

Pyramide des fonctions d'intégration : une base pour la compréhension du développement des capacités d'interaction, d'interactivité et de conscience de soi.

O Gorgy, psychomotricien DE, philosophical doctorat (phd) Sciences du mouvement humain, formateur, conférencier.

olivier.gorgy@hotmail.fr

www.sensoted.fr

48, rue Breteuil 13006 Marseille



Cet article s'inscrit dans la continuité des publications SensoTED concernant son apport à la compréhension des processus du développement de l'enfant

Elaboré dans le cadre de l'évaluation clinique des troubles liés aux apprentissages et au développement de l'enfant



SensoTED EDITION ©

Résumé : Williams et Shellenberger (1996) ont proposé une pyramide des apprentissages qui montre l'importance de la fonction intégrative du système nerveux central pour le développement des fonctions sensorimotrices, perceptivo-motrices et cognitives. Ce modèle fonctionnel aide mieux à comprendre le lien fondamental entre intégration sensorielle et développement mais il n'est pas très explicatif sur les processus d'intégration pluri sensorielle et sur le développement des fonctions affectives, émotionnelles et psychomotrices. Ainsi, nous tentons au travers de cet article de proposer un modèle appelé pyramide des fonctions d'intégration. L'objectif de ce modèle est de nous aider à mieux comprendre comment l'enfant développe ses capacités d'interaction, d'interactivité et de conscience de soi sur une base d'intégration sensorielle, psycho-affective et psychomotrice.

Mots clefs : intégration sensorielle, développement psychomoteur, apprentissage, modèle des fonctions d'intégration

Abstract : Williams and Shellenberger (1996) proposed a learning pyramid that shows the importance of integrative function of the central nervous system for the development of sensorimotor, perceptual motor and cognitive functions. This functional model helps to better understand the fundamental link between sensory integration and development, but it is not very explanatory on the processes of multi-sensory integration and the development of affective, emotional and psychomotor functions. Thus, we try through this article to propose a model called pyramid of integration functions. The purpose of this model is to help us better understand how the child develops his or her abilities of interaction, interactivity and self-awareness on the basis of sensory, psycho-emotional and psychomotor integration.

Key words : sensory integration, psychomotor development, learning, model of integration functions

Resumen : Williams y Shellenberger (1996) propusieron una pirámide de aprendizaje que muestra la importancia de la función integradora del sistema nervioso central para el desarrollo de las funciones sensitivomotoras, perceptivas motrices y cognitivas. Este modelo funcional ayuda a comprender mejor el vínculo fundamental entre la integración sensorial y el desarrollo, pero no es muy explicativo sobre los procesos de integración multisensorial y el desarrollo de las funciones afectiva, emocional y psicomotora. Por lo tanto, intentamos a través de este artículo proponer un modelo llamado pirámide de funciones de integración. El propósito de este modelo es ayudarnos a comprender mejor cómo el niño desarrolla sus habilidades de interacción, interactividad y autoconciencia sobre la base de la integración sensorial, psico-emocional y psicomotora.

Palabras clave : integración sensorial, desarrollo psicomotor, aprendizaje, modelo de funciones de integración

I – Intégration sensorielle et développement de l'intelligence

L'intégration sensorielle est la capacité qu'a le système nerveux central de filtrer et de traiter les informations sensorielles afin de potentialiser les processus impliqués dans le développement et les apprentissages. La théorie de Jane Ayres (2005) va dans ce sens, placer l'intégration sensorielle comme une base capitale au développement des processus d'apprentissages. Dans cette perspective elle déclare : *"Society is placing more emphasis on language, academic, and intellectual development, and less on building the sensorimotor foundations for these higher functions."* (Ayres, 2005, p. 141). Ce paradigme introduit une nouvelle compréhension du développement de l'intelligence, celui de considérer le développement des fonctions d'intégration sensorielle et sensorimotrice comme essentiel à la potentialisation des fonctions mentales supérieures.

Lorsqu'en France les théories psychanalytiques imprègnent le champ de la pédopsychiatrie, le courant conceptuel de l'intégration sensorielle va infiltrer à partir des années soixante-dix toute la neuro-pédiatrie américaine. Ce courant issu de la neurophysiologie va s'imposer et permettre de voir éclore dans les années quatre-vingt-dix le questionnaire de Dunn (1997) concernant l'évaluation des désordres de la modulation sensorielle (DMS), le modèle neuro-développemental de Williams et Shellenberger (1996) reliant les processus d'intégration sensorielle à la construction de l'intelligence sensorimotrice, ainsi qu'une nosologie des désordres des processus sensoriels (DPS) afin d'aider au diagnostic complet entre problèmes de discrimination sensorielle, sensorimoteur et de modulation sensorielle (Miller, 2007).

Cette orientation théorique de placer les processus d'intégration sensorielle comme base du développement de l'enfant apparaît en accord avec la théorie Piagétienne du développement de l'intelligence (1992) ainsi qu'avec l'approche sensorimotrice de Bullinger (2004). En effet, la phase dite sensorimotrice de Piaget résume l'interdépendance précoce du développement moteur avec l'intégration des sensorialités. Au travers des réactions dites circulaires l'enfant expérimente ses sensorialités et crée des boucles sensorimotrices répétitives entre action et conséquences sensorielles de ses actions ce qui le mène vers la voie de l'accommodation, de l'assimilation et de l'équilibration notions dédiées à l'intégration des habiletés. Le processus d'intégration sensorielle est à l'origine de la formation de la boucle perception-action qui crée des mémoires de fonctionnement. C'est ce que les neuroscientifiques nomment les modèles internes des apprentissages qui relie le niveau sensorimoteur et cognitif du contrôle de l'action (Paillard, 1985).

Durant l'enfance la construction des apprentissages dépend grandement des boucles sensorimotrices qui se forment durant l'état d'éveil. Il a été montré (Fattinger et coll., 2017) que les enfants ont des ondes du sommeil (thêta) durant l'état de veille ce qui montre qu'ils sont comme en état hypnotique durant l'observation éveillée des expériences de veille. Ces ondes spécifiques sont marquées par leur forte amplitude de recrutement de différents neurones qui marque une mémoire de recrutement associatif très importante. Il est aussi vrai que le cerveau humain est marqué par le développement du cortex associatif par rapport aux primates non-humains (Donahue et coll., 2018 ; 80% du cortex étant associatif dont 30% de lobe frontal). Ainsi, l'intelligence humaine qui se développe par le fonctionnement des boucles sensorimotrices intenses durant l'enfance va se démarquer de celle du primate non-humain

par sa capacité d'intégration pluri-sensorielle associative au service du développement de capacités cognitives uniques et singulières.

II – L'intelligence, une construction à base sensorielle, sensorimotrice et psychomotrice

L'intégration sensorielle est un processus universel attaché au développement qui établit un lien fondamental entre sensorialité et intelligence. Certains auteurs soulignent (Gallese et Lakoff, 2005) que les systèmes sensorimoteurs sont inclus dans les processus de la cognition de par l'intermodalité sensorielle qu'entretiennent certaines aires. Les traitements sensorimoteurs et cognitifs sont reliés par des réseaux de neurones communs ou interagissant ce qui paraît aussi vrai pour l'influence de l'émotion sur la cognition motrice (Zhu et Thagard, 2002). On considère actuellement que ce que l'on nomme développement de l'intelligence correspond à une potentialisation d'interactions entre différents systèmes neuronaux dynamiques qui regroupent un niveau sensorimoteur, émotionnel et cognitif dont l'objectif est de réguler conjointement le comportement et les apprentissages.

Les processus sensoriels et sensorimoteurs sont déterminants dans la régulation de la cognition qui a quant à elle un rôle crucial dans la régulation et l'utilisation de l'émotion pour la motivation de l'action. Dans ce lien entre cognition et émotion, les émotions sont vues comme une valeur représentative cruciale de l'intentionnalité de l'action. « Les émotions sont des perceptions affectives. Leur affect leur donne une force de motivation et elles peuvent rationaliser leurs actions car, comme la perception, elles ont un contenu intentionnel représentatif » (Döring, 2003).

Le cortex associatif préfrontal agit à la fois comme centre de traitement des émotions négatives et aussi comme régulateur des régions limbiques impliquées dans la réponse émotionnelle (Etkin et coll., 2011). Le cortex frontal est considéré comme un centre d'intégration à part entière qui offrirait des modèles d'activité afin de réguler les réponses des autres réseaux de neurones (Miller et Cohen, 2001) : « Ils fournissent des signaux de polarisation à d'autres structures cérébrales dont l'effet net est de guider le flux d'activité le long des voies neurales qui établissent les correspondances appropriées entre les entrées, les états internes et les sorties nécessaires à l'exécution d'une tâche donnée ».

Il a été identifié chez les autistes (Sinclair et coll., 2017) que le filtrage sensoriel est altéré dans le réglage des seuils neurologiques qui régulent les processus de sensibilisation-habitude essentiels pour l'adaptation sensorielle du sujet avec son environnement. Cette impossibilité de réguler les flux sensoriels entrants va déclencher soit une hyper-réactivité émotionnelle de par les effets sensoriels indésirables vécus, ou bien un état d'hypo-réactivité rendant la personne autiste passive et sans grande réactivité émotionnelle et sociale.

Le fonctionnement neurosensoriel est capital pour la régulation des états d'éveil affectivo-émotionnel qui sont eux-mêmes essentiels pour le maintien de l'état de vigilance, d'attention-concentration à la base du fonctionnement de la mémoire de travail (Mikels et coll., 2008 : « The working memory system may include domain-specific components that are specialized for the maintenance of affective memoranda »).

Dans le cas des enfants TDAH il a été montré qu'ils développent des dysfonctionnements de la modulation sensorielle (DMS) comparés à des enfants typiques du même âge (Mangeot et coll., 2001). Environ un tiers des enfants ayant une précocité intellectuelle sont atteints de DMS et ceci crée chez eux d'importantes difficultés au quotidien (NAGC, 2012-2015) sans parler des troubles sensorimoteur et cognitivo-moteur qui les affligent (présence de

dyspraxie, de dysgraphie ainsi que de troubles posturaux-moteurs et tonico-moteurs associés).

Tous ces éléments cliniques apparaissent converger vers l'existence d'un lien entre les processus de modulation des sensorialités et la potentialisation de l'intelligence émotionnelle, motrice et cognitive. Dans ce sens une « homéostasie sensorielle » apparaît indispensable afin d'obtenir une « homéostasie affectivo-émotionnelle » permettant d'optimiser la régulation des fonctions sensori-motrices, perceptivo-motrices, psycho-motrices et cognitives.

III - La pyramide des apprentissages de Williams et Shellenberger (1996)

Ce modèle issu de la neurologie clinique a été développé aux USA dans les années 90 et rejoint les théories de la régulation des processus sensoriels comme base essentielle au développement de l'intelligence.

Dans ce modèle neuro-développemental la sensorialité intéroceptive (proprioception musculaire, tactile, vestibulaire) et extéroceptive (vision, audition olfaction, gustation) représente la fondation du développement. L'intégration sensorielle est une nécessité à la maturation des processus sensorimoteur (sécurité posturale, conscience des deux côtés du corps, planification motrice, habileté de discrimination, maturité réflexe, schéma corporel) qui constitueront eux-mêmes une base pour les fonctions perceptivo-motrices (coordination œil-main, contrôle oculomoteur, ajustements posturaux, fonctions d'attention, perception visuospatiale, boucle audio-phonologique) et cognitives (régulation du comportement, fonctions d'autonomie au quotidien, apprentissages scolaires).

Ce modèle de conception américaine est entièrement conçu selon une vision fonctionnaliste qui de par son historique omet la dimension psycho-affective et psychomotrice du développement. Du fait que dans une conception française il est inconcevable de nier l'impact de la dimension affective et émotionnelle sur le développement (Terriot, 2013, p. 6) nous proposons une extension de ce modèle en reliant l'intégration pluri-sensorielle à la construction des premières intégrations psychomotrices qui utilisent le système émotionnel ainsi que son substrat affectif.

Nous rappelons que concernant l'impact de l'émotionnel et de l'affectif sur le développement il est impératif de considérer l'apport de la psycho-endocrinologie (Gauthier, 1981). Comme le dit clairement le Pr Gauthier : « Que l'on ait à considérer la croissance de l'enfant, la manière dont il grandit, les diverses phases de sa morphologie, ses mouvements, ses réactions émotionnelles, son langage, toutes ses pensées, il faut, absolument et toujours, remonter à leur source physiologique et principalement glandulaire » (Gauthier, 1981, p.12). Ainsi, l'intégration sensorielle apparaît comme un vecteur indissociable de l'animation hormonale à l'origine de la dynamique émotionnelle et de la structuration des comportements.

IV – Origine et fondement clinique de la pyramide des fonctions d'intégration

Nous exposons ici une nouvelle approche par un modèle appelé « pyramide des fonctions d'intégration » qui a pour objectif d'étendre le modèle fonctionnaliste originel de Williams et Shellenberger (1996) à la réalité affective, émotionnelle et psychomotrice du développement.

L'Humain n'est pas une machine même si la cybernétique tente de s'y rapprocher (Tual, 2016), ce qui fait que « l'intelligence artificielle peut simuler les sentiments, mais elle ne peut pas les dupliquer ». « Les organismes artificiels sont sans vie » (Damasio, 2017). Nous Humains sommes dotés d'un système émotionnel et affectif qui apparaît à la base de la régulation de nos apprentissages et comportements mais aussi à l'origine de notre intelligence. « Les émotions sont à l'origine de la culture que nous sommes capables de fabriquer... les arts, les sciences et les technologies viennent d'une nécessité de réponse qui vient des émotions » (Damasio, 2017). Cette réalité nous incite à inclure dans notre modèle développemental un lien interactif entre l'intégration pluri-sensorielle associative, l'intégration affective et émotionnelle, et l'intégration psychomotrice au service de l'avènement des fonctions d'interaction et d'interactivité permettant d'ouvrir le champ de la conscience de soi comme processus ultime de la pensée et de la réalisation de l'Humain.

Il est constaté (Biederman et coll., 1991) que le TDAH (trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité) est associé en comorbidité avec d'autres troubles de la catégorie de l'anxiété, des troubles de l'humeur, des troubles des conduites, des troubles de l'opposition et des troubles des apprentissages. Les auteurs concluent que le TDAH ne peut être considéré comme une seule entité clinique homogène mais plutôt comme une entité clinique hétérogène regroupant des causes et facteurs de risques multiples. En effet, le contexte étiologique complexe du TDAH associe un dysfonctionnement cognitif à une difficulté de régulation psycho-sensorielle, psycho-émotionnelle, psycho-affective et psychomotrice. De même, dans certaines pathologies du développement comme l'autisme, et plus spécifiquement chez les autistes de haut niveau de fonctionnement cognitif, il a été constaté chez eux une forte prévalence à développer des troubles de l'anxiété et de l'humeur (Kim et coll., 2000) sans oublier qu'ils associent souvent des troubles psychomoteurs importants (Rogers et Benetto, 2002). L'association entre troubles sensorimoteurs et les pathologies du développement (autisme et troubles d'acquisition des coordinations motrices) montre aussi qu'il existe un lien précoce entre les processus sensori-moteur et le développement (Pieck et coll., 2004). Ainsi, le modèle que nous présentons apparaît adapté à la réalité des pathologies cliniques du développement et des apprentissages envisagées car il tente de relier l'intégration pluri-sensorielle à la construction psycho-affective, psycho-motrice, psycho-cognitive et psycho-comportementale.

V – Description de la pyramide développementale des fonctions d'intégration (schéma 1)

Le modèle proposé repose sur la conception d'intégration neurologique ou synaptique*, ce qui suppose l'intégrité des structures neurologiques ainsi que de leur fonctionnement.

*Intégration neurologique ou synaptique (Encyclopédie Universalis, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/nerveux-systeme-le-neurone/7-l-integration-synaptique/>): les neurones sont soumis en continu à la fois à une activité synaptique excitatrice (qui dépolarise) et inhibitrice (qui hyperpolarise). Les effets de l'activation d'une seule synapse peuvent durer de quelques millisecondes à quelques minutes selon le type de protéines réceptrices qui y sont situées. Le niveau de dépolarisation (ou d'hyperpolarisation) des neurones correspond à la somme de toutes ces influences synaptiques. Le neurone fonctionne comme une unité de prise de décision de transmission. Il « intègre » les messages

synaptiques envoyés. Il « décide » de transmettre un signal lorsque la somme des influences synaptiques dépolarise suffisamment l'axone pour engendrer un potentiel d'action.

La pyramide compte dix niveaux, et nous allons procéder à une description sommaire de ses différents niveaux.

Niveau 1 : *Intégrations sensorielles primaires*. Il s'agit ici des intégrations uni-modales qui résultent de la mise en fonctionnement des différents canaux sensoriels extéroceptifs et intéroceptifs (aires corticales primaires). Les intégrations sensorielles primaires auront comme fonction de développer les premières activités neurosensorielles et de stimuler la fonctionnalité des connexions neurologiques. Les informations sensorielles primaires sont attachées aux propriétés physiques de l'objet comme par exemple pour la vision focale les couleurs, les formes, les orientations.

Niveau 2 : *Intégration intermodales primaires*. Il s'agit ici des premières associations sensorielles faites dans les aires corticales. Les associations sensorielles commencent très tôt dans les couches neuronales des aires primaires afin de favoriser l'adaptation comportementale au contexte (Wang et coll., 2008). Ces premières associations sensorielles permettent de stimuler une fonctionnalité intermodale de base ceci pour faire émerger les premières perceptions de l'objet. Un objet sera ainsi vu et touché dans sa forme ce qui est une première construction perceptive bimodale. Cette évolution de la sensorialité vers la perception va faire évoluer les fonctions d'interaction entre le sujet et l'environnement.

Niveau 3 : *Intégration psycho-affective et sensori-psychomotrice primaire*. Les premières intégrations sensorielles et pluri-sensorielles ont un impact sur les systèmes physiologiques et vont permettre de déclencher la réactivité psycho-émotionnelle, psycho-affective, psychomotrice et psycho-cognitive. La sensori-motricité se mêle ici à la construction psychologique avec les notions de plaisir-déplaisir qui active ou désactive l'interaction motrice. Les premières activités sensori-psychomotrices sont en relation avec les systèmes endocrines. Les systèmes neurologiques associatifs (cortex occipito-temporo-occipital, cortex frontal et cortex hippocampo-limbique) vont se coordonner avec les neuro-hormones (système hypothalamo-hypophysaire). Se coordonne ainsi des processus d'interaction réciproque entre différents réseaux neuronaux responsables d'intégration sensorielle, émotionnelle, affective, motrice et cognitive. On pourra voir émerger dans ce contexte les processus d'imitation et de communication non verbale permettant de développer les premières interactions socio-relationnelles (vocalisations, jeux buccaux, sourire, mimiques).

Niveau 4 : *Intégration perceptivo-psychomotrice primaire*. Les intégrations sensori-motrices se complexifient de par l'association sensorielle ce qui crée les associations perceptivo-motrices. Soutenues par l'émergence des intégrations psycho-affectives et émotionnelles primaires vont se développer les premières fonctionnalités d'interactivité ou d'intégrations perceptivo-psychomotrices. Les processus perceptivo-moteurs et psychomoteurs s'associent afin de soutenir les fonctions d'imitation précoce, de communication et de relation avec l'environnement.

Niveau 5 : *Intégration perceptivo-spatiale primaire*. Le résultat des associations perceptivo-motrices sera de former des cartes spatiales reliant les espaces visuel, auditif et proprioceptif.

La fonction d'interaction se perfectionne de par la potentialisation du repérage spatiale entre le corps et l'environnement. De là, les fonctions d'interactivité avec le milieu vont se développer et s'optimiser avec l'émergence de la différenciation que le nourrisson fait entre lui, l'objet et l'autre.

Niveau 6 : *Intégration des fonctions spatio-psychomotrices*. Les cartes spatiales doivent se coordonner pour que se développe les fonctions spatio-motrices dont le rôle sera d'optimiser les fonctions de construction de la géométrie du corps et de l'environnement, de la géographie corps-environnement, de la discrimination corps-objet-environnement. Ceci permettra d'optimiser les fonctions d'interactivité sujet-environnement de par le développement du sentiment d'incarnation proprioceptif (Roll et Roll, 1993). Roll (2003) souligne le « rôle fondateur (« constituant », disait Husserl) de la sensibilité proprioceptive, à la fois pour l'intelligence du corps et pour la nécessaire coalescence des espace corporel et extracorporel ».

Niveau 7 : *Intégration psycho-affective et perceptivo-psychomotrice*. Le fait de pouvoir augmenter ses capacités d'interaction et d'interactivité va immerger l'enfant dans de multiples expériences affectives, émotionnelles et motrices. Le développement psycho-affectif et psychomoteur va prendre de l'essor de par l'impact que ces expériences corps-environnement vont lui apporter. Ainsi peut se développer à ce moment une affirmation du soi en rapport avec le sentiment d'incarnation pour mieux discerner l'objet et ainsi libérer sa pensée pour mieux le manipuler et le contrôler. Damasio (1999, p. 198) parle d'une conscience-noyau, « processus qui consiste à réaliser une configuration neuronale et mentale rassemblant, presque au même instant, la configuration de l'objet, la configuration de l'organisme, et la configuration de la relation entre les deux ».

Niveau 8 : *Intégration des fonctions cognitives*. La cognition prend un essor important du fait que tous les processus intégratifs évoqués aux précédents niveaux auront pour finalité de soutenir le développement de la cognition spatiale, verbale, motrice et sociale. L'esprit et la psychè (en termes de formation des représentations perceptives et de la stabilité psycho-affective et émotionnelle) rejoignent le corps construit et incarné ce qui peut ainsi libérer la pensée (en termes d'utilisation des processus cognitifs) à ses occupations de construction de sa relation au monde. Les procédures peuvent être intégrées et permettre de mener à bien la réalisation des planifications idéo-motrices ceci aidant à affirmer l'autonomisation.

Niveau 9 : *Intégration des fonctions d'apprentissages*. La potentialisation des fonctions cognitives va constituer l'outil essentiel aux apprentissages. La pensée réflexive, analytique, synthétique, l'intuition et l'imagination soutenus par l'équilibre psycho-affectif et psychomoteur vont optimiser les apprentissages et servir à adapter la régulation du comportement, de l'autonomie au quotidien et des apprentissages scolaires.

Niveau 10 : *Intégration des fonctions méta-affective/méta-motrice/méta-cognitive*. Le développement des fonctions d'apprentissages ouvre le sujet au monde du savoir et de la découverte du sensible (en termes de vécu interne de son mode de fonctionnement confronté au fonctionnement du monde). Ainsi, commence la construction de processus supérieurs d'adaptation à l'environnement pour développer la conscience de soi. Cette conscience de soi

ou intentionnalité est connue dans la littérature scientifique comme faisant partie intégrante du fonctionnement supérieur des apprentissages : « On sait aujourd'hui que les informations sensorielles sont échantillonnées en utilisant plusieurs sens simultanément. La perception et l'action sont couplées. Le cerveau remet sans cesse les informations sensorielles en cohérence et redonne de la signification aux autres, au monde et aux objets avec qui on interagit. Ce traitement multimodal des informations sensorielles est étroitement lié à des processus cognitifs, comme l'attribution d'intentions, et à la conscience de soi. Cette capacité à intervenir sur les autres et le monde, à l'aune de ses propres expériences et perceptions, est appelée agentivité » (Kenigsberg et coll., 2015, p. 249).

Considérations sur le modèle présenté :

- Le modèle proposé représente une formulation « dynamo-constructiviste » des capacités d'intégration comme base à la maturation, à la structuration et à l'organisation des fonctions du système nerveux central. Cette capacité d'intégration dynamique permet de produire une chronologie du développement qui ne peut être assimilable à des stades mais plutôt à celle de « niveaux potentiels ». En d'autres termes, ce que l'on nomme dans le modèle constructiviste académique (Piaget, 1992) stades de développement (en tant que chronologie de phases d'acquisition d'habiletés) n'est que l'observation des conséquences de la dynamique de potentialisation des niveaux d'intégrations. Ceci aboutit à mieux comprendre la réalité des différences inter-individuelles dans le développement psychomoteur des enfants (Lion François et des Portes, 2004). Dans la perspective d'un tel modèle l'intégration sensorielle est un processus dynamique du fonctionnement neurologique qui s'appuie sur un substrat neurologique et permet la maturation des processus indispensables à la réalisation des fonctions psychomotrices (tonus musculaire, praxies,..) et neuropsychologiques (pointage, imitation,..) de l'enfant.
- La maturation fonctionnelle du substrat neurologique et le fonctionnement de la modulation sensorielle dépendent aussi de facteurs biologiques reliés à l'intégrité du système endocrinien et du système immunitaire, de facteurs génétiques et environnementaux comme la présence d'agents pathogènes (qui peuvent causer des maladies, infection, inflammation chronique), d'agents relationnels (comme le milieu familial) ou d'agents nutritionnels (alimentation). Ainsi, l'aspect épigénétique est à considérer de façon primordiale et permanente dans la potentialisation des fonctions d'intégration.
- Chaque niveau d'intégration est nécessaire à la potentialisation du suivant tout en dépendant du fonctionnement des deux premiers niveaux qui sont une base de fonctionnement pour les autres niveaux. Ainsi, si au cours de la vie une circonstance crée un dysfonctionnement de l'intégration sensorielle il peut en découler une perte de capacité des fonctions psychomotrices ou cognitives comme par exemple dans la maladie d'Alzheimer (Kenigsberg et coll., 2015).
- Ce modèle nous permet de considérer le cadre général du développement de l'intelligence comme une dynamique de potentialisation de fonctions d'intégration. Ainsi, lorsque l'intelligence est limitée ou son développement bloqué ceci signifie qu'un obstacle empêche la potentialisation des niveaux d'intégration. L'intelligence et

le développement en général n'apparaissent plus ici uniquement basés sur un support génétique figé mais aussi sur un support biologique et épigénétique dynamique ce qui permet de projeter des perspectives positives sur une approche biomédicale au service des fonctions de l'intelligence.

Conclusion et perspectives

L'intégration sensorielle représente le processus de base qui permet aux différentes fonctions du développement de se potentialiser. Le modèle présenté, « pyramide des fonctions d'intégration », montre l'interaction et l'interdépendance des processus d'intégration sensorielle avec les processus affectifs, émotionnels et psychomoteurs. Il apparaît d'une part que la modulation sensorielle précoce est fondamentale aux premières expériences affectives, émotionnelles et psychomotrices et aussi que la fonctionnalité du développement relève de la coopération de différents systèmes neurologiques associatifs qui s'influencent mutuellement. De ce fait, certaines pathologies cliniques complexes et hétérogènes reliées par exemple aux troubles des apprentissages (TDAH) et ou du développement (TSA) pourraient être appréhendées différemment.

L'évaluation des troubles sensoriels chez l'enfant (aussi appelé DMS : dysfonctionnement de la modulation sensorielle) devient nécessaire dès lors qu'elle peut servir à donner des informations capitales sur le retard de développement psychomoteur. Si l'évaluation sensorielle révèle des dysfonctionnements ou des particularités alors des thérapeutiques adaptées peuvent être proposées en tenant aussi compte de possibles investigations biomédicales (ex : cas de la maladie de Lyme, cas d'inflammation gastro-intestinale chronique). Dans ce sens il a été constaté (Owen et coll., 2013) une structuration corticale atypique chez les enfants atteints de DPS (dysfonctionnements des processus sensoriels), ainsi que des microstructures altérées chez les enfants TSA pouvant être à l'origine de réponses sensorielles et émotionnelles inadaptées ainsi que d'une attention sociale qui dysfonctionne (Pryweller et coll., 2014). Sun et collaborateurs (2016) ont mis en évidence l'existence d'une signature épigénétique présente dans le système nerveux central de personnes TSA. D'autres études (Hsiao, 2014) ont montré que 80% des enfants TSA ont des troubles gastro-intestinaux chroniques qui ont des conséquences sur « l'axe cérébral de l'intestin » créant des troubles majeurs de la modulation cérébrale et de la structuration de la connectivité neuronale ceci ayant des conséquences sur la régulation des comportements.

Afin de compléter notre vision symptomatique des pathologies du développement et des apprentissages il est essentiel de se poser la question des dysfonctionnements des processus sensoriels précoces. Les indicateurs sensoriels permettent de poser de nouvelles hypothèses sur les causes des pathologies du développement, et soulève aussi la question épigénétique du dysfonctionnement neurosensorielle. Ceci permet d'ouvrir une porte pour des investigations biomédicales qui pourraient clarifier la réalité biologique des pathologies du développement. Dans ce sens, la recherche biomédicale dans son ensemble devrait être soutenue afin d'opérer une révolution médicale dans le champ diagnostique et thérapeutique des pathologies neuro-développementales.

Bibliographie

Ayres, J. (2005). *Sensory Integration and the Child*. Western Psychological Services eds, 211 pages.

Biederman, J., Newcorn, J., et Sprich, S. (1991). Comorbidity of attention deficit hyperactivity disorder with conduct, depressive, anxiety, and other disorders. *American Journal of Psychiatry*, 148, 5, 564-577.

Bullinger., A. (2004). *Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars*. Tome 1, collection La vie de l'enfant, éditions Eres.

Damasio A. (1999). *Le sentiment même de soi*. Paris : Odile Jacob, 385 pages.

Damasio, A. (2017). *L'ordre étrange des choses*. Odile Jacob, 357 pages.

Donahue, C.J., Glasser, M.F., Preuss, M.T., Rilling, J.K. et Van Essen, D.C. (2018). Quantitative assessment of prefrontal cortex in humans relative to nonhuman primates. *PNAS*, 115, 22, 183-192.

Döring, S.A. (2003). Explaining action by emotion. *Oxford Academic : The Philosophical Quarterly*, 53, 211, 214–230.

Dunn, W. (1997). The Impact of Sensory Processing Abilities on the Daily Lives of Young Children and Their Families: A Conceptual Model. In *Young Children*, Aspen Publishers, Inc., 9, 4, 23-35.

Etkin, A., Egner, T. et Kalisch, R. (2011). Emotionnal processing in anterior cingulate and medial prerontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 2, 85-93.

Fattinger, S., Kurth, S., Ringli, M., Jenny O.G., Huber R., (2017). Theta waves in children's waking electroencephalogram resemble local aspects of sleep during wakefulness. *Nature Science Report*, 7, 11187.

Gallese, V. et Lakoff, G. (2005). The brain's concepts : the role of the sensory-motor system in conceptual knowledges. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 3, 455-479.

Gauthier, J. (1981). *L'enfant, ce glandulaire inconnu*. Editions de La Vie Claire, CEVIC, Perigny-sur-Yerres, 203 pages.

Hsiao, E.Y. (2014). Gastrointestinal issues in autism spectrum disorder. *Harvard Review of Psychiatry*, 22, 2, 104-111.

Kenigsberg, P.A, Aquino, J.P., Berard, A., Boucart, M., Bouccara, D., Brand, G., Charras, K., Garcia-Larrea, L., Gzil, F., Krolak-Salmon, P., Madjlessi, A., Malaquin-Pavan, E., Penicaud, L., Platel, H., Pozzo, T., Reintjens, C., Salmon, E., Vergnon, L. et Robert P. (2015). Les fonctions sensorielles et la maladie d'Alzheimer : une approche multidisciplinaire. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 13, 3, 243-258.

Kim, J.A, Szatmari, P., Bryson, S.E., Streiner, D.L., et Wilson, F.J. (2000). The prevalence of anxiety and mood problems among children with autism and Asperger syndrome. *Autism*, 4, 117-132.

Lion, F.L. et Des Portes, V. (2004). Les grandes étapes du développement psychomoteur entre 0 et 3 ans. *La revue du praticien*, 54, 1991-1997.

Mangeot, S.D., Miller, L.J., McIntosh, D.N., McGrath-Clarke, J., Simon, J., Hagerman, R.J., et Goldson, E. (2001). Sensory modulation dysfunction in children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 4, 399-406.

Mikels, J.A, Reuter-Lorenz, P.A., Beyer, J.A., Fredrickson B.L. (2008). Emotion and working memory: evidence for domain-specific processes for affective maintenance. *Emotion*. 8, 2, 256-266.

Miller, L.J., Anzalone, M.E., Lane, S.J., Cermak, S.A., et Osten, E.T. (2007). Concept evolution in sensory integration: A proposed nosology for diagnosis. *The American Journal of Occupational Therapy*, 61, 2, 135-140.

Miller, E.K. et Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.

National Association for Gifted Children (2012 – 2014). Gift Children and Sensory Processing Disorder. Information and advice service : www.nagcbritain.org.uk.

Owen, J.P., Marco, E.J., Desai, S., Fourie, E., Harris, J., Hill, S.S., Arnett, A.B., et Mukherjee, P. (2013). Abnormal white matter microstructure in children with sensory processing disorders. *Neuroimage : Clinical*, 2, 844-853.

Paillard, J. (1985). Les niveaux sensorimoteur et cognitif du contrôle de l'action. In M. Laurent & P. Therme (eds). *Recherches en Activités Physiques et Sportives*, Publication du Centre de Recherches de l'UEREPS, Université Aix-Marseille II, 147-163.

Piaget, J. (1992). La naissance de l'intelligence chez l'enfant. Broché, Delachaux & Niestlé, 370 pages.

Pieck, J.P. et Dick M.J. (2004). Sensory-motor deficits in children with developmental coordination disorder, attention deficit hyperactivity disorder and autistic disorder. *Human Movement Science*, 23, 475-488.

Pryweller, J.R., Schauder, K.B., Anderson, A.W., Heacock, J.J., Foss-Feig, J.H., Newsom, C.R., Loring, W.A., Cascio, C.J. (2014). White matter correlates of sensory processing in autism spectrum disorders. *Neuroimage : Clinical*, 6, 379-387.

Roll, J. P., Roll R., (1993). « Le sentiment d'incarnation : arguments neurobiologiques », in *Revue de médecine psychosomatique*, 35.

Roll, J.P. (2003). Physiologie de la kinesthèse. La proprioception musculaire : sixième sens ou sens premier ? *Intellectica*, 36-37, 49-66.

Rogers, S. et Benetto, L. (2002). Le fonctionnement moteur dans le cas d'autisme. *Enfance*, 1, 54, 63-73.

Sinclair, D., Oranje, B., Razak, K.A., Siegel, S.J., et Schmid, S. (2017). Sensory processing in autism spectrum disorders and fragile X syndrome: from the clinic to animal model. *Neurosc Biobehav Rev*, 76 (ptB): 235-253.

Sun, W., Poschmann, J, Cruz-Herrera del Rosario, R, Mill J., Geschwind D.H, Prabhakar, S. (2016). Histone Acetylome-wide Association Study of Autism Spectrum Disorder. *Cell*, 167, 1385-1397.

Terriot., K. (2013). La naissance de l'acte chez Wallon : un acte de naissance pour une approche dynamique du développement. *ERES, Enfance et Psy*, 61, 10-19.

Tual, M. (2016). *Le Monde Pixels : Chroniques des révolutions numériques*. Hiroshi Ishiguro, l'homme qui crée des robots à son image. https://www.lemonde.fr/pixels/article/2016/03/17/hiroshi-ishiguro-l-homme-qui-cree-des-robots-a-son-image_4884270_4408996.html

Wang, Y., Celebrini, S., Trotter, Y., et Barone, P. (2008). Visuo-auditory interactions in the primary visual cortex of the behaving monkey: Electrophysiological evidence. *BMC Neuroscience*, 9,79.

Williams, M.S. et Shellenberger, S. (1996). *How does your engine run? A leader's guide to the Alert Program for self-regulation*. Albuquerque, NM: TherapyWorks, INC.

Zhu, J. et Thagard, P. (2002). Emotion and action. *Philosophical Psychology*, 15 (1), 19-36.

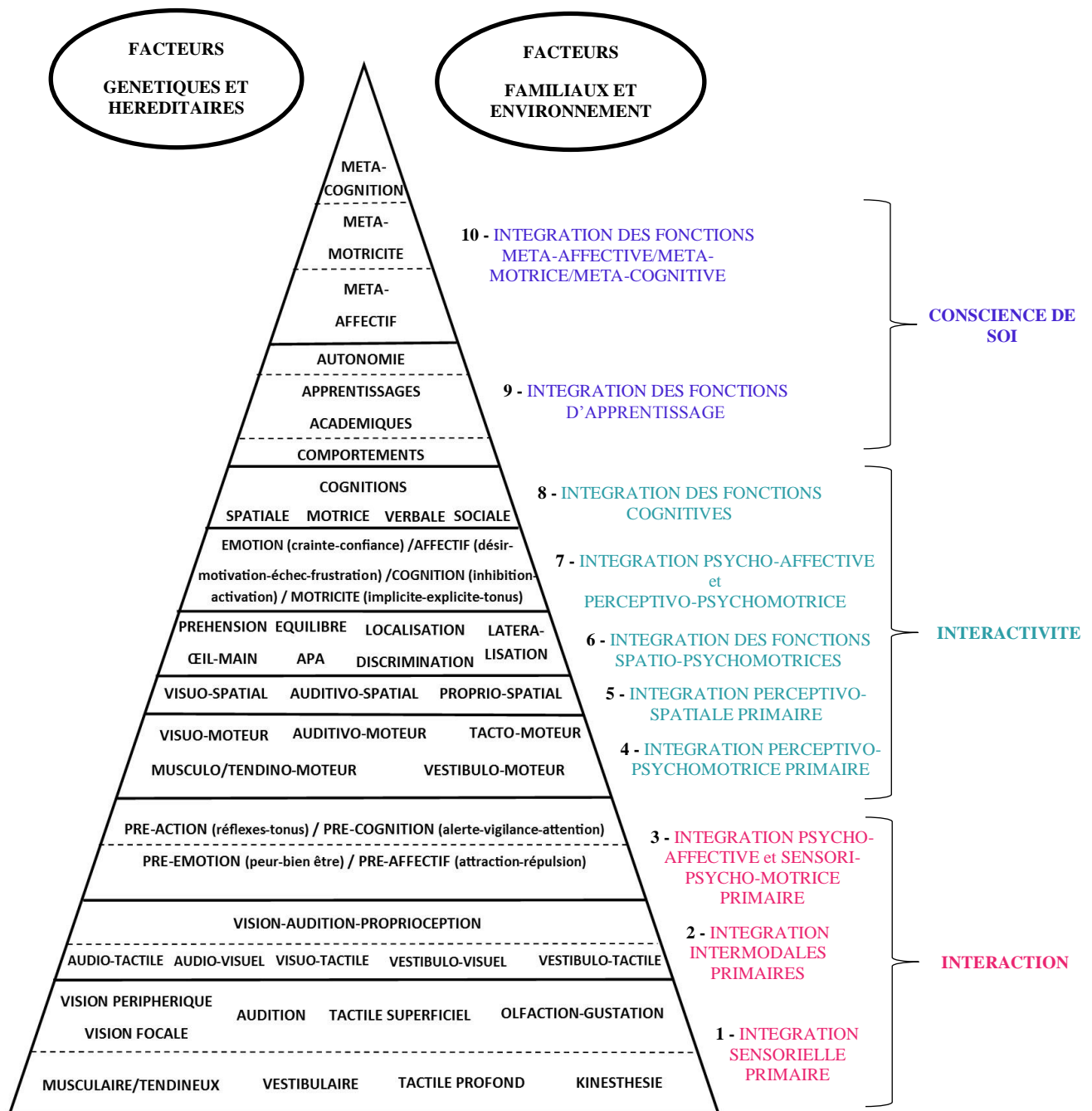


Schéma 1 : Pyramide des fonctions d'intégration

L'organisation dynamique se fait du bas vers le haut selon dix niveaux d'intégration. Les trois premiers niveaux permettent de développer l'interaction, les cinq suivant l'interactivité et les deux derniers la conscience de soi. Tous les niveaux sont tributaires de facteurs génétiques-héréditaires et de facteurs familiaux-environnementaux. Au niveau 1, il coexiste deux groupes sensoriels principaux qui sont l'intéroception et l'extéroception. Au niveau 2, l'intégration pluri-sensorielle dépend de neurones pluri-modalitaires qui peuvent traiter jusqu'à trois types d'informations en même temps (vision-audition-proprioception). Au niveau 6, l'abréviation APA signifie ajustement posturaux anticipés. La pyramide intégrative ne propose pas de séparation entre les niveaux qui interagissent tout au long de la vie, elle est juste un modèle dynamique de la construction des processus de l'intelligence.