ans ont des difficultés isolées en calcul, 3,9 % ont des difficultés en lecture et 2,3% ont des difficultés dans *les deux domaines*.

On comprend aussi l'importance primordiale de l'analyse qualitative des troubles et de la démarche diagnostique lorsqu'une dyscalculie est évoquée (choix des outils d'évaluation, méthodologie, interprétation des résultats). En effet, *seul un diagnostic précis*, qui cherche à élucider les mécanismes cognitifs sous-jacents aux difficultés de l'enfant (bilan qui ne se limite donc pas aux activités mathématiques) permet d'envisager des aides, rééducations et/ou adaptations pertinentes et efficaces, *en lien avec le trouble initial*.

Une petite bibliographie pour aller plus loin

- S. Dehaene, *La bosse des maths 15 ans après*, Odile Jacob, 2011

- M. Fayol, *L'acquisition du nombre*, Puf, collection « Que sais-je ? », 2012

- Habib M., Noël M.P., George-Poracchia F. & Brun V., 2011, *Calcul et dyscalculies, des modèles à la rééducation*, éd. Masson

- http://www.aboutdyscalculia.org/MolkoDehaeneWilson_LaRecherche2004.pdf

72 : Hecht S et al, 2001, The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical skills : a longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79, 192-227

73 : Siegel LS & Ryan EB, 1989, The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children, *Child Development*, 60, 973-980

74 : Noël MP, Seron X & Trovarelli F., 2004, *Working memory as a predictor of addition skills and addition strategies in children*, *Current Psychology of Cognition*, 22/1, p. 3-25

Le Geste et l'action

Introduction

Le développement du geste chez l'enfant a longtemps été réduit à la constatation de la chronologie de l'acquisition des différentes capacités motrices de l'enfant, qui étaient plus ou moins réputées refléter *l'ensemble* du développement de l'enfant, d'où leur appellation de développement « psychomoteur ». L'association du concept de « retard moteur » avec l'idée d'un « retard psychologique » qui lui serait lié (retard *psychomoteur*) induit une confusion dommageable avec l'idée de déficience mentale (alors même que de nombreux types de déficiences mentales ne s'accompagnent d'aucun retard moteur, et à l'inverse, que des anomalies du développement moteur se dévoilent chez des enfants d'intelligence normale).

Agir suppose de coordonner, à fois sur le plan spatial et temporel, des informations concernant le corps (la position globale du corps et de ses différents segments, en particulier l'axe de la tête) et celles concernant l'environnement (l'objet, l'outil, la cible, sa position, sa taille, son poids, son orientation, son utilité voire son mouvement, sa vitesse, sa direction, etc.), informations qui sont codées sous des formes différentes et dont les coordonnées évoluent au décours-même de la réalisation du geste.

Différents espaces pour déployer le geste

Définitions

- *L'espace corporel* (ou schéma corporel) donne accès à la localisation des différentes parties du corps et à leur orientation relative p. r. à l'axe corporel.

- *L'espace extra-corporel proche* : c'est l'espace de préhension, accessible par un simple déplacement d'un segment du corps ; *l'espace extra-corporel lointain*, accessible seulement par la vue (et l'ouïe), concerne la localisation des divers éléments de l'environnement et la détection de leur orientation. Nous utilisons des repères égocentrés (en rapport avec notre propre corps : ex : la gauche, la droite, ...) ou allocentrés (utilisant des coordonnées géométriques, universelles : le nord, le sud, ...) ; nous construisons ainsi des « cartes spatiales » (plans) de notre environnement, mais aussi des listes spécifiant des trajets séquentiels.

Les deux lobes pariétaux sont les nœuds de ces réseaux, et plus particulièrement l'hémisphère droit.

Les actions habituelles ou routinières reposeraient sur une « bibliothèque », un répertoire de gestes stockés en *mémoire procédurale*⁷⁵ (cf. chap. mémoire) sous la forme d'un canevas de réalisation du geste. Cependant, le geste doit pouvoir être en permanence adaptable *en temps réel* à des projets, des contextes, des situations inédites ou imprévisibles.

Aussi, s'est imposée l'idée d'une *représentation préalable* du geste, représentation qui spécifie les paramètres permettant la réalisation effective *avant* d'en lancer l'exécution proprement dite.

75 : Différentes mémoires « stockent » différents matériaux. Ainsi, les habiletés motrices, les savoir-faire seraient stockées dans une mémoire implicite (l'apprentissage s'y produit « spontanément » sans décision consciente ni intention délibérée du sujet), mémoire dite « procédurale ». Cette mémoire est très efficace d'emblée chez les bébés (ce qui n'est pas le cas d'autres mémoires qui reposent sur un codage verbal, par exemple).

« Les sens visuels et proprioceptifs sont continuellement utilisés pour mettre à jour les représentations du corps et de l'espace (...) De récents résultats expérimentaux suggèrent que c'est la capacité de notre cerveau à intégrer rapidement les informations visuelles et proprioceptives, qui, couplée à notre *faculté de prédiction* permet d'optimiser notre comportement gestuel⁷⁶ ».

Actuellement, le chantier de *la cognition motrice*⁷⁷ permet de tracer les grandes lignes des aspects cognitifs de l'action.

- La motricité désigne l'ensemble des *processus sensori-moteurs* qui permettent les *mouvements*. Elle repose sur des structures cérébrales (zones de commande motrice, les voies pyramidales et extrapyramidales, les ganglions de la base⁷⁸ et le cervelet⁷⁹), la moelle épinière, les nerfs périphériques, les muscles et le système squeletto-tendineux.

- Le geste est un ensemble de mouvements coordonnés dans le temps et l'espace en vue de la réalisation d'un but. Il est sous-tendu par des *processus cognitifs* (états mentaux, représentations mentales) qui gouvernent la motricité et lui donnent *sens*. Le geste vise à modifier (à interagir avec) l'environnement et/ou avec l'autre (aspect relationnel).

Les aspects cognitifs concernent toute la *préparation* du geste, sa conception, sa programmation, ses ajustement en fonction du contexte et des buts du sujet

Bien évidemment tout geste possède les deux dimensions, cognitives *et* motrices. Cependant nous ne nous intéresserons ici qu'aux aspects cognitifs.

La cognition motrice

L'action, dans sa partie préparatoire à l'acte moteur, peut se décomposer en trois temps : l'intention, l'exécution « anticipée » ou simulée et la réalisation proprement dite. S'y ajoutent les indispensables régulations.

Enfin, outre le fait d'agir sur l'environnement (au sens large, affectif, relationnel ou physique), l'action a un rôle important dans la conscience de soi.

Prenons l'exemple du geste *répondre au téléphone* (illustrations ci-dessous).

Le projet d'action

A l'origine se trouve le *projet* d'action ou intention préalable : mon téléphone portable sonne et je veux répondre. Cette phase est celle de l'évaluation des objectifs, de la pertinence de

76 : F. Sarlegna, 2007, La main vers la cible : intégration multi-sensorielle et contrôle en ligne du mouvement de pointage, *L'année Psychologique*, 107, 30-336

77 : En 1978, la publication de H. Haecan et M. Jeannerod : « Du contrôle moteur à l'organisation gestuelle » (Masson éd.) nous semble marquer l'origine de ce qui allait s'appeler « la cognition motrice ».

78 : Les noyaux ou ganglions de la base ou noyaux gris centraux (locus niger, pallidum, noyau sous thalamique, striatum), bilatéraux et symétriques, sont situés dans la profondeur des hémisphères. Par l'intermédiaire de boucles activatrices ou inhibitrices, ils ont une importante influence sur la réalisation motrice (et oculomotrice).

79 : Rôles (schématique): équilibre - réglage temporel du mouvement et calculs de la vitesse de déplacement (du corps, d'un mobile) – Automatisation des apprentissages -

l'action et de son résultat (prédiction). C'est, en situation habituelle, la seule partie *consciente* de l'action. Elle nécessite des connaissances sur l'environnement (où est mon téléphone, comment l'atteindre), les usages (culturels et techniques : de quel modèle je dispose, comment s'ouvre-t-il ?), *mais elle ne contient pas de détails sur la façon précise d'exécuter les mouvements de chaque séquence.*

La simulation anticipatrice

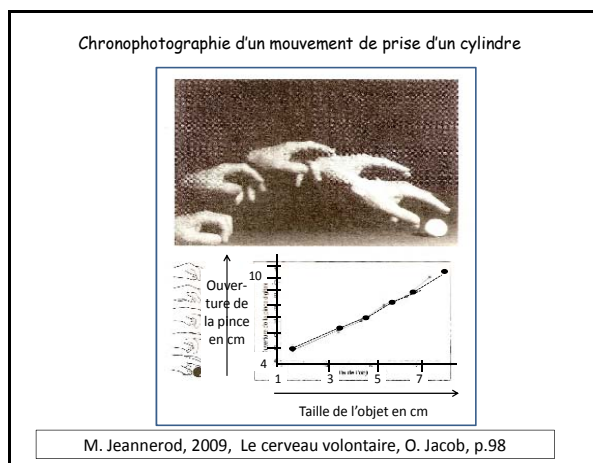
L'intention préalable génère une représentation de l'action (dénommée *intention motrice*) qui prend en compte *l'ensemble du contexte* dans lequel l'action va s'inscrire (essentiellement état du corps et contraintes biomécaniques et visuo-spatiales : suis-je assise devant une table avec mon téléphone à portée de main, ou bien est-il dans la pièce à côté, ...).

Cette phase n'est *pas consciente*, elle résulte d'une analyse *automatique* de l'environnement et des contraintes inhérentes. Ce « plan d'action » est organisé de façon hiérarchique (*étapes*) : c'est la *phase de planification* du geste (d'abord me lever, puis contourner la chaise, puis ouvrir mon sac, puis ...).

Les contraintes imposées par l'environnement sont déjà encodées dans cette représentation motrice : ce programme complexe est essentiellement construit à partir des informations visuelles dites « vision pour l'action », via des neurones *visuo-moteurs* (cortex pariétal postérieur : il s'agit de neurones *à la fois* sensoriels *et* moteurs, cf. plus loin, les neurones miroirs). Cela permet d'opérer de façon rapide et automatique à partir d'un savoir visuel (sur les objets, l'environnement, ...).

Cette planification engendre elle-même automatiquement *la programmation* du geste, qui, elle, possède un « *format moteur* » et épouse étroitement l'ensemble du fonctionnement moteur et lui permet, si la décision en est prise (cf. plus bas), de se transformer immédiatement et automatiquement en une action (simulée ou réalisée).

Ce programme, non conscient, spécifie tous les détails pratiques, concrets, de l'exécution motrice : calculs de la distance, de la force, de l'amplitude, de la direction, de la forme de la main (fonction de l'orientation de l'objet et de son usage mais aussi de la position du corps, etc.), tous éléments qui vont servir à paramétrer les régulations posturales et les différentes contractions musculaires, ainsi que leur chronométrie fine et leur organisation spatiale.



Légende : la saisie

On voit ici la *préformation progressive* de la main au cours du mouvement de transport de la main vers l'objet. Les mouvements des doigts qui *anticipent* la saisie proprement dite traduisent l'*existence d'une représentation visuo-motrice* où sont codés les paramètres de l'objet.

En particulier l'ouverture maximale durant le transport *code de manière précise la taille de l'objet* : le diagramme montre la *corrélation linéaire* entre l'amplitude de la pince (en ordonnée, ouverture de la pince en cm) et la taille de l'objet (en abscisse, en cm). La *vue d'un outil active automatiquement la représentation de son utilisation*, déclenchant ainsi la représentation du type de prise et de geste adaptés.

A ce stade, le geste peut être effectivement réalisé *ou non* : car cette phase (programmation de l'exécution) peut être *simulée*. La réalisation effective (cf. plus bas : le passage à l'acte) n'est qu'une option ...

Cette simulation de l'exécution (généralement non consciente) permettrait de tester « la faisabilité » de l'action et d'en prévoir (préparer) les différentes composantes (intention ou programmation motrice). Elle est aussi à l'origine d'un *modèle interne* de l'action qui intervient dans la régulation de l'action.

Cette simulation peut aussi quelquefois être activée *intentionnellement* (donc consciemment). Alors appelée *image motrice*, elle est, par exemple, utilisée par les sportifs de haut niveau pour activer la représentation du geste expert.

Exemples

L'entraînement mental (évocation de l'image motrice)

Un effort évoqué mentalement provoque une augmentation du métabolisme énergétique tel que celui normalement associé à cet effort (accélération de la ventilation, augmentation du rythme cardiaque, ...). D'où son utilisation chez les sportifs⁸⁰ : en simulant mentalement et répétitivement un mouvement, on active les voies nerveuses correspondantes et on induit ainsi leur facilitation. [N.B. Aucune contraction musculaire n'est détectée durant cet entraînement mental].

L'apprentissage gestuel par simulation mentale

Deux groupes de sujets s'entraînent durant 5 jours à faire des gammes sur un piano ; l'un subit un entraînement mental (simulation mentale des gestes à faire), l'autre un entraînement réel. Dans les deux groupes, on note une amélioration comparable de la performance⁸¹.

Sur le plan cérébral, simuler un mouvement active (en IRM-f) pour l'essentiel, les mêmes régions cérébrales que lorsque le mouvement est effectivement réalisé⁸².

80 : Yue G. & Cole KJ., 1992, Strength increases from the motor program : comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions, *Journal of Neurophysiology*, 67, 1114-1123

81 : Pascual-Leone et al, 1995, Modulation of motor responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills, *Journal of Neurophysiology*, 74, 1037-1045

82 : Ehrsson H., Geyer S. & Naito E., 2003, Imagery of voluntary movements of fingers, toes and tongue activate corresponding body-part specific motor representations, *Journal of Neurophysiology*, 90, 3304-16

Tous ces éléments constituent des arguments très forts en faveur de la mise en jeu de mécanismes *communs pour l'exécution et la simulation* des mouvements.

Des neurones particuliers, identifiés initialement dans la partie ventrale du cortex pré-moteur (lobe frontal), s'activent aussi bien durant l'action de celui qui agit que durant *l'observation* de l'action d'autrui : ils sont alors activés « en miroir », d'où leur nom⁸³.

Il s'agit donc là d'un **lien direct entre observation et exécution** d'une action. Ces neurones permettent une représentation partagée de l'action, entre celui qui l'exécute et celui qui l'observe. Ils seraient donc le support, pour l'observateur de la compréhension de l'action, de sa signification, de son but : l'observateur, qui active en grande partie les mêmes neurones que l'acteur, éprouverait ainsi lui-même l'action de l'autre. Les neurones miroirs nous permettraient en quelque sorte de « lire » le comportement (et les états mentaux ?) des autres. C'est pourquoi plusieurs auteurs en font aussi un des supports de l'empathie.

La régulation du geste

Nous l'avons dit le geste doit être ajusté, régulé *en temps réel* en fonction de l'environnement et des conditions matérielles de réalisation de l'action. On distingue deux sortes de régulations : celles qui interviennent *durant* l'effectuation du geste et celles qui interviennent *avant* la réalisation effective.

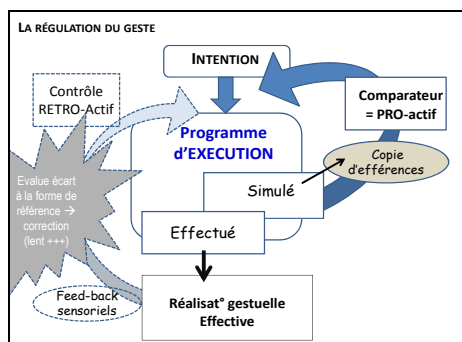
- Les régulations rétroactives

La réalisation effective du geste provoque des perceptions sensorielles issues des muscles et des articulations en mouvement, perceptions qui informent le système sur son état *actuel* : ces informations en retour sur son propre mouvement en train de se réaliser permettent d'évaluer un écart éventuel à la « norme » (geste réussi, harmonieux, efficace,...) et de mettre alors en œuvre les corrections et ajustements adéquats. Mais ces régulations, parce qu'elles interviennent une fois le mouvement lancé, sont *lentes* et *tardives*.

- Les régulations pro-actives (anticipatrices)

Ce sont des régulations *précoces* qui interviennent *dès la phase de simulation anticipatrice* du geste, donc *avant* sa réalisation effective. Elles sont rapides et permettent un geste harmonieux. La programmation de l'action, qui « prédit » les événements qui vont être exécutés et anticipe les ordres à donner (les efférences) pour réaliser l'action, est systématiquement *aussi* adressée (*copie d'efférences*) au « comparateur », qui évalue la précision et la justesse de la programmation et programme alors les éventuels ajustements.

83 : Rizzolatti G. & Sinigaglia, 2008, Les neurones miroirs, Odile Jacob

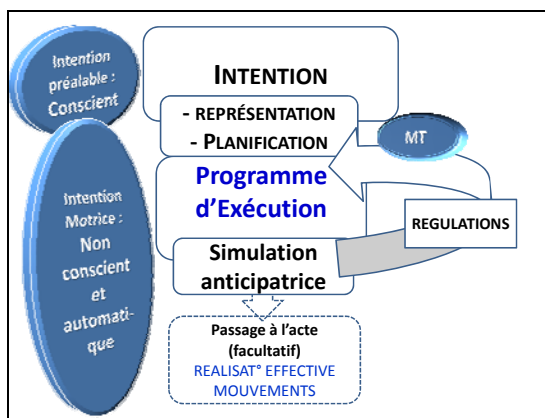


Ces deux modes de contrôle (rétro et pro-actif) coexistent de fait : la simulation anticipatrice joue le rôle d'un modèle interne qui permet de vérifier, en temps réel, le degré de concordance entre le mouvement projeté (dont le système possède l'image grâce à la copie d'efférences) et le mouvement réel, en cours d'effectuation.

Le passage à l'acte

L'intention motrice peut aussi, bien sûr, se réaliser réellement. La *décision* d'agir est la dernière de ces phases *préparatoires* à l'action. Elle est aussi sous la dépendance des *fonctions exécutives*: décider *ou non* d'agir s'apparente à la résolution de problèmes (est-il pertinent que je réponde au téléphone maintenant ? Ne devrais-je pas laisser plutôt le répondeur ? Cela dépend de la situation : si je suis au cinéma, à la maison, etc. mais aussi de l'interlocuteur dont le nom s'affiche ou non, etc.....).

Le schéma global de différentes étapes cognitives de la préparation du geste, depuis son intention jusqu'à sa réalisation effective, pourraient alors être schématisés ainsi :

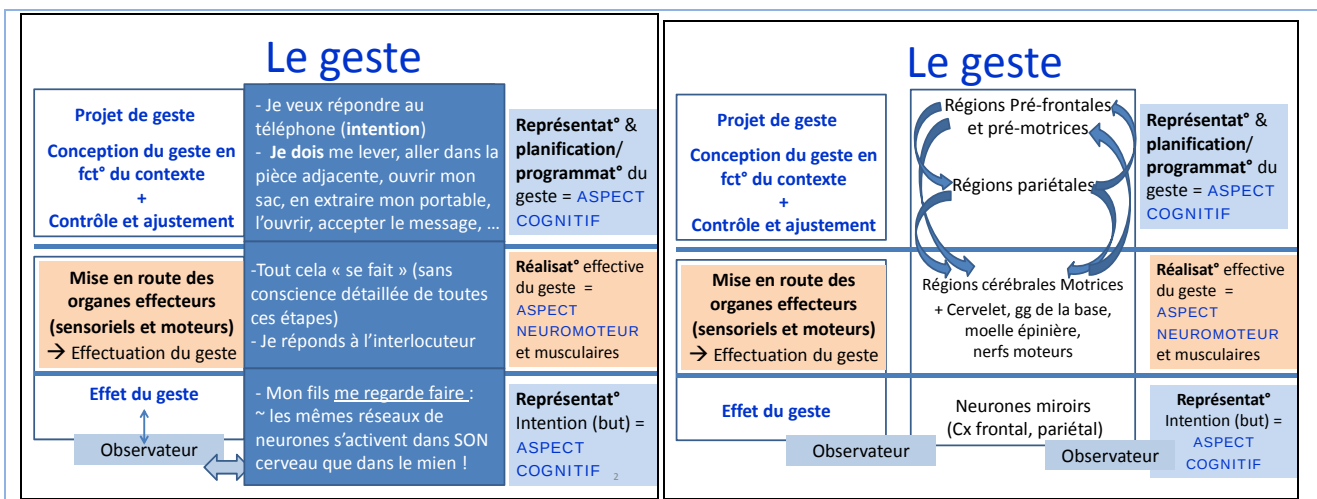


NB : Un geste efficace est un geste *automatisé*, c'est-à-dire qui ne réclame aucun (ou peu de) contrôle conscient (de contrôle attentionnel), qui se déroule effectivement de manière non consciente. Lors d'un apprentissage gestuel, tant que le sujet garde un contrôle *conscient* sur sa production, la performance est lente et imparfaite, mais dès que contrôle devient automatique, le geste est rapide, fiable et harmonieux. Ceci est très important, puisque c'est *la condition* pour qu'un *geste puisse être concomitant d'une autre activité intellectuelle* (parler tout en enlevant son manteau, écrire tout en réfléchissant à l'orthographe, ouvrir le robinet en écoutant la radio, etc...).

En résumé

- Tout geste possède un versant cognitif (la préparation du geste, qui peut durer jusqu'à une seconde et dont nous ne sommes pas conscients) et un versant moteur (son effectuation par le système musculo-tendineux)
- La représentation de l'action comporte une partie consciente (projet de geste) et une partie non consciente (programmation) qui spécifie *automatiquement* l'ensemble des caractéristiques motrices de l'action en fonction du but et du contexte. Cette représentation précède l'action et peut exister indépendamment de sa réalisation effective : c'est une action masquée, une *simulation* de l'action en devenir. Cette représentation (simulation) engage le système moteur de la même façon que l'exécution (cf. entraînement mental, sportifs, ...).
- Cette représentation donne lieu à des « copies d'efférences » qui sont utilisées par le comparateur pour effectuer les régulations pro-actives (geste harmonieux).
- Le geste efficace est automatisé (sa « réussite » ne nécessite pas de contrôle *conscient*)
- L'observation d'une action exécutée par un autre donne naissance, chez l'observateur à la même représentation mentale que chez l'acteur, ce qui lui permet de comprendre les intentions de l'acteur

Pour reprendre l'exemple du geste « répondre au téléphone », on pourrait en faire une représentation schématique :



NB. Le geste concerne *aussi* la parole et l'oculomotricité.

Le développement du geste chez l'enfant

On trouve deux grandes théories du développement gestuel chez l'enfant : les théories dites « dynamiques » (ou écologiques) et les théories « cognitivistes »

Les théories dynamiques

Ces théories, issues de la physique, postulent qu'il est possible de prévoir l'état final de systèmes composés de nombreuses variables non corrélées qui évoluent de façon simultanée. Ces systèmes complexes possèdent des propriétés particulières et font preuve de *capacités d'auto-organisation* qui conduisent à *l'émergence* d'un état final stable et prévisible.

Les différents organes sensoriels et moteurs dont dispose le bébé, les particularités liées à l'architecture et au fonctionnement de chaque articulation, les caractéristiques environnementales (nature et qualité des objets, ...), constituent, par analogie, cet ensemble de variables indépendantes qui, sous l'effet du libre jeu des systèmes sensori-moteurs et de *coalitions de contraintes* (croissance, gravité, contraintes biomécaniques, ...), vont s'organiser en coordinations émergentes, d'abord simples puis de plus en plus complexes, stables et *prévisibles* (appelés patrons de coordination).

Concrètement, cela signifie que les patrons moteurs efficaces *émergent naturellement* au décours des exercices spontanés de l'enfant, durant lesquels il expérimente le couplage corps-environnement : au fil des essais et erreurs, des répétitions, se stabilisent peu à peu et spontanément les patrons les plus efficaces. *Cette conception ne fait donc pas intervenir de « système cognitif »* qui piloterait cette évolution : le développement moteur résulte spontanément de la confrontation entre capital inné et contraintes biologiques et environnementales⁸⁴.

Cela concerne *donc* les aptitudes sensori-motrices pour lesquelles nous sommes génétiquement programmés : station debout et marche, équilibres statiques et dynamiques (sauts, course, ..), pince pouce-index, oculomotricité, coordinations bi-manuelles, coordination œil-main, attraper un objet mobile, etc.

Ce développement, normalement hautement prédictible dans sa chronologie est donc implicite⁸⁵ et universel. Il sert de référence pour le suivi de l'évolution *motrice* de l'enfant.

*Quelques repères chronologiques (0-3 ans)*⁸⁶

0-3/4 mois : accrochage du regard, tenue de tête. **4-6 mois** : exploration visuelle de l'environnement (saccades, poursuites lentes, fixations) – se retourne dos/ventre – station assise avec appui – prend les objets en main (prise malhabile). **9-10 mois** : tient assis sans appui – porte les objets à la bouche – passe les objets d'une main dans l'autre. **10-14 mois** : pince pouce-index fine – se déplace au sol – s'assoit et se met debout seul (avec appui). **12-18 mois** : marche libre – marche à reculons – lance une balle. **2 ans** : court – tape dans un ballon. **3 ans** : monte un escalier en alterné – saute sur 1 pied – pédale (tricycle).

84 : Il n'y a rien là qui doive nous étonner : c'est exactement ce que nous avons décrit lors du développement premier de *toutes les fonctions pour lesquelles nous disposons d'emblée d'un capital inné* (« les boîtes à outils », cf. introduction), qu'il s'agisse du langage oral, des compétences sociales ou du calcul ...

85 : Il ne requiert aucune démonstration ni enseignement délibéré.

86 : Il s'agit volontairement ici de repères très schématiques, donnés à titre d'exemple. Pour un exposé détaillé et étalonné (normes et variations inter-individuelles), cf. les baby-tests et les ouvrages de psychomotricité.

Les théories cognitivistes

La théorie développementale dynamique ne peut pas rendre compte de l'apparition de gestes pour lesquels nous ne serions *pas* génétiquement équipés. Or, nous disposons bien évidemment *aussi* de capacités *d'apprentissage* de gestes qui n'ont pas été prévus, tels que, par l'évolution.

Ces gestes-là ne se développent pas « spontanément » par confrontation avec l'environnement. Facultatifs au regard de l'Evolution mais *indispensables* dans un environnement culturel donné, ces gestes ne se développeraient pas (n'apparaîtraient jamais) sans un *enseignement intentionnel* des adultes en direction de enfants (ou des experts en direction des novices) : seul un apprentissage *explicite* en permet la maîtrise⁸⁷. Ils dépendent entièrement de la communauté culturelle dans laquelle nous vivons : ils diffèrent selon l'époque et le lieu, les habitudes locales, etc.

Exemples de gestes qui doivent être enseignés, dépendant du contexte culturel

- S'habiller : mettre un sari, un kimono ou un blue-jean. Utiliser des boutons, des fibules, des fermetures éclair ou des lacets. Mettre des gants, des chaussettes ou des bandes molletières, ...
- Soins du corps : se coiffer avec un chignon, des nattes ou en brosse, se moucher, se shampooiner, se couper les ongles, se raser ou se faire un brushing, ...
- Manger : avec des baguettes, avec des fourchettes et des couteaux, avec ses doigts, ...
- Se saluer : en joignant les mains et en baissant la tête, en serrant la main, en faisant la révérence, en croisant le regard ou en le baissant, en agitant la main droite, etc...
- Et aussi... utiliser la souris de l'ordinateur, conduire une voiture, utiliser un i-phone ou un four à micro-ondes, bêcher son jardin, scier, tondre, percer, coudre, tailler, sculpter, jouer de la guitare, tricoter, etc. ;
- Et encore ... tous les savoir-faire *développés dans le cadre de la scolarité*, en premier lieu le *graphisme manuel*, mais aussi l'utilisation des « outils scolaires » : cartable, trousse, outils scripteurs, ciseaux, colle, règle, gomme, compas, classeurs, etc.

Ces gestes, qui emplissent le quotidien, assurent l'intégration de l'enfant dans sa communauté naturelle (sociale et familiale) et lui confèrent une *autonomie* grandissante avec l'âge, indispensable à son estime de lui et à son épanouissement personnel, puis professionnel et social. Ils réclament, pour leur apprentissage et leur nécessaire automatisation, un entraînement volontariste, adéquat et suffisant pour permettre la création des nouveau réseaux de neurones qui leur seront dédiés (*recyclage neuronal*, cf. introduction).

Les deux approches, dynamique et cognitiviste, pilotent vraisemblablement des aspects différents mais complémentaires et intriqués du développement gestuel de l'enfant et doivent donc être conjuguées plutôt qu'opposées.

- L'apprentissage par entraînement

L'entraînement à un nouveau geste peut se réaliser selon deux conditions : l'une préconise *la variabilité* des conditions de pratique afin d'explorer toute une gamme de réponses ; l'autre préconise au contraire une pratique stabilisée, immuable, centrée sur « le » geste optimal afin de favoriser l'extraction du ou des éléments pertinents pour construire l'habileté.

87 : On peut faire le parallèle avec, dans un autre domaine, les modalités de développement du langage oral vs le langage écrit ...

De nombreuses études⁸⁸ ont testé ces deux conditions (pratique « variable » vs « fixe ») et concluent à *la supériorité des conditions de variabilité de l'apprentissage* : cela favoriserait les capacités d'adaptation, de régulation du geste, sollicitant des ajustements variés indispensables pour obtenir une performance satisfaisante.

Par ailleurs, des informations précises, *en retour*, sur la performance (sa qualité ou ses défauts) sont également un élément fondamental pour la réussite de l'apprentissage.

- Apprentissage et observation / démonstration

Les neurones miroirs sont le support de l'observation et de l'imitation ; à ce titre, ils participent aux situations habituelles d'apprentissage gestuel. *i)- L'observation* : elle active d'autant plus les neurones miroirs et elle est d'autant plus efficace que l'action observée fait *déjà* partie du répertoire moteur de l'observateur ; *ii)- L'imitation* : le bébé et le jeune enfant ont une tendance « innée » à l'imitation. Cependant, cette imitation concerne l'action (son but, sa signification : que fait-il ?) et *non* les aspects détaillés de la réalisation fine du geste lui-même (comment fait-il ?).

Attention : celui qui imite *n'a pas accès aux détails du programme moteur* ; il comprend l'intention et les grandes lignes du geste, mais ne peut pas d'emblée le réaliser avec habileté et précision ; cette capacité ne viendra qu'après entraînement et répétitions.

Au total, l'apprentissage gestuel nécessite donc surtout un entraînement, plus ou moins associé à l'observation (démonstration) et l'imitation. L'imagerie mentale peut être sollicitée efficacement à partir de 7 ans environ⁸⁹.

Quelques repères chronologiques (1-6 ans):

Petite section	Moyenne section	Grande section
- Sortir et ranger des feutres dans le paquet - Boucher et déboucher un feutre - Coller des gommettes - Utiliser un tube de colle - Tourner les pages d'un cahier ou d'un livre	- Utiliser des ciseaux pour une découpe rectiligne	- Utiliser des ciseaux pour une découpe complexe - Utiliser la règle - Tenir le crayon en prise tri-digitale - Utiliser un taille-crayon - Utiliser une gomme

- Repas : 9-12 mois, boit seul au biberon – 1 an : boit seul au verre tenu à deux mains – 2 ans : boit avec un paille – 3 ans, mange seul (cuillère ou fourchette) – 4 ans, se sert à boire – 5 ans, tartine son pain avec un couteau – 6 ans, coupe des aliments peu résistants.
- Habillage : 12-18 mois, enlève un pantalon de pyjama – 2 ans, enlève ses chaussettes, son pantalon (si déboutonné) – 4 ans, se déshabille seul (problème si petites attaches et certains vêtements serrés, gants, collants) ; attache et détache des boutons de grosseur moyenne sur le devant, une boucle de ceinture, une fermeture éclair – 5 ans, met les chaussures au bon pied – 6 ans, lace, fait un nœud, une boucle (lâche).
- Hygiène : 3-4 ans, se mouche – 4-5 ans, se lave et s'essuie les mains – 5-6 ans, se brosse les dents, essuie ses lunettes.
- Gestes « scolaires » attendus à l'école maternelle⁹⁰

88 : Par ex : Seidler RD., 2004, Multiple motor learning experiences enhance motor adaptability, *J.Cogn. Neurosci.*, 16, 65-73

89 : Molina M., Tijus C. & Jouen F., 2008, The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental Child Psychology*, 99, 196-209

90 : Barry V., Gadolet D., Guillot C. : « Un bilan d'autonomie scolaire », Expériences en ergothérapie, Sauramps médical, 1999, 12, 52-57.

Les pathologies du développement du geste : TAC, dyspraxies

Les troubles *spécifiques* du développement du geste sont définis comme des troubles se manifestant en dehors de toute atteinte sensori-motrice, intellectuelle ou psychiatrique (TED) susceptible, à elle seule, de rendre compte des désordres observés. Par ailleurs, il faut que l'enfant ait été soumis à l'acquisition ou l'apprentissage du geste dans des conditions habituelles et que le trouble entraîne une gêne scolaire et/ou sociale significative (handicap). Selon les critères retenus, ils touchent 5-6% de la population d'âge scolaire, avec une nette prédominance de garçons (ratio de 2/1 à 7/1 selon les études ...).

Ces pathologies font l'objet de dénominations multiples qui reflètent les incertitudes encore non élucidées quant à leur physiopathologie.

D'abord (et encore souvent) dénommés « retards psychomoteurs », ils ont aussi été dénommés « dyspraxies⁹¹ », « maladresse pathologique » (« clumsy children » des publications anglo-saxonnes à partir des années 1960), « troubles spécifiques du développement moteur⁹² », « troubles d'acquisition de la coordination ou TAC⁹³ ».

En pratique, beaucoup de cliniciens considèrent que les deux termes, TAC et dyspraxie, peuvent être considérés comme des synonymes.

Notons que le choix du terme de « dyspraxie » insiste *sur le versant cognitif* de ces troubles (comme dans tout le groupe des dys). En particulier la présence de troubles de l'organisation spatiale, souvent associés, est prise en compte (ce qui n'est pas le cas dans les TAC). Ce choix infléchit également les stratégies thérapeutiques, centrées alors sur des méthodes cognitives : utilisation de la verbalisation (auto-instructions verbales), associée aux fonctions raisonnementales et exécutives (méthode CO-OP⁹⁴). Or ces *approches cognitives* sont actuellement les seules à avoir *démontré* une certaine efficacité fonctionnelle⁹⁵ dans la prise en charge des pathologies développementales du geste.

Quel que soit le terme choisi, les enfants présentent une maladresse pathologique (attestée par l'échec à au moins -1,5 ou -2 déviations-standard en dessous de la norme dans des épreuves gestuelles et visuo-spatiales étalonnées), des difficultés dans certaines activités sportives, une *dysgraphie*⁹⁶ plus ou moins invalidante (attestée par des épreuves étalonnées) et une *lenteur*, le tout contrastant avec la réussite normale (ou supérieure) aux épreuves non gestuelles et non visuo-spatiales (langage, raisonnement verbal, mémoire verbale).

91 : Cf. la publication principes de l'équipe de l'hôpital Ste Anne (Paris) : Stambach M, L'Heriteau D, Auzias M, Bergès J & De Ajuriaguerra J, 1964, Les dyspraxies de l'enfant, 7, 381-496

92 : CIM 10, 1992, 10e édition de la classification internationale des maladies, (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems), publiée par l'OMS.

93 : APA, DSM-IV, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (4ème éd), Paris : Masson, 1996 (TAC = Developmental Coordination Disorder ou DCD des anglo-saxons)

94 : Polatajko HJ et al, 2001, Cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP), *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 20, Part II The evidence p. 83-105, Part III The protocol in brief, p 107-123

95 : Wilcox AL, Polatajko HJ, 1993, Verbal self-guidance a treatment technique for children with DCD, *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 60 (conférence supplémentaire), 20. - Miller LT. Et al, 2001, A pilot cognitive treatment for children with DCD, *Human Movement, Science*, 20, 183-210

96 : Graphisme manuel déficitaire, anormalement malhabile.

Par ailleurs, *l'échec scolaire* (lié à la lenteur, la dysgraphie et/ou aux troubles spatiaux) peut avoir des effets catastrophiques si il conduit à orienter ces jeunes vers des professions dites « manuelles » dans lesquelles ils sont particulièrement incompétents !

Le traitement vise, d'une part à améliorer *certaines* gestes indispensables dans la vie quotidienne, et d'autre part à *favoriser la réussite scolaire* de ces jeunes intelligents (adaptation des exigences dans le domaine gestuel et spatial, utilisation de l'ordinateur, etc.).

Petite bibliographie pour aller plus loin

- Alain Berthoz, *le sens du mouvement*, O. Jacob, 1997
- Marc Jeannerod, *Le cerveau volontaire*, O. Jacob, 2009
- Michel Desmurget, *Imitation et apprentissage moteurs : des neurones miroirs à la pédagogie du geste sportif*, Marseille : Solal, 2006
- Y. Coello & J. Honoré (ss la dir. de), *Percevoir, s'orienter et agir dans l'espace*, Marseille : Solal, 2002
- R.H. Geuse, *Le trouble d'acquisition de la coordination ; évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant*, 2005, Marseille : Solal éd.
- M. Mazeau et C. Le Lostec, *L'enfant dyspraxique et les apprentissages : coordonner les actions thérapeutiques et scolaires*, Masson, 2010
- Caroline Huron, *L'enfant dyspraxique : mieux l'aider à la maison et à l'école*, Odile Jacob, 2011.
- Consulter aussi les sites : <http://www.cartablefantastique.fr/> et celui du dr A. Pouhet : [dralainpouhet](http://dralainpouhet.com)

Les Fonctions attentionnelles

Les fonctions attentionnelles et exécutives sont actuellement considérées d'une manière intégrée tant ces deux domaines fonctionnels sont difficilement séparables, le système attentionnel étant composé lui-même d'un sous-système exécutif. Nous les présenterons toutefois en parties séparées pour des raisons de clarté d'exposé.

Les différentes remarques sur l'attention telles « Mais fais donc attention ! », « Faites bien attention à cela », « Manque d'attention et de concentration », « Une mouche qui vole le distrait », etc.... réfèrent en fait à différents processus constituant le *système attentionnel*.

Ainsi, la remarque « Manque d'attention et de concentration » réfère à deux des trois dimensions du système attentionnel : respectivement, les dimensions *sélectivité* et *Intensité*.

Le système attentionnel

On distingue trois grandes fonctions attentionnelles (alerte, orientation, l'attention exécutive) supportées par trois réseaux neuronaux, distribués à grande échelle, distincts. Elles constituent les trois dimensions du système attentionnel : la dimension *Intensité* qui recouvre la fonction et son réseau neuronal dit *Alerte* ; la dimension *sélectivité* qui recouvre la fonction et son réseau neuronal dit *Orientation* ; la dimension *exécutive* qui recouvre la fonction et son réseau neuronal dit *réseau attentionnel exécutif*^{97a, 1b}.

La fonction d'alerte (Alerting, i.e. dimension Intensité)

Elle est impliquée dans l'élévation et le maintien d'un état d'alerte préparatoire à l'apparition imminente d'un stimulus. Elle recouvre *l'alerte tonique* (contrôle cognitif général de l'éveil, *intrinsic alertness/arousal*), *l'alerte phasique* (réaction évaluée par son temps, à l'apparition d'un stimulus simple, *phasic alertness*), *la vigilance* (*Vigilance*) et *l'attention soutenue* (*Sustained attention*) se définissant comme un haut niveau d'alerte sur de longs intervalles de temps (supérieurs à 8 minutes). Le nombre de stimuli est faible en situation de vigilance, élevé dans l'attention soutenue.

La fonction d'orientation (Orienting, i.e. dimension Sélectivité)

Elle recouvre l'attention sélective, l'attention sélective visuo-spatiale, l'attention partagée et l'attention alternée.

L'attention sélective (*focussed attention*) traduit la capacité à focaliser ses ressources attentionnelles sur le stimulus tout en inhibant les distracteurs. Elle permet de sélectionner l'information spécifique pertinente à la réalisation de la tâche, ceci parmi de multiples autres stimuli dont la prise en compte est inhibée.

97 a : Van Zomeren, A.H. & Brouwer ; W.H. (1994). *Clinical Neuropsychology of Attention*. New York : Oxford University Press.

1b : Posner, M.I. & Raichle, M.E. (1998). *L'esprit en image*. Bruxelles : De Boeck Université.

L'attention sélective visuo-spatiale est une forme particulière d'attention sélective mobilisée par la recherche d'un stimulus-cible en explorant un espace.

L'attention partagée (divided attention) recouvre la capacité de focaliser son attention sur deux sources de stimuli simultanément (écouter et regarder).

L'attention alternée recouvre la capacité de focaliser son attention alternativement sur deux sources de stimuli (surveiller les autres automobilistes à gauche et à droite de sa voiture).

La fonction exécutive attentionnelle (exécutive attention) :

Elle recouvre le SAS (système attentionnel superviseur)⁹⁸. Le contrôle exécutif de l'attention est impliqué dans des opérations cognitives complexes correspondant à la fois au contrôle et à la résolution de conflits entre des occurrences informationnelles en provenance de divers réseaux neuronaux (par exemple dans la tâche d'interférence de Stroop (voir p. 28) où le sujet doit nommer la couleur de l'encre (par exemple « rouge ») dans laquelle est écrit le mot « vert », VERT). C'est pourquoi ce réseau exécutif attentionnel est parfois appelé « *conflict network* ».

Ce contrôle exécutif attentionnel est en étroite relation avec le contrôle cognitif de l'activité, la mémoire de travail et la vitesse de traitement de l'information.

La mise en jeu des fonctions attentionnelles

On distingue *l'orientation exogène* et *l'orientation endogène* de l'attention. *L'orientation exogène* est déclenchée par l'apparition d'un stimulus inattendu dans son environnement, par exemple, un éclair d'orage. Elle est automatique, brève et interrompt l'activité en cours. Cette forme d'orientation attentionnelle est ainsi dirigée par les événements.

L'orientation endogène est, quant à elle, volontaire et intentionnelle. Elle est contrôlée par la personne et reliée à des effets d'attente ; elle permet de se préparer à traiter l'information attendue et à y répondre rapidement. Par exemple quand un photographe animalier attend qu'un papillon se pose sur la fleur cible.

Indépendance et relations entre ces trois dimensions

Un certain nombre de travaux^{99a,4b,4c} mettent en évidence des interactions entre les différentes fonctions attentionnelles et les réseaux neuronaux spécifiques les supportant. En particulier, ces différents auteurs ont montré que la fonction d'alerte comme la fonction d'orientation pouvaient améliorer ou interférer négativement avec l'attention exécutive. Par ailleurs, l'efficacité fonctionnelle de l'alerte améliore celle de la fonction d'orientation. Ces interactions entre les différents processus attentionnels ont été corroborées par les travaux

2 : Shallice, T. (1995). Symptômes et modèles en neuropsychologie : des schémas aux réseaux. Paris : PUF

99a : Fan, J & Candliss, B.D. (Fan J, Mc Candliss BD. (2002) Testing the efficiency and independence of attentional networks. Journal of Cognition and Neurosciences, 14:340-7.

4b : Callejas A, Lupianez J, Funes MJ, Tudela P. (2004). The three attentional networks : On their independence and interactions. Brain and Cognition, 54:225–227.

4c : Posner, MI. et al., (2006). Analyzing and shaping human attentional networks. Neural Networks 19 : 1422–1429

en neuro imagerie montrant le recrutement des réseaux neuronaux concernés en chevauchement simultané.

Données développementales

Il a été montré que si l'existence de sous-systèmes attentionnels est confirmée tant chez l'enfant que chez l'adulte, cela ne signifie pas pour autant que les soubassements neurophysiologiques de ces réseaux soient identiques tout au long du développement.

En effet, à l'instar des autres fonctions cognitives, le développement des fonctions attentionnelles dépend de façon majeure de la maturation cérébrale, notamment relative à la synaptogenèse et au processus de myélinisation allant du postérieur vers l'antérieur. Ceci permet d'éclairer le fait que la dimension exécutive du système attentionnel notamment poursuit sa maturation jusqu'en fin d'adolescence, la synaptogenèse des lobes frontaux n'arrivant guère à maturité qu'à cette époque-là¹⁰⁰.

Cela éclaire aussi que l'on observe une diminution constante des temps de réaction en fonction de l'âge dans les tâches attentionnelles, la vitesse de traitement de l'information étant étroitement liée à la myélinisation permettant une transmission neuronale de plus en plus rapide.

De la naissance à 12 mois

Les durées de fixation sur un stimulus observées chez le bébé sont considérées comme des témoins d'une activité attentionnelle, mais non comme reflétant des durées d'attention. En effet, chez le bébé, l'hypothèse d'une *difficulté dans le maintien endogène* de l'attention au cours de sa première année semble relativement bien corroborée. Cette difficulté peut être due soit 1) à une faible résistance aux distracteurs externes 2) soit à un défaut d'inhibition des représentations mentales déjà présentes.

J.F. Camus conclut de l'analyse d'un ensemble conséquent de travaux que si « les principaux processus du système attentionnel se mettent en place au cours de la première année (...) la possibilité de maintenir durablement une orientation attentionnelle semble faire défaut à cet âge »¹⁰¹.

M.I. Posner et al. (2006)^{4c} considère dans le même sens que les données à disposition permettent de considérer que des capacités rudimentaires de fonction attentionnelle exécutive émergent au cours de la première année, mais ne sont pas réellement fonctionnelles en dessous de 2 ans.

Au plan de *l'orientation exogène* maintenant :

Comme nous l'avons vu à propos des méthodes d'étude de la cognition des bébés (voir *Introduction*), ce qui caractérise le bébé, c'est sa surexcitation face à la nouveauté, l'inconnu,

100 : Huttenlocher, P.R. et Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387, 2, 167-178

101 : Camus, J.F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris : Armand Colin

l'étrange, le structuré, le visage humain ou encore une stimulation excessive => la fonction d'orientation exogène est alors fortement mobilisée.

De nombreux auteurs ont montré que les bébés régulaient leurs états émotionnels en mobilisant leurs capacités de désengagement et de déplacement de leur attention sélective. Ce serait même là un des processus fondamentaux de cette régulation émotionnelle.

Avant 4 mois, ils sont capables de focaliser leur attention sélective, mais ils éprouvent plus de difficultés à la désengager et à la déplacer ailleurs. Dès 3-4 mois, les bébés possèdent ces processus de désengagement et de déplacement d'une façon tout à fait fonctionnelle.

Ces capacités de désengagement, déplacement, réengagement ailleurs, ont un rôle majeur dans l'évolution de nombreuses étapes cognitives et socio-cognitives importantes, comme, par exemple, aller des nouvelles données à apprendre aux données précédemment acquises la discrimination, la régulation des émotions et le développement de l'attention conjointe.

NB : S.E. Bryson et al (2010)¹⁰² et R. Landry et S.E. Bryson (2004)¹⁰³ ont montré que les enfants présentant un autisme ont des temps de réaction beaucoup plus longs que les enfants témoins du même âge pour désengager leur attention visuelle ceci entraînant une prépondérance de l'angoisse associée à leur trouble et un accroissement de leurs conduites d'évitement (fuite du regard d'autrui, respiration rapide et peu profonde, excès de grimaces). C'est ainsi que dans les recherches sur les nourrissons à risque menées sur une fratrie plus âgée atteinte d'autisme, ces problèmes de désengagement observés à 12 mois précisent un diagnostic plus tardif. Il faut préciser enfin que ces problèmes de désengagement-déplacement observés chez les enfants présentant un autisme se retrouvent chez eux à l'âge adulte.

Entre 9 et 12 mois, émerge la capacité de l'enfant de regarder ce que l'adulte regarde sans que ce dernier ne le lui montre du doigt (c'est « suivez mon regard... »).

Il est donc bien établi que l'attention sélective visuo-spatiale joue un rôle précoce en permettant aux bébés de s'orienter de façon sélective vers les personnes et les données de leur environnement, ceci leur permettant de réguler leurs réactions émotionnelles aux informations sensorielles reçues.

A partir de 2 ans

C'est à partir de 2 ans qu'émergent et se développent les processus implicites et endogènes de l'attention (contrôle volontaire, orientation délibérée avec maintien durable dans le temps).

L'amélioration significative de ces capacités d'orientation endogène de l'attention va avoir une grande importance dans l'émergence d'activités cognitives ou cognitivomotrices plus soutenues, guidées pro activement en lien avec le développement du contrôle attentionnel (organisation, flexibilité (c'est-à-dire capacité de changer le plan en fonction de ce qui se passe) et meilleure capacité d'inhibition des distracteurs).

102 : Bryson, S.E. (2010). Le développement précoce de l'attention visuo-spatiale. *Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants*, CEDJE / RSC-DJE

103 : Landry, R. & Bryson, S.E. (2004). Impaired disengagement of attention in young children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45 (6), 1115-1122.

C'est ainsi que l'ensemble des processus composant le système attentionnel est en place vers la fin de la deuxième année.

De 2 à 15-16 ans, les diverses fonctions attentionnelles vont se développer de façon quasi continue (progression linéaire).

La fonction d'Alerte arrive à maturité, c'est-à-dire à un niveau fonctionnel comparable à celui du jeune adulte, autour de 10 ans. Les processus d'attention soutenue (i.e. concentration) et ceux de la dimension sélectivité (attention sélective / sélective visuo-spatiale, attention partagée / alternée) arrivent à maturité vers 11-12 ans. La dimension exécutive du système attentionnel (le contrôle attentionnel) arrive à maturité vers 15 ans.

F. Waszak et al. (2010)¹⁰⁴ rapportent ainsi une maturation effective de l'attention exécutive vers l'âge de 15 ans environ. Ces auteurs expliquent cette lenteur relative en comparaison des autres processus attentionnels, tel l'orientation, par les processus de maturation neurophysiologique du cortex frontal se faisant tardivement (voir P.R. Huttenlocher et al (1997).

Enfin, M.R. Rueda et al (2004)¹⁰⁵ ont montré qu'un important développement du réseau neuronal soutenant le contrôle attentionnel, réseau impliquant le cingulaire antérieur et les régions préfrontales latérales, se produisait entre 3 et 7 ans avec une forte amélioration de 4 à 6 ans, sous l'influence simultanée de données génétiques (notamment du DAT1) et de données éducatives ou environnementales. Ils avancent des données en faveur de l'efficacité de l'entraînement cognitif de l'attention exécutive à ces âges là, ce qui est important à considérer comme stratégie d'intervention auprès des enfants présentant un TDAH.

Troubles des fonctions attentionnelles

Le trouble des fonctions attentionnelles le plus connu est le TDAH (trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité-impulsivité) comprenant, selon le DSM-IV-TR, les trois sous-types : Déficit de l'Attention (DA) dominant, Hyperactivité Impulsivité (HI) dominant et Mixte.

C'est la psychologue canadienne Virginia I. Douglas qui, en 1972, a considéré l'incapacité de s'arrêter, de regarder et/ou d'écouter, comme constituant le véritable problème des enfants hyperactifs.

Un déficit de l'attention fut donc considéré comme la pierre angulaire de ce qui est devenu alors un syndrome de déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité-impulsivité, conception reprise dans le DSM – III en 1980 et les suivants jusqu'au DSM –V (mai 2013) instaurant même un sous-type «inattentif strict ».

104 : Waszak F., Li, S-C, Hommel, B. (2010). The Development of Attentional Networks : Cross-Sectional Findings From a Life Span Sample. *Developmental Psychology*, 46 (2), 337-349.

105 : Rueda, M.R. et al (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42, 1029-1040.

Définition : DSM – V (mai 2013)

Dans sa section A 06 Attention Deficit /Hyperactivity Disorder, le TDAH est sub-divisé en 4 sous-types reprenant les 3 précédents tout en y ajoutant le sous-type « Inattentive Presentation (Restrictive) », c'est-à-dire la prise en compte de la possibilité de présenter un déficit de l'attention isolé (ne doit pas comporter plus de deux items d'hyperactivité-impulsivité et être bien présent depuis au moins 6 mois). Ceci nous semble très important, car correspondant à une réelle clinique attentionnelle.

Relativement à la dimension attentionnelle du TDAH, R. Gupta & B.R. Kar (2009)¹⁰⁶ étudiant le développement des processus attentionnels chez l'enfant présentant un TDAH et un groupe témoin entre 6 et 9 ans, *ont trouvé des différences significatives dans la maturation des réseaux neuronaux d'alerte (il n'est pas mature à 9 ans pour TDAH versus normal), et d'orientation endogène à 9 ans.*

Par ailleurs, V. Leclercq et al., (2006)¹⁰⁷, ont mis en évidence l'existence d'un trouble du contrôle attentionnel chez des enfants prématurés d'âge gestationnel compris entre 28 et 34 semaines, les poids de naissance se situant entre 1100 et 2310 grammes. Il existe également chez ces enfants une interférence entre les systèmes d'alerte et de contrôle « évoquant une moindre autonomie de ces deux systèmes ». Pour ces auteurs, « ce dysfonctionnement pourrait expliquer, au moins en partie, la plus grande prévalence des troubles des apprentissages retrouvée chez les enfants prématurés ».

En outre, B.D. McCandliss et al. (2003)¹⁰⁸, M.I. Posner et M.K. Rothbart (2007)¹⁰⁹, ont montré la très grande importance du réseau d'attention sélective dans les apprentissages scolaires tant en français qu'en arithmétique. Ces données rejoignent celles exposées par L. Meltzer et K. Krishnan (2007)¹¹⁰ à propos des relations étroites entre les dysfonctions exécutives et les troubles spécifiques des apprentissages.

Enfin, nous avons déjà évoqué l'impact des dysfonctionnements de l'attention sélective, sélective visuo-spatiale et de l'attention exécutive dans différents domaines relatifs au développement socio-cognitif de l'enfant (voir paragraphe précédent).

106 : Gupta, R. & Kar, B.R. (2009). Development of attentional processes in ADHD and normal children. *Progress in Brain Research : Attention*, (ed. N. Srinivasan), Vol. 176, 259-276.

107 : Leclercq, V. et al. (2006). Trouble du contrôle attentionnel et prématurité. *Revue de Neuropsychologie*, vol. 16, n° 1, 41-64

108 : McCandliss, B.D., Beck, I., Sandak, R., & Perfetti, C. (2003). Focusing attention on decoding for children with poor reading skills: A study of the Word Building intervention. *Scientific Studies of Reading*. 7(1), 75-105.

109 : Posner, M. I., and Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annu. Rev. Psychol.* 58, 1–23.

110 : Meltzer, L., & Krishnan, K. (2007). Executive function and learning disabilities. In L. Meltzer (Ed.), *Executive function in education: From theory to practice* (pp. 77–105). New York, NY: The Guilford Press.

Petite bibliographie pour aller plus loin

Camus J.F. (1996). La psychologie cognitive de l'attention. Paris : Armand Colin / Masson.

Camus, J.F. & El Massioui F. (2003). L'attention : aspects théoriques. Psychologie française, mars 2003, T. 48- n° 1 (PUG).

Posner M.I., Rothbart M.K. (1991). Les mécanismes de l'attention et l'expérience consciente. Revue de Neurologie, 2, 85-115.

Sturm W. (1999). Rééducation des troubles de l'attention. In : Azouvi P, Perrier D, Van der Linden M, eds. La rééducation en neuropsychologie : études de cas. Marseille : Editeur Solal ; 125-137.

Zimmermann, P. (2002). L'évaluation informatisée de l'attention. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni, & P. Azouvi (eds), La neuropsychologie de l'attention. Marseille : Solal, éditeur, pp. 103-125.

(Douglas, V.I. (1972). Stop, look and listen : The problem of sustained attention and impulse control in hyperactive and normal children, in Canadian Journal of Behavioral Science, 4, 259-281).

Les fonctions mnésiques

C'est à H. Ebbinghaus (1885)¹¹¹ que l'on doit les premières études systématiques de la mémoire conçue comme étant un système spécifique.

Introduction et définitions

Bien qu'il n'existe pas de définition consensuelle de la mémoire, il est admis que l'on puisse la désigner comme un « ensemble de fonctions en relation avec la capacité *d'enregistrer, d'élaborer, de stocker, de récupérer et d'utiliser des informations*. Dans cette perspective, la mémoire ne serait pas un système unitaire mais un réseau de systèmes interactifs » (A.M. Soprano et J. Narbona, 2009)¹¹².

Pour vous les présenter, nous allons nous appuyer sur MNESIS (Modèle NEO-Structural Inter-Systémique de la mémoire humaine), modèle mis au point par F. Eustache et B. Desgranges (2003)¹¹³.

Le schéma qui suit en son centre, la mémoire de travail telle que définie par A.D. Baddeley (1986/2000)^{114a,5b}, les trois systèmes que sont les mémoires perceptives, la mémoire sémantique et la mémoire épisodique, enfin les divers types de mémoire procédurale.

Nous voyons que tous ces systèmes sont en étroite interaction en rendant possible comme le dit A.D. Baddeley dans ses *Essentials of human memory* (1999)¹¹⁵ le fait de percevoir le monde de manière adéquate et de tirer un enseignement de notre passé pour mieux comprendre le futur en ayant la possibilité de s'adapter à son environnement en conséquence.

Derrière cette complexité, se trouvent néanmoins des définitions bien précises.

111 : Ebbinghaus, H. (1885). La mémoire. Recherches de Psychologie Expérimentale(1885), (trad. franç. 2011 par S. Nicolas, éd.). Paris: L'Harmattan.

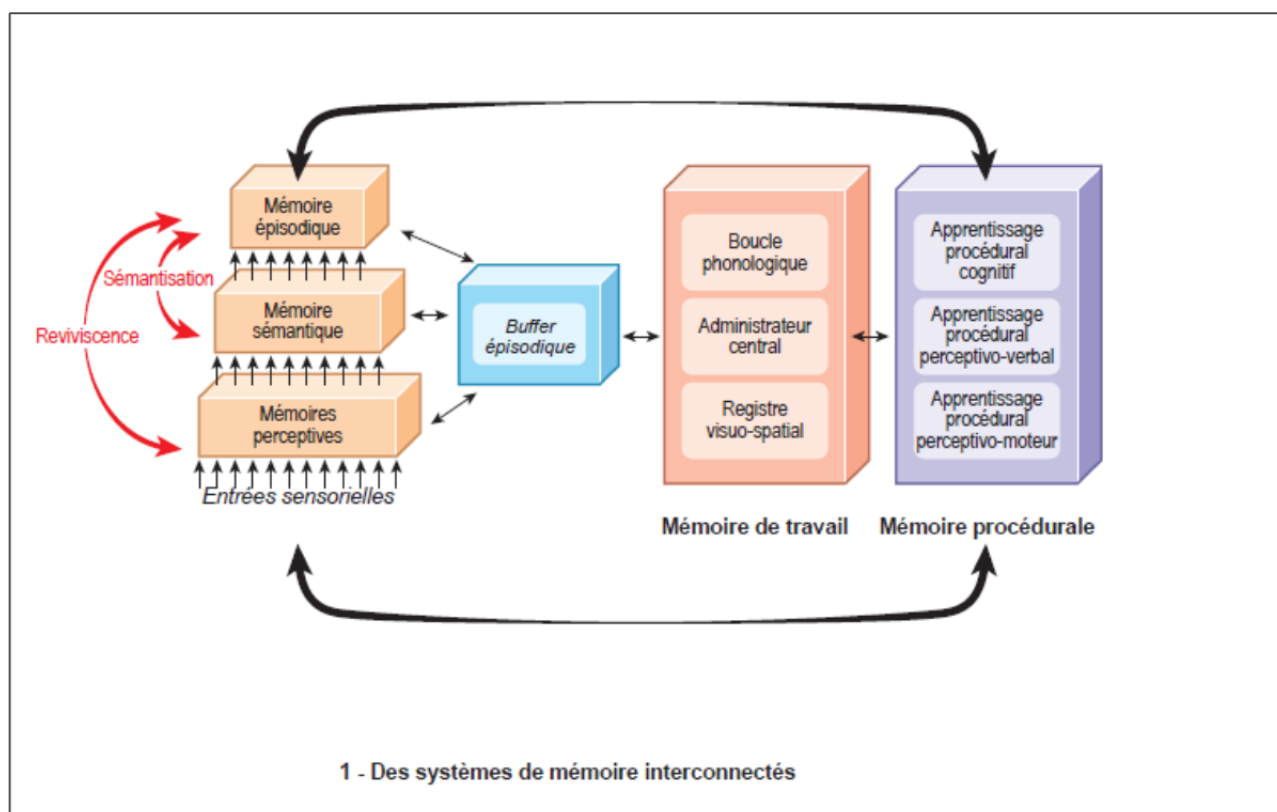
2 Soprano, A.M. & Narbona, J. (2009). La mémoire de l'enfant : développement normal et pathologique. Paris : Masson.

113 : Eustache, F. & Desgranges, B. (2003). Concepts et modèles en neuropsychologie de la mémoire : entre théorie et pratique clinique, In *Evaluation et prise en charge des troubles mnésiques*, T. Meulemans, B. Desgranges, S. Adam, F. Eustache (eds), Marseille : Solal, 13-49.

114a : Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford : Oxford University Press

5b : Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.

115 : Baddeley, A.D. (1999). *Essentials of human memory*. Hove : Psychology Press.



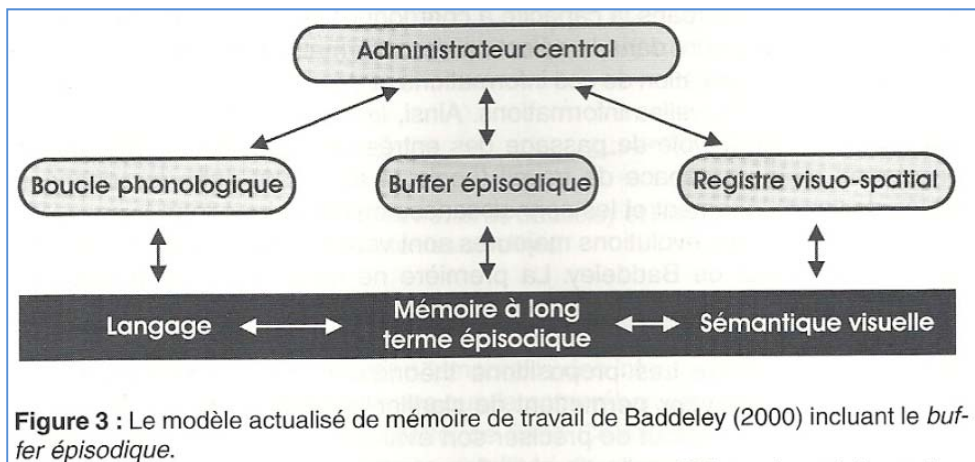
Légende : Voir *Science & Santé*, n°4, septembre-octobre 2011, page 24. Dans ce modèle de la mémoire MNESIS, Francis Eustache et Béatrice Desgranges mettent en avant son organisation en plusieurs systèmes, mais aussi son aspect constructif et dynamique. Au centre, le buffer (tampon en anglais) se rapproche de la notion de conscience de soi, puisqu'il est en prise directe avec les différents systèmes.

Les mémoires perceptives (i.e. registres sensoriels) :

Il s'agit d'un « type de mémoire spécifique chargé d'enregistrer les sensations (ce qui permet) l'exploration des caractéristiques physiques des objets. Elle est la résultante d'une activité neuronale très brève (de l'ordre de la milliseconde à 1 sec.) qui se maintient après qu'un stimulus lui a été transmis » (A.M. Soprano et J. Narbona, 2009).

Mémoire de Travail (MdT)

La mémoire de travail est constituée par un ensemble de processus permettant le maintien des informations en mémoire pendant quelques secondes. Par cette durée limitée du maintien en mémoire, elle est clairement distincte de la mémoire à long terme. Elle ne serait pas un système unitaire mais multiple en fonction de la nature des informations ainsi maintenues quelques secondes.



- La *boucle phonologique* est un sous-système de la MdT permettant le maintien temporaire de l'information verbalisable. Elle est constituée de deux composantes distinctes : un *stock phonologique* qui assure le stockage passif de l'information pendant une durée inférieure à 2 sec. env., et un *mécanisme de répétition subvocale* (ou articulaire) permettant de rafraîchir, grâce à cette répétition, l'information du stock phonologique au-delà de ces 2 secondes.
- Le *registre visuo-spatial* est l'équivalent de la boucle phonologique pour les informations visuo-spatiales. Il est également divisé en une sous-composante passive, appelée *stock visuel*, et une sous-composante de traitement actif, appelée *script interne*. La fonction du *stock visuel* est d'assurer le stockage passif des informations visuelles. Le *script interne* est le processus actif qui permet la transformation, la manipulation ou l'intégration des informations visuo-spatiales stockées.
- Le *buffer épisodique* enfin (i.e. *mémoire tampon*) est un système dynamique de *stockage temporaire* (au même titre que la boucle phonologique et le registre visuo-spatial), multimodal, et de *traitement simultané* des informations issues à la fois des différents sous-systèmes et de la mémoire à long terme aboutissant, par intégration, à une représentation épisodique unitaire.
- L'*administrateur central*, quant à lui, est considéré comme le système de contrôle qui interagit avec les sous-systèmes. Il est principalement impliqué dans la supervision et la régulation du système de la MdT.

Les mémoires à long terme

Il est actuellement admis de distinguer plusieurs types de mémoires à long terme (MLT) que l'on oppose deux par deux : « mémoire épisodique / mémoire sémantique » regroupées au sein de la mémoire déclarative (i.e. explicite), cette dernière étant opposée à la mémoire non déclarative (i.e. implicite) dite aussi mémoire procédurale.

Mémoire épisodique / mémoire sémantique

La *mémoire épisodique* est relative au souvenir des événements vécus par une personne, ces événements pouvant être situés dans l'espace et dans le temps. Ces événements peuvent avoir été vécus sans implication personnelle ou de façon personnellement significative. Cette dernière forme de mémoire épisodique est alors appelée *mémoire autobiographique*. Le rappel de son contenu provoque une impression de *reviviscence*.

La *mémoire sémantique* est relative à l'acquisition, la rétention et l'utilisation des connaissances sur le monde, ceci indépendamment de notre expérience personnelle. Les représentations sémantiques constituent ainsi le savoir général sur le monde : connaître le sens d'un mot, la capitale de la France, etc.... Son contenu est donc indépendant du contexte d'acquisition : elle est dépourvue de références spatio-temporelles et de résonance affective.

Ces deux types de mémoire, *épisodique et sémantique*, constituent la *mémoire déclarative* que l'on oppose alors à la *mémoire non déclarative, ou procédurale*.

Mémoire déclarative / mémoire procédurale (i.e. non déclarative)

La *mémoire déclarative* concerne donc, par définition, tous les événements de vie personnelle et toutes les connaissances, faits généraux sur le monde, que l'on peut ramener à la conscience verbalement ou non verbalement (images mentales), de façon ainsi dite « *explicite* ».

La *mémoire non-déclarative* concerne, par opposition, des « savoir comment », des « savoir-faire » *implicites* correspondant à des acquisitions liées à des apprentissages divers, ces acquisitions se caractérisant principalement par le fait qu'elles ne peuvent pas être racontées et qu'elles ne se produisent pas nécessairement de manière consciente. Il s'agit d'habiletés perceptives, motrices et cognitives acquises, auxquelles nous ne pouvons accéder que par *l'action*. Cette mémoire procédurale intervient, par exemple, lors de l'acquisition et de l'utilisation de compétences motrices (comme faire du vélo) ou encore lors de l'acquisition et de l'utilisation de routines cognitives comme celles mises en jeu dans les opérations arithmétiques.

Autres types de mémoire : la mémoire émotionnelle et la mémoire prospective

La *mémoire émotionnelle* concerne les souvenirs d'émotions en lien avec un événement. Elle induit une sensation pouvant prévaloir sur le souvenir conscient de l'expérience elle-même. L'épisode de la madeleine de Proust en est la plus célèbre illustration. A l'heure actuelle, certains chercheurs postulent l'existence d'un circuit cérébral spécifique en charge des souvenirs émotionnels, et qui fonctionnerait parallèlement à d'autres systèmes de mémoire.

Enfin, la *mémoire prospective* correspond à la capacité de se souvenir d'une action que l'on doit réaliser dans le futur. Elle fait partie de la mémoire épisodique autobiographique. Ce n'est pas un système mnésique à proprement parler, à l'inverse de ce qui est donc postulé pour la mémoire émotionnelle.

Les réseaux neuronaux concernés

Des réseaux neuronaux spécifiques sous-tendent les différents systèmes mnésiques spécifiques dont nous avons parlés. Il convient de dire rapidement un mot sur les bases cellulaires et moléculaires de la mémoire.

En 1949, D. Hebb à l'Institut de neurologie de Montréal a montré que si une synapse était activée de façon répétitive en même temps que le neurone postsynaptique génère des potentiels d'action, il allait se produire des changements dans la structure chimique, voire dans la morphologie de la synapse qui, à son tour, s'en trouvera renforcée, processus que l'on appelle actuellement **la potentialisation à long terme**.

Ainsi, sur le plan neurobiologique, les souvenirs sont encodés sous forme d'activités neuronales spécifiques dans de vastes réseaux de neurones distribués, sous forme de configurations spatio-temporelles. Ces motifs spatiaux (distribution topologique) et temporels (fréquence, rythme, cohérence des décharges neuronales) se propagent à différentes structures cérébrales pour constituer une collection de représentations appelées « *traces mnésiques* ». Le stockage à long terme de ces traces mnésiques repose alors sur des modifications des connexions entre neurones, les synapses, grâce à la *capacité de plasticité des neurones*.

Les données développementales

De la naissance à 3 ans

Durant la première année de vie, il convient de faire la distinction entre la *mémoire de reconnaissance* et la *mémoire de souvenir*.

Dans La *mémoire de reconnaissance* il s'agit de reconnaître un stimulus que l'on a déjà rencontré auparavant tandis que dans la *mémoire de souvenir* ce dernier est récupéré dans la mémoire à long terme en l'absence d'une nouvelle rencontre de ce stimulus

Il a été montré que la *mémoire de reconnaissance* est active pratiquement dès la naissance et qu'elle poursuit sa maturation durant la première année de vie en se développant de manière très importante au cours des 6 premiers mois (A.M. Soprano, 2009). Ainsi, le très jeune enfant est capable à 2 mois d'apprendre que de battre des pieds peut actionner un mobile dont la ficelle est attachée à l'un de ses pieds. Il identifie très bien les aspects thermo tactiles et gustatifs relevant des soins maternels, comme la chaleur et la texture du sein de la mère ou encore la tiédeur et le goût de son lait, à l'instar de son visage. *Cependant, il faut noter qu'à ces âges-là, il n'y a pas de perception consciente de la récupération mnésique.*

Relativement maintenant à la *mémoire de souvenir*, il convient de distinguer les données développementales relatives à la mémoire implicite et à la mémoire explicite.

C'est ainsi que « la mémoire implicite (i.e. non déclarative, procédurale) se développe dès les premiers mois de la vie, avec l'apparition de différents systèmes opérationnels qui sont préservés durant le reste de la vie adulte et de la vieillesse » (A.M. Soprano, 2009)². La mémoire implicite ne connaîtrait ainsi que peu de changements à l'inverse de la mémoire explicite qui se développerait au fur et à mesure que les enfants grandissent. Cette dernière apparaît vers l'âge de 8 mois

Au sein de cette mémoire explicite déclarative, il convient alors de distinguer l'évolution développementale de la mémoire sémantique, qui apparaît la première, de celle de la mémoire épisodique, ultérieure. M. Van der Linden (2009) précise ainsi qu'il « existe un consensus sur le fait que la mémoire sémantique se développe plus tôt que la mémoire épisodique. Les jeunes enfants commencent à acquérir des informations sémantiques très tôt dans la prime enfance ». Puis, de 8 à 18 mois, « les enfants deviennent conscients des choses, personnes, lieux et concepts qui ne sont pas immédiatement accessibles aux sens ». Ce n'est donc que vers l'âge de 7-9 mois que l'on peut parler de véritables souvenirs d'événements passés.

Il nous faut aborder ici la fameuse « amnésie infantile » : une majorité d'adulte n'a pas de souvenir précédant la période des 3 ans. Il apparaît que des enfants dans leur troisième année se souviennent d'événements s'étant passés au cours de leur deuxième année, jusqu'à 6 mois auparavant. Dès l'âge de 13-14 mois, un bébé est capable de conserver pendant plusieurs semaines des souvenirs d'événements (souvenirs pré-verbaux) dont il a été témoin, par exemple la construction d'un jouet. Après 3 ans, cette possibilité de rappel a disparu. Précisons ici que K. Nelson (1996)¹¹⁶ a bien montré que, bien au-delà des événements exceptionnels, les souvenirs d'un enfant de moins de 3 ans se focalisent sur les faits récurrents de sa vie quotidienne et qu'il est sensible aux perturbations de ses routines de vie.

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer cette « amnésie infantile ». Ainsi selon J. Narbona (2009) : 1) Durant les premières années de vie, les réseaux neuronaux de la mémoire explicite (particulièrement l'hippocampe) seraient immatures et ne permettraient donc pas son émergence ; 2) Il serait impossible de reconstituer des événements pré-verbaux sous forme narrative ; 3) les facteurs cognitifs : dans un premier temps, les expériences vécues sont remémorées comme des habitudes ou des scénarios au service de la compréhension et de la construction du savoir, et non comme des manifestations de la mémoire autobiographique ; 4) les facteurs sociaux : l'« amnésie infantile » est dépassée en interagissant et en partageant des souvenirs avec d'autres personnes.

De 3 à 5 ans (période pré-scolaire) et au-delà

Au cours de la période de 3 à 5 ans, les souvenirs réfèrent principalement plus au contenu d'une « mémoire naturelle » concernant les événements de vie quotidienne de l'enfant qu'à la « mémoire culturelle » de l'âge scolaire (K. Nelson, 1996). Ainsi, la mémoire

116 : Nelson, K. (1996). Memory development from 4 to 7 years, In A. Sameroff, MM Haith (eds). *The five to seven years shift*. Chicago : The University of Chicago Press.

autobiographique commence à se développer entre 3 ½ et 4 ans. C'est l'utilisation du langage comme « outil pour penser » qui va provoquer d'importants changements dans le développement de la mémoire à partir de 6 ans.

Par ailleurs, de l'enfance à l'âge adulte, selon J. Narbona, on peut penser que ce n'est pas tant l'augmentation des capacités mnésiques (taille du « disque dur » si vous voulez) qu'une meilleure utilisation de ces capacités reposant sur le développement de stratégies mnésiques, qui améliore les capacités de stockage et de récupération.

Développement de la mémoire prospective (MP)

Cette mémoire, relative à ce dont on doit se souvenir comme action à réaliser dans le futur, concerne « 50 à 70 % des défaillances mnésiques observables dans la vie quotidienne » (J. Narbona, 2009). C'est elle qui fait l'objet de la majorité des remarques sur la mémoire de leurs enfants, de la part des parents. Selon L. Kvavilashvili et al. (2001)¹¹⁷ : « des enfants de 2, 3 et 4 ans sont capables d'observer jusqu'à 80 % de réussite dans des tâches de MP, avec un intervalle de temps oscillant entre 5 minutes et 8 h, à condition que les tâches soient intéressantes et que leur degré de difficulté soit adapté à l'âge de l'enfant. (...) La variable âge n'intervient pas, les enfants de 2, 3 et 4 ans présentant des résultats similaires » (cités par J. Narbona, 2009).

Les troubles de la mémoire

Dans le cadre de cet ouvrage, nous allons simplement donner quelques éléments d'information sur les troubles de la mémoire.

Amnésies de développement et troubles de la mémoire épisodique

Les amnésies de développement se présentent dans un contexte neuropédiatrique d'atteintes lésionnelles des réseaux neuronaux supportant tel ou tel type de mémoire : par exemple des enfants ayant souffert d'une affection de nature anoxique (privation d'air) durant la période néo-natale ou durant la petite enfance, affection entraînant une atrophie sélective bilatérale des deux hippocampes, vont présenter un trouble de la mémoire épisodique repérable dans la vie quotidienne. Citons encore la sclérose hippocampique épileptique bilatérale précoce chez des bébés de 6 à 24 mois : ces enfants vont présenter notamment une détérioration du langage associée à une amnésie antérograde¹¹⁸ sévère concernant les événements, d'où une atteinte de la mémoire autobiographique. Il est également à noter les effets délétères sur la mémoire et les fonctions exécutives des épilepsies frontales et du POCS (syndrome de pointes-ondes continues pendant le sommeil lent).

Parmi les caractéristiques cliniques générales de ces amnésies de développement concernant les MLT, il existe majoritairement en leur sein une dissociation entre, d'une part, la mémoire épisodique qui est déficitaire, et d'autre part les mémoires sémantique et procédurale qui sont préservées.

117 : Kvavilashvili, L., Messer, D., Ebdon, P. (2001). Prospective memory in children : the effects of age and task interruption. *Developmental Psychology*, 37 : 418-430.

118 : Amnésie antérograde : trouble de la mémoire à court terme intéressant l'enregistrement de faits survenus depuis le début de l'atteinte cérébrale.

Enfin, relativement à la mémoire procédurale, il faut noter que les enfants avec autisme présentent un déficit de la mémoire procédurale. De même un tel déficit a été observé chez les adolescents présentant un syndrome de Williams, alors que les enfants atteints d'un syndrome de Down ne le présentent pas. Enfin, on peut observer des perturbations de cette mémoire procédurale chez des enfants présentant une dyslexie développementale.

Troubles mnésiques neurodéveloppementaux

Dans ce contexte, deux principaux troubles sont à considérer, l'un concernant donc la mémoire à long terme (MLT) épisodique déclarative, explicite et relative essentiellement aux éléments d'apprentissage didactiques / encyclopédiques, l'autre concernant la MdT dont les atteintes perturbent notamment la compréhension du langage oral comme du langage écrit et les apprentissages mathématiques.

Concernant les troubles de la MLT, J. Narbona (2009), M. Mazeau (2005) et M. Van der Linden (2009)¹¹ précisent que c'est l'entrée dans les apprentissages relatifs aux informations de nature didactique (les faits arithmétiques, tables de multiplication par ex., les leçons d'histoire et de géographie, l'orthographe d'usage, etc...) qui va révéler ce trouble de la MLT aux alentours de l'entrée en CE1 donc. En effet, c'est à ce moment-là, comme le dit M. Mazeau, que « les informations à mémoriser sont plus « didactiques / encyclopédiques » qu'auparavant en étant de ce fait affectivement neutre, ce qui demande un effort conscient de mémorisation à travers la mise en œuvre de stratégies de mémorisation par exemple.

Comme le précise M. Mazeau (2005) : « Il s'agit donc d'une pathologie « muette » durant les premières années de vie où prédominent les effets des mémoires procédurales, intactes, puis de la mémoire sémantique, également indemne. Les premiers signes ne sont guère perceptibles avant que l'enfant ne commence à être soumis à des apprentissages « arbitraires » et systématisés, c'est-à-dire vers l'âge de 6-8 ans », bien que les premiers apprentissages fondamentaux soient commencés en grande section de maternelle et cours préparatoire. En effet, la lecture et l'écriture sont relatives à des apprentissages d'ordre procédural. Le développement initial du langage écrit, tout comme celui du langage oral dans les années précédentes, s'effectue donc dans des délais normaux et selon des modalités sans particularité ».

Selon cet auteur, il s'agit d'un trouble très fréquent, peu connu, affectant de façon importante les apprentissages scolaires et donc à rechercher. C.M. Temple et P. Richardson (2004)¹¹⁹, dans une des rares études épidémiologiques existantes, évaluent à 5,9 % la proportion d'enfants d'âge scolaire susceptibles de présenter ce trouble mnésique. Notons que cette donnée de prévalence rejoint celles relatives aux divers troubles neurodéveloppementaux (TDAH, les différentes « Dys », etc...).

Du côté neuropédiatrique, c'est jusqu'à 10 % des enfants à risques précoces, comme les grands prématurés, qui vont présenter ce trouble de la MLT épisodique. Ces données indiquent assez la nécessité d'une investigation systématique.

Troubles de la mémoire de travail (MdT) verbale

119 : Temple, C.M. & Richardson, P. (2004). Developmental amnesia : a new pattern of dissociation with intact episodic memory, *Neuropsychologia*, 42 : 764-781.

Les déficits sélectifs de la mémoire à court terme verbale sont très rares en neuropsychologie de l'enfant. Ils se rencontrent en fait essentiellement au sein d'un certain nombre de troubles neurodéveloppementaux tels que des troubles spécifiques du développement du langage, les traumatismes crâniens, certains syndromes épileptiques (syndrome de Landau-Kleffner, syndrome de West).

Selon M. Mazeau (2005 avec d'autres auteurs, « ces enfants dont le déficit en MdT est intense (empan < 3 éléments) et électif, sont en grande difficulté de compréhension du langage conversationnel, de consignes longues comportant plusieurs éléments, d'explications fournies, etc... ». En effet « c'est la MdT qui permet la compréhension en temps réel des discours : les informations présentes à un moment donné en MdT sont les informations saisies linéairement (séquentiellement) au fil du déroulement du discours (suite de mots) et des informations prélevées en MLT et activées ponctuellement par tel mot, etc... ». Il va alors falloir maintenir actifs ces éléments et, sur ces éléments, effectuer un travail cognitif permettant l'accès, par extraction, au sens. Ces mêmes processus ont lieu pour le langage écrit afin d'accéder à la compréhension en temps réel des textes lus : l'enfant lit relativement bien, mais s'il a un problème en MdT, arrivé au bout du texte à lire (et ceci est d'autant plus vrai que le texte est plus long), c'est comme s'il n'avait rien compris à ce qu'il venait de lire.

Par ailleurs, comme les compétences phonologiques mobilisent fortement la MdT, on observe chez ces enfants d'importantes difficultés dans l'acquisition de mots nouveaux et dans la mobilisation de la voie d'assemblage en lecture.

Petite bibliographie pour aller plus loin

Courage, M.L., Cowan, N. (2009). The Development of Memory in Infancy and Childhood. Hove and New York : Psychology Press.

Mazeau, m. (2005). Neuropsychologie et troubles des apprentissages. Paris : Masson.

Meulemans, T., Desgranges, B., Adam, S., Eustache, F (2003). Evaluation et prise en charge des troubles mnésiques, Marseille : Solal.

Schacter, D.L. (1996). A la recherche de la mémoire : le passé, l'esprit et le cerveau (1999). Bruxelles : De Boeck Université

Soprano, A.M., Narbona, J. (2007). La mémoire de l'enfant : développement normal et pathologique. Paris : Masson

Les Fonctions exécutives

Introduction

Les fonctions exécutives sont souvent considérées comme représentant un « *construit* » rassemblant plusieurs fonctions cognitives de haut niveau représentant « l'apogée à la fois de l'évolution et du développement mental » (A.R. Aron, 2008)¹²⁰, tout au moins en l'état actuel de l'évolution de notre branche *Hominidés*...

Chef d'orchestre de la totalité des autres fonctions cognitives au sein desquelles elles interviennent, elles constituent ainsi un « ensemble de processus permettant à un individu de réguler de façon intentionnelle sa pensée et ses actions afin d'atteindre des buts, ceci lorsque la tâche est nouvelle ou complexe » (N. Chevalier, 2010)¹²¹.

Ce sont A.D. Baddeley et G.J. Hitch (1974)¹²² qui en firent la première description sous l'appellation « central executive » (administrateur central) au sein de leur modèle théorique de la mémoire de travail. L'idée de l'existence de ces fonctions cognitives a été la conséquence des observations de sujets cérébrolésés frontaux dont le plus célèbre est Phineas P. Gage (1823-1860), contremaître des Chemins de Fer travaillant dans le Vermont aux E.U. au moment de l'accident, ayant subi un traumatisme frontal majeur auquel il a survécu, un bourroir lui ayant traversé le crâne au niveau des lobes frontaux endommageant surtout le lobe frontal gauche. Dans le même registre, en 1890-91, H. Oppenheim a associé des changements perturbateurs de la personnalité à des atteintes orbito-frontales et mésiales (frontal interne).

Les fonctions exécutives permettent d'exercer un contrôle intentionnel sur sa pensée et ses actions en supervisant la mobilisation de toutes les autres fonctions cognitives engagées dans une action orientée vers un but dans deux situations : 1) lorsqu'il n'existe pas de routine (i.e. d'automatisme cognitif) ou quand celles-ci sont inappropriées à l'action parce que cette dernière est nouvelle ; 2) lorsque l'activité est complexe (notion de surcharge cognitive).

Avec d'autres auteurs, D. Hongwanishkul et al. (2005)¹²³ distinguent encore des fonctions exécutives *hot (chaudes)* quand elles s'appliquent à des situations avec enjeux émotionnels ou motivationnels, et des fonctions exécutives *cool (froides)* quand elles s'appliquent à des problèmes abstraits ou décontextualisés.

La classification actuelle des fonctions exécutives est la suivante :

120: Aron, A.R. (2008). Progress in Executive function Research: From tasks, to functions to regions to networks. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2):124-9

121 : Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : concepts et développement. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51: 3, 149-163

122 : Baddeley, A.D., Hitch, G.J. (1974). Working memory. In : Bower, G.A. (Ed), *Recent Advances in Learning and Motivation*. New York : Academic Press

123 : Hongwanishkul, D., Happaney, K.R., Lee, W.S.C., Zelazo, P.D. (2005) Assessment of hot and cool executive function in young children: age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, 28: 2, 617-644

- *L'inhibition de la réponse* : les processus d'inhibition ont pour but d'empêcher des informations non pertinentes de venir perturber la tâche en cours : a) *inhibition des réponses non pertinentes* (par ex. d'une réponse motrice ou verbale)
- *La fonction de mise à jour* : Elle recouvre la modification du contenu de la mémoire de travail en fonction des nouvelles entrées.
- *La flexibilité cognitive* : Elle représente la capacité de déplacer volontairement le foyer attentionnel d'une catégorie de stimuli à une autre, comme le passage volontaire d'un processus cognitif à un autre. Cette fonction exécutive considérée comme complexe entretient des liens très étroits avec la fonction d'inhibition, la fonction de mise à jour et la fonction d'orientation attentionnelle : elle se développe sur leur base tout en étant bien distincte.
- *La planification de l'action* : Elle concerne la capacité de construire mentalement un plan et de séquencer ses actions en vue de la réalisation d'un objectif spécifique.
- *La fluidité mentale (générativité/créativité)* : Elle concerne les capacités de créativité, c'est-à-dire les capacités de générer différents mots, dessins, différentes idées, etc... tous différents les uns des autres. Elle est souvent mesurée par des tests de fluence verbale avec laquelle la fluidité verbale est souvent confondue. *La fluence verbale* désigne le nombre de mots que le sujet peut exprimer en un temps donné et selon une consigne donnée. La fluence verbale dépend notamment des capacités élocutoires et articulatoires (organes fonctionnels) mais également des capacités cognitives du sujet (capacités mémorielles, intégratives, exécutives...). *La fluidité verbale* ne concerne que l'aspect élocutoire et articulatoire : débit de la parole, rythme de la parole, aisance à la lecture ou à la répétition de discours... Ainsi, la fluidité verbale est altérée chez un patient souffrant de bégaiement.

On peut également présenter ces fonctions comme comprenant :

- « L'élaboration d'un plan incluant l'estimation du point de départ, du point d'arrivée et des stratégies intermédiaires pour s'y rendre » (*planning*);
- La prise de décision impliquant la capacité de choisir l'action la plus appropriée pour atteindre le but visé (*volition*);
- Le jugement dans lequel intervient l'évaluation des options les plus pertinentes (*purposive action*);
- L'autocorrection qui assure le contrôle et le maintien de la programmation jusqu'à son achèvement complet (*effective performance*) » (F. Lussier et J. Flessas, 2009),

Ce que P.D. Zelazo (2011), à l'instar d'A.R. Luria (1980)^{4b}, énonce comme « Imaginer, Planifier, Exécuter et Evaluer » répartissant ainsi en sous-fonctions ce qu'il appelle « *La Fonction Exécutive* ». *Imaginer*, c'est : se représenter le problème, que faut-il faire ? Qu'est-ce qui m'empêche de le faire ? *Planifier*, c'est trouver un plan pour résoudre le problème ; *Exécuter*, c'est mettre en œuvre le plan et *Evaluer*, c'est évaluer l'efficacité de la solution. Pour lui, « La fonction exécutive orchestre toutes ces sous-fonctions » dans le contexte de la résolution de problèmes.

Comme pour le système attentionnel, les différentes composantes du système exécutif sont fonctionnellement indépendantes, mais intrinsèquement en étroite interaction dans une tâche

donnée. C'est ainsi que dans leur recherche princeps, A. Miyake et al (2000)¹²⁴ ont montré que trois fonctions exécutives « classiques » (de mise à jour, de flexibilité et d'inhibition) se distinguaient certes clairement l'une de l'autre, mais qu'elles n'apparaissaient pas complètement indépendantes et posséderaient quelques processus en commun, d'où le titre de leur article : *L'unité dans la diversité*. C'est cette conception qui semble donc émerger actuellement comme étant la plus probable.

Données développementales

Quelques données préliminaires

1) Il est bien établi que le développement des fonctions exécutives est lié aux processus de maturation du cortex préfrontal dans ses diverses composantes concernées (cortex préfrontal dorsolatéral, orbito-frontal et médian), du cortex cingulaire antérieur, mais également aux processus de maturation du cortex pariétal supérieur et des ganglions de la base.

E. E. Nelson and A. E. Guyer (2011)¹²⁵ notamment, ont montré que le rythme de maturation du cortex préfrontal est particulièrement intense entre 2 et 6 ans, cette maturation jusqu'à son apogée étant toutefois plus tardive et plus longue que pour les autres régions du cerveau en ne s'achevant que vers la fin de l'adolescence : « Cette longue maturation du cortex préfrontal semble accompagner l'efficacité croissante des fonctions exécutives jusqu'à la fin de l'adolescence » (N. Chevalier, 2010).

Par ailleurs, le processus de myélinisation est linéaire pendant l'enfance et l'on sait qu'il se poursuit du postérieur vers l'antérieur cérébral. Les régions préfrontales sont donc les dernières concernées. Or, il est admis que la substance blanche (tissu du système nerveux central, principalement composé d'axones associées (ou non) à des gaines de myéline) relie différentes aires de la substance grise où se situent les corps cellulaires des neurones. Ce processus permet la connectivité des différents réseaux neuronaux. Il est associé à l'augmentation progressive des capacités fonctionnelles de la substance grise (J.H. Bernstein et D.P. Waber, 2007)¹²⁶

Nous insistons ici sur ce point dans la mesure où les fonctions exécutives reposent sur de larges réseaux neuronaux distribués à grande échelle impliquant bien d'autres structures que le cortex préfrontal, telles le cortex pariétal, temporal et des structures sous-corticales (ganglions de la base - noyaux gris centraux), thalamus). Les études de tracking (visualisation du tracé) des faisceaux de la substance blanche sont donc particulièrement importantes pour comprendre les liens entre ces différentes régions et leurs processus de maturation fonctionnelle.

124 : Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks : A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.

125 : Nelson, E.E. & Guyer, A.E. (2011). The Development of the Ventral Prefrontal Cortex and Social Flexibility. *Dev Cogn Neurosci.*, 1(3): 233-245.

126 : Bernstein, J.H. & Waber, D.P. (2007). Bernstein, J. H., & Waber, D. P. (2007). Executive capacities from a developmental perspective. In L. Meltzer (Ed.), *Executive function in education: From theory to practice* (pp. 39-54). New York, NY: Guilford Press.

2) Des facteurs influençant le développement des fonctions exécutives se trouvent également dans l'interaction entre l'environnement et la structuration anatomo-fonctionnelle du cerveau via les processus de plasticité cérébrale ;

3) Il existe aussi un impact du développement du langage, comme nous le verrons un peu plus loin, sur le développement des fonctions exécutives (P.D. Zelazo, 2011 ; J.H. Bernstein et D.P. Waber, 2007). C'est ainsi que « des effets bénéfiques des verbalisations ont été rapportés dans des épreuves mettant en jeu de l'inhibition, de la flexibilité ou encore de la planification. En outre, les enfants dont les capacités langagières sont plus avancées présentent généralement aussi un avantage en ce qui a trait aux fonctions exécutives » (N. Chevalier, 2010).

4) Enfin, il a été montré que les variables socio-économiques modulent le développement des fonctions exécutives. Il est possible que le statut socio-économique influence les compétences langagières qui, à leur tour, médiatisent l'efficacité des fonctions exécutives, ceci étant compatible avec l'impact du langage sur le développement des fonctions exécutives.

Il convient maintenant de s'intéresser au développement des trois principales fonctions exécutives : l'inhibition, la mise à jour (mémoire de travail) et la flexibilité. Le développement de la fonction exécutive de planification (organisation) à l'âge scolaire sera également abordé étant donné son importance pour les apprentissages scolaires.

L'inhibition

Il a été montré que cette fonction exécutive apparaissait très tôt, dès les premiers mois de vie de l'enfant.

A 8 mois, il est connu que les bébés peuvent aller chercher un jouet que l'on vient de cacher sous un tissu. Pour P.D. Zelazo (2011), ce geste témoigne de la mise en œuvre d'une fonction exécutive parce que le bébé a gardé à l'esprit le jouet et qu'il pose un geste (retirer le tissu) pour faire un autre geste (retrouver le jouet). La pensée consciente contrôle le geste orientée vers un but.

Dans le même paradigme du jouet caché, un enfant de 8 mois a néanmoins du mal à résoudre la tâche dite « A-non B » depuis J. Piaget qui l'a mise au point en 1954 : dans cette tâche, on cache un jouet sous un tissu en A. Il y a un deuxième tissu présent en B. Après quelques essais réussis dans la mesure où l'enfant va chercher le jouet en A où il se trouve effectivement, on le cache devant lui en B. Un enfant de 8 mois va alors commettre fréquemment l'erreur de continuer à chercher le jouet en A, erreur dite de persévérance.

C'est à partir de 12 mois que les enfants vont pouvoir inhiber la réponse prépondérante en allant chercher le jouet en B. Cette donnée converge avec les résultats obtenus à d'autres épreuves d'inhibition motrice montrant que cette dernière est efficace à partir de 12 mois.

Néanmoins, si l'on complique le schéma expérimental en augmentant (jusqu'à 5) le nombre de cachettes, les enfants jusqu'à 2 ans continuent à commettre des erreurs de persévérance (P.D. Zelazo, 2011). C'est alors le développement du langage qui permet de réduire ce type d'erreur.

Après 3 ans, durant la période pré-scolaire, il est souvent utilisé des épreuves de type stroop adapté (dire « nuit » devant l'image du soleil et « jour » devant l'image de la lune) ou encore de type go/no-go (donner une réponse pour un type de stimulus et ne pas donner de réponse pour un autre type de stimulus). A ces deux types d'épreuves, il est observé d'importants progrès entre 3 et 6 ans. Ceci nous rappelle les importants progrès en contrôle attentionnel (attention exécutive) observés entre 3 et 7 ans, ces résultats étant à mettre en relation.

Pour l'âge scolaire, A. Roy (2007)¹²⁷ a synthétisé les résultats d'un certain nombre d'études à propos de cette maturation de l'inhibition selon les diverses tâches proposées pour la mettre en évidence. Ainsi, entre 6 et 15 ans, on observe avec l'âge des progrès marqués dans la réussite des tâches d'inhibition, mais les niveaux de maturité sont très hétérogènes selon la tâche -test utilisée, avec des courbes développementales diverses d'une tâche ou d'une version à l'autre, voire pour une même tâche selon les auteurs.

La mémoire de travail : maintien et mise à jour

A 6 mois, les bébés se souviennent de l'endroit où ils ont vu disparaître le jouet, ceci après un délai pendant lequel l'expérimentateur leur a présenté des informations non pertinentes, ce qui est une manifestation précoce de la MdT.

Avec des épreuves d'empan à l'envers (répéter une série de chiffres dans l'ordre inverse de celui donné) et d'empan complexe (par exemple rappeler des chiffres et des lettres présentées dans le désordre en les remettant dans l'ordre numérique et alphabétique), on observe une hausse linéaire progressive des performances de 3 à 11 ans, âge auquel le rendement est proche de celui de l'adulte.

Par ailleurs, A.S.C. Thorn et S.E. Gathercole (1999)¹²⁸ précisent à propos des deux composantes de la boucle phonologique (stock phonologique et mécanisme de répétition sub-vocale) que le stock phonologique est présent dès 2-3 ans, alors que le processus de répétition sub-vocale n'apparaît que vers l'âge de 7 ans.

Relativement au calepin visuo-spatial, il a été montré qu'à partir de 7-8 ans, les enfants utilisent préférentiellement la voie phonologique pour encoder et stocker des images : ils nomment les objets présentés pour les retenir plutôt que de mémoriser leurs aspects visuo-spatiaux (forme, orientation, etc...). Selon A.S.C. Thorn et S.E. Gathercole (1999), ceci serait un des facteurs les plus importants de l'accroissement de l'efficacité fonctionnelle en association avec l'amélioration des capacités attentionnelles, celle de la vitesse de traitement et le recours à des stratégies de mémorisation.

La flexibilité cognitive

Les épreuves les plus souvent utilisées réfèrent au paradigme dans lequel l'enfant doit traiter des formes ou des couleurs ou des nombres de formes en fonction de la consigne donnée, ceci pendant un certain temps, puis changer en fonction d'une nouvelle consigne. « Dans ce

127 : Roy, A. (2007). Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type 1 approche clinique et critique thèse de doctorat – tome i psychologie école doctorale d'Angers

128 : Thorn, A. S. C., & Gathercole, S. E. (1999). Language-specific knowledge and short-term memory in bilingual and non-bilingual children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 303-324.

type de tâche, la plupart des enfants de 3 ans parviennent à trier une série de cartes en fonction d'une dimension initiale (par ex., la couleur) sur plusieurs essais, mais échouent à changer de dimension (par ex., la forme), et persèverent dans l'utilisation de la dimension initiale. Par contraste, les enfants de 4-5 ans réussissent généralement à effectuer cette bascule. Ces résultats suggèrent que les capacités de flexibilité cognitive connaissent un très fort développement durant la période préscolaire, en particulier de 3 à 4 ans » (N. Chevalier, 2010).

Entre 7 et 15 ans, on observe la progression de la maturation de cette fonction.

Données développementales pour les tests de planification

Entre 6 et 15 ans, « les effets liés à l'âge témoignent d'une amélioration progressive et constante des capacités de résolution de problèmes et d'organisation visuoconstructive de l'enfance à la fin de l'adolescence, certaines données témoignant cependant d'un ralentissement marqué des progrès à l'adolescence » (A. Roy, 2007).

Remarques conclusives importantes sur ces données développementales :

Nous pouvons constater que les études développementales des fonctions exécutives chez l'enfant et l'adolescent confirment que celles-ci sont simultanément diverses, partiellement indépendantes, mais en interaction permanente étroite.

Au final, contrairement à ce que l'on pensait sur l'efficacité du contrôle exécutif qui ne l'aurait été qu'à l'adolescence, les données rapportées montrent que des formes de contrôle exécutif efficace sont observées dès le 12^{ème} mois de vie. Les progrès concernant les différentes fonctions exécutives sont constants tout au long de l'enfance et de l'adolescence, même si la période préscolaire de 3 à 6 ans est le théâtre des plus forts. Ce développement des fonctions exécutives est donc relativement long et se caractérise par des trajectoires développementales de plus en plus différenciées avec l'âge. Ces dernières se termineraient à l'âge adulte seulement.

Les troubles des fonctions exécutives

L'importance des fonctions exécutives se trouve dans le rôle qu'elles jouent vis-à-vis de l'ensemble des autres fonctions cognitives non automatisées, en particulier dans les apprentissages, la créativité et la fonction adaptative du sujet.

C'est ainsi que le rôle des fonctions exécutives dans les apprentissages scolaires a été bien documenté. On pourra consulter L. Meltzer et K. Krishnan (2007)¹²⁹ pour une revue des difficultés d'apprentissage en lien avec des dysfonctionnements exécutifs.

129 : Meltzer, L. & Krishnan, K. (2007) Executive Function Difficulties and Learning Disabilities: Understandings and Misunderstandings, In Lynn Meltzer, (Ed) *Executive Function in Education : from theory to practice*, New York : The Guilford Press.

Nous aborderons ici brièvement les deux principaux troubles des fonctions exécutives générant des demandes d'évaluation et d'intervention neuropsychologique : le TDAH et le syndrome dysexécutif.

Nous avons déjà abordé le TDAH à propos des fonctions attentionnelles et de leurs troubles. Il s'agit bien d'un syndrome dysexécutif particulier, en ce que les conceptions actuelles en font la conséquence d'un déficit d'inhibition de la réponse retentissant sur diverses autres fonctions exécutives. Le profil cognitif des enfants présentant un TDAH met en évidence des déficits exécutifs centraux concernant donc l'inhibition de la réponse, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et la planification de l'action (Marie-Claude Guay et Pierre Laporte, 2006). C'est ainsi que le TDAH peut être considéré comme étant un trouble dysexécutif (Pennington et Ozonoff, 1996 ; Rapport et al., 2001, Sergeant et al., 2002 ; Shallice et al., 2002 ; Willcutt et al., 2005).

Concernant le « syndrome dysexécutif », c'est en 1986 qu'A. Baddeley a consacré cette expression pour désigner un ensemble de dysfonctions portant sur un ensemble de fonctions exécutives (planification/organisation, flexibilité, contrôle de l'inhibition, initiation du comportement, production de réponses, mise à jour MdT).

Petite bibliographie pour aller plus loin

- Chevalier, N. (2010). *Les fonctions exécutives chez l'enfant : concepts et développement*. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51: 3, 149-163
- Flessas, J. Lussier, F. (2006). *L'attention et les fonctions exécutives*, Actes du Symposium du Centre d'Evaluation Neuropsychologiques et d'Orientation Pédagogique, Montréal .
- Godefroy, O. et les membres du GREFEX (eds) (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques*, Marseille : Solal éditeur.
- Meulemans, T., Collette, F. et Van der Linden, M. (eds) (2004), *Neuropsychologie des fonctions exécutives*, Marseille : Solal.
- Oddy, M., Worthington, A. (2009). *The Rehabilitation of Executive Disorders : A guide to theory and practice*, Oxford, New York : Oxford University Press.
- Zesiger, P. (2009). *Les troubles de l'attention et des fonctions exécutives*. In M. Poncelet, S. Majerus et M. Van der Linden (eds). *Traité de neuropsychologie de l'enfant*, Marseille : Solal éditeur.

Conclusions

Le cerveau de l'enfant : un chantier en permanent remaniement

Le cerveau, sa connectique (et donc ses performances) sont en constant remaniement (plasticité cérébrale) sous l'influence des interactions avec l'environnement et des entraînements (apprentissage, au sens large du terme). Laisser la diversité de l'organisation du cerveau qui rend unique chaque individu (l'organisation générale du cerveau étant, elle, régie par le bagage génétique de l'espèce). La plasticité cérébrale est ainsi à l'origine de réorganisations fonctionnelles qui se traduisent par de nouveaux apprentissages, et ce tout au long de la vie, autorisant une adaptation souple et efficace. Cependant, ce remodelage permanent, cette dynamique cérébrale, sont d'autant plus importants que le sujet est plus jeune.

Surtout, chez le bébé puis chez l'enfant, ils contribuent à la construction progressive de fonctions sensori-motrices et cognitives indispensables pour mener une vie autonome et s'inscrire dans les exigences habituelles de nos sociétés (relations sociales, apprentissages scolaires, puis professionnels).

Nous avons tenté de montrer, de façon schématique et synthétique, comment les progrès des sciences cognitives, ces cinquante dernières années, nous avaient donné des clés pour mieux comprendre comment se développent, évoluent et grandissent les enfants.

Mais approcher de plus en plus finement la compréhension des mécanismes qui président au développement du cerveau du petit homme n'est pas seulement intellectuellement satisfaisant : cela donne aussi des clés irremplaçables pour appréhender de façon plus efficace les « pannes » électives qui caractérisent le groupe des troubles cognitifs développementaux. Ces pathologies n'étaient pas le sujet de ce séminaire ; de nombreux ouvrages s'y consacrent, que chacun peut consulter. L'objectif était bien, en amont, de donner à chacun la possibilité d'en comprendre les ressorts cachés, à la lumière de l'avancée de nos connaissances chez les enfants tout-venant.

Ainsi, nous avons succinctement abordé les différentes fonctions cognitives, leur développement et leurs troubles, que nous pouvons schématiser ainsi :

	ATTEINTE COMPETENCES PRECOCES	ATTEINTE CAPACITES « DE RECYCLAGE »
TR. COGNITIFS GLOBAUX	- Déficience mentale - Cognition sociale : TED ou tr. du spectre de l'autisme Ne sont PAS des dys	
TR. COGNITIFS SPECIFIQUES	- Décodage perceptions : Dys(ou a)-gnosies - Organisation gestuelle : TAC - Langage oral : Dysphasies - Sens du nombre : Dyscalculie « vraie » - Mémoires : Dysmnésies - Attention : TDA/H + Syndrome Dys-exécutif Fonctions spécifiques transversales	- Gestes culturels : Dyspraxies - Langage écrit : Dyslexies + Dysorthographies - Dyscalculies-symptômes Troubles spécifiques des apprentissages

TAC = troubles d'acquisition des coordinations – TDA/H = trouble déficitaire de l'attention, avec ou sans hyperactivité

Cependant,

- Il ne faut jamais oublier que les compétences précoces, génétiquement déterminées, ne sont que des « outils » pour initier/décoder/connaître/comprendre le monde : se connaître et connaître son environnement *dépend tout autant de la qualité de ces outils que de la qualité (l'adéquation) des échanges que l'enfant noue avec son environnement* (physique, affectif, social). Les fonctions cognitives qui se développent à partir de ces prémisses ne sont pas innées (seules les prémisses le sont). Ces fonctions ne sont donc in fine ni totalement « innées », ni totalement « acquises » : elles sont *et* innées et acquises, dans une relation circulaire d'étroite interdépendance.

- Les différents diagnostics de « trouble cognitif développemental » ne représentent pas non plus un « destin » : c'est *la conjonction* des difficultés repérées, des étayages plus ou moins adaptés fournis par l'environnement (affectif, scolaire, rééducatif) et des fonctions préservées (leur nature, leur qualité) qui constitue la configuration, unique pour chacun, déterminante pour le pronostic personnel, scolaire et social.

Des stratégies générales pour les jeunes atteints de troubles cognitifs développementaux

En neuropsychologie, *diagnostic et stratégie thérapeutique sont étroitement liés* : le « diagnostic neuropsychologique » n'est en effet pas autre chose que l'élucidation (ou la tentative d'élucidation) des mécanismes qui sous-tendent le ou les symptôme(s). Or c'est ce que nous croyons comprendre de la nature des troubles de l'enfant qui oriente les propositions d'aides faites à l'enfant.

Ces préconisations doivent intégrer plusieurs des notions que nous avons développées et que nous rappelons brièvement, car elles doivent prendre une place fondamentale lorsqu'est pensé, avec l'enfant et sa famille, le projet thérapeutique : la plasticité cérébrale, la recherche d'un étayage pertinent et enfin la notion de tâches automatisées versus tâches contrôlées.

La plasticité cérébrale

Ce phénomène – la possibilité de modifier les connexions entre neurones – peut aussi intervenir pour « reconfigurer » certains réseaux qui seraient « dys-fonctionnants », par exemple sous l'effet d'entraînements spécifiques, autorisant ainsi un certain remodelage et certaines récupérations. C'est le but des rééducations et des différents types de remédiations (cognitives, psychothérapeutiques, pédagogiques, éducatives) qui sont proposées aux enfants atteints de ces troubles cognitifs développementaux.

Cependant, leur objectif n'est pas tant la « normalisation » (la guérison ?) de l'enfant, que de lui permettre une meilleure adaptation, une intégration sociale de qualité et un épanouissement personnel satisfaisant à ses yeux.

Un étayage adapté : accumulation vs sélection, juxtaposition vs organisation

Le développement cognitif de l'enfant ne consiste pas seulement en une accumulation de neurones et/ou de connexions : la mort neuronale, encore appelé apoptose, est un phénomène très important qui intervient tout au long de la vie mais avec une intensité particulière lors des premières années et *contribue au développement* cérébral en *sélectionnant* les réseaux les plus pertinents pour une meilleure adaptation dans notre environnement. De même, les connexions inter-neurales peu efficaces ou inutiles sont élaguées au profit des interconnexions les plus utilisées, les plus précises, les plus rapides, les plus efficaces.

Il en est de même en ce qui concerne les stimulations environnementales (« naturelles », pédagogiques ou rééducatives) : il convient de proposer des aides *ciblés*, des étayages *pertinents*, des informations bien choisies, et non pas « toujours plus » dans tous les domaines, et en permanence.

Ainsi la juxtaposition de propositions thérapeutiques, aussi raisonnables qu'elles semblent individuellement au regard de tel ou tel symptôme gênant, ne saurait remplacer des objectifs clairs et *coordonnés*, issus d'une *synthèse* de l'ensemble des faiblesses et des forces de l'enfant dans son milieu (famille, école, ...).

A vouloir toujours plus et souvent trop dans tous les domaines, on risque au contraire de proposer ce que nous avons appelé « toujours plus de la même chose qui ne marche pas¹³⁰ », et d'épuiser l'enfant sans qu'il ne puisse faire sienne une démarche véritablement satisfaisante, qui lui permette de se construire.

130 : Mazeau M. & Le Lostec C., 2010, L'enfant dyspraxique et les apprentissages, Masson.

- *Tâches automatisées versus tâches de contrôle : « les doubles-tâches »*

Nous avons beaucoup insisté, à diverses reprises, sur la nécessité constante, pour obtenir des performances correctes, qu'une grande partie des tâches cognitives soit gérée de façon automatique, non consciente.

On dit qu'une tâche est automatisée lorsqu'elle ne nécessite plus aucun (ou peu de) contrôle conscient (contrôle attentionnel) pour être réalisée de façon convenable : seule l'intention du sujet, son projet, est conscient (qu'il s'agisse du langage, du geste, de la mémorisation, etc.). Les tâches habituelles, routinières, bien maîtrisées par le sujet (après apprentissage et/ou entraînements) deviennent normalement automatisées.

Ceci permet de dégager un maximum de « ressources cognitives » (attentionnelles) pour des activités plus complexes (souvent dites « de haut niveau »), de consacrer l'essentiel de nos ressources attentionnelles à la réflexion, la compréhension, les projets d'interactions (avec l'autre, avec l'environnement), la prise de décision ou la résolution de problèmes (au sens large) pour faire face à des situations nouvelles ou inédites (fonctions exécutives).

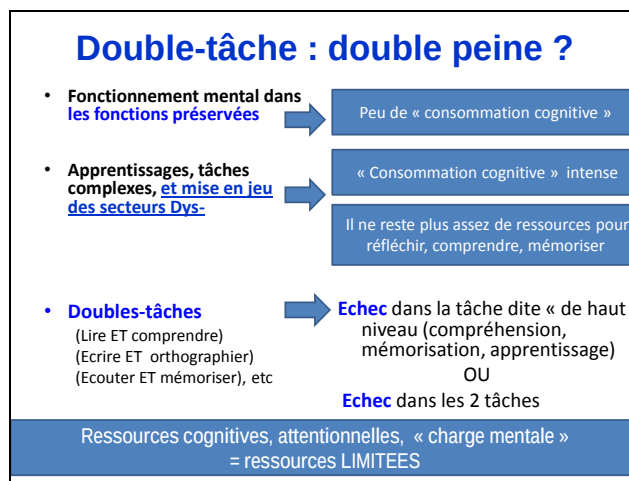
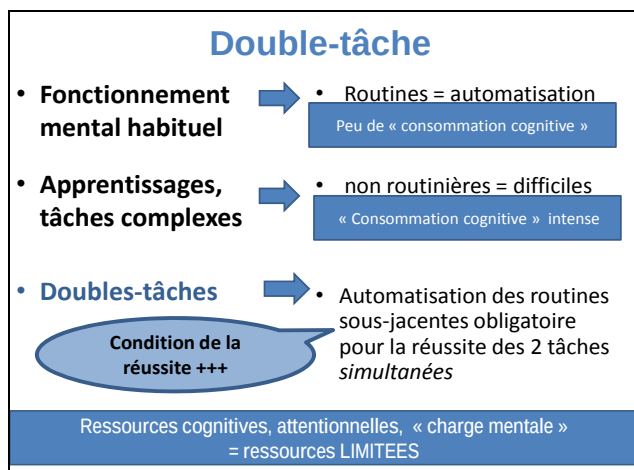
Or, les ressources attentionnelles d'un sujet ne sont pas extensibles à l'infini, ni même selon sa volonté : elles constituent un « réservoir » *limité*. Cette notion est fondamentale : il y a des limites à l'effort cognitif, attentionnel que peut fournir quelqu'un.

Par définition, les tâches *en cours d'apprentissage* sont « difficiles » pour le sujet ; elle réclame beaucoup d'efforts, sont fatigantes, et ce, jusqu'à ce qu'elles soient parfaitement maîtrisées c'est-à-dire jusqu'à leur automatisation. C'est le cas bien sûr de toutes les tâches scolaires, *en cours d'apprentissage* chez l'enfant (fig. a).

C'est aussi le cas, pour *les enfants atteints de troubles cognitifs*, de toutes les tâches qui sollicitent peu ou prou la ou les fonctions cognitives déficitaires (fig. b). Ainsi, chaque fois que l'on sollicite les fonctions « dys » de l'enfant, cette tâche réclamera toujours de sa part un effort cognitif, *un contrôle attentionnel*, responsable d'une grande *fatigabilité* souvent sous-estimée.

Il faudra donc être très vigilant à ne pas mettre l'enfant « en double tâche » : en effet, puisque l'enfant est obligé d'allouer l'essentiel de ses ressources attentionnelles à la tâche dans laquelle il se trouve en difficulté, il ne lui restera plus assez de ressources cognitives pour conduire *simultanément* d'autres tâches intellectuelles (comprendre, réfléchir à l'orthographe, planifier un texte, faire des liens sémantiques, déduire raisonner,...).

Or, *en situation scolaire*, la plupart du temps, ce sont ces tâches intellectuelles dites « de haut niveau » qui sont *l'objectif* réel de l'apprentissage et sur lesquelles l'enfant sera jugé in fine. Concrètement, cela signifie que l'on ne pourra pas demander *simultanément* à un enfant dysgraphique d'écrire et de faire attention à l'orthographe, ou bien à un enfant dyslexique de déchiffrer un texte et de le comprendre ou de le mémoriser, etc.



Il faudra donc bien distinguer

- la situation de rééducation, où l'on cherche à réduire autant que possible le symptôme gênant, et où l'enfant est en général en simple tâche (celle que l'on cherche à faire travailler),
- la situation scolaire, génératrice par nature de « doubles-tâches » au sein desquelles il faudra savoir préciser clairement quelles sont les priorités (ce qui le plus souvent incite à l'utilisation d'un palliatif, afin de donner priorité aux tâches intellectuelles, de haut niveau).

Quelques préconisations communes à l'ensemble des dys

En premier lieu, il convient de bien *distinguer déficience et handicap*

La déficience (globale ou élective) réfère au diagnostic (un jeune dysphasique a une déficience dans un ou plusieurs secteurs langagiers, etc.). Au contraire le handicap est la *conséquence*, la répercussion de la déficience dans la vie (quotidienne, scolaire) du sujet. Le handicap est la résultante de la nature de la déficience et de son intensité, mais aussi des exigences du milieu et des adaptations éventuellement déjà mises en place (ex : le jeune dysphasique a un handicap de communication, ou d'accès à la langue écrite, ...).

Il est fondamental de réaliser que les actions, aussi bien rééducatives que pédagogiques et psychologiques, doivent viser *prioritairement* le handicap.

En situation d'apprentissage il faudra *repérer et éviter les doubles-tâches*, les pallier, les contourner, afin de permettre à l'enfant de s'emparer du savoir ou du concept auquel il doit accéder ;

Il est également indispensable de s'appuyer sur, (voire de sur-utiliser), *les fonctions préservées*. Non seulement l'enfant pourra ainsi construire des apprentissages solides dans de bonnes conditions, mais il pourra bénéficier de compétitions positives avec ses pairs, restaurer ainsi une image de lui valorisante, puis se projeter de façon gratifiante dans son avenir.

Enfin pour mener au mieux la scolarité, il faudra, dans tous les domaines, organiser *la collaboration* soins-école-famille, et ce *dans la durée* (plusieurs années successives).

Les recherches dont nous nous sommes modestement fait l'écho, les progrès des neurosciences et sciences cognitives au cours de ces 50 dernières années, ont donné accès à une meilleure compréhension de l'enfant, de son développement, de ses apprentissages, de son évolution. Pourtant beaucoup reste encore à découvrir : de nouvelles voies sont ouvertes en permanence par les chercheurs qui non seulement répondent à d'anciennes questions mais aussi en (re)-formulent sans cesse de nouvelles.

Comprendre le développement et le fonctionnement *normal* du cerveau de l'enfant est la première des conditions pour appréhender les différences – quantitatives et/ou qualitatives – qui affectent certains enfants et leur proposer des aides pertinentes.

Nous espérons, par ce séminaire et les écrits qui l'accompagne y avoir contribué.

Glossaire

1-Système, structure, fonction, cognition

Les trois premières notions sont en lien très étroits. Un **système** peut être défini comme un **ensemble d'éléments en interaction**, la définition fonctionnelle d'un **élément** correspondant à « toutes les caractéristiques qualitatives et quantitatives de cet élément nécessaires pour rendre compte du rôle et du comportement de cet élément dans le système étudié » (P. Delattre, 1985)ⁱ. La notion de « **structure** » exprime *l'arrangement* des éléments d'un système. Cette notion est donc incluse dans celle de système qui est plus large. Dès lors, la notion de **fonction** se définit comme étant *l'expression dynamique de la propriété d'une structure*, un réseau neuronal par exemple. En bref, *une fonction exprime les propriétés d'une structure. Ici, nous parlerons d'expression fonctionnelle cognitive des propriétés des réseaux neuronaux structuraux en interaction constituant le système neurocognitif*. Ainsi, une fonction cognitive émerge du fonctionnement des réseaux neuronaux structurels dont elle constitue une propriété. C'est de l'expression d'un certain nombre de fonctions cognitives qu'émergent à leur tour les comportements au sein d'un environnement donné. Ces niveaux d'émergence interagissent continuellement entre eux.

2- Module cérébral

On appelle module, « un sous-ensemble d'unités du réseau, tel que les connexions entre ces unités sont plus denses que les connexions avec le reste du réseau. (...). (C'est ainsi) que les fonctions cérébrales reposent sur la coordination d'une mosaïque d'assemblées neuronales, distribuées sur l'ensemble du cerveau, et connectées fonctionnellement au sein d'une même structure dites « modulaire » (M. Chavez et al., 2006)^j. M. Mazeau (2003)^j peut ainsi préciser qu'« un « module » cérébral, lui-même généralement constitué de sous-modules organisés en une architecture propre à chaque fonction cognitive, est défini par :

1. des réseaux de neurones et d'associations entre de aires cérébrales spécialisées reliées par des voies spécifiques ;
 2. Et une unité de fonctionnement définie par trois éléments :
 - le type d'information prise en compte, ce qui caractérise les « entrées » propres à chaque module
 - le type de traitement appliqué à ces informations : les traitements appliqués sont *séquentiels* (par exemple pour le matériel linguistique) ou holistiques, globaux, *simultanés* (par exemple pour le matériel visuo-spatial)
 - le résultat de ces traitements, en termes d'opérations mentales réalisées : gestion des gestes (praxies), décodage de la signification des stimuli afférents (gnosies), traitement linguistique (compréhension, expression), mémorisation (permanente ou provisoire), etc...
- Les travaux de Y. Fan et al. (2001)ⁱ sur les réseaux neuronaux chez le jeune enfant et les travaux de K. Supekar et al. (2009)ⁱ sur le développement des réseaux neuronaux distribués à grande échelle chez les enfants et les adolescents ou encore de D. A. Fair et al. (2009)ⁱ permettent d'avancer les idées forces de ce développement :

Les données neurodéveloppementales relatives aux réseaux neuronaux :

3- Ces processus de plasticité-éclaircissent les données observées lors du développement des réseaux neuronaux de l'enfant à l'adulte.

L'organisation va en se complexifiant et en se densifiant par le biais de réorganisations caractérisées par le passage d'une connectivité courte-distance durant les premières années à une connectivité longue-distance, par une densification de la connectivité, par une augmentation du volume de la substance blanche et par une modification de l'organisation hiérarchique et de la connectivité inter-régionale. Ainsi, K. Supekar et al. (2009)⁷ ont constaté que chez l'enfant, les zones sous-corticales sont plus fortement liées aux zones sensorielles primaires, associatives et paralimbiques, alors que chez le jeune adulte la connectivité cortico-corticale est plus forte avec les zones paralimbiques, limbiques et associatives. Ils ont constaté également que le développement des réseaux neuronaux distribués à grande échelle est caractérisé par un affaiblissement de la connectivité à « courte-portée » en lien avec un renforcement de la connectivité à « longue-portée ». Ces résultats retrouvent ceux obtenus par D.A. Fair et al. (2009)⁸ montrant que le développement des réseaux neuronaux fonctionnels se fait d'une organisation locale à une organisation distribuée à grande échelle (from a « local to distributed » organisation).

Le langage, le calcul, l'action, la mémoire, l'attention, la planification, la résolution de problèmes forment cet ensemble complexe que l'on appelle la cognition humaine. Le cerveau en est l'organe et les progrès importants réalisés par l'ensemble des neurosciences éclairent de mieux en mieux les processus neurocognitifs qui sont à l'œuvre dans les apprentissages et dans l'adaptation de l'être humain à son environnement.

Un nouveau séminaire Ketty Schwartz est consacré aux fonctions cognitives chez l'enfant. Ce séminaire est destiné aux associations de parents, et à toutes les associations concernées par les conséquences de certaines maladies ou handicaps sur la cognition. Il vise à présenter une vue d'ensemble, généraliste et synthétique des fonctions cognitives, s'appuyant sur le socle des connaissances issues de la recherche. Que fait une «fonction» cognitive quand elle fonctionne, et que se passe-t-il lorsqu'il y a des défaillances ? Comment parle-t-on ? Que faut-il mobiliser pour réaliser un geste ? Que faut-il apprendre pour écrire ou calculer ? Comment interagissent toutes les mémoires ? Qu'est ce qui se joue lorsque l'on prête attention à quelque chose ?

Comité éditorial

Ghislaine Dehaene, Pédiatre, Directrice de Recherche CNRS, Unité Inserm 562 "Neuro imagerie Cognitive" CEA/SAC/DSV/DRM/NeuroSpin

Francis Eustache Professeur de psychologie à l'université de Caen, Directeur laboratoire Inserm U 923

Anne-Lise Giraud, Laboratoire de Neurosciences Cognitives, DEC, ENS

Christine Gétin, Présidente de l'Association HyperSupers - TDAH France

Nathalie Groh, Fédération française des dys

Valérie Hahn-Barma, Centre de Recherche de l'Institut du Cerveau et de la Moelle Epinière

Lucie Hertz Pannier, Administrative de l'Apetreimc et de la Fondation Motrice

Roger Picard, Président Fondation Denise Picard

Et avec la participation d'Anne Jouvenceau, Chargée de mission de l'ltmo Neurosciences, sciences cognitives, neurologie et psychiatrie de l'Aviesan

Calendrier

Lundi 2 avril 2012

Mercredi 9 mai 2012

Lundi 14 mai 2012

Lundi 4 juin 2012

Mercredi 12 septembre 2012

Lundi 12 novembre 2012

Mardi 15 janvier 2013

Mercredi 13 février 2013

Mardi 19 mars 2013

Mercredi 15 mai 2013

Lundi 17 juin 2013

Organisation

Le séminaire se déroule sur une journée, de 9h à 17h au siège de l'Inserm, Paris 13^{ème}.

Les frais de voyage des participants habitant hors Ile de France sont pris en charge par l'Inserm, sur la base du train 2^{ème} classe.

Les pauses-café et le déjeuner sont servis sur place.

Inscriptions

www.associations.inserm.fr

<http://www.inserm.fr/associations-de-malades/inscription-au-seminaire-fonctions-cognitives-chez-l-enfant>

ou par courrier, ou par fax (01 44 23 60 68), à l'aide du bulletin ci-joint.

Lieu de la formation

Inserm, 101 rue de Tolbiac, Paris 13^e - Métro Olympiades (ligne 14)