Les conduites perceptivo-motrices

Nous nous sommes interrogés sur plusieurs aspects de l'étude des conduites perceptivo-motrices :

1. Comment fait-on pour contrôler ces conduites ? => chapitre 2

2. Comment se développent les conduites perceptivo-motrices : exemple avec le développement de la préhension d'objets. => chapitre 3

3. Quelles relations existe-t-il entre perception, production et simulation du mouvement ?
=> chapitre 4

4. Qu'en est-il des perturbations de ces conduites perceptivo-motrices ? Exemple d'un handicap sensoriel : la déficience visuelle. => chapitre 5

1. Comment fait-on pour contrôler ces conduites ?

Cette question a été étudiée dans le chapitre 2 : « Les conceptions du contrôle moteur et de la production du mouvement ».

Dans ce chapitre, nous avons vu qu'il y a deux grandes familles de modèles théoriques pour expliquer comment on parvient à produire et à contrôler nos conduites motrices :

- les théories cognitives, reposant sur le paradigme de traitement de l'information.

⇨ Modèle en boucle fermée d'Adams (notion de feedback) = modèle périphéraliste du contrôle du mouvement
⇨ Modèles en boucle ouverte (avec notion de PM) = modèle centraliste du contrôle du mouvement
⇨ Modèle de Schmidt (notion de PMG et théorie du schéma) = modèle « mixte »

- les théories dynamiques ou émergentistes, refusant l'idée que l'on planifie, calcule ou programme nos mouvements. Couplage perception-action directe.

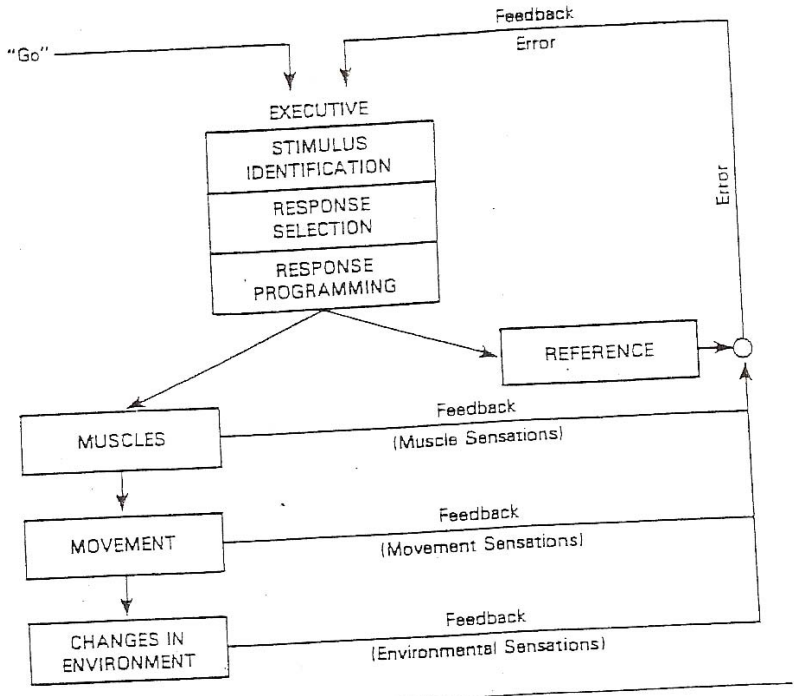
1.1. Les modèles du traitement de l'information (théories cognitiviste)

1.1.1. Modèle périphéraliste du contrôle du mouvement.

L'un des premiers modèles du courant cognitiviste est le modèle en boucle fermée d'Adams, dont le concept clé est celui de feedback. L'idée centrale de ce modèle est que nos mouvements sont contrôlés par une comparaison continue entre l'information afférentielle reçue pendant le mouvement même, et un ensemble stocké, mémorisé, de conséquences sensorielles associées à la production réussie de ce mouvement.

Selon ce modèle, les mouvements sont donc contrôlés de manière périphérique, par les informations sensorielles reçues. C'est une conception en boucle dite fermée (fermeture liée au traitement en continu de l'information feedback)

Le modèle est le suivant :



e 6-9. The expanded closed-loop model for movement control.

Limites de ce modèle : - temps nécessaire au traitement de l'information feedback
- critique de la conception feedback liée aux expé de désafférentation.
=> D'où émergence d'un autre type de modèle : les modèles centraux ou centralistes

1.1.2. Modèles centraux

Les modèles centraliste du contrôle du mouvement correspondent aux modèles dits en boucle ouverte où la notion de Programme Moteur (PM) est prédominante.

Selon ces modèles, pour au moins une certaine catégorie de mouvements (dont les mouvements rapides), les "instructions" associées à la programmation de ces mouvements sont structurées à l'avance, sont stockées quelque part dans le système, qui les "lancent" (les exécutent) sans égard quant à leurs effets ou conséquences sensorielles concomitantes.

On parle de contrôle en boucle ouverte car le système contient à l'avance les programmes nécessaires à la réalisation du mouvement et exécutent ces programmes quand les stimuli adéquats sont présentés, sans avoir besoin de lire ou d'utiliser les feedback issus de ces mouvements. Ici le contrôle est donc déterminé par des processus centraux.

Limites des modèles : - problème de stockage
- problème de la nouveauté
- critique par rapport à la non utilisation de l'information feedback

⇨ D'où la nécessité de développer des points de vue plus mixtes, où les deux modes de contrôle (centraux et périphériques) interviennent

1.1.3. Modèle « mixte » : Modèle de Schmidt.

Dans le modèle de Schmidt, les deux modes de contrôle (centraux et périphériques) interviennent pour la production d'un mouvement.
Ce modèle comprend deux notions clef : la notion de Programme Moteurs Généraux (PMG) et la théorie du schéma.

❖ **Notion de PMG**

Les PMG sont des PM stockés dans le système qui sont valables pour des classes de mouvements et non pas pour un mouvement particulier. Ces PMG possèdent des paramètres fixes ou invariants (valable pour une classe de mouvements) et de paramètres libres ou « flottants » qu'il faut remplir pour qu'un PM particulier soit engendré.
Les paramètres fixes sont stockés dans le système tandis que les paramètres libres, permettant la réalisation d'un mouvement particulier, sont déterminés au moment même de la réalisation du mouvement.

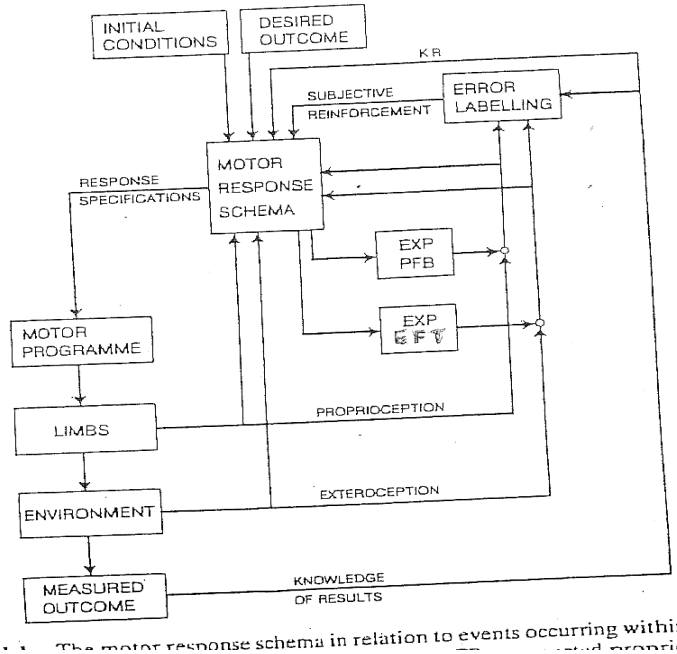
❖ **La théorie du Schéma**

Avec la pratique et la répétition des mouvements, deux types de schéma se forment :

- **le schéma de rappel** : il lie les conditions initiales du mouvement (position du corps, situation générale, propriétés des objets…), le résultat ou le produit du mouvement une fois exécuté (= connaissance des résultats de l'action) et les paramètres assignés au PMG.
  ⇨ ce schéma est responsable de la production du mouvement

- **le schéma de reconnaissance** : il lie les conditions initiales du mouvements, les résultats du mouvement et les conséquences sensorielles attendues (l'ensemble des sensations auxquelles le mouvement conduit).
  ⇨ ce schéma est intervient pour la correction et le contrôle du mouvement.

❖ **Représentation du modèle de Schmidt**



The motor response schema in relation to events occurring within a trial.

- ❖ Intervention des différents modes de contrôles en fonction du type de mouvement

Dans le cas de mouvements rapides (mouvements balistiques)
=> Programmation interne ou guidage central.
=> Peu de corrections par informations feedback
=> Importance prédominante du schéma de rappel

Dans le cas de mouvements lents (en rampe ou en escalier)
=> Programmation centrale moins importante
=> Contrôle du mouvement grâce à la boucle corrective (traitement des informations feedback)
=> Importance prédominante du schéma de reconnaissance

Possibilité de contrôle du mouvement mixte (guidage central et périphérique) : phase balistique pour le début du mouvement puis phase corrective pour la fin du mouvement.

1.2. Les modèles dynamiques

Ces modèles accordent davantage d'importance aux aspects « bas niveaux », cad aux propriétés des informations mêmes à traiter ; dans notre cas, aux propriétés du système musculaire.

Ces modèles vont donc prendre en compte l'ensemble des caractéristiques dynamiques du système moteur pour éviter de trop attribuer à des processus centraux. Ainsi, la cinématique du mouvement n'est pas représentée centralement (dans un PM ou autre), mais elle est plutôt une propriété émergente de la dynamique du système musculaire et squelettique même.

Une conduite motrice particulière doit être analysée à travers les interactions entre les propriétés du sujet et les propriétés de l'objet / de l'environnement. Par ex, puis-je passer dans cet endroit ? La réponse met en jeu la largeur de l'objet (propriété de l'objet/environnement) et les dimensions du corps (propriété du sujet).

Il existe une auto-organisation dans le système de production du mouvement qui est permis grâce à une calibration directe entre les propriétés du sujet et les propriétés de l'objet.
Comme nous l'avons vu avec différents exemples (monter un escalier ; prise d'objets chez l'enfant et le bébé), ce sont des rapports directs, exprimables sous forme de nombre sans dimension, qui retiennent d'un côté un paramètre sujet-corporel, de l'autre un paramètre environnement–objet, donc des rapports de l'interaction sujet-objet, qui déterminent directement des changements dans les comportements du sujet.

En conclusion, selon les modèles dynamiques, les couplages perception-action sont conçus comme directs, calibrant les paramètres de l'action en fonction des propriétés des interactions sujet/corps et objet/environnement.
Ici, c'est l'information basée sur le corps qui sert de contrôle dans ces couplages.

2. Comment se développent les conduites perceptivo-motrices ?

Cette question a été étudiée dans le chapitre 3 : « Le développement de conduites perceptivo-motrices : la préhension chez le bébé et la prise d'aliments par la cuillère ».

2.1. Relations entre motricité et cognition

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux relations entre motricité et cognition en distinguant deux façons, qui ne sont pas incompatibles de voir ces liens :

- D'une part en proposant que c'est au travers des actions que l'enfant construit des connaissances sur le monde (donc **origine de la cognition dans l'action**);
- Et d'autre part, en proposant que la **cognition détermine l'action** (et que donc, l'action constitue un bon indicateur des connaissances de l'enfant).

Nous avons abordé le premier axe (L'action à l'origine de la pensée) en nous intéressant à Piaget et notamment à la compréhension de la permanence de l'objet

En ce qui concerne le second axe (L'action comme indicateur de la cognition), nous avons vu qu'il y a une synchronie complète entre le développement des compétences cognitives et le développement des actions car il existe un processus commun. Il s'agit de la capacité à établir des relations.

Ces mises en relation peuvent être établies avant le déroulement de l'action et on parlera alors de planification à l'avance de l'action (ou d'anticipation de l'action).
On parle également de contrôle de l'action déclenché, en boucle ouverte, en mode feed-foward. Cela signifie que le sujet doit disposer de représentations centrales adaptées à l'action à produire.

⇨ **Nos actions sont déterminées par ce que nous connaissons**

Mais ces relations peuvent aussi être en partie établies et découvertes au cours même du déroulement de l'action, et on parlera de programmation on-line, au moyen de boucles de rétroaction ou de feedbacks. On dit également que le contrôle de l'action est guidé, répondant, en boucle fermée.

⇨ **Nos connaissances sont déterminées par nos actions, par ce que nous expérimentons au travers de nos actions**

2.2. Analyse de la conduite de préhension

Jeannerod a donné 1 description fonctionnelle de la conduite de préhension. 3 phases dans la conduite : 2 composantes visuelles : identification de la cible, et Localisation de la cible. La dernière phase : Phase de saisie de l'objet.

Deux types de contrôle du mouvement : déclenché – boucle ouverte (open loop) puis guidé – boucle fermée (closed loop).

Nous avons analysé plus en détails deux phases de la conduite de préhension: l'approche de l'objet puis la saisie de l'objet.

Puis le **développement de la conduite de préhension** (5 étapes) a été abordé sous plusieurs angles :

- d'un point de vue descriptif (description empirique)
- d'un point de vue théorique : d'une part en s'intéressant au mode de programmation des mouvements et d'autre part en référence avec la problématique de l'importance du contrôle central versus périphérique en rapport avec les théories cognitivistes et dynamiques

2.3. Prise et utilisation d'objets chez l'enfant de 9 à 19 mois

Dans cette dernière partie, nous nous sommes intéressés au développement de conduites perceptivo-motrices à travers l'exemple de la prise d'aliments par la cuillère chez les enfants de 9 à 19 mois.

Après avoir décrit l'expérience réalisée par McCarty et coll. (1999), nous avons étudié le modèle que les auteurs ont élaboré à partir des résultats cette recherche.

Le modèle décrit l'évolution des stratégies de l'utilisation de prise d'une cuillère en 4 étapes :

- la stratégie basée sur feedback (9 mois). (ATTENTION : interprétation erronée de cette première étape. Ce n'est pas une stratégie basée sur feedback car le feedback est après coup -correction off-line-).
- La stratégie partiellement planifiée (14 mois)
- La stratégie complètement planifié (19 mois)
- L'automatisation

⇨ On retrouve **le même développement que pour la conduite de préhension**.

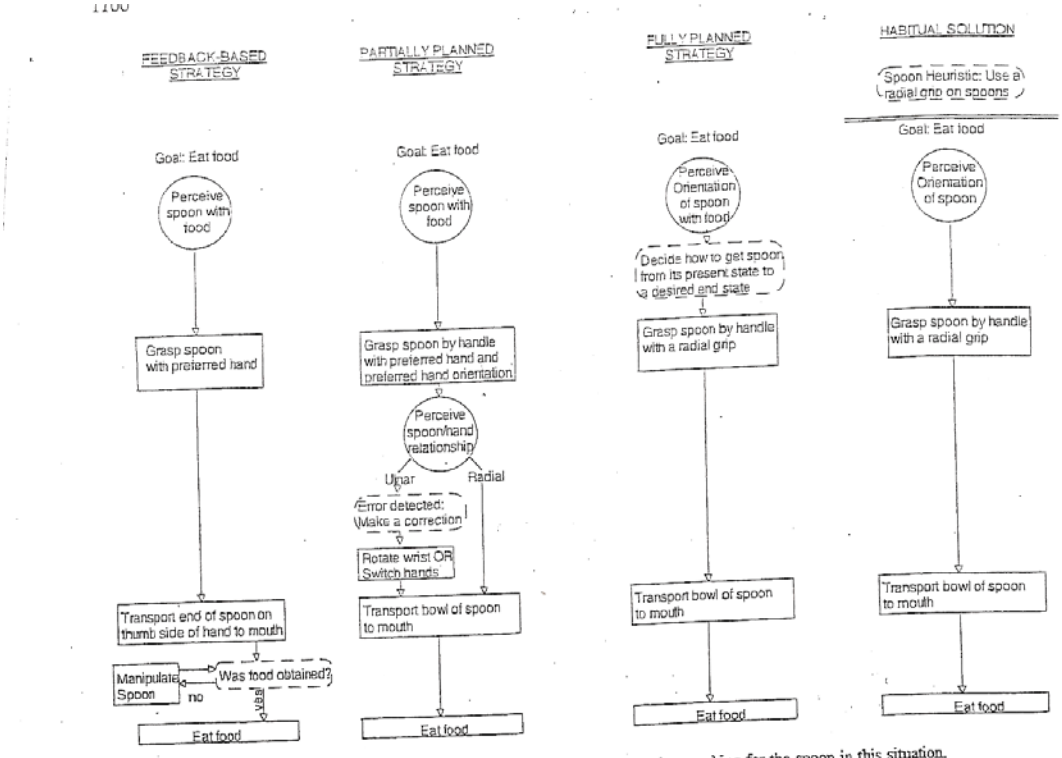


Figure 7. A four-stage model of the development of planning when reaching for the spoon in this situation. Circles represent perception, solid boxes represent action, and dashed boxes represent thought processes.

3. Quelles relations existe-t-il entre perception, production et simulation du mouvement ?

Cette question a été étudiée dans le chapitre 4 : « Les relations entre « percevoir », « produire » et « imaginer » le mouvement.

Pour débuter ce chapitre, nous avons abordé le débat théorique concernant ces relations (introduction), puis l'existence de deux systèmes visuels corticaux

3.1. Deux systèmes visuels corticaux

Nous avons qu'il existe un double système fonctionnel pour ce qui est du système visuel au niveau cortical :

- **le système QUOI ?** qui a pour fonction l'identification des objets et des évènements et l'attribution de significations de haut niveau
  =>Voie Parvocellulaire = système ventral, spécialisé dans le traitement des formes et des couleurs (voie lente)

- **le système OU ?** qui a pour fonction la localisation spatiale des objets et la programmation et le contrôle visuel des mouvements finalisés
  =>Voie Magnocellulaire = Système dorsal, spécialisé dans le traitement des informations spatiales, des mouvements visuels et de la profondeur (voie rapide)

⇨ il existe donc un système visuel dirigé vers la perception pour elle-même et un système visuel dirigé pour l'action, d'où **liens très étroits entre perception et action**.

L'existence et la spécialisation fonctionnelle de ces deux voies reposent :

- sur des données neuropsychologiques avec la double dissociation agnosie visuelle et ataxie optique.
- sur des données expérimentales : cf erreur d'échelle comme manifestation de dissociation entre les 2 systèmes.

3.2. Action et simulation mentale : des relations très étroites

- **Activation des mêmes structures corticales**

L'action motrice imaginée (s'imaginer faire un mouvement) et la préparation à un mouvement effectif (l'action effectuée) activent très largement les mêmes structures corticales, en particulier l'aire motrice supplémentaire (AMS), aire qui joue un rôle particulier dans la planification des mouvements.

- **Activation des mêmes programmes moteurs**

Comme nous l'avons vu à travers 3 expériences [1], les relations entre actions exécutées et actions imaginées se manifeste également au niveau des programmes moteurs activés qui seraient les mêmes lors d'un mouvement réalisé ou imaginé.

[1] Expérience de Decety et Michel (1989) concernant l'organisation temporelle de mouvements graphiques exécutés réellement ou mentalement ; expérience (avec les portails) de Decety et Jeannerod (1996) qui montre que, chez les adultes, la loi de Fitts est également appliquée lors d'action purement mentale ; expérience chez les enfants (labyrinthe) qui montre que cette loi est également respectée lors dans le cas des mouvements exécutés et imaginés à partir de 10 ans.

3.3. Perception et action : des relations très étroites

Les liens très étroits entre percevoir un mouvement et produire ce mouvement ont été illustrer à travers plusieurs démonstrations :

- 1ère démonstration : La perception de mouvement est contrainte par les propriétés des actions. Cela a été illustré d'une part à travers le dessin d'ellipses et de gribouillages (expé de Viviani et Stucchi, 1992) et d'autre part dans le domaine de l'écriture de lettres (expé de Kandel, Orliaguet et Viviani, 2000).

- 2ème démonstration : La perception visuelle de lettres isolées active l'aire prémotrice impliquée dans l'écriture de lettres.

3.4. Neurones miroirs et théorie de l'esprit

Les recherches chez le singe ont mis en évidence l'existence des neurones miroirs qui répondent à la fois quand une action spécifique considérée est faite par le singe ou réalisée par quelqu'un d'autre.

Ces neurones miroirs forment un **système cortical qui apparie l'observation et l'exécution des actions motrices**. Ce système d'appariement existe aussi chez l'homme, comme l'a montré l'étude de Fadiga et coll.

Ces neurones miroirs peuvent avoir plusieurs fonctions :
- faciliter l'apprentissage par imitation
- sous tendre le processus de « lecture de l'esprit » appelé aussi théorie de l'esprit ou servir de précurseur à ce processus.

La lecture de l'esprit est l'activité qui consiste à représenter des états mentaux spécifiques des autres, leurs perceptions, intentions, désirs, etc... Cela permet de détecter les buts ou les états internes des autres pour aider l'observateur à anticiper les actions futures de cet agent et ainsi d'ajuster à l'avance ses propres actions.

Il existe deux types de théorie de la lecture de l'esprit :
- une théorie-théorie : attribution d'états mentaux par sorte de raisonnement théorique impliquant un ensemble de lois causales tacitement connu
- une théorie-simulation : utilisation de nos propres mécanismes mentaux pour calculer et prédire les étais mentaux des autres

Pour finir ce chapitre, le lien entre les neurones miroirs et la capacité à simuler les états mentaux de l'autre a été examiné relativement à la compréhension des états psychotiques.

4. Qu'en est-il des perturbations de ces conduites perceptivo-motrices ?

Cette question a été étudiée dans le chapitre 5 : « Un handicap sensoriel : la déficience visuelle ».

4.1. Qu'est-ce que la cécité ?

Selon les définitions légales :
- la cécité correspond à une acuité visuelle égale ou inférieure à 1/20e
- la malvoyance correspond à une acuité visuelle supérieur à 1/20 e mais inférieur à 3/10 e

L'âge de l'apparition de la cécité est un facteur essentiel. On distingue :
- les aveugles de naissance = aveugles précoces => perte de l'usage de leurs yeux avant 6 mois ou un an.
- les aveugles tardifs => appariation de l'handicap après 3 ans.

Les causes de la cécité chez les jeunes sont génétiques (présence d'une anomalie sur un gène), congénitales (anomalie survenant chez le fœtus et présentes dès la naissance), périnatales (apparues immédiatement après la naissance en raison d'une affection ou un accident), ou accidentelles.

Les maladies génétiques représentent aujourd'hui 65 à 75 % des cas de déficience visuelle (Kaplan, 1996).

4.2. les modalités perceptives disponibles chez l'aveugle

D'autres modalités perceptives peuvent, dans une certaine mesure, remplacer la vision :
- La proprioception = la sensibilité par laquelle nous avons connaissance de la position de notre corps *(statesthésie)* et de nos mouvements *(kinesthésie)*.
  ⇨ rôle important chez les aveugles dans l'élaboration de l'image de leur corps et dans la connaissance des conséquences de leurs mouvements.

- L'odorat (peu étudié)

- L'audition. Apporte des informations spatiales (emplacement de la source sonore) essentielle pour les aveugles

- Le toucher : modalité perceptive qui est la plus capable de supplanter la vision défaillante. Il s'agit d'une modalité spatiale qui, sous certaines conditions, peut informer sur presque toutes les propriétés des objets auxquelles accède la vision.

4.3. L'exploration manuelle chez l'adulte et l'enfant

Il existe deux types de toucher :
- **le toucher passif** : la taille du champ perceptif correspond à la partie de l'objet en contact avec la main. => discriminations pauvres et partielles

- **la perception tactilo-kinesthésique = haptique :** association des perceptions cutanées et de perceptions kinesthésiques issues de mouvements volontaires. => augmente la taille du champ perceptif et permet de meilleures discriminations

Description des mouvements d'exploration :

- **Davidson** (1972) distingue : l'agrippement, le pincement (ou la pince), le balayage, le traçage et l'empan.

- **Lederman et Klatzky** (1987, 1993) ont identifié 6 procédures d'exploration : le frottement latéral (traitement de la texture), la pression (dureté/élasticité), le contact statique (température et texture), le soulèvement (poids), l'enveloppement (appréhension globale de la taille et de la forme) et le suivi de contour (connaissance précise de la forme et de la taille).

L'appréhension perceptive tactilo-kinesthésique est morcelée, parfois partielle et toujours très successive. Elle charge lourdement l'attention et la mémoire de travail, et nécessite, en fin d'exploration, un travail mental d'intégration et de synthèse pour aboutir à une représentation unifiée de l'objet.

Exploration manuelle chez les enfants et les adultes déficients visuels

Caractéristiques de l'exploration chez les enfants :

- Pas de référence exocentrée avant l'âge de 10 ans
- Peu de différences entre les enfants aveugles et voyants
- Augmentation de l'activité d'exploration entre 4 et 7 ans
- Amélioration de la qualité de l'exploration avec l'âge : Avant 6 ans, les enfants se limitent à une exploration globale alors qu'à 8 ans, ils utilisent en plus, une exploration locale.
- Effet bénéfique de l'apprentissage d'une stratégie d'exploration sauf chez les enfants âgés (15 ans).

Chez les adultes, l'exploration manuelle devient plus performante chez les aveugles que chez les voyants.

4.4. Le développement perceptivo-moteur des nourrissons aveugles

Le développement de l'enfant aveugle passe par des étapes critiques qui ne se situent pas aux mêmes moments que chez l'enfant voyant.

La cécité perturbe en effet les interactions sociales du bébé avec son entourage, ce qui se manifeste par un retard de l'apparition du sourire et des manifestations d'affection envers les humains.

Le développement postural est également affecté chez les enfants aveugles à partir de 2-3 mois et va accuser un retard important par rapport aux enfant voyants (cf. études de Fraiberg, 1975 et l'étude de Tröster et Brambring, 1993 ; étude de Bigelow, 1992).

Par ailleurs, on observe un décalage dans l'apparition de la coordination audition-préhension chez les enfants aveugles par rapport à la coordination vision-préhension chez les voyants (12 mois vs 4-5 mois). De même, un retard est observé dans la compréhension de la permanence de l'objet chez les enfants aveugles.
Les difficultés de construction de l'espace et des objets (cad d'un espace extérieur indépendant de lui-même et contenant des objets stables ayant une localisation déterminé) se répercutent sur l'acquisition de la locomotion autonome.

4.5. Le développement postural et moteur chez l'enfant ou l'adulte aveugle

Comme chez le nourrisson, le développement postural et moteur de l'enfant et de l'adulte aveugle est affecté par la cécité. Cela va se manifester par des anomalies posturales, une tendance à virer et des performances motrices globales moins bonnes que les voyants. En revanche, en ce qui concerne les préférences manuelles pour l'utilisation d'objets familiers, il n'y a pas de différences franches entre les voyants et les aveugles.

4.6. Développement du langage

Bien que le mécanisme d'acquisition et du développement du langage de l'aveugle ne semble pas différent de celui du voyant, on constate en général un retard dans le développement linguistique chez l'enfant aveugle.

Le langage des aveugles possède également certaines spécificités, telles que la présence de verbalisme, l'utilisation de périphrases et la difficulté à généraliser l'emploi d'un mot à d'autres objets de la même classe.

Malgré cela, les enfants aveugles semblent attribuer une signification pertinente à des mots qui n'ont pas de base perceptive pour eux (Millar, 1983) et la connotation affective des mots est la même chez les aveugles congénitaux, malvoyants et voyants.

Les conceptualisations réalisées par les enfants aveugles possèdent certaines particularités, ces derniers faisant davantage référence à des caractéristiques physiques fournies par le toucher et l'audition. Ils font également mentionnent également plus d'attributs égocentriques cad liés à une expérience personnelle de l'enfant.

4.7. La représentation des déplacements de soi et des objets

Les déplacements de soi :
La localisation spatiale dans un système égocentré est dominante chez les aveugles. Ces derniers utilisent davantage un codage kinesthésique des mouvements effectués, essentiellement lorsqu'ils sont jeunes, alors que les voyants font un codage spatial indépendant des mouvements d'exploration. Ce codage kinesthésique entraîne des perturbations en ce qui concerne l'inférence des distances (surestimation des distances euclidiennes augmentant à mesure que la longueur des détours s'accroît).

Coordination des points de vue :
Les aveugles sont capables de comprendre le point de vu d'autrui lors de tâches simples (par ex, point de vue d'une poupée sur les genoux des sujets ou à coté) mais lors de situations plus complexes (rotation de la poupée plus importante : 45°, 90° jusqu'à 315°), leurs performances s'effondrent tandis que celles des voyant restent très élevées.

4.8. L'activité de dessin chez les aveugles

Les recherches révèlent des capacités à dessiner chez des aveugles congénitaux, certaines règles de représentation graphique étant appliquées spontanément, comme le contour, le mouvement, le point de vue par exemple (Kennedy, 1982, 1983, 1997, 2000; D'Angiulli & Maggi, 2003).

Néanmoins, malgré ses intéressantes observations, les dessins des aveugles précoces sont moins souvent reconnaissables que ceux des voyants (D'Angiulli et Maggi, 2003) et comportent davantage d'erreurs de positionnement (Millar, 1975) et de transcription de l'espace 3D en l'espace 2D (Heller, Kennedy et Joyner, 1995).

En ce qui concerne les facteurs de développement du dessin, Millar suggère qu'il dépend de l'apprentissage de règles de traduction graphique de l'objet. Au contraire, D'Angiulli et ses collaborateurs (D'Angiulli & Maggi, 2003; D'Angiulli, Miller & Callaghan, 2008) pensent que le développement du dessin ne dépend pas de l'apprentissage de règles graphiques mais de la pratique du dessin par l'enfant.