

LES DETERMINANTS MOTEURS DE L'ORGANISATION DE L'ESPACE

Jacques PAILLARD*

L'appareil moteur des organismes apparaît comme une structure assimilatrice, transformatrice et génératrice d'ordre spatial. L'appropriation de l'espace semble relever d'un double système moteur : le premier s'exprime dans les activités de positionnement et de transport du corps et de ses segments ; ces activités exigent la constitution de référentiels ou invariants posturaux géocentrés ; elles conduisent à l'édification d'un espace des lieux. Le second concerne les activités de saisie, de manipulation, de transformation des objets ou singularités qui peuplent l'espace des lieux ; ces activités opèrent sur l'espace de l'objet lui-même et conduisent à l'extraction des invariances perceptives, support de l'identification et de la reconnaissance des objets et des formes spatiales. Cette dualité morphologique et fonctionnelle inscrite dans l'organisation nerveuse se trouve confirmée par l'étude de la genèse des relations spatiales par coordination des espaces de capture. L'activité propre du sujet semble bien être un facteur essentiel de la constitution, de l'entretien, de l'accommodation éventuelle des référentiels posturaux. L'extracteur d'invariance perceptive s'élabore lui-même sur les dispositifs de détection des caractéristiques de forme dont la mise en place va dépendre de l'expérience initiale du sujet, et sur les activités transformatrices qui sous-tendent les opérateurs de cette extraction.

Les problématiques actuelles de la Psychologie relatives à l'organisation de l'espace, que nous nous référerions aux conceptions d'un Wallon, d'un Piaget ou d'un Gibson, s'accordent quant au rôle que joue la motricité des organismes pour la constitution du cadre spatial dans lequel ils déploient leur activité.

Activité qui est d'abord et fondamentalement une activité de positionnement et de transport d'un corps mobile articulé au sein d'un univers où l'organisme doit rechercher les matériaux énergétiques nécessaires à sa survie, assurer sa protection et pourvoir à sa reproduction ;

Activité qui se diversifie et s'enrichit à mesure que s'organise le champ sensoriel des signaux susceptibles de la guider, de l'orienter et de la spécifier ;

Activité qui ne serait pas simple découverte de l'ordre spatial du monde des objets physiques mais élaboration ou confirmation progressive d'un système de relation et de mise en référence suivant un processus adaptatif du même type que ceux qui régissent l'établissement de tout système d'interrelations entre un être biologique et son environnement.

* Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie - Département de Psychophysiologie Générale - 31, chemin Joseph Aiguier - 13274 MARSEILLE Cedex 2.

I - L'APPAREIL MOTEUR, EXPRESSION DE L'ORDRE BIOLOGIQUE

Ce premier point retiendra tout d'abord notre attention car, si la motricité peut apparaître comme génératrice d'ordre, elle apparaît d'abord au biologiste comme l'expression d'un ordre, d'une organisation morphologique et fonctionnelle à la mesure du monde physique que l'organisme doit affronter et qui en a façonné l'architecture à travers l'histoire évolutive de l'espèce.

Toutes les formes de vie, des plus simples aux plus complexes, se caractérisent par une structure matérielle activement engagée d'abord dans sa propre construction puis dans le maintien de sa permanence. Cette structure délimite un espace intérieur où s'ordonnent les architectures organiques, avec ses surfaces frontières qui la séparent d'un environnement où elle doit puiser les matériaux énergétiques indispensables à sa survie.

L'"irritabilité" fondamentale qu'elle manifeste à toute atteinte portée à l'intégrité de ses frontières, et qui est une des caractéristiques de tout système vivant, s'exprime dans sa forme diffuse la plus primitive par une réactivité interne compensatrice et restauratrice de l'équilibre perturbé. L'apparition d'éléments contractiles viendra rapidement enrichir les capacités réactionnelles et la nature des interrelations qui s'établissent entre un organisme et son environnement. D'abord au service des fonctions d'ingestion et de rejet qui règlent les échanges de matière au niveau de l'interface, puis au service des fonctions de locomotion qui vont accroître les probabilités de rencontre avec l'environnement le plus favorable, les matériaux utiles ou le partenaire sexuel, cette motilité appellera pour son déclenchement, pour son guidage, pour son efficacité adaptative le développement et le perfectionnement d'une sensibilité adaptée.

Dès les formes unicellulaires de la vie on voit se constituer à l'interface entre le milieu interne à l'organisme et l'environnement une zone d'ingestion et de rejection. Cette zone définit sur la surface membranaire un site privilégié de contact avec le milieu extérieur, qui polarise la relation organisme-milieu et amènera rapidement le développement d'une motricité capable de transporter cet orifice de captage et de rejet et de l'orienter de manière adéquate. Puis la séparation de la bouche et de l'orifice de déjection induira une nouvelle évolution de la structure organique avec l'apparition d'une polarisation oro-anale du corps qui va marquer toutes les architectures pluricellulaires. Elle donne lieu au développement d'une motilité oro-centrique assurant à cette zone non plus seulement une fonction de captage mais de capture active. L'organisation axiale céphalo-caudale conduira, dans son rameau évolutif le plus important, aux espèces à symétrie axiale longitudinale qui privilégie le segment céphalique porteur de la bouche au service duquel se développeront avec une richesse inventive extraordinaire des appareils sensori-moteurs de locomotion, d'orientation, de saisie et d'action sur l'environnement adaptés suivant les espèces aux différents espaces, aquatique, terrestre, aérien où elles se développent.

C'est donc la primauté du segment orocéphalique qui marque phylogénétiquement l'établissement des rapports spatiaux entre l'organisme et son milieu.

A - L'ORGANISATION SENSORI-MOTRICE

La maîtrise de ces relations spatiales reste toutefois dépendante d'un appareil sensorimoteur profondément marqué dans sa morphologie comme dans *son organisation fonctionnelle* par les contraintes que le milieu va imposer à la mobilité du corps et de ses segments et à l'efficacité de ses actions sur les objets.

1°) L'ordre morphologique : sous l'extrême diversité structurale des équipements sensorimoteurs propres à chaque espèce, apparaissent de remarquables similitudes :

L'homme partage par exemple avec toutes les espèces à symétrie bilatérale par rapport au plan médian sagittal les caractéristiques d'une organisation longitudinale céphalo-caudale avec une cavité corporelle contenant les organes végétatifs essentiels portés par des paires de segments locomoteurs et dotés d'un appendice céphalique impair, porteur de la bouche et des capteurs d'information les plus importants pour le guidage des activités de l'organisme dans l'espace physique où il évolue.

Ces capteurs sont eux-mêmes distribués symétriquement de part et d'autre de l'axe : les deux yeux, les deux oreilles, les deux narines. La sensibilité gustative n'est guère impliquée dans les actions sur l'espace externe mais elle joue, avec les appareils moteurs de l'organe buccal d'ingestion, un rôle dans l'identification des matériaux ingérés au service d'une fonction de filtrage commandant l'acceptation ou le rejet, héritière des sensibilités chimiques primitives qui règlent les transits membranaires au niveau de la cellule. Par contre, les deux appareils vestibulaires de l'oreille interne vont assumer une fonction basale d'orientation et de stabilisation de la tête dans le champ des forces de gravité, assurant un positionnement caractéristique de la tête et du corps par rapport au sol terrestre.

Tous les organismes se trouvent donc orientés dans le champ gravitaire avec un avant et un arrière par rapport à la position de la tête et au sens de progression, un dos et un ventre par rapport à la pesanteur, un espace sensorimoteur droit et gauche correspondant à la distribution bilatérale symétrique des paires de capteurs et de segments mobiles (voir figure 1).

La station érigée de l'homme, bien qu'introduisant certaines particularités, ne modifie pas ce schéma général. Ajoutons enfin que le système nerveux va refléter dans son architecture cette organisation bilatérale symétrique que l'on retrouve depuis la moelle jusqu'aux formations encéphaliques avec des relations commissurales assurant la coordination des deux héli-systèmes droit et gauche.

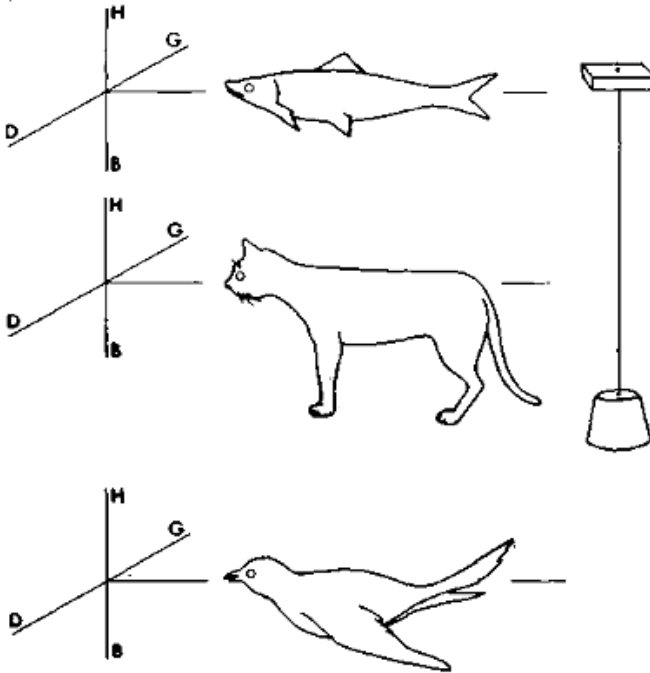


Figure 1. - Orientation du corps dans le champ des forces de pesanteur. Définition d'un espace droit et gauche, d'un haut et d'un bas par rapport à l'axe de la tête et du corps ; d'un avant dans le sens de progression et d'un arrière.

Ainsi l'organisme affronte l'espace de manière symétrique avec un corps mobile articulé, des segments mobiles locomoteurs, des organes préhensiles (main et segment orocéphalique qui servent à la saisie des objets, des matériaux consommables et à leur transformation) et enfin des organes capteurs d'information (organes sensoriels au service de la saisie des informations assimilables et de leur sélection).

Les muscles qui assurent les déplacements des segments mobiles offrent également, par leur insertion anatomique et leur distribution sur les leviers osseux, une particularité remarquable : ils assurent par le jeu de paires de muscles antagonistes les rotations de l'articulation autour de trois axes perpendiculaires. Exception faite de celles du coude et du genou qui ne disposent que d'un seul axe de rotation (horizontal), les articulations de la tête, des épaules et du poignet, de la hanche et de la cheville obéissent à cette règle. De ce point de vue, l'oeil apparaît aussi comme un segment mobile équipé de la même triade d'opérateurs rotationnels : constitués des trois paires de muscles extrinsèques qui assurent la rotation du globe oculaire autour de trois axes perpendiculaires. Aussi ne s'étonnera-t-on pas de l'organisation des trois paires de canaux semi-circulaires de l'oreille interne dont les récepteurs ampullaires sont sensibles aux mouvements de l'endo-lymphe circulant dans trois canaux disposés suivant trois plans orthogonaux (voir figure 2).

Si la représentation euclidienne tridimensionnelle de l'espace n'est peut-être pour le physicien qu'une manière commode, parmi d'autres possibles, de décrire l'espace physique, il est intéressant de constater que la construction des machines biologiques évoluées a également retenu cette commodité pour assurer la maîtrise de leurs déplacements dans l'espace par le jeu sur chaque articulation de trois opérateurs rotationnels réversibles suivant trois axes orthogonaux.

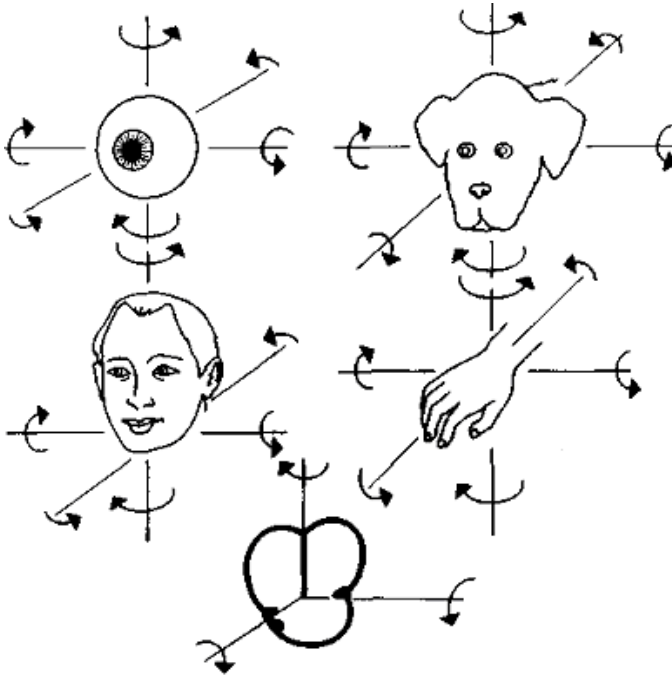


Figure 2. - *Disposition des axes de rotation sur lesquels opèrent les musculatures de l'œil, du cou pour les mouvements de la tête chez l'animal et chez l'Homme, du poignet pour les mouvements de la main. Disposition des canaux semi-circulaires de l'organe labyrinthique selon trois plans orthogonaux.*

2°) L'ordre fonctionnel : la prédétermination des dispositifs sensorimoteurs, et notamment de ceux qui sont au service des activités dites de relation, porte la marque des contraintes spatiales de l'environnement et des contraintes mécaniques de l'architecture corporelle elle-même.

L'analyse physiologique traditionnelle distingue classiquement les *activités posturales* des *activités cinétiques* de l'organisme. Les premières assurent la fixation des pièces du squelette dans des positions déterminées solidaires les unes des autres. Elles s'expriment dans une attitude d'ensemble de l'organisme qui traduit une mise en position du corps face aux objets et aux événements du milieu extérieur qu'il affronte et dans lequel il devra organiser ses déplacements. Les secondes assurent précisément les déplacements et les changements de position du corps dans l'espace. Elles s'expriment par des mouvements coordonnés des diverses articulations du squelette.

a) Les fonctions posturales s'organisent suivant un plan remarquablement commun à toutes les espèces dotées d'un squelette articulé.

A la base un *positionnement antigravitaire* oriente le corps par rapport à la direction des forces de pesanteur. Cette orientation s'exprime dans une attitude érigée fondamentale caractéristique de chaque espèce, de son mode de locomotion, de la distribution de ses instruments d'exploration sensorielle et de ses capacités d'intervention sur les objets. Il s'agit d'une véritable position de référence propre aux états de vigilance et d'alerte, véritable base de toute intervention sensorimotrice dans le milieu environnant. C'est par exemple l'attitude du chien à l'arrêt, de l'animal en alerte, de l'homme vigile en station érigée. Que cette activité vienne à cesser, par

exemple dans le sommeil ou du fait des effets paralysants du curare ou encore par suppression brutale de la vie, et le corps se retrouve plaqué au sol par les forces de pesanteur.

L'étude de cette mise en position fondamentale et de son maintien automatique constitue dans les manuels de Physiologie le chapitre des régulations de la statique et de l'équilibre du corps. Ce chapitre nous décrit classiquement la subordination de sous-systèmes de réflexes locaux à une coordination d'ensemble où la position de la tête dans l'espace semble bien jouer le rôle essentiel et à laquelle contribuent les informations régulatrices d'origine proprioceptive (articulaire, musculaire et labyrinthique) et extéroceptive (cutanée, plantaire et visuelle). Mais c'est avant tout le "fil à plomb" utriculaire de l'organe labyrinthique qui fournit la donnée primaire essentielle sur la position de la tête par rapport à la verticale de la pesanteur et les récepteurs dynamiques des crêtes ampullaires qui émettent les informations correctrices et stabilisatrices de cette position (Paillard 1967).

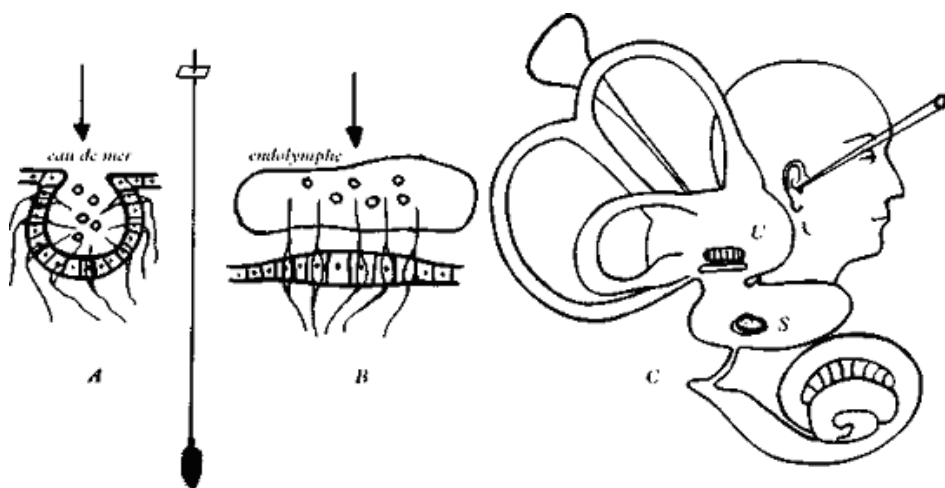


Figure 3. - A - Statocyste de crustacé avec grain de sable stimulant les cils des cellules sensorielles selon la direction des forces de pesanteur.

B - Macula utriculaire de l'oreille interne avec grains otolithiques, en suspension dans une cupule mucogélatineuse, stimulant les cils des cellules sensibles de l'épithélium maculaire.

C - Disposition des sacs membraneux de l'oreille droite, chez l'homme, avec les trois canaux semi-circulaires, l'utricule (U) et sa macula horizontale, le saccule (S) et sa macula verticale, le limaçon porteur des organes auditifs. La direction de la perspective du dessin est indiquée sur le schéma de la tête. (d'après J. PAILLARD, 1967).

On reste frappé de l'apparition évolutive très précoce, dans le monde animal, des statocystes stabilisateurs de la position du corps par rapport aux forces d'attraction de la pesanteur (voir figure 3) et de l'impératif que représente pour les déplacements orientés du corps dans l'espace, et par suite pour la survie de l'animal, l'intégrité de ces mécanismes. L'énergie déployée par un crabe renversé sur le dos pour rétablir sa posture fondamentale témoigne de l'importance de ce régulateur.

Une position fondamentale référencée à la verticale et un stabilisateur automatique assorti de mécanisme de rattrapage et de redressement caractérisent donc l'un des dispositifs basaux de l'orientation du corps dans l'espace.

C'est à partir de cette position fondamentale que vont s'organiser les opérations de positionnement du corps et de ses segments mobiles en direction des sources de signaux captés par les organes sensoriels.

- Le *positionnement directionnel* est assuré par le jeu coordonné de trois opérateurs de modification de l'attitude fondamentale : relèvement et abaissement de la tête dans le plan sagittal, déplacement latéral droite-gauche dans le plan horizontal et rotation dans les deux sens autour de l'axe du corps. Grâce à ce dispositif, dont le siège mésencéphalique est reconnu, la tête et le corps peuvent être pratiquement orientés dans toutes les directions de l'espace physique (Paillard 1967). Ce dispositif général de remaniement postural se complète de dispositifs locaux d'ajustement directionnel des organes de capture d'information sensorielle dont la précision n'est pas moins grande : stabilisation automatique de l'horizontalité du regard, orientation automatique des yeux avec capture fovéale, orientation de la main pour l'exploration tactile et la saisie des objets, avec dans ces deux cas une remarquable homologie d'organisation des systèmes de commandes et des appareils musculaires impliqués permettant les déplacements haut-bas, droite-gauche et les rotations autour de l'axe. Ajoutons encore l'orientation des pavillons des oreilles et les mouvements de la tête au service du repérage des sources olfactives et de la saisie buccale. A tous les niveaux nous nous trouvons en présence de véritables servomécanismes de positionnement automatique de la tête, du corps et de leurs divers appendices mobiles.

Ainsi, l'activité posturale apparaît comme une activité de mise en position du corps et de ses segments par rapport aux forces de gravité d'une part et par rapport aux signaux significatifs du monde environnant d'autre part. Elle fournit les points de référence sur lesquels vont s'organiser les déplacements orientés de l'ensemble du corps ou de ses segments mobiles dans l'espace extérieur. Elle contribue de ce fait à un véritable marquage de l'espace.

b) Les fonctions cinétiques vont assurer les mouvements coordonnés qui permettent, au moins dans le domaine de la vie de relation, les déplacements du corps ou de ses appendices par rapport aux objets du monde extérieur. Ces mouvements exigent pour leur exécution correcte une étroite soumission des commandes motrices aux dispositifs posturaux qui assurent l'équilibre du corps dans ses positions initiale et finale et au cours du mouvement lui-même. Là encore, l'analyse physiologique conduit à distinguer les *activités de transport* qui permettront soit les déplacements exploratoires, soit la réduction de la distance séparant le corps et ses organes de capture de l'objectif (approche), soit encore l'augmentation de cette distance (évitement, fuite) et les *activités opérantes* réalisées par les organes spécialisés de capture aboutissant à la saisie, à la manipulation, à la transformation, à la consommation des objets saisis ou de l'information recueillie.

- S'agissant des *activités de transport* elles supposent l'existence d'un système de relations spatiales où la position respective du corps et de ses segments mobiles et la position des objets se trouvent repérées de manière stable et cohérente. Cette activité est par essence téléocinétique, c'est-à-dire orientée et dirigée par les buts fixés à l'action. Elle prend son assise sur les postures d'orientation directionnelle et se trouve dans son accomplissement étroitement dépendante des dispositifs d'adaptation posturale. Le transport du corps dans son ensemble est assuré par des programmes locomoteurs inscrits dans la structure d'organisation des structures médullaires et assistés dans leur exécution par les dispositifs locaux

d'ajustement proprioceptif. Le transport de la tête ou d'un membre, éventuellement du corps dans son ensemble (comme dans le cas du saut), suppose une trajectoire balistique (et un programme de propulsion, voire de projection dans l'espace) ajustée en direction, en vitesse et en force. L'arrêt ou l'ajustement sur l'objectif exigera l'intervention d'un détecteur d'écart entre la position actuelle du segment déplacé et la position de l'objectif à atteindre et, par suite, la mise en jeu d'une correction automatique de trajectoire au moins dans sa phase finale.

- Quant aux *activités opérantes* de manipulation, de transformation ou de consommation - qu'il s'agisse de la mise en jeu de l'organe céphalique de préhension buccale, de l'organe brachial de préhension manuelle, de l'organe oculaire de saisie des informations visuelles - et des activités d'extraction et de transformations mécaniques ou informationnelles qui leur sont associées, ces activités relèvent pour une part de montages praxiques déjà présents dans le répertoire primitif de l'organisme mais aussi, et dans une large mesure, d'un répertoire d'acquisitions nouvelles. Beaucoup moins dépendantes des systèmes posturaux que les activités de transport proprement dites, ces activités relèvent aussi de systèmes de commandes différents et semblent mettre en jeu une modalité différente de traitement des données spatiales.

Nous sommes aussi amenés à envisager un double espace moteur pour nos mouvements : 1°) celui des mouvements de transport ancrés sur les dispositifs de positionnement postural qui prend ses références sur les positions du corps lui-même et sur les positions des objets repérés dans l'espace extérieur par rapport à ce corps, 2°) celui des activités de saisie, de manipulation, d'exploration palpatoire, de transformation qui opèrent sur l'objet et prennent leurs références dans l'organisation et la structure propre de l'objet lui-même.

B - LES MECANISMES DE REPERAGE ET D'ANCRAGE POSITIONNEL

La maîtrise des relations spatiales exige en outre la constitution de *systèmes de référence* et la mise en jeu de systèmes de repérage et d'ancrage positionnel qui vont constituer les *dispositifs de capture*.

1°) LES SYSTEMES DE REFERENCES

Les activités de transport du corps ou de ses segments dans un espace orienté supposent l'existence de systèmes de référence. La stabilisation des positions du corps immobile par le jeu de mécanismes correcteurs appropriés, exige l'appréciation des écarts entre la position actuelle et une certaine position de référence. Le repérage des positions initiale et finale du membre dans un système référencé peut à la limite suffire à l'élaboration d'un programme de changement de position, donc d'un déplacement. On conçoit qu'un tel programme bénéficie, pour son accomplissement correct, de la prise en charge de l'ajustement terminal du mouvement sur la nouvelle position par des mécanismes d'ancrage positionnel avec leurs servomécanismes stabilisateurs.

Deux problèmes se trouvent ici posés : d'une part celui de la nature de ces référentiels au sein d'un organisme articulé mobile dont l'enveloppe est déformable, d'autre part celui des mécanismes de repérage et d'ancrage positionnel dans ces référentiels eux-mêmes.

S'agissant du problème des référentiels organiques, s'il est permis de supposer un emboîtement de systèmes de détection des positions articulaires permettant à tout moment de mesurer les positions respectives du corps et de ses divers segments grâce aux invariances de longueur et à l'indéformabilité des bras de leviers du squelette osseux, on ne peut concevoir d'activités orientées dans l'espace physique extérieur au corps sans rapporter ce système de mesure des positions relatives du corps à une référence attachée à l'espace physique lui-même. Or cette référence existe. Sa permanence et l'universalité de sa présence dans notre univers terrestre conduisent les organismes vivants à s'équiper d'un détecteur particulier de cet invariant directionnel fondamental que constitue l'orientation des forces de gravité.

Détection de la verticale des forces de pesanteur et positionnement automatique de la tête par rapport à cette direction invariante constituent de fait chez la plupart des espèces dotées d'un squelette articulé un référentiel géocentrique basai pour le calibrage des référentiels articulaires somatiques dans l'espace physique (voir figure 7).

Nous avons vu comment le positionnement du corps et des membres par rapport à la tête assurait *l'attitude érigée fondamentale* du corps et le maintien stabilisateur automatique de cette attitude grâce à l'assistance des réflexes proprioceptifs de soutien mis en jeu par le poids du corps sur les segments porteurs et par le contact des surfaces cutanées plantaires avec un sol rigide horizontal. Tout écart par rapport à cet équilibre fondamental (physiquement rapportable à un déplacement du centre de gravité du corps) se trouve corrigé par des réactions compensatrices, ce qui suppose obligatoirement l'existence d'un *référentiel postural céphalocentrique* de la position du corps par rapport à la verticale. L'analyse du retournement du chat qui tombe et atterrit dans la posture érigée fondamentale illustre parfaitement la présence d'un tel référentiel (voir figure 4) ; car c'est bien en effet le positionnement primordial de la tête qui semble induire la chaîne des réactions musculaires de positionnement final du corps et des pattes (réflexe de Magnus). C'est cette même attitude, mais exagérée, que l'on retrouve dans l'attitude pétrifiée du chat en rigidité d'extension provoquée par la fameuse décérébration sherringtonienne révélant l'existence d'une posture antigravitaire fondamentalement inscrite dans les architectures nerveuses.

De la même manière, nous avons vu que le positionnement des yeux, mobiles dans leur orbite osseuse, obéit aux exigences d'un servomécanisme de stabilisation automatique de l'horizontalité du regard lorsque change la position de la tête, supposant ainsi un *référentiel céphalocentrique* de la position des yeux par rapport à la verticale (voir figure 7).

Que faut-il dès lors ajouter à un tel dispositif pour lui permettre le repérage des sources de stimulation extérieures au corps par rapport à son référentiel céphalocentrique ? Tout simplement un système de repérage puis d'ancrage positionnel de la tête en direction de ces sources. Nous trouvons à la base d'un tel dispositif de positionnement le principe d'un mécanisme de *repérage et de capture informationnelle* qui présente bien des analogies avec celui qui assure la prise des aliments énergétiques par la bouche.

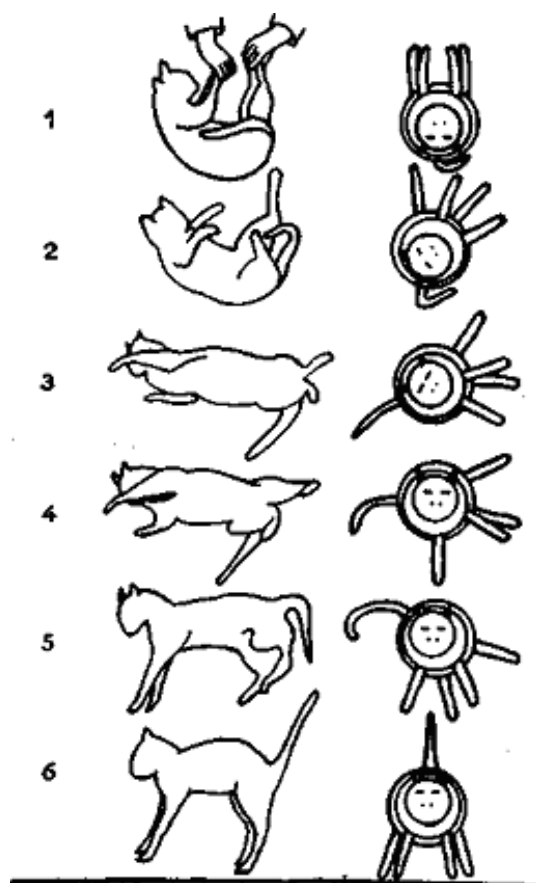


Figure 4. - A gauche : retournement du chat qui tombe d'après les images cinématographiques de Marey.

A droite : Schéma des positions respectives de la tête et des trains antérieur et postérieur au cours du retournement. On notera la précession du retournement de la tête (achevée en 4) sur celle des membres et du corps, et la précession du train antérieur (en 5) sur le train postérieur (en 6). (d'après J. PAILLARD 1963).

2°) LES DISPOSITIFS DE CAPTURE

Un tel dispositif doit comprendre le repérage du point d'impact de la stimulation localisé sur une surface sensible où la distribution des récepteurs se trouve géométriquement référée à la position de la zone de capture et le déclenchement d'un servomécanisme réducteur d'écart entraînant automatiquement les mouvements appropriés pour assurer la jonction finale entre la zone de capture et l'agent de stimulation. La saisie terminale doit elle-même bénéficier d'un dispositif d'ancrage positionnel au service du maintien de ce contact (voir figure 5).

a) C'est précisément ce que nous trouvons dans le dispositif de *saisie des informations visuelles* avec déclenchement, par alerte de la rétine périphérique, d'une saccade de rotation de l'oeil amenant le stimulus repéré dans la zone de capture fovéale. L'oeil se trouve alors stabilisé sur la source de stimulation au point

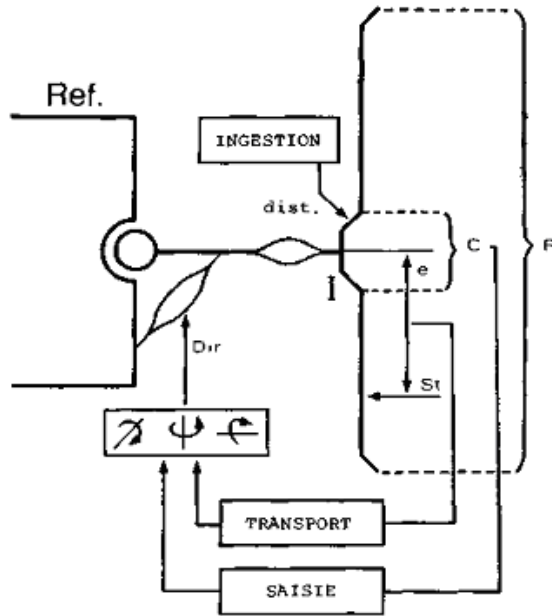


Figure 5. - Schéma d'un dispositif de capture, articulé sur un référentiel (Réf.). Il comprend une surface sensible de repérage R, une zone de capture C et une zone d'ingestion I. La détection du stimulus (St) et sa localisation sur la surface de repérage par rapport à la zone de capture (écart e) entraînent une commande de transport de l'organe (opérateurs rotationnels) de manière à amener le stimulus jusqu'à la zone de saisie. Cette dernière maintient le stimulus captif grâce aux activités d'ancrage positionnel (étroite et poursuite). On notera l'existence d'un ajustement en direction (Dir.) et en distance (dist.) par rapport au référentiel (Réf.).

d'être "transporté" par les mouvements suffisamment lents de cette source compatibles avec les marges de fonctionnement du stabilisateur positionnel, des mouvements plus rapides conduisant à l'adoption d'une stratégie de rattrapage (poursuite) de la cible fuyante ou d'anticipation de trajectoire, différente dans son principe de la saccade de capture. Cette dernière semble en effet résulter d'un programme entièrement anticipé et calculé dans le cadre du référentiel oculo-centrique sur la base d'une mesure de l'écart entre la position de repérage du stimulus sur la rétine et la position de la région fovéale. Le programme doit d'ailleurs contenir une commande du déplacement de l'oeil en direction et en distance.

La cible fixe captive de la fovéa assure une certaine directionnalité du regard dans l'espace, la direction doit elle-même se trouver calibrée dans le référentiel postural céphalocentrique, en déclenchant le cas échéant un changement d'orientation de la tête elle-même en direction de la source.

Cette calibration de la position de l'oeil par rapport à la tête ne va pas sans poser quelques problèmes car, contrairement aux autres segments articulés de l'organisme, l'oeil ne dispose pas de récepteurs articulaires susceptibles de mesurer la direction et l'ampleur de ses rotations dans l'orbite. On a pu invoquer le rôle des afférences proprioceptives d'origine musculaire dans un tel repérage, mais les travaux récents ne semblent pas confirmer cette manière de voir.

On a pu invoquer dans ce cas particulier la faible inertie de cette bille semi-liquide en suspension dans l'orbite et l'absence d'obstacle ou de résistance mécanique imprévisibles susceptibles de s'opposer à ses mouvements. Aussi les signaux de commande des muscles oculaires peuvent, à chaque instant, constituer une indication fidèle sur la position actuelle de l'oeil par rapport à la tête. Ils seraient donc susceptibles, comme l'ont suggéré Von Holst et Mittelstaedt (1950) de fournir cette "copie d'efférence" utilisable comme information dans une boucle interne au système (la décharge corollaire de Sperry (1950)).

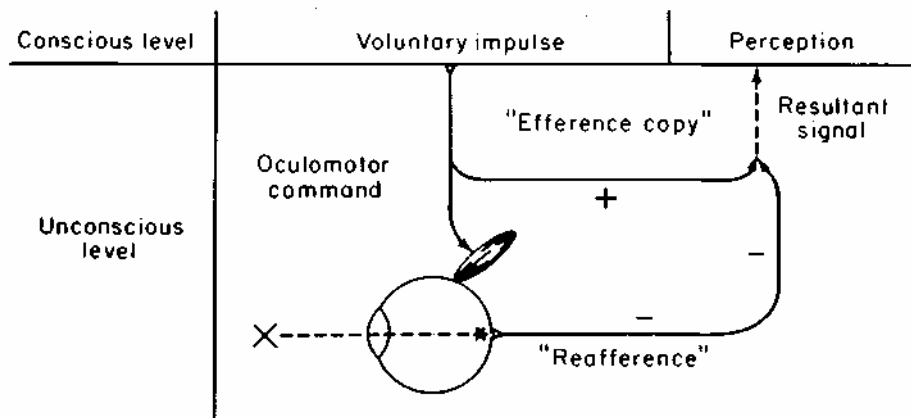


Figure 6. - Schéma de VON HOLST indiquant le principe d'une confrontation entre une copie d'efférence dérivée des voies de commande de la motricité oculaire et les signaux réafférents nés du mouvement de l'image sur la rétine. Les signaux résultants de cette comparaison donnent lieu à une expérience perceptive.

Cette "copie d'efférence" dans le schéma de Von Holst (voir figure 6) serait confrontée aux réafférences visuelles covariantes des changements de position de l'oeil (c'est-à-dire, comme nous l'avons vu plus haut, des changements de la commande motrice reflétés dans la "copie d'efférence") de telle sorte que le mouvement de l'image rétinienne résultant du déplacement commandé de l'oeil serait interprété au plan perceptif comme un mouvement du corps par rapport à un univers stable et non comme une mobilité de l'univers extérieur par rapport au corps. A l'appui de cette interprétation, on évoque classiquement les effets d'un déplacement passif de l'oeil qui s'accompagne d'une instabilité du monde extérieur, et les observations faites sur les sujets atteints de paralysie des muscles oculaires dont l'intention de déplacement du regard suffit à créer un mouvement apparent de l'univers environnant dans le sens inverse.

On peut aussi, dans le cadre d'une interprétation du rôle des référentiels évoqués ci-dessus, considérer un référentiel postural céphalocentrique définissant la position du corps et de la tête par rapport à un univers stable défini par l'invariance de la verticale et de l'horizontalité de la surface d'appui qui supporte le poids du

corps. Toute modification de posture s'accompagne d'une modification du champ d'exafférences (informations sur le monde extérieur). Dans la mesure, toutefois, où ces modifications de posture sont interprétables comme un changement à l'intérieur du cadre de référence postural, et appréciées comme un déplacement du corps ou de ses segments par rapport à cette référence, il devient clair que les modifications du champ d'exafférences ne peuvent être interprétées comme résultant de la mobilité du champ externe par rapport au référentiel géocentrique du corps. D'où l'importance que doivent revêtir dans cette estimation les informations relatives aux mouvements propres du corps et aux positions relatives de ses divers segments. On ne s'étonnera pas, de ce fait, du rôle primordial joué par l'appareil vestibulaire et par ses appareils de détection maculaire statique (détecteur de l'invariance géocentrique) et ampullaire dynamique (détecteur des changements de positions et sensible à la vitesse de ces changements). On comprend aussi la nature des troubles spécifiques qu'entraient leur disfonctionnement ou leur suppression, à savoir le vertige et l'impossibilité de relier le référentiel postural aux invariants physiques de l'espace externe et, par suite, l'incapacité d'un ancrage des positions du corps sur un espace physique stable.

C'est ici que le problème de l'espace visuel reprend toute son importance. Tout ancrage du regard (capture fovéale) sur un objet fixe du monde externe suppose une commande des muscles oculaires, que nous avons supposée calibrante (sous forme de "copie d'efférence" au sens de Von Holst), de la position de l'oeil dans le référentiel céphalocentrique. La direction du regard se trouve donc rapportée dans ce référentiel aux invariants physiques qui en définissent les coordonnées (détection de la verticale invariante, détection de l'horizontalité du regard, détection des changements de position de la tête dans trois plans orthogonaux). On conçoit que toute exafférence covariante d'un changement actif de position de l'oeil (on parle alors de réafférence) dans ce référentiel céphalocentrique soit rapportée à un changement de position de l'oeil et à une fixité du monde externe, alors que toute exafférence covariante d'un déplacement passif de l'oeil, et donc dépourvue de la "copie d'efférence" calibrante et par suite d'une possibilité d'appréciation d'un changement de position de l'oeil dans le référentiel céphalocentrique, conduise à l'interprétation d'une stabilité de l'oeil et à un déplacement de l'espace externe. On interprètera de même, dans le cas de la paralysie oculaire, qu'une exafférence stable mais accompagnée d'une "copie d'efférence" changeante (efférences inefficaces puisque les muscles oculaires sont paralysés) conduise néanmoins à une détection d'un changement apparent de position de l'oeil dans le référentiel céphalocentrique et à une interprétation d'un mouvement apparent du monde extérieur en direction inverse.

En résumé nous devons retenir dans le cas de la capture visuelle :

- l'existence d'un *mécanisme oculocentrique de capture fovéale* dont l'organisation géométrique est assez claire et qui travaille sur le principe d'une saccade de capture, basée sur le principe d'un feed-forward, et d'une saisie fovéale maintenue par un servomécanisme de stabilisation fonctionnelle basé sur le principe classique d'une réduction d'erreur par feedback. Ces mécanismes commencent à être bien analysés par les physiologistes et ce n'est pas le lieu ici de s'étendre sur ce point.

- l'existence d'un *dispositif de calibrage de la position de l'oeil dans le référentiel céphalocentrique*, assez similaire dans son principe d'organisation au dispositif de calibrage des positions du corps par rapport à la tête, et qui constitue un système de mesure des changements de position du corps et de ses segments par rapport aux invariants physiques qui définissent la stabilité de l'espace externe ; fournissant ainsi un moyen pour l'organisme de différencier les modifications du champ d'afférence rapportable aux mouvements propres du corps, dans un univers stable, et les modifications de ce champ qui sont rapportables aux mouvements des objets dans l'espace externe par rapport au corps immobile. On soulignera, sur ce point, la particularité qui confère aux commandes motrices de l'appareil visuel un rôle calibrant de la position de l'oeil, alors que les autres segments articulés du corps disposent d'informations spécifiques d'origine articulaire pour assurer ce type de calibration.

On remarquera, surtout, que le dispositif de capture oculocentrique constitue, de fait, un appareil de traitement de l'espace, organisateur à son niveau d'un certain type de relations spatiales entre un organisme et son environnement. Les relations s'enrichiront, bien entendu, par insertion de ce dispositif dans le référentiel céphalocentrique, d'une dimension supplémentaire capitale, à savoir le calibrage des données visuelles dans le référentiel postural et dans le référentiel géocentrique.

b) Nous retrouvons pour les autres canaux sensoriels des dispositifs de capture élémentaire du même ordre. La *capture auditive* des sources sonores, la *capture olfactive* des odeurs portées par les filets d'air, la *capture buccale* du mamelon par le jeune à la naissance, avec des agencements dont le démontage mériterait d'être entrepris avec plus de détails, sont toutes basées sur un centrage automatique de la tête porteuse des diverses bouches informationnelles et de l'orifice oral d'ingestion de matériaux énergétiques. Les réflexes cutanés, dits des points cardinaux, classiques en neurologie, répondent à un câblage préexistant à la naissance, unissant une carte tactile de la distribution des récepteurs cutanés de la face (et notamment péri-buccaux) aux effecteurs de la motricité céphalique. La stimulation de ces récepteurs entraîne le déclenchement d'un déplacement orienté de la tête pour réduire l'écart entre la position de la bouche et le point stimulé. Ce principe pourrait être assez comparable à celui qui régit les mouvements de l'oeil en vue de la capture fovéale d'un stimulus repéré dans les régions périphériques de la rétine. L'ancrage positionnel dans la zone de capture est, ici, assuré mécaniquement par la saisie labiale avec le concours d'un équipement de récepteurs cutanés dont la richesse et la densité (et l'étendue de leur représentation corticale) peuvent, à bien des égards, rappeler la richesse d'équipement sensoriel et les capacités d'analyse de la fovéa visuelle. Si nous nous aventurons plus loin dans la recherche des isomorphismes nous pourrions rapprocher les opérations de tri, de sélection, de transformation (masticatoire, chimique), d'identifications, qu'exerce l'appareil d'ingestion sur les matériaux captés, des opérations de choix, d'identification des informations sensorielles assimilables par l'appareil de traitement central qu'exerce l'appareil fovéal d'analyse dans l'appareil oculaire.

Mais on doit aussi évoquer le rôle que va jouer cet instrument de saisie buccale comme instrument d'action sur les objets et de transformation active des relations spatiales : déplacement d'objet transporté, construction, destruction, en un mot capacité de modification active de l'ordre spatial de l'univers extérieur.

Là encore, on reconnaîtra clairement la nécessité de distinguer les modifications de l'ordre spatial propre à l'espace de l'objet lui-même, qui ne supposent pas de référence explicite aux référentiels géocentriques et posturaux, et les modifications de l'ordre spatial qui impliquent cette référence : changement de position de l'objet par rapport à la position du corps propre considéré comme objet dans l'espace.

c) De ce point de vue, l'étude de cet autre dispositif de capture que va constituer la *main des primates* et de l'Homme mérite certainement d'être considérée (Paillard 1960).

Cet organe de saisie par excellence, qu'est la main des primates, va, comme la bouche ou la fovéa visuelle, constituer une surface privilégiée de l'interface sensorielle entre l'organisme et son environnement. Le transport balistique de la main vers les surfaces externes du revêtement cutané affectées par une stimulation nocive ou à signification émotionnelle particulière (insecte se déplaçant sur la peau) est bien connu, Il suppose un système de référence des trajectoires motrices orientées de la main dans l'espace tactile. L'étude physiologique des réflexes d'essuyage de la grenouille ou de grattage des mammifères a abordé ce type de problème qui mériterait certainement d'être approfondi. Les mouvements de positionnement de la main sur la surface tactile semblent obéir aux principes généraux des mécanismes de capture, avec programmation anticipatrice de la trajectoire de déplacement de l'organe de saisie et ajustement par feedback du positionnement terminal.

Le maintien de la saisie manuelle, elle-même, met en jeu des réflexes de rattrapage dépendant des stimulations cutanées des surfaces palmaires et digitales et de leur orientation. Les travaux récents de Rosen et Asanuma (1971) sont illustratifs du perfectionnement de cette organisation sensorimotrice de l'appareil digital.

La palpation digitale de l'objet à explorer ou à identifier évoque irrésistiblement la palpation labiolinguale des objets saisis par la bouche et la palpation fovéale des formes visuelles à explorer.

La main, comme la bouche, est aussi organe d'action mécanique sur les objets, instrument de leur transport ou de leur transformation. Elle deviendra, comme on le sait, chez l'Homme, l'instrument privilégié des modifications qu'il apporte à l'ordre spatial de l'univers extérieur.

Là encore nous serons amenés à distinguer les transformations spatiales qui supposent une référence explicite à la position du corps comme objet dans l'espace physique invariant et les transformations qui portent sur l'espace interne à l'objet lui-même qui ne nécessitent pas une telle référence.

CONCLUSION : L'appareil moteur de l'organisme nous apparaît, tant au plan morphologique que fonctionnel, comme une structure assimilatrice et transformatrice de l'ordre spatial. Largement prédéterminée dans son architecture organique et ses agencements fonctionnels, cette structure imposera, de fait, un certain type d'ordre à la nature des rapports spatiaux que les organismes établiront avec leur environnement et par suite à l'élaboration de leur connaissance de l'espace.

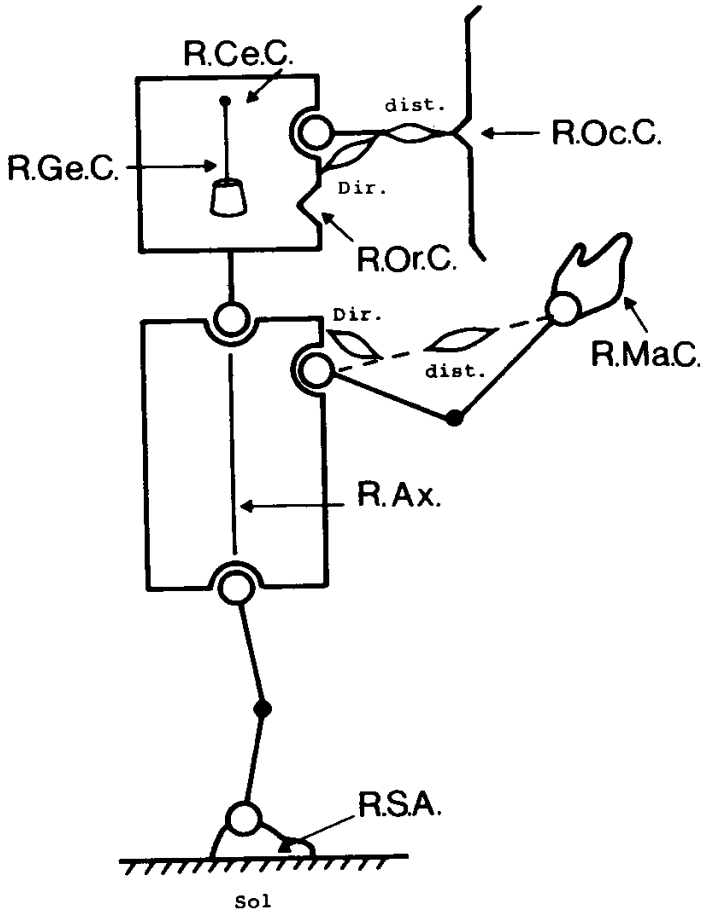


Figure 7. - Représentation schématique des divers référentiels corporels

- R.Ge.C. Référentiel géocentrique de l'oreille interne
- R.Ce.C. Référentiel céphalocentrique constitué par la tête
- R.Or.C. Référentiel orocentrique constitué par la bouche solidaire de la tête
- R.Oc.C. Référentiel oculocentrique constitué par la surface rétinienne repérée par rapport à la fovéa
- R.Ma.C. Référentiel manuocentrique constitué par la surface cutanée de la main
- R. Ax. Référentiel de l'axe du corps
- R.S.A. Référentiel de la surface d'appui du corps sur le sol.

On notera pour l'oeil comme pour la main la représentation symbolique des appareils moteurs assurant le réglage en direction (musculature extrinsèque de l'oeil, musculature de l'épaule et du bras) et le réglage en distance (muscle accommodateur du cristallin et convergence oculaire d'une part, musculature du coude et du bras d'autre part).

La maîtrise des relations spatiales se réalise à divers niveaux et par des mécanismes variés (voir figure 7).

1°) Deux activités fondamentales sont à la base des relations entre l'espace du corps et l'espace extérieur du corps :

a) L'*activité de positionnement* du corps référencé aux invariants physiques que sont la direction verticale des forces de pesanteur et l'horizontalité de la surface d'appui qui constitue l'interface entre milieu terrestre et milieu aérien, et pour les espèces nageuses entre milieux liquide et aérien. Les espèces terrestres à squelette articulé sont équipées d'un dispositif automatique de stabilisation du corps et de la tête dans une position de référence fondamentale. Ce système est ce que nous avons appelé le référentiel postural céphalo-centrique ancré aux référentiels géocentriques de verticalité et d'horizontalité.

b) L'*activité de déplacement* du corps dans son ensemble; elle assure une translation de la position fondamentale sur l'axe céphalocaudal en direction céphalique. Les espèces terrestres à squelette articulé disposent d'un jeu d'appendices locomoteurs assurant le transport de la masse corporelle grâce à une animation coordonnée et programmée des divers segments porteurs.

2°) Les relations entre l'espace du corps et les objets ou événements situés dans l'espace externe sont assurées, sous leur forme la plus élémentaire, par le positionnement automatique, en direction de ces objets ou de ces événements, d'organes spécialisés de capture. Ces organes situés sur les surfaces limitantes de l'espace corporel permettent la saisie dans l'espace externe des informations sensorielles ou des matériaux énergétiques biologiquement utiles. Nous avons reconnu la communauté d'organisation de ces dispositifs fondamentaux dans les divers domaines fonctionnels. Ils assurent une modification de la position du corps ou de l'un de ses segments sur la base d'un référentiel "orocentrique" permettant la coïncidence directionnelle ou la coexistence en un même point de l'espace physique de la source de stimulation extérieure et de la zone de saisie (buccale, manuelle, fovéale).

3°) L'intégration des divers référentiels "orocentriques" de capture dans le référentiel postural céphalocentrique assurerait la cohérence du système de relation entre l'espace du corps et le lieu de capture des objets ou événements de l'espace externe par ancrage sur les invariants du référentiel géocentrique. Quel que soit en effet l'organe de capture utilisé, toute information donnant lieu à des repérages coïncidant dans le référentiel postural sera interprétée comme provenant d'une source localisée au même point de l'espace physique. Il en résultera l'appréhension d'un univers physique stable où le corps mobile et déformable va pouvoir utiliser de nouveaux repères et de nouveaux invariants pour l'organisation de ses actions.

4°) Les organes de capture, eux-mêmes, sont au service de l'alimentation informationnelle et énergétique de l'organisme. Ils exercent une activité de choix, de tri, de sélection, d'identification des signaux ou des objets assimilables grâce aux instruments spécifiques de la machine informationnelle et de la machine énergétique. Ces instruments assurent des opérations d'analyse et de transformation. L'analyse portera essentiellement sur les configurations spatiales des signaux ou sur celles des objets identifiables par leurs caractéristiques de forme. Les transformations porteront sur les modifications de l'organisation spatiale des informations sur l'objet résultant d'activités de déplacement, d'exploration, de palpation, ou encore sur les modifications mécaniques de cette organisation spatiale de l'objet résultant d'activités transformatrices de l'espace de l'objet (destruction, construction).

Certains de ces organes de saisie (bouche, main) peuvent en effet intervenir comme agents d'une transformation active de l'ordre spatial extérieur, soit par déplacement des objets par rapport au corps ou du corps par rapport aux objets, soit par transformation de l'espace de l'objet lui-même. De toute évidence, le traitement de l'espace de l'objet ou de sa forme extérieure relève d'activités motrices désinsérées dans une large mesure des contraintes des référentiels posturaux et de leurs *exigences métriques*. Il ressort davantage d'un principe *d'analyse topologique* des rapports spatiaux.

5°) La différenciation, dans l'organisation du système nerveux, d'un système corticogéniculé de commande de la motricité céphalique au service de la manipulation orale des objets et d'un système corticospinal (pyramidal) au service de la manipulation digitale des objets, nettement dissociés des systèmes généraux (extrapyramidaux) de commande et de contrôle des activités posturo-cinétiques, doit être soulignée. Elle doit, aussi, être rapprochée de la différenciation intervenue dans les systèmes de traitement des entrées sensorielles. Le perfectionnement évolutif de systèmes sensoriels dits spécifiques (acheminant directement les informations sur les aires corticales d'analyse) est au service d'une analyse de la forme des objets et de leur identification. Les systèmes primitifs de distribution de ces mêmes informations sont par contre principalement au service des activités de capture, d'orientation, au service du repérage et de la localisation de ces mêmes objets dans l'espace externe.

La problématique récemment introduite dans l'étude des systèmes visuels (Schneider 1969) qui tend à rechercher un support différencié aux fonctions sensorielles de localisation et d'identification, s'inscrit parfaitement dans le cadre général que nous proposons. Elle trouve sa justification la plus claire dans une étude des activités comportementales sensorimotrices qui se déploient, d'une part en référence à un corps situé dans un espace d'objets repérables par rapport à sa propre position, d'autre part dans l'espace de l'objet lui-même.

6°) La connaissance que nous avons enfin de la forme de notre propre corps traité comme un objet de l'espace physique, de la position relative de ses divers segments articulés et des transformations actives ou passives dont il peut être le siège, pose un problème particulier. Nous pouvons le considérer comme relevant d'une analyse corticale des informations articulaires et cutanées analogue dans son

principe aux analyses des relations intrafigurales et intraobjectales identifiées dans les autres systèmes sensoriels. Cette "image du corps" pourrait se concevoir, au moins théoriquement, comme dissociée de toute référence à l'espace externe et aux référentiels géo- et céphalocentriques sur lesquels s'élaborent les relations du corps avec cet espace externe. La pathologie humaine nous révèle effectivement l'existence de perturbations spécifiques de cette organisation de l'espace du corps indépendantes des conditions métriques du référentiel postural. Il est peut-être significatif de noter de ce point de vue que c'est principalement l'enveloppe de ce corps qui est prise en considération, autrement dit ses contours, ses interfaces, comme c'était aussi le cas pour les systèmes d'analyse de la forme des objets principalement axée sur l'identification de la forme des contours de l'objet ou de la figure.

Une telle hypothèse ne nous conduirait-elle pas à envisager pour les systèmes articulaires et cutanés une dichotomie fonctionnelle du type de celle envisagée pour les autres systèmes sensoriels, à savoir une double destinée de ces informations : d'une part pour l'identification et la connaissance de la forme du corps ou des déformations de son interface, d'autre part pour la localisation et le repérage des divers points de cette interface dans l'espace postural géocentré. Il serait intéressant de poursuivre la réflexion dans cette voie.

7°) Une fois constitués, les instruments opératoires du niveau cognitif vont pouvoir disposer dans le domaine des relations spatiales d'une grande abondance de matériaux issus des expériences sensorimotrices permises par les équipements organiques que nous venons de décrire.

Cette connaissance de l'espace et l'utilisation sémiotique du modèle de relations qu'il fournit apparaîtront donc comme dépendant fondamentalement des capacités assimilatrices dont l'organisme est doté tant au point de vue sensorimoteur qu'au point de vue cognitif.

On peut enfin concevoir l'élaboration de nouveaux outils d'appréhension de l'ordre spatial grâce notamment à l'enrichissement des fonctions d'extraction d'invariance, extraction d'invariance qui semble bien dans le domaine spatial comme dans le domaine temporel constituer l'un des opérateurs fondamentaux de la machine informationnelle des organismes.

II - LA MACHINE BIOLOGIQUE GENERATRICE DE SON UNIVERS SPATIAL

Le second point que nous souhaitons aborder, et qui rejoint l'une des préoccupations dominantes de la Psychologie contemporaine, est celui de la dimension ontogénétique du problème de l'organisation de l'espace.

Sommes-nous en présence d'une simple découverte de l'ordre spatial du monde physique par une machine préadaptée à cette rencontre et qui exprime, comme nous venons de le voir, dans son organisation structurale et fonctionnelle un ordre préétabli qui la conduirait inéluctablement à cette découverte ? Ou devons-nous considérer que cette machine adaptative auto-organisante et auto-structurante deviendrait le propre générateur de l'ordre spatial auquel elle doit accéder pour assurer sa pérennité ?

Quels seraient alors les déterminants moteurs de cette construction par l'organisme d'un espace écologique ordonné à la mesure de ses besoins spécifiques et dont la maîtrise conditionne sa survie ?

Le psychologue retrouvera là l'écho des conceptions walloniennes et piagétiennes, mais le biologiste y reconnaîtra aussi certaines des grandes options de la Neurophysiologie et de la Psychophysiologie contemporaines qu'il nous appartient maintenant d'explicitier.

Nous nous attacherons en particulier à rechercher le rôle que joue la motricité des organismes dans le développement ou le remaniement des divers instruments de maîtrise de l'espace. La première partie de notre analyse nous incite à distinguer ici la participation des activités de positionnement et de transport d'une part et des activités opérantes de manipulation et de transformation d'autre part, dans l'organisation respective de l'espace des lieux et de l'espace des formes.

A - L'APPROPRIATION DE L'ESPACE DES LIEUX

1°) LES INSTRUMENTS INITIAUX

On retiendra que l'inventaire des réactions neurologiques identifiables à la naissance, puis au cours des premiers mois et semaines de la vie, révèle l'existence de montages préétablis, immédiatement à l'oeuvre, et dont l'imperfection initiale va surtout dépendre des difficultés d'une mobilisation adéquate d'un appareil d'exécution peu exercé, peu fiable, manquant encore de force et de précision.

Il faut ici clairement distinguer ce qui relève de la *flexibilité* d'un système qui définit la marge d'écart qu'il tolère à l'exercice correct de la régulation ou de la fonction et qu'il est capable de réduire par ses moyens propres et ce qui relève de sa *plasticité* qui définit la capacité de remaniements internes que possède le système en vue d'enrichir le répertoire de ses activités adaptatives. On entendra enfin par *maturation* ce qui contribue à rendre fonctionnels et efficaces les éléments dont le système est constitué et qui conditionne l'émergence de ses capacités : citons parmi d'autres exemples possibles la myélinisation des voies nerveuses qui permet le processus de conduction des messages et la fonctionnalité de certains circuits ; la mise en place de la machinerie métabolique de synthèse des médiateurs qui conditionne l'efficacité des processus de transmission synaptique ; le renforcement des processus contractiles musculaires qui conditionne la précision et la force des actions mécaniques des organes d'exécution.

C'est de la maturation des éléments constitutifs des dispositifs de capture que va dépendre leur efficacité fonctionnelle dans les premières étapes du développement. La flexibilité et la précision de ces régulations iront s'accroissant avec leur usage. Mais leur degré de soumission et de remaniement dans leur intégration à des régulations d'ordre supérieur va dépendre du degré de plasticité dont ils sont dotés.

a) Les espaces de capture

Capture orale, capture visuelle, capture manuelle sont autant de mécanismes tout montés et immédiatement sollicitables par une stimulation adéquate.

Ces automatismes primitifs vont assurer les premières relations organisées d'un corps mobile avec les objets de son environnement, en positionnant les organes de saisie d'une part et en assurant le transport orienté du corps d'autre part ; c'est par la prédation buccale, oculaire, manuelle que commence la conquête de l'espace moteur du nourrisson. Et pourtant que d'imperfections au départ : lenteur et imprécision de l'exploration buccale, de la saccade oculaire, de la préhension manuelle des objets. Les perfectionnements progressifs de la saisie labiale, de la saisie fovéale iront de pair avec le développement de la motricité de contrôle analytique de ces organes de manipulation des objets.

Dès la naissance l'oeil semble s'accrocher à certaines cibles situées à une distance convenable (l'optimum étant à cet âge de 60 cm). Si la source est déplacée à une vitesse suffisamment lente (30 cm/sec.) le regard se trouve comme attiré par la cible qu'il rattrape par petites saccades. Ces saccades traduisent de toute évidence le fonctionnement des mécanismes de l'ancrage positionnel. On observe, également, dès les premières semaines, l'apparition du réflexe de capture par stimulation des régions périphériques de la rétine. La mobilité de la cible conditionne ici son pouvoir d'alerte. Ce n'est qu'entre la sixième et la huitième semaine qu'apparaîtra une réaction de poursuite continue. Il est intéressant aussi de noter qu'il faudra attendre pratiquement la période de 12 à 16 semaines pour que l'accommodation cristallinienne atteigne les normes de l'adulte et l'espace de capture sa profondeur de champ normal.

Dès la naissance aussi les stimulations tactiles péri-buccales déclenchent le mouvement de la tête et des lèvres permettant la capture orale et le déclenchement de la succion.

Dès la naissance encore les stimulations tactiles de la paume de la main déclenchent le réflexe d'agrippement bien connu caractéristique de la saisie manuelle.

Les Psychologues (voir Koupernik 1954) s'accordent à admettre l'indépendance au départ de l'espace visuel oculocentrique, de l'espace tactile orocentrique, de l'espace de préhension manuelle, et à décrire l'interpénétration progressive de ces espaces qui se traduit dans les jeux visuo-manuels et les jeux oro-digitaux du nourrisson. Cette coordination des espaces de capture marquera une étape nouvelle sur laquelle nous reviendrons, car elle semble nécessiter la constitution d'une référence commune. C'est ainsi que la vision de la main et de ses déplacements va contribuer à calibrer les positions successives de ce segment dans le référentiel postural commun où le calibrage efférent des mouvements oculaires trouvera lui-même son efficacité fonctionnelle. Le regard sera alors correctement orienté vers les sources visuelles, tactiles, sonores et il deviendra apte à diriger les mouvements de la main vers les objets.

Le déplacement du corps dans son ensemble évoluera également avec les capacités des systèmes moteurs : qu'il s'agisse de la reptation, de la nage, de la marche à quatre pattes puis de la locomotion bipède, tout indique à ces différents stades la soumission de l'appareil moteur aux dispositifs de captures informationnelles et au principe d'une réduction d'écart entre le but à atteindre et la position actuelle du corps.

A la limite, la simple estimation de l'écart relatif de positions suffit à organiser les stratégies de progression efficaces indépendamment d'un système élaboré de repérage des positions dans un espace orienté. On reste frappé de la pluralité des stratégies utilisables pour assurer cette réduction d'écart. Le choix de ces stratégies résulte d'essais, d'erreurs ; le but de l'action n'est pas d'atteindre tel point d'un espace référencé mais de réduire l'écart spatial existant entre l'organe de capture et l'objet motivant, d'atteindre la proximité qui autorise la mise en jeu efficace de l'organe de saisie.

On pourrait, de la même manière, étudier les stratégies d'évitement, de fuite, d'accroissement de l'écart. Elles disposent comme les réactions d'approche de montages réflexes élémentaires dont le réflexe de retrait des membres à une stimulation cutanée nocive est le prototype. On peut en rapprocher le riche répertoire des réactions de défense, de protection au service de tous les dispositifs de capture (clignement palpébral, retrait de la tête, rejet mécanique buccal, rejet nasal par l'éternuement, rejet auriculaire par un mouvement réflexe du pavillon de l'oreille, rejet lacrymal) symétriques du répertoire des réflexes d'orientation directionnelle d'approche, de saisie, d'agrippement des diverses zones de capture.

Cette maîtrise élémentaire des relations d'espace entre l'organisme et les objets ou signaux du monde extérieur repose sur un jeu de réactions de capture qui ne suppose, en fait, aucun espace réellement organisé, unifié et stable. Il est très probable que de nombreuses espèces animales se contentent d'un répertoire de ce type, suffisant à assurer leur survie. On connaît l'importance dans tout le monde animal des signaux mobiles pour l'alerte, l'orientation puis l'approche et la capture ou l'évitement et la fuite. Une grenouille mourra de faim au milieu de cadavres de mouches dont l'immobilité en fait des objets non identifiables et biologiquement non repérables. Réciproquement, on connaît les stratégies d'immobilisation propres à de nombreuses espèces qui échappent ainsi au repérage de leurs prédateurs et neutralisent leurs réflexes de capture. Le perfectionnement adaptatif portera essentiellement sur le choix puis la consolidation des stratégies motrices les plus efficaces.

Le monde animal nous offre aussi maints exemples d'une organisation, souvent très subtile, de l'espace locomoteur de l'animal avec repérage des lieux et orientation des déplacements par rapport à des repères terrestres ou même astronomiques. Nous sommes, là encore, en présence d'un répertoire de mécanismes révélant parfois des capacités étonnantes de maintien de cap ou de calcul de trajectoire en relation avec la position de certains repères fixes ou mobiles. Là encore, rien ne nous permet d'avancer l'existence pour l'organisme d'un modèle interne très élaboré de l'espace physique. La maîtrise des relations spatiales est assurée par des servomécanismes du type de ceux dont on peut équiper n'importe quel engin

autoguidé vers certains objectifs prédéterminés. Les comportements taxiques primitifs qui régissent l'essentiel des activités spatiales de nombreuses espèces supposent simplement que l'on ajoute à la composante locomotrice de base, assistée d'un système de positionnement favorable à l'exercice de la fonction, un système d'orientation vers la source à atteindre sans qu'il soit nécessaire d'élaborer un calcul de distance et de programmation de trajectoire. La tortue de Grey Walter équipée des deux seuls opérateurs fondamentaux de progression et d'orientation, et à condition que l'on complète sa cellule photoélectrique d'un détecteur de seuil d'intensité inversant le sens de rotation du moteur de progression, présente une surprenante variété de comportements d'approche et d'évitement.

A ce niveau, les performances de la machine sont entièrement déterminées par son plan de construction et son comportement spatial reste limité aux incitations auxquelles elle a été rendue accessible et au répertoire limité de réponses qu'elle peut y donner. Ce qui n'exclut pas, d'ailleurs, une étonnante diversité de ses comportements. Il est assez clair que l'équipement locomoteur et sensoriel de nombreuses espèces animales présente cette rigidité de construction et que leur maîtrise de l'espace reste limitée à ces automatismes rudimentaires. C'est probablement aussi le statut initial du nourrisson humain avant qu'il ne soit capable d'élaborer la coordination de ses divers espaces de capture malgré le handicap (autant que le privilège d'ailleurs) que constitue, pour son développement, la longue immaturité de son système nerveux.

Comme nous l'avons déjà souligné, ces mécanismes vont à l'usage améliorer leur efficacité, leur précision et leur champ de flexibilité, en même temps que se renforceront les appareils moteurs à travers lesquels s'exprime leur action. Si une intéressante étude de White et Held (1966) a récemment montré que l'enrichissement des contacts entre le nourrisson et son environnement pouvait conduire à un décalage assez impressionnant dans le sens d'une précocité des performances sensorimotrices du nourrisson soulignant le rôle de la sollicitation et de l'exercice dans le développement des instruments fonctionnels de maîtrise de l'espace, le problème peut aussi se trouver posé du devenir de ces montages primitifs présents à la naissance, au cas où ils n'auraient pas eu l'occasion d'être sollicités au cours des premiers stades du développement.

b) Plasticité des dispositifs de capture

Deux aspects de cette plasticité peuvent être envisagés : le premier concerne les conséquences du non usage éventuel de ces dispositifs de capture dans la période post-natale, le second intéresse les possibilités ultérieures de remaniement de ces montages consolidés par l'exercice normal de la fonction.

Nous manquons sur le premier point de faits expérimentaux suffisamment nombreux et précis, l'observation étant évidemment impraticable sur le nourrisson humain. Citons toutefois les expériences réalisées par Nissen et coll. (1951) sur un chimpanzé dont les membres furent enfermés à l'âge de quatre semaines, et pendant une période de quatorze mois, dans des tubes de carton supprimant toute possibilité de préhension et de manipulation d'objets. Après avoir récupéré la liberté de ses mouvements, l'animal n'utilise ses membres que dans la locomotion, la bouche restant l'organe presque exclusif de saisie et de manipulation des objets.

Dans le domaine visuel, au cours d'expériences récentes, Vital-Durand, et coll. (1971) ont soumis des chatons, dans les premières semaines de leur développement, à une expérience limitée à la vision de raies verticales défilant sur un tambour tournant toujours dans le même sens (droit ou gauche suivant les sujets) : les animaux ne présentent plus de saccades nystagmiques à un défilement des barres dans le sens inverse de celui utilisé au cours de l'expérience précoce ; l'exploration des activités unitaires des tubercules quadrijumeaux supérieurs révèle, en outre, la disparition des unités directionnelles correspondantes, ce qui laisserait supposer la détérioration des réactions de capture aux stimulations visuelles qui balayent le champ visuel dans ce sens.

On peut aussi évoquer les observations récentes de Gregory et Wallace (1971) sur un aveugle de naissance opéré à 53 ans. Ils constatent l'absence chez ce sujet de réponses nystagmiques à la stimulation visuelle, la pauvreté et le caractère anormalement lent et ample de ses mouvements oculaires d'exploration. La persistance de ces anomalies, six mois après l'opération, laisse supposer une dégradation irréversible des mécanismes de capture.

Il faut cependant se garder de conclusions trop rapides dans ces domaines où l'état de l'appareil moteur demande à être lui-même sévèrement contrôlé quant aux conséquences éventuelles de la restriction motrice qui lui est imposée. Cette intéressante voie de recherches justifie sans doute de nouveaux efforts à la lumière des faits récemment mis en évidence sur le versant sensoriel et sur lesquels nous allons revenir.

On peut aussi s'interroger sur le degré de soumission de ces montages primitifs aux contrôles centraux et les possibilités de remaniement interne dont ils peuvent être l'objet. On notera à ce sujet une ingénieuse expérience de Smith et Molitor (1969) qui ont imaginé d'équiper d'un prisme une lentille de contact solidaire de l'oeil. Ce prisme dévie les rayons lumineux d'un certain angle. On connaît bien par ailleurs les effets du port de lunettes prismatiques solidaires de la tête : globalement, et en négligeant certaines distorsions introduites pour les grands angles d'incidence, tout se passe comme si l'espace visuel était simplement déplacé d'un certain angle par rapport au plan sagittal médian de la tête, mais l'ensemble des mécanismes de capture fovéale par appel de la périphérie rétinienne peut normalement s'exercer au point qu'un expérimentateur non prévenu ne détecte pas la présence des prismes. Nous reviendrons ultérieurement sur cette situation expérimentale particulièrement intéressante pour l'étude du guidage visuomoteur. Rendre le prisme solidaire de l'oeil comme l'a fait Smith aboutit à une situation très différente. En effet la saccade de capture oculaire déclenchée par une stimulation de la périphérie rétinienne entraîne une rotation du prisme avec celle de l'oeil, ce qui modifie l'incidence des rayons lumineux et par suite entraîne une fuite non linéaire de l'image sur la rétine. Il en résulte que le programme interne de transport saccadique calculé sur des distances angulaires rapporté au référentiel oculocentrique se trouve pris en défaut car ce programme positionne la fovéa sur une direction où elle ne trouve plus la cible attendue. Cette dernière en effet, du fait du mouvement de l'oeil lui-même et de la rotation du prisme qui l'accompagne se retrouve dans une position périphérique par rapport au positionnement fovéal. L'ancrage positionnel ne pouvant opérer, c'est en fait un nouvel appel qui se produit vers cette cible périphérique et un nouveau programme de saccade. Toute tentative de réduire l'écart entre la fovéa et la cible

se trouve vouée à l'échec. L'expérience semble très pénible pour le sujet qui s'avère, semble-t-il, incapable de modifier la direction de son regard sans déclencher une série de réflexes de capture incoercibles. Cette expérience mériterait d'être reprise de manière plus systématique car l'expérience de Smith et Molitor (1969), réalisée sur un seul sujet, conduirait à penser que le sujet, qui théoriquement peut ancrer la position de sa fovéa sur certaines parties du champ, est incapable d'inhiber les réflexes de capture déclenchés par des incitations périphériques. En tous cas, dès qu'il tente une exploration du champ, la fuite de l'image sur la rétine rend la cible inaccessible à une prédation saccadique programmée. On pourrait en conclure qu'un tel dispositif précâblé ne peut être soumis au remaniement des commandes centrales, ce qui est probablement exact mais on concevrait aussi que le sujet puisse élaborer des stratégies d'adaptation à cette situation curieuse grâce à la mise en oeuvre de mécanismes de poursuite ou de déplacement lent des yeux, ce que réalise sans doute, mais pour d'autres raisons (absence de sollicitation initiale des dispositifs de capture liée à la cécité précoce) et par suite plus aisément, l'aveugle-né de Gregory à la suite de son opération. Ce dispositif expérimental permettrait sans doute de mieux préciser les rapports existant entre les mécanismes de capture saccadique et les mécanismes d'ancrage positionnel des régions péri-fovéales.

Il serait enfin intéressant, comme l'indique Howard (1971), d'examiner dans quelle mesure la focalisation attentive systématique sur un secteur non fovéal de l'image rétinienne peut entraîner un remaniement du référentiel oculocentrique, possibilité que Cohen (1966) avait déjà évoquée à propos de l'adaptation prismatique.

2°) REFERENTIEL POSTURAL ET COORDINATION DES ESPACES DE CAPTURE

Le chevauchement des espaces de capture dans le champ de l'espace physique où opèrent les instruments de prédation expose inévitablement l'organisme à des conflits. La fortuité des premières rencontres conduit, de fait, à des confrontations et oppositions généralement rapidement surmontées, pour faire place à une coopération active et à des coordinations de plus en plus élaborées.

a) La coordination des espaces de capture

Ces phénomènes ont été bien décrits par les psychologues (voir Bergeron 1947) chez le nourrisson et nous n'en retiendrons que quelques uns à titre d'exemple.

Dans la coordination buccomanuelle, les contacts fortuits avec la face de la main mobile font de cette dernière une proie privilégiée pour la prédation buccale. Un curieux conflit peut naître alors entre l'inconfort et parfois la douleur consécutive à un agrippement digital déclenché par la prise de la main sur la peau du visage ou celle des lèvres et la satisfaction que va apporter la succion des doigts captés par la bouche. Ce renforcement hédonique conduira rapidement à la résolution du conflit puis à la consolidation des trajectoires de transport du membre qui rapproche la main de la bouche captatrice. La coopération oromanuelle devient alors très active.

Sans le secours de la vue les objets saisis par la main seront systématiquement portés à la bouche et c'est encore la main qui viendra écarter de la bouche les objets inaptes à satisfaire les besoins d'une succion gratifiante.

La *coordination des espaces de capture des deux mains* a également donné lieu à d'intéressantes observations : vers le troisième mois les deux mains se rejoignent dans le plan sagittal médian et s'agrippent en s'explorant mutuellement. On assistera ensuite avec le perfectionnement des activités de saisie et de manipulation à une distribution des rôles entre la main dominante et l'autre (Flament 1963).

L'évolution des *relations visuomanuelles* a été très étudiée. On a souvent décrit, entre la douzième et la vingtième semaine, la phase de capture de la main par l'oeil au cours de laquelle l'activité du nourrisson se trouve accaparée par sa propre main qu'il stabilise dans le champ de son regard en bougeant délicatement les doigts. On doit à Tournay (1924) la très belle observation de décalage dans le temps entre la capture de la main droite et de la main gauche, autour de la dix-septième semaine, décalage qu'il retrouve un peu plus tard entre la disparition du signe de Babinski sur le pied droit et le pied gauche. Tournay en infère le rôle d'un décalage de la maturation entre les voies pyramidales droite et gauche. Un aspect intéressant de cette observation dans la période intermédiaire est que seule la main droite activement mise en position possède le pouvoir d'accaparer le regard, alors que l'enfant reste inattentif à sa main gauche passivement placée dans la direction de son regard par l'expérimentateur.

Ce stade, qui sera suivi du guidage de la main sur l'objet (White et coll. 1964) et du perfectionnement progressif de la saisie digitale, semble accompagné de phénomènes précurseurs. Jusqu'à huit semaines, l'indépendance des champs de capture tactilo-manuelle et visuo-oculaire reste totale. C'est le perfectionnement de l'accommodation cristallinienne qui permettrait entre le troisième et le quatrième mois la capture visuelle de la main. Pourtant White et coll. (1964) décrivent, dès le deuxième mois, des mouvements de balayage de la main en direction de l'objet, le poing restant d'ailleurs fermé. Peu après, ils notent aussi, comme d'autres auteurs avant eux, (Halverson 1931) de fréquentes stabilisations de la main avec passage du regard de la main à l'objet et inversement. Mais il n'y a pas, à ce stade, de contrôle visuel du grasping lui-même qui reste sous l'entier contrôle des incitations tactiles.

Piaget décrit aussi, autour du quatrième mois, les premières réussites d'un guidage de la main vers l'objet dans la phase terminale d'ajustement, mais là encore seul un contact tactile avec l'objet peut déclencher le "grasping".

Ce n'est qu'autour du cinquième mois que l'on verra apparaître, avec une amélioration de la précision du transport et du guidage visuel de la main à proximité de l'objet, l'ouverture anticipatrice des doigts préparant la saisie terminale.

Mais on retiendra surtout pour notre propos qu'une étape essentielle sera franchie lorsque la musculature du cou disposera de la force nécessaire pour assurer le positionnement du segment céphalique fournissant alors les éléments d'un

repérage céphalocentrique. C'est la possibilité de rapporter au référentiel géocentrique les mouvements de la tête en réponse aux dispositifs de capture visuelle, auditive, buccale qui semble susciter puis imposer la cohérence des divers espaces sensoriels.

Nous disposons aussi d'intéressantes *observations nouvelles sur l'animal*.

Les expériences d'élevage de jeunes chatons ou de jeunes singes dans des conditions de *restriction sensorielle ou motrice* ont, comme nous allons le voir, clairement distingué deux composantes de la coordination visuo-motrice entrant en jeu dans le guidage du membre vers une cible visuelle. On peut, en effet, laisser les animaux se développer normalement du point de vue perceptif mais en leur imposant une restriction motrice (transport passif dans un environnement visuel normal ou activité normale mais avec masquage visuel des membres en mouvement), on peut aussi priver sélectivement l'animal d'une vision normale des formes sans restriction motrice (Held et Bossom 1961).

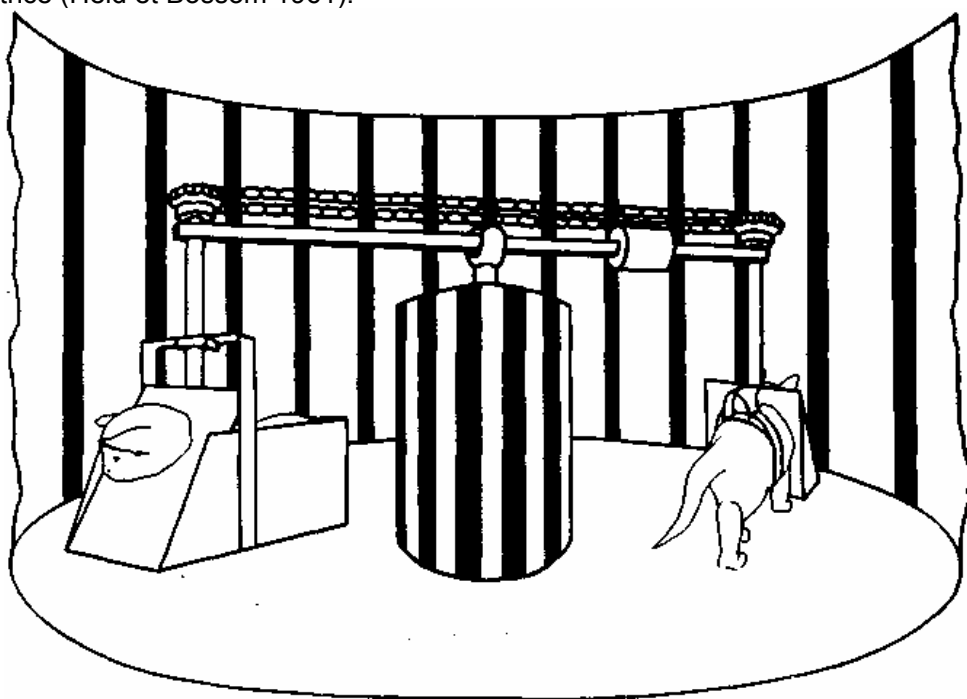


Figure 8. Dispositif expérimental permettant de soumettre deux chatons élevés depuis leur naissance à l'obscurité totale à une expérience visuelle identique associée chez l'un d'eux à une exploration active de son environnement et chez l'autre à un transport passif. (D'après HELD et HEIN 1963).

L'expérience rapportée par Held et Freedman (1963) est maintenant classique. Des chatons sont élevés par paire dans l'obscurité. Les deux animaux sont placés trois heures par jour dans un manège éclairé leur fournissant un environnement visuel de raies verticales noires et blanches. Le manège est conçu de telle sorte que l'un des chatons en est attelé à l'une des branches et entraîne par son mouvement locomoteur l'autre chaton suspendu dans une nacelle à l'autre branche du manège (voir figure 8).

Les deux animaux reçoivent aussi la même quantité et la même qualité d'information visuelle, toutefois cette information est collectée activement par le chaton mobile et acquise passivement par le chaton transporté.

L'une des épreuves utilisées pour tester les effets de cette expérience différentielle chez le chaton présente un rapport direct avec le problème du guidage visuomoteur. Il s'agit de la réaction dite de « placement visuel ». Elle consiste en une réaction d'extension des membres antérieurs vers la surface d'appui lorsqu'on porte l'animal au voisinage du rebord d'une table par exemple. Le plan d'appui utilisé comporte en fait un bord découpé en créneaux, de telle sorte que l'animal doit non seulement projeter ses pattes vers cette surface d'appui mais encore les guider pour les placer sur les parties rigides et pleines des créneaux et non dans l'intervalle vide qui les sépare (voir figure 9). Or on constate que si les deux chatons soumis à l'expérience précédente présentent tous deux une projection des pattes en avant, seul celui qui a été actif place correctement ses pattes sur les parties rigides, alors qu'il faudra plusieurs semaines de vie active pour que le chaton "passif" réussisse à son tour un placement correct.

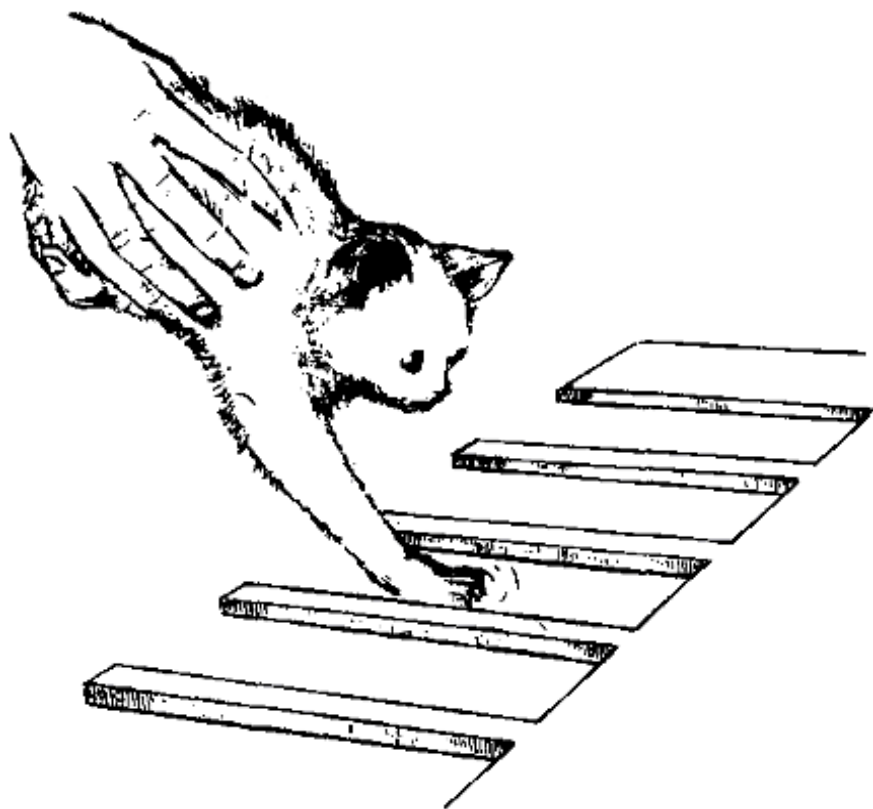


Figure 9. - Test de la réaction de placement visuel des pattes chez le chaton. L'animal présente une extension réflexe des pattes avant lorsqu'on l'approche d'une surface d'appui, le positionnement de la patte sur le créneau solide de la surface d'appui nécessite l'établissement des coordinations visuomotrices indispensables au guidage visuel du mouvement. (D'après HEIN et HELD 1967).

Hein et Held (1967) ont confirmé cette dissociation en élevant des chatons dans un environnement sensorimoteur normal mais en les équipant d'un collier muni d'un écran conique soit opaque empêchant l'animal de voir ses membres antérieurs, soit transparent lui permettant cette vision (voir figure 10). Le chaton privé de la vision de ses membres présente à quatre semaines une réaction de placement imparfaite dans sa phase finale.

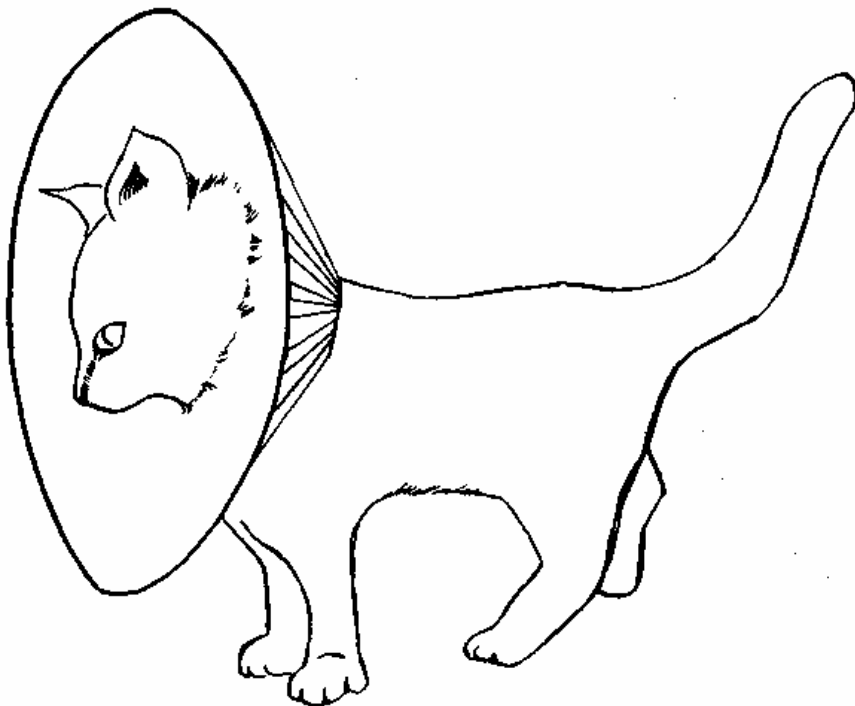


Figure 10.- Dispositif de restriction de la vision chez le jeune chaton au moyen d'une collerette opaque empêchant l'animal de voir ses membres en mouvement. Les animaux contrôles sont équipés d'une collerette transparente. (D'après HEIN et HELD 1967).

Ce même type d'expérience a été réalisé chez de jeunes singes élevés dès la naissance dans une housse opaque autorisant les mouvements du bras et les activités de manipulation par guidage tactile, mais sans le secours de la vue. Les auteurs (Held et Bauer 1967) notent dans ce cas des tentatives spontanées de l'animal pour déplacer son membre sous la housse vers les objets présentés visuellement. Lorsqu'on découvre le membre après trente cinq jours (âge auquel un singe élevé dans des conditions ordinaires a des réactions de saisie manuelle visuellement guidée tout à fait normales) l'animal se trouve tout à fait désorienté par la vision de sa main et, comme le nourrisson humain, la contemple longuement. Il la suit du regard lorsqu'elle se déplace. Il ne parvient pas à l'orienter correctement vers l'objet et si la main vient à heurter l'objet elle ne s'ouvre pas immédiatement pour le saisir. Si on poursuit l'expérience en donnant à l'animal la vision de sa main une heure par jour, il lui faut près d'un mois pour établir un guidage correct permettant une préhension convenable de l'objet.

Ces résultats expérimentaux sont à rapprocher d'une observation clinique rapportée par Chavanis en 1914 (signalée par Jeannerod) portant sur un enfant de huit ans, opéré d'une cataracte congénitale bilatérale qui ne lui permettait qu'une vision fruste des lumières et des ombres. Plusieurs jours après l'intervention, le sujet ne cherchait pas à se servir de ses mains sous le contrôle de la vue. Si on lui demandait de saisir les objets qui l'entouraient son geste restait maladroit. Sa main se trouvait projetée en direction approximative, puis l'enfant fermait les yeux, recherchait le contact tactile pour assurer sa préhension correcte. En d'autres circonstances la main planait au hasard, même si l'objet se trouvait hors de portée.

Nous retiendrons essentiellement de ces données la démonstration du rôle de l'activité propre de l'animal et de la vision de son corps ou de ses membres actifs dans l'établissement de relations visuomotrices coordonnées.

Deux questions essentielles se trouvent ainsi posées : celle du rôle joué par l'édification d'un référentiel postural commun aux divers espaces de capture et celle de la fonction de l'activité du sujet dans leur coordination et leur unification.

b) Espace postural et invariant statural

La notion de schéma corporel est aujourd'hui trop familière pour qu'il soit utile de nous y étendre ici. Cette notion n'est toutefois pas dépourvue d'une certaine ambiguïté comme Wallon l'a d'ailleurs bien souligné (Wallon et Lurçat 1962) en distinguant l'*espace postural* du *schéma corporel* qu'il anime. Nous pousserons ici plus loin encore cette distinction qui nous paraît fondamentale. Les informations proprioceptives qui sont issues de nos mouvements et des positions prises par notre corps ont des origines et des destinations variées dans les chaînes de traitement centrales. Toutes en particulier ne participent pas à l'éveil d'une prise de conscience. Ce privilège semble, en effet, accordé aux seules informations d'origine articulaire alors que l'important contingent des afférences d'origine vestibulaire, musculaire ou tendineuse va contribuer aux régulations anatomiques de cette admirable machinerie motrice ordonnée dans sa structure et adaptée dans ses fonctions pour assurer le positionnement antigravitaire du corps et ses déplacements dans un espace orienté. L'image du corps et la conscience que nous en avons n'est en fait que l'enveloppe de ce contenu animé que constituent notre squelette et les muscles qui le mobilisent.

Les mécanismes de cet assemblage semblent bien relever d'une organisation prédéterminée et les imperfections initiales du système à la naissance semblent davantage relever des insuffisances du moteur musculaire, proprement dit, dans sa fonction de production d'énergie contractile, que d'une attente d'élaboration des agents centraux de régulation. On connaît, par ailleurs, la grande vulnérabilité du muscle privé d'exercice dans l'organisme adulte. Aussi, dès que la musculature a acquis la force nécessaire pour supporter le poids de la tête puis du corps, apparaissent immédiatement les figures de positionnement postural inscrites dans l'équipement fondamental du système : relèvement de la tête avec positionnement horizontal des yeux chez le nourrisson de deux mois et demi couché sur le ventre, redressement du tronc en position assise à sept mois, puis enfin position debout, fondamentale automatiquement maintenue par le servomécanisme d'équilibration géocentrique qui constitue un véritable dispositif primitif d'ancrage positionnel antigravitaire

Cette position fondamentale caractéristique de l'espace exprime, pensons-nous, le référent basal de l'espace postural géocentré et l'on peut à son propos parler d'un véritable *invariant statural*. La stature désignant étymologiquement "le corps considéré dans ses dimensions et sa position debout".

Aussi le développement de l'espace postural apparaît-il comme lié aux facteurs de développement de la force des groupes musculaires, à l'exercice auquel ils sont soumis, aux poids des segments corporels à mobiliser et aux mouvements permis par les dimensions du squelette et les masses à mobiliser.

L'invariant postural émerge comme un achèvement fonctionnel de la machinerie motrice et il devient, par là même, une véritable référence pour tous les mouvements du corps et de ses segments. Nous avons déjà souligné le rôle primordial que va jouer la tête porteuse du détecteur des forces de gravité dans l'ancrage positionnel de la station et dans le maintien de la stabilité du corps au cours de ses mouvements. Il faut y ajouter, au moins chez les animaux terrestres, le rôle joué par les zones de contact avec la surface d'appui rigide que constitue le sol.

Les informations proprioceptives issues de cette posture fondamentale contribuent à l'édification de l'étoffe de ce que nous avons appelé « *le référentiel postural* » du système.

Il est bien clair que l'existence d'un tel référentiel reste tout-à-fait indépendante de la conscience que nous pouvons prendre de la position de notre corps. On peut même supposer que l'ordonnance de nos informations proprioceptives articulaires dans ce référentiel postural (qu'elles contribuent à édifier) va constituer le préalable à une intégration des sensations articulaires et des sensations issues de l'interface cutanée qui sépare l'espace du corps de l'espace extérieur dans un schéma corporel perceptivement construit.

On conçoit dès lors que les réflexes de capture primitifs, comme les réflexes de protection et de défense, soient parfaitement capables de s'exprimer de manière autonome et sans référence initiale à un référentiel postural constitué. Le retard d'expression de l'invariance staturale chez le nourrisson humain devrait poser quelques problèmes pour la coordination des espaces de capture et l'organisation de son schéma corporel. Position couchée, position assise, position debout contribuent certainement à trois moments de la constitution d'un référentiel postural complet. Le référentiel céphalocentrique joue vraisemblablement un rôle prédominant pour la coordination des espaces visuels et auditifs, mais la coordination visuomanuelle exige l'intégration du tronc et de ses segments articulés dans le référentiel céphalocentrique. L'espace locomoteur et ses relations avec les autres espaces sensoriels exigeront la constitution du référent statural. Les données récemment acquises dans l'étude des phénomènes de recoordination des espaces sensoriels soumis à une décorrélation expérimentale chez l'adulte ont apporté une contribution nouvelle importante à ce problème. Elles ont notamment soulevé la question de la plasticité du référentiel postural et des mécanismes susceptibles d'en rendre compte.

c) Plasticité du référentiel postural

L'adaptation des coordinations visuomotrices consécutives à un déplacement prismatique de l'espace visuel a suscité de nombreux travaux depuis les premières observations systématiques de Helmholtz, de Stratton et de Koehler (voir revue de Howard et Templeton 1966).

L'intérêt nouveau porté à ces phénomènes est dû principalement à la découverte du rôle que joue l'expérience active du sujet dans la recoordination de l'espace visuomoteur.

Une grande partie de ces travaux a été effectuée sur la performance de pointage manuel d'une cible visuelle.

On distingue ici deux conditions expérimentales : celle d'une coordination oeil-main dite en *boucle fermée* où la vision de la main permet l'ajustement correcteur de la trajectoire sur la base d'une détection visuelle de l'écart entre la main et la cible, notamment dans la phase terminale de la trajectoire au voisinage de l'objectif ; celle de la coordination oeil-main dite en *boucle ouverte* où c'est bien le repérage visuel de la position de la cible qui déclenche le transport de la main mais où la trajectoire du mouvement ne peut être corrigée par la vue. L'écart éventuel entre la position finale de la main et la cible visuellement repérée ne peut être jugé que sur la base d'une comparaison entre données visuelles d'une part, données proprioceptives et éventuellement tactiles d'autre part.

On peut facilement mettre en défaut la coordination oeil-main par le port de lunettes prismatiques. L'espace visuel du sujet se trouve ainsi décalé d'un certain angle par rapport à son référentiel postural. Autrement dit, la direction du regard repérée dans le référentiel céphalo-centrique se trouve décalée de l'angle correspondant lors de la fixation d'une cible et la main se portera vers cette cible virtuelle, manquant donc son but dans la situation boucle ouverte (sans correction) avec l'erreur systématique attendue. En situation boucle fermée toutefois, la trajectoire de la main peut être corrigée par la détection de l'écart. On constate d'ailleurs dans cette dernière condition que le sujet surmonte relativement facilement le conflit perceptif et qu'il suffit de quelques minutes pour que les mouvements de la main se trouvent à nouveau correctement dirigés vers la cible réelle, et, qui plus est, on constate qu'alors dans la condition "boucle ouverte" la main se trouve transportée dans la direction réelle de l'objet et non plus vers son image virtuelle.

Enfin le retour à la situation perceptive normale par suppression des lunettes prismatiques s'accompagne, en boucle ouverte, d'une persistance du programme de transport rectifié de l'angle de décalage introduit par les prismes. Le sujet porte alors sa main dans une direction symétrique de celle introduite par le déplacement prismatique par rapport à la direction réelle de l'objectif à atteindre. Cette erreur sera elle-même rapidement corrigée par une expérience de pointage en boucle fermée, la vision du membre actif recalibrant la trajectoire de transport dans l'espace visuel.

Ce schéma expérimental relativement simple et pouvant conduire à des estimations quantitatives précises a été introduit par Held et Gottlieb (1958) et a donné lieu au cours des quinze dernières années à de nombreux travaux (Brouchon,

1968). Il permet en effet la mise en évidence d'une surprenante plasticité adaptative du système de coordination des espaces de capture visuelle et manuelle. Plasticité qui se traduit par la capacité d'ajustement et de remaniement des programmes moteurs de transfert du membre en boucle ouverte dans un espace visuellement repéré. Il ne s'agit donc pas là d'une simple flexibilité introduite par les rétroactions correctrices d'un servomécanisme réducteur d'écart, mais d'une réelle opération de programmation anticipatrice d'un mouvement balistique, programmation qui nécessite un calcul de trajectoire en direction, en amplitude et en vitesse sur la base d'un référentiel interne où se trouvent assurées la comparaison et la commensurabilité des informations spatiales fournies par l'appareil visuel d'une part et par l'appareil tactilo-kinesthésique d'autre part.

Plusieurs problèmes importants ont été soulevés par ces expériences :

Le premier concerne le *rôle tenu par l'activité du sujet dans cette opération de réajustement interne des standards de référence*.

Le rôle organisateur initial de l'expérience motrice dans la mise en place des coordinations qui sont à la base de la maîtrise motrice de l'espace visuel ressortait clairement des expériences de restriction sensori-motrice rappelées précédemment. L'extrême plasticité que révèlent, chez l'adulte, les réorganisations rapides consécutives aux expériences de dé-coordination expérimentale indique que nous nous trouvons en présence d'un mécanisme d'adaptation d'une étonnante efficacité.

On ne peut pas non plus assimiler les recalibrations motrices constatées à de simples apprentissages moteurs, car l'expérience motrice, limitée à un déplacement bien défini dans l'espace visuel, généralise immédiatement ses effets recoordinateurs à l'ensemble de l'espace des déplacements possibles du membre concerné.

Si les mouvements de la tête et du tronc sont permis au cours de l'exposition visuelle de la main dans l'espace déplacé, l'adaptation s'étend alors indifféremment aux deux bras qui pointent dans la direction correcte après l'adaptation. Si, la tête et le tronc fixés, seul le bras activé se trouve adapté, nous avons pu montrer dans notre laboratoire (Hay et Brouchon, sous presse), dans cette dernière situation, que l'adaptation pouvait en dernier ressort être limitée au jeu d'une articulation, avec toutefois une hiérarchie de subordination : l'adaptation de l'articulation de l'épaule bénéficie au coude et au poignet, celle du poignet bénéficie de celle du coude, mais une adaptation limitée au poignet reste limitée à ce segment.

En fait, et sans entrer dans le détail des résultats souvent contradictoires d'une littérature maintenant très abondante sur ce sujet (voir revues de Howard et Templeton, 1966 et de Brouchon, 1968), nous retiendrons simplement que les réarrangements responsables de la recoordination visuomanuelle apparaissent aujourd'hui comme pouvant relever, en tout cas chez l'adulte, d'au moins deux modalités de régulation adaptatives dont l'indépendance ou la filiation ontogénétique reste encore imprécise.

La première rendrait compte de l'efficacité des expériences actives du sujet dans le phénomène de réadaptation et impliquerait un remaniement du référentiel postural.

La seconde, fondée sur l'existence de réadaptation, surviendrait chez le sujet passif en l'absence de toute expérience motrice et supposerait une capacité particulière de l'organisme à surmonter ses conflits perceptifs en présence de discordance sensorielle expérimentalement provoquée.

La première de ces modalités, la plus primitive probablement, s'exprime dans les remaniements partiels ou généralisés que produiront dans le référentiel postural les réafférences proprioceptives nées de la mobilisation active du membre sous le contrôle de la vision (Harris, 1965). Une telle explication vaut, semble-t-il, pour toutes les expériences réalisées dans les conditions expérimentales où la tête et le tronc sont stabilisés et pour les effets consécutifs à des expositions relativement brèves. Cette recalibration du schéma postural, et par suite des stratégies motrices qui s'élaborent sur cette référence, permet d'expliquer le non transfert de l'adaptation aux segments non impliqués dans l'expérience motrice active de recalibration, le transfert de cette adaptation aux opérations portant sur d'autres espaces sensoriels : proprioceptif (repérage incorrect de la main contralatérale non adaptée et du plan sagittal médian), auditif (pointage incorrect vers une cible sonore) et tactile (le sujet localise la stimulation tactile que l'on donne à son bras adapté dans la nouvelle position où il situe proprioceptivement son membre dans le référentiel postural (Craske, 1966). L'ensemble de ces faits ne serait guère conciliable avec un réarrangement des données visuelles au niveau perceptif, un alignement de ces dernières sur les données tactiles et kinesthésiques, comme le postulait l'hypothèse classique de Berkeley. Les divers espaces sensoriels se trouveraient du même coup réunifiés et le sujet devrait pointer correctement sur les cibles tactiles ou sonores et retrouver son autre main à la position attendue. Or, en fait, tout se passe comme si les programmes moteurs de transport de la main adaptée tenaient compte désormais de l'erreur de visée introduite par les prismes en les compensant, afin de maintenir la congruence de l'espace moteur et de l'espace visuel. Il est intéressant de constater que ces programmes rectifiés pour l'indication directionnelle d'une source visuelle en boucle ouverte seront également mobilisés pour le pointage d'une source sonore et conduiront à des erreurs systématiques dans l'espace sonore. Ainsi se trouve corroborée l'existence d'un référentiel proprioceptif plastique et remaniable sur lequel s'unifie et s'organise l'ordre spatial des impressions sensorielles auquel l'organisme accède par ses divers organes de capture.

Ce référentiel apparaît comme une réalité mouvante, exigeant pour son organisation et son maintien la confirmation permanente des expériences motrices que dirige l'organisme dans son environnement. Une telle plasticité lui permet d'adapter continûment, au cours des premières années de la vie, le calibrage des positions des segments articulés qui composent la charpente organique dont les dimensions vont constamment croître jusqu'à ce que la taille adulte définitive soit atteinte. C'est encore cette plasticité qui rend compte de la facilité confondante avec laquelle s'incorporent à ce référentiel organique les prolongements artificiels du corps que constituent les divers instruments qu'il associe à sa mobilité et à sa maîtrise de l'espace (outils, canne, automobile, machines). L'animal, lui-même, offre les exemples d'une telle capacité à incorporer de nouveaux segments au contour de son espace corporel ou à s'adapter à la suppression de certains segments naturels. Le danger que représente pour le torero le désarroi des taureaux dont on a appointé les cornes, sans avoir laissé aux animaux le temps nécessaire à une recalibration active de la nouvelle dimension de leurs cornes, est bien connu des spécialistes.

Le problème se trouve évidemment posé des mécanismes susceptibles de rendre compte de ces opérations "calibrantes" du système de référence positionnel du corps et de ses segments mobiles auxquels tout programme moteur impliquant un changement de position doit être rapporté.

d) Les mécanismes de calibration

Comme nous venons de le rappeler, les travaux récents ont contribué à souligner le rôle calibrant et organisateur de la motricité active. Du même coup se précisait une voie d'approche originale des mécanismes neurophysiologiques susceptibles d'expliquer les effets fonctionnels qui distinguent une mobilisation active (intentionnelle, volontaire), des segments du corps de leur mouvement passif ou réflexe.

Ce chapitre nouvellement ouvert s'illustre déjà d'un nombre important de travaux. Deux types d'hypothèses sont généralement avancées pour rendre compte du support des informations qui seraient spécifiquement associées aux commandes motrices intentionnelles et seraient absentes lors des changements passifs de position.

La première hypothèse fait jouer un rôle à une boucle interne d'information issue de la commande motrice elle-même. C'est la fameuse copie d'efférence du modèle de Von Holst que nous avons déjà évoquée. La copie d'efférence de la musculature oculaire pourrait donner une information sur la position de l'oeil (au même titre que les informations articulaires renseignent sur la position des articulations). Les changements de position de l'oeil s'accompagnent d'un balayage de l'image sur la rétine qui est à l'origine d'une "réafférence" visuelle sur le mouvement de l'image. Copie d'efférence et réafférence se trouveraient confrontées au niveau d'un comparateur comme deux activités antagonistes susceptibles d'annuler leurs effets respectifs. La perception du mouvement des objets du monde extérieur par rapport à l'oeil naîtrait de la non soustraction éventuelle de ces deux effets antagonistes à la sortie du comparateur. C'est ainsi qu'un déplacement passif de l'oeil, entraînant un balayage de la rétine identique au précédent, donnerait alors naissance à la perception d'un mouvement des objets, par défaut de la copie d'efférence "antagoniste". De même la commande volontaire d'un muscle paralysé, bien qu'objectivement accompagnée d'une stabilité de l'image sur la rétine et d'une absence de réafférence, donnerait également naissance à la même perception d'un mouvement du monde extérieur. La recherche d'un support nerveux à cette copie d'efférence fait actuellement l'objet de nombreux travaux (voir à ce sujet Jeannerod et coll., 1970 et 1971). Un tel modèle qui rend compte de la perception d'un environnement visuel stable peut-il être étendu aux coordinations visuomanuelles qui supposent, elles aussi, une certaine représentation d'un univers sensorimoteur stabilisé par rapport à un corps mobile articulé ?

Reprenant le modèle de Von Holst, Held y ajoute une "mémoire" qui garderait la trace des combinaisons covariantes entre les programmes moteurs et les réafférences pluri-sensorielles qu'ils ont suscités au cours d'expériences motrices

antérieures. La sélection d'un de ces programmes évoquerait du même coup la trace des combinaisons réafférentielles correspondantes qui seront alors utilisées comme "modèle" auquel seraient confrontées les réafférences nées de l'exécution effective du programme. Le comparateur signale alors le taux d'erreur du mouvement en cours et ses informations de sortie interviendraient comme correctrices de ce mouvement qui atteindra ainsi correctement l'objectif prévu. Le répertoire des programmes et des modèles réafférentiels associés se constituerait progressivement par l'expérience du sujet sur la base d'une motricité active. Un mouvement passif, en effet, ne peut conduire à la conjonction d'un programme d'efférence et d'une combinaison de réafférence. On expliquerait ainsi qu'une discordance (décalage prismatique par exemple) entre les réafférences nées de la mobilisation d'un programme du répertoire et la combinaison réafférentielle qui lui est normalement associée dans la mémoire doit conduire à l'apprentissage d'une nouvelle combinaison. Un tel modèle théoriquement applicable à la motricité somatique reste encore très éloigné des possibilités d'une vérification expérimentale au plan neurophysiologique. Les faits ne manquent pas cependant pour trouver un support nerveux aux boucles régulatrices internes alimentées par des dérivations des grandes voies de commande de la motricité (voir revue de Coquery, sous presse).

Une deuxième hypothèse, qui n'est peut-être pas exclusive de la première, dans la mesure où elle fait également jouer un rôle aux "réafférences" nées du mouvement actif, se caractérise cependant par la recherche d'une information proprioceptive calibrante associée aux conditions actives de mobilisation de la musculature et qui serait absente dans les conditions d'un déplacement passif.

Dans le cadre d'une étude sur le sens de la position, chez l'homme, nous avons pu montrer dans notre laboratoire (Paillard et Brouchon 1968) que la position finale atteinte par le membre activement déplacé se trouvait repérée avec beaucoup plus de précision que la nouvelle position atteinte par un membre passivement déplacé. Recherchant les mécanismes susceptibles de rendre compte de cette intéressante dissociation entre mouvements actifs et mouvements passifs, nous avons été amenés à faire l'hypothèse du rôle calibrant des informations proprioceptives d'origine musculaire.

Nous avons, par ailleurs, développé certaines hypothèses sur le rôle des commandes motrices "gamma" des fuseaux neuromusculaires dans l'entretien et la modulation du tonus postural au service de la prédisposition à l'action et du maintien des attitudes (Paillard 1961).

L'émission sensorielle des fuseaux neuromusculaires se trouve en effet soumise aux contrôles des commandes centrales par la voie d'une innervation motrice particulière. Les données neurophysiologiques sur l'organisation de ces commandes gamma (Vedel 1970) permettraient d'associer aux commandes motrices volontaires une commande conjointe des fibres motrices gamma dynamiques dont l'action prédispose le fuseau neuromusculaire à répondre comme un accéléromètre très sensible aux variations de longueur du muscle. Le fuseau fournit alors des informations phasiques essentiellement au départ et à l'arrêt du mouvement. Ces signaux fortement accrus dans l'antagoniste étiré par une contraction volontaire de l'agoniste pourraient en fin de compte fournir les signaux calibrateurs de la position finale de l'articulation mobilisée par cette contraction

Nous avons tenté de vérifier cette hypothèse en utilisant soit le refroidissement du muscle soit sa vibration. Ces interventions sont connues comme perturbant le fonctionnement des fuseaux et par suite l'émission de tels signaux. Nous avons pu confirmer que nous ne trouvons plus, dans ces conditions, de bénéfice en précision du repérage lors d'une mobilisation active du membre comparativement aux conditions de son déplacement passif.

Nous avons pu ainsi émettre l'hypothèse du rôle des informations proprioceptives d'origine musculaire dans la calibration spatiale des diverses sources d'afférences extéroceptives et même articulaires au sein du référentiel postural. C'est ainsi que nous avons pu démontrer qu'un contact tactile est significativement mieux localisé lorsqu'il est l'aboutissement d'un mouvement actif du sujet qu'une stimulation tactile portée sur le membre immobile. De plus la stimulation tactile distribuée au cours des diverses phases d'un mouvement actif ne bénéficie d'une précision localisatrice que lorsqu'elle coïncide avec la phase d'arrêt d'un mouvement actif (Brouchon et Hay, sous presse).

On doit cependant évoquer certains résultats expérimentaux qui paraissent à première vue invalider ce type d'hypothèse. Ils indiquent qu'il est possible d'obtenir sur l'animal chirurgicalement privé de ses afférences sensorielles une recoordination de son espace visuo-moteur.

On peut, en effet, supprimer chez un animal par section des racines dorsales toute réafférence d'origine proprioceptive. Bossom et Ommaya (1968) ont, en particulier, étudié chez le singe les effets d'une telle section bilatérale de ses racines rachidiennes dorsales à partir de la deuxième paire cervicale. Gravement perturbés pendant la période post-opératoire, ces animaux se présentent comme apraxiques et si on les incite au mouvement ils montrent une profonde perturbation de leurs mouvements, mais la situation s'améliore vite. Ils récupèrent bientôt de remarquables capacités de mouvement sous le contrôle de la vision. Important pour notre propos est le constat qu'il est parfaitement possible de conduire ces animaux à une réorganisation de la coordination oeil-main lors d'une expérience de port de lunettes prismatiques. Les auteurs prétendent même que l'adaptation se trouve facilitée par rapport aux sujets normaux. Ce résultat a souvent été opposé aux tenants d'une théorie proprioceptive de la réadaptation.

Nous avons bien précisé antérieurement que les observations qui s'accordent avec une théorie de recalibration proprioceptive des segments dans le schéma corporel s'appliquent aux situations expérimentales où la tête et le tronc sont maintenus stabilisés lors de l'exposition adaptative. Il est également démontré que la liberté des mouvements de la tête conduit pratiquement à une recorrélation de tout le schéma et par suite à un transfert intersegmentaire du bénéfice de l'adaptation (Hamilton 1964).

Dans cette perspective les résultats de Bossom pourraient ne pas être contradictoires. Les programmes moteurs de déplacement des segments, mis en place lors de la genèse des relations oculomotrices au cours des premières semaines de la vie et adaptés progressivement aux changements de dimension corporelle de l'animal, constituent certainement chez l'adulte un répertoire très riche parfaitement apte à être utilisé en boucle ouverte. Les observations de Taub et Berman (1968) confirment pleinement ce point de vue. Aussi, le recalibrage du référentiel céphalocentrique sur l'espace visuel déplacé par les prismes peut-il suffire

à fournir au référentiel postural les recoordinations nécessaires à une mobilisation correcte du répertoire initial. Nous pensons, toutefois, que les réafférences proprioceptives ont dû jouer un rôle indispensable pour l'établissement ontogénétique de ce répertoire. Le fait que la recoordination pourrait être facilitée par la rhizotomie indiquerait que les réafférences proprioceptives discordantes peuvent dans une certaine mesure ralentir ou contrecarrer dans sa phase initiale un processus de réadaptation basé sur le recalibrage de l'espace visuel dans le référentiel céphalocentrique et sur lequel nous reviendrons plus loin (Hay et Pick 1966).

On a d'ailleurs évoqué, s'opposant aux conceptions d'une réorganisation proprioceptive du schéma corporel, le rôle tenu par la rotation imposée au globe oculaire par le port de lunettes prismatiques. Helmholtz avait déjà avancé une telle explication. "Ce n'est pas le sentiment musculaire de la main, écrivait-il, ni l'appréciation de sa position, mais bien l'appréciation de la position du regard qui a été faussée". Un certain nombre d'auteurs ont repris cette hypothèse explicative (voir revue de Brouchon 1968). Elle suppose, en fait, qu'un des facteurs importants de l'adaptation à la vision prismatique pourrait résulter d'une compensation perceptive des effets de la rotation des globes oculaires. On a parfois opposé à cette manière de voir le fait que les conditions d'adaptation "tête fixée" qui ne conduisent pas au transfert intermanuel de l'adaptation s'accompagnent aussi de transfert oculaire. Or une rectification de la position du regard devrait nécessairement conduire à observer le transfert intermanuel. Cet argument n'est, toutefois, pas totalement convaincant car la compensation postulée pourrait bien nécessiter l'expérience des mouvements de la tête. Nous pensons, effectivement, qu'un recalibrage de la position du regard dans le référentiel céphalocentrique, dans la mesure où il s'établirait sur une recalibration des positions de la tête, pourrait ne pas être différent dans son principe du recalibrage constaté de la position des segments de membres dans le référentiel postural. Le référentiel oculocentrique restant finalement hiérarchiquement supérieur au référentiel du tronc et à celui des membres dans l'organisation du référentiel postural général, on ne devrait pas s'étonner de ce qu'une adaptation de ce niveau bénéficie aux sous-systèmes qui lui sont subordonnés comme l'adaptation de l'articulation de l'épaule bénéficie à celle du coude et du poignet (Brouchon et Hay, sous presse).

Quoi qu'il en soit des mécanismes de recalibrage proprioceptif, du référentiel postural, le siège de ces processus de recalibration dans les structures nerveuses centrales reste encore imprécise. Les expériences de Bossom et Hamilton (1963) sur le singe à cerveau bisectionné ont indiqué le transfert interoculaire de la recoordination visuomanuelle, ce qui conduirait à exclure le cortex comme siège de ces remaniements. Le siège mésencéphalique des mécanismes d'orientation du corps et de ses segments en direction des sources extérieures de stimulation ressort par ailleurs des études physiologiques (Paillard 1963) ainsi que la participation de ces mêmes structures au guidage visuel des mouvements du corps (Thomson et Myers 1971).

3°) CONSTRUCTION DE L'INVARIANCE PERCEPTIVE DE L'ESPACE DES LIEUX

On retiendra des expériences d'adaptation au déplacement prismatique de l'espace visuel que, chez l'adulte tout au moins, la plasticité des coordinations visuomotrices repose, en premier lieu, sur une malléabilité du référentiel postural. Il semble bien, en effet, que c'est une modification de la structure interne de ce référentiel qui permet de rendre compte du recalibrage des programmes moteurs de déplacement des segments du corps dans l'espace visuel déplacé. Les données visuelles garderaient donc ici leur statut de référant. Ce qui pose le problème de la genèse d'une invariance perceptive de l'espace visuel des lieux.

Il peut être intéressant de ce point de vue d'évoquer certaines observations de Hay et Pick (1966) sur la nature des remaniements observés au cours des expériences de déviation prismatique lorsqu'on prolonge la durée des expériences de réadaptation. Imposant aux sujets le port de lunettes prismatiques pendant plusieurs semaines, ces auteurs constatent que, si le transfert de l'adaptation visuomotrice à la coordination auditivo-motrice s'observe nettement dès les premières phases du processus d'adaptation, le pointage en direction d'une source sonore, dans les conditions aveugles, se trouve alors erroné, indiquant un remaniement du référentiel postural sur la donnée visuelle, par contre la poursuite de l'expérience conduit bientôt à constater une disparition de l'erreur de localisation auditivo-motrice tandis que la compensation visuomotrice persiste (ce qui indiquerait que le référentiel postural primitif est reconstitué et que c'est la calibration de l'espace visuel qui se trouve alors remaniée). Aussi les auteurs proposent de dissocier :

- un processus *d'adaptation rapide* et temporaire basé sur un recalibrage proprioceptif de la position du membre où le visuel impose sa loi et où comme le dit Harris (1965) "la proprioception cède le pas". Ce recalibrage du référentiel postural sur le visuel rend compte des erreurs de localisation constatées dans l'espace auditif ou dans l'espace tactile. Cette adaptation prévaut dans les situations où la vision des segments du corps en mouvement conduit à l'impression que ces segments activement déplacés n'occupent pas dans l'espace visuel la position attendue.
- une modification lente et progressive qui porterait sur la ré-harmonisation des données visuelles et des autres données sensorielles basée sur un recalibrage de l'espace visuel ; sur un référentiel postural stabilisé assurant la cohérence de l'espace moteur et des divers espaces sensoriels. Ce type d'adaptation serait favorisé par les situations entraînant la perception des discordances issues des activités du sujet entre la vision et les autres données sensorielles, bruit de pas, contact avec les doigts, sens de la position du corps relativement aux cadres de référence de l'espace visuel.

Dans l'un et l'autre cas cependant l'activité motrice du sujet paraît garder son rôle organisant. Ce qui n'est apparemment plus le cas des phénomènes indiscutables de réorganisation que l'on peut constater chez le sujet passif.

Un certain nombre d'auteurs se sont en effet appliqués à démontrer la possibilité d'une certaine réadaptation des coordinations visuomotrices en l'absence de tout

comportement moteur, sur la seule base des données discordantes d'informations exafférentes. La décorrélation entre les données visuelles et les données fournies par les autres canaux sensoriels peut être en partie résolue grâce à la simple confrontation des informations intermodalitaires spatialement discordantes (voir revue dans Howard et Templeton 1966). On citera parmi les études récentes celle de Radeau et Bertelson (1969) sur la résolution des conflits auditivo-visuels. Il est intéressant de noter que si le conflit intéresse une source visuelle et une source sonore détachées du cadre visuel de référence de l'environnement physique (point lumineux dans l'obscurité) mais perçues comme provenant d'un même lieu de l'espace physique alors qu'elles sont effectivement séparées, l'adaptation observée affecte aussi bien le repérage sonore que le repérage visuel et les deux sources sont perçues comme confondues en un point intermédiaire. Après adaptation, en effet, les deux sources à nouveau spatialement coïncidentes sont repérées en deux points distincts de l'espace, subissant un déplacement subjectif en direction et en distance conforme à ce que laissait prévoir la recalibration adaptative constatée.

Il est par contre bien connu que la présence du cadre visuel ambiant sur lequel est repérée une source particulière de stimulation tend à faire prévaloir le référent de l'espace visuel pour le recalibrage des données auditives ou tactiles (Rock et Harris 1967). Cette prévalence devient même impérative lorsque l'espace visuel reste correctement calibré dans le référentiel postural. De très larges discordances peuvent alors être perceptivement surmontées au profit d'un alignement sur les données visuelles. Il est clair cependant que le développement des processus cognitifs et la constitution des instruments sémiotiques fournissent à l'individu des nouveaux moyens pour maîtriser l'espace et assurer la cohérence de ses univers sensoriels sur la base des référentiels fondamentaux constitués, sans pour autant justifier le recours aux activités motrices organisantes par ailleurs indispensables à la genèse de ces référentiels au cours du développement.

Il serait certainement imprudent de considérer les remaniements dont l'organisme adulte se montre capable comme susceptibles d'offrir un modèle valable des processus génératifs qui contribuent au cours du développement à l'élaboration perceptive des invariants spatiaux.

Les recalibrations proprioceptives du référentiel postural qui caractérisent la modalité adaptative la plus efficace et la plus rapide à s'installer traduisent clairement le statut de référent acquis par l'espace visuel de l'adulte. Tout se passe comme si l'ancrage positionnel de l'oeil sur les objets d'un espace physique stabilisé et orienté dans son cadre de repères ambiants trouvait, dans l'invariance même de cet espace physique stabilisé, les références nécessaires à une appréciation des positions respectives des objets dans cet espace et du corps lui-même situé comme objet stable ou mobile par rapport à ce cadre de référence.

Le corps, comme objet visuel permanent de l'espace visuel, émerge aussi de l'expérience sensorimotrice, ce qui donne à notre "image du corps" une autre dimension que la dimension purement proprioceptive qu'elle avait acquise dans l'espace positionnel du référentiel postural.

C'est dans ce changement de référentiel -référentiel de l'espace visuel stabilisé d'une part, référentiel postural d'autre part - qu'il faut placer la différence essentielle

de contenu des expériences perceptives associées à la vision du corps comme objet visuel passivement déplacé dans l'espace visuel de référence d'une part et à la vision du corps activement déplacé par mise en jeu de programmes référencés aux invariants posturaux d'autre part.

De fait, la concordance de ces deux référentiels doit être suffisamment bonne pour permettre une programmation correcte des mouvements dans l'espace visuel (en boucle ouverte) ; les imperfections de ce programme peuvent être corrigées en cours de trajectoire ou dans la phase terminale par un recours aux données du référentiel visuel (en boucle fermée).

On peut dès lors s'interroger sur la genèse de ce référentiel externe au cours du développement. Si on doit concevoir que l'invariance positionnelle du monde physique est perceptivement extraite des expériences initiales du sujet, en quoi cette extraction nécessite-t-elle les activités du sujet et quel type d'activités ? La constitution des référentiels posturaux est-elle un préalable nécessaire ? Nous avons antérieurement souligné que toute information en provenance d'un espace de capture quelconque et donnant lieu à coïncidence dans le référentiel postural doit conduire à une expérience perceptive situant la source de cette information en un même lieu de l'espace physique externe. Un tel jugement de coïncidence (ou d'absence de discordance) exige-t-il le préalable de l'invariance perceptive de l'espace physique ? ou devient-il au contraire l'instrument d'élaboration de cette invariance ? En d'autres termes, les invariants géocentrés de référentiel postural sont-ils ontogénétiquement nécessaires à la constitution de l'invariance perceptive de l'espace physique des lieux ?

Cette question reste actuellement sans réponse. On peut toutefois supposer que la richesse de l'image qui fournit la vision de cet environnement physique va conférer au canal de traitement visuel un rôle privilégié chez les voyants. On constate effectivement chez ces derniers que l'espace visuel impose sa référence aux autres espaces sensoriels en cas de conflit (Rock 1966). Nous restons cependant très mal informés sur la genèse de ce privilège. D'intéressantes observations récentes de Aronson et Rosenbloom (1971) sembleraient indiquer que le nourrisson de 30 jours manifeste son désarroi devant une dissociation expérimentale entre lieu où il voit la face de sa mère et lieu d'où provient sa voix, ce qui amène les auteurs à conclure à l'existence précoce d'un espace intermodalitaire unifié. Mais la coordination des espaces de capture visuel et auditif intervient probablement très tôt au sein du référentiel céphalocentrique. L'autorité du visuel sur le tactile et sa précocité d'intervention dans les opérations d'identification des propriétés des objets ressort également des ingénieuses expériences de Bower et coll. (1970) qui se rapportent, semble-t-il, davantage à l'élaboration perceptive de l'espace des formes que nous allons aborder maintenant qu'à celle de l'espace des lieux.

Quoi qu'il en soit de l'existence d'une filiation ontogénétique entre la constitution des référentiels posturaux d'une part et celle de l'invariance perceptive de l'espace des lieux d'autre part, on devra aussi s'interroger sur la nécessité d'une acquisition préalable de ces invariants spatiaux pour l'élaboration ultérieure des instruments sémiotiques de traitement des données spatiales qui vont apporter à notre connaissance de l'espace et à nos capacités de maîtrise des relations spatiales une dimension nouvelle (Douriez 1971) encore largement incomprise dans son support neurobiologique.

B - LA MAITRISE DE L'ESPACE DES FORMES

Les objets détectables par l'organisme dans le monde physique qui l'entoure, après avoir été capturés par ses organes spécialisés (et par suite localisés dans les référentiels d'espace dont nous venons de parler), vont être soumis à une véritable analyse identificatrice. Comme la bouche alimentaire qui va trier d'après leurs propriétés de saveur, de taille, de consistance mécanique, de chaleur les objets qu'elle a captés, et en permettre l'acceptation et l'ingestion ou le rejet, les bouches informationnelles que constituent nos organes des sens vont de la même manière soumettre l'objet visuel, l'objet tactile, l'objet sonore à une analyse de leurs caractéristiques d'identification. Palpation linguale, palpation digitale, palpation fovéale vont présenter de ce point de vue des homologues fonctionnelles évidentes. Le problème précis que nous nous posons ici est celui de savoir dans quelle mesure ces opérations de palpation active, nécessaires semble-t-il à l'identification des caractéristiques spatiales de l'objet, vont jouer un rôle dans la genèse de l'espace des formes et l'extraction des invariants qui conduisent à conférer à l'objet sa permanence et ses propriétés.

1°) LES INSTRUMENTS INITIAUX

L'ancrage positionnel de l'organe de saisie étant assuré, la mosaïque de récepteurs qui tapisse la plage palpatoire va soumettre les informations accessibles sur l'objet à une analyse élaborée. Nous connaissons aujourd'hui le plan de câblage de la rétine qui explique comment se réalise, dès la périphérie, l'extraction de certaines caractéristiques spatiales de l'image. La rétine de grenouille, en particulier, semble disposer de filtres de caractéristiques élémentaires permettant la détection de divers signaux biologiquement utiles pour l'animal (Lettvin et coll. 1959) offrant l'exemple de mécanismes précâblés assurant la reconnaissance de formes élémentaires dont la détection déclenche les réactions adaptées de l'animal. Ces filtres sélectifs semblent également présents chez les mammifères.

a) Les détecteurs de caractéristiques

Utilisant l'analyse électrophysiologique unitaire des cellules du cortex visuel chez le chaton, Hubel et Wiesel (1962) ont pu préciser l'existence à ce niveau de groupements cellulaires en colonne caractérisés par la spécialisation de leur réponse à des caractéristiques spatiales bien définies du stimulus périphérique.

D'après la réponse de ces unités, ces auteurs distinguent :

1°) *Des cellules simples* qui répondent à une *position et à une direction privilégiées* d'une raie lumineuse sur fond sombre ou d'une raie sombre sur fond clair ou encore à l'orientation de la ligne de séparation entre un champ clair et un champ sombre. Ces caractéristiques positionnelles et directionnelles de la ligne dans le champ oculocentrique sont critiques car un léger déplacement du stimulus soit en direction soit en position entraîne la suppression de la réponse. On rencontre ce type cellulaire principalement dans l'aire 17.

2°) *Des cellules complexes* qui répondent également à une direction privilégiée des mêmes stimulations, mais pour lesquelles la position dans le référentiel oculocentrique n'est plus critique. Elles répondent à toute stimulation du champ rétinien et sont simplement spécifiques de la direction de la ligne. Une rotation de la ligne supprime la réponse mais une translation la conserve.

Ce type cellulaire constitue 90% des cellules de l'aire 18.

3°) *Des cellules hypercomplexes* que l'on rencontre principalement dans l'aire 19 et qui présentent deux sous-groupes fonctionnels :

- cellules d'ordre inférieur qui possèdent les propriétés de spécificité positionnelle et directionnelle des cellules simples mais avec une limitation de la ligne à une extrémité (détection d'angle) ou encore à une longueur critique des côtés de l'angle
- cellules d'ordre supérieur qui possèdent des propriétés identiques mais généralisables à tout le champ comme pour les cellules complexes.

Ainsi ces "détecteurs de caractéristiques", véritables filtres d'extraction des caractéristiques de la forme des figures, semblent bien constituer les instruments d'analyse de la forme des images rétiniennes et fournir les matériaux de la construction des représentations perceptives.

Bien que l'exploration des autres aires sensorielles du cortex ait révélé la généralité de cette organisation en colonnes pour la somesthésie, pour la sensibilité articulaire, pour l'audition, nous ne disposons pas encore à leur sujet d'informations aussi précises que celles maintenant acquises pour la vision.

Le problème se trouvait bien entendu posé de l'innéité et de la détermination génétique du plan de câblage de ces filtres sélectifs et de son remaniement ultérieur éventuel.

b) Plasticité des filtres sélectifs

Hubel et Wiesel (1970) ont tenté de préciser l'évolution des arrangements colonnaires du cortex en fonction de l'âge de l'animal et surtout en fonction des expériences sensorielles auxquelles il est soumis au cours des premières semaines de son développement.

- Rôle de l'expérience sensorielle

Ces auteurs ont pu montrer que, malgré leur présence dès la naissance, ces organisations ne se mettent définitivement en place que si l'animal subit une expérience des formes visuelles entre la sixième et la huitième semaine de son développement. Si l'animal est privé trois mois de cette expérience, la régression de ces structures est irréversible. Nous avons là un exemple particulièrement significatif du rôle que joue l'expérience sensorielle à la période initiale du développement pour la mise en place définitive d'une structure de traitement dont le plan de câblage semble cependant préétabli et défini dans le programme génétique.

Mais les expériences récentes dans ce domaine nous ont appris davantage encore. C'est d'abord la marge étonnamment étroite de cette période sensible, Blakemore et Cooper (1970) n'ont-ils pas récemment montré qu'il suffit d'une semaine d'exposition sensorielle à la période critique du développement d'un chaton, élevé par ailleurs dans l'obscurité, pour déterminer la structuration de ses colonnes de détecteurs de caractéristiques. En outre, et ce qui est probablement plus important encore, si cette expérience se limite par exemple à la vision de la ligne verticale, pratiquement toutes les colonnes disponibles semblent évoluer dans le sens d'une détection de cette caractéristique unique. Ce qui nous donne un très bel exemple de plasticité de la structure susceptible de remanier son arrangement initial pour accommoder sa structure à la détection de la seule caractéristique assimilable de l'environnement. Ces découvertes ont soulevé un intérêt considérable en ouvrant un champ d'investigation actuellement en pleine prospection.

- Rôle de l'activité motrice

On peut se poser ici le problème du rôle éventuel joué par la motricité de l'organisme dans la mise en place de ces détecteurs de caractéristiques. Les chatons de Held promenés passivement dans leur carrousel voient l'univers des formes défilier dans leur champ visuel, mais avec une tête et des yeux normalement référencés par rapport au référentiel géocentrique, et rien ne semble altérer leur capacité de discriminer les formes lorsqu'ils ont récupéré ultérieurement leur espace moteur de localisation. Au vu de certains travaux (encore trop rares dans ce domaine) on peut envisager chez l'adulte une influence des données vestibulaires sur le fonctionnement des colonnes corticales détectrices de la direction des stimulations sur le champ rétinien (Horn et Hill 1969 - Spinelli 1970). Aucune expérience n'a encore été faite, à notre connaissance, pour tenter d'apprécier l'effet des informations vestibulaires, au cours des périodes initiales du développement, sur la mise en place des détecteurs de directionnalité corticaux. Rien ne permet donc encore d'affirmer que le développement de ces détecteurs directionnels reste uniquement dépendant de la seule organisation du référentiel oculocentrique et du câblage de projection topographique de la géométrie rétinienne sur les aires corticales. Si tel était le cas, il faudrait admettre l'idée que le traitement de l'analyse rétinienne de l'espace de la figure et de la forme pourrait se réaliser indépendamment d'une référence aux systèmes posturaux géocentrés. Autrement dit, une fois l'ancrage positionnel de la direction du regard assuré (ancrage qui contribue à la localisation de la figure dans l'espace des lieux) commencerait un travail d'extraction des caractéristiques spatiales de l'image dont le principe reste à dégager. La rigidité du plan de câblage des projections visuelles spécifiques telle que nous la révèle l'analyse électrophysiologique moderne n'inciterait-elle pas à penser que l'élaboration perceptive de la forme ne devrait rien au rôle organisateur de la motricité qui assure au corps et à ses segments des positions et des déplacements dans un espace orienté ? Toutes les analyses de Hubel et Wiesel conduites sur des animaux paralysés nous montrent que l'appareil visuel passivement soumis aux stimulations lumineuses accueille et traite correctement ces informations à travers la cascade des filtres sélectifs interposés.

Toutefois, les données maintenant classiques des expériences de stabilisation de l'image rétinienne nous indiquent qu'il n'en est pas ainsi sur le plan perceptif. L'image stabilisée n'est en fait plus perçue normalement

On a décrit les microtrémulations de l'oeil à un rythme de 50 par seconde en moyenne qui crée un balayage aléatoire de l'image sur la rétine de 1 à 3 microns environ, ce qui correspondrait approximativement à la distance qui sépare un cône fovéal de ses voisins (Ditchburn 1955). Peut-on les interpréter comme une instabilité du dispositif d'ancrage positionnel, analogue au tremblement postural des membres maintenus immobiles ? S'agit-il d'une simple imperfection du système de positionnement de l'oeil ou revêtent-elles une signification fonctionnelle en palliant, comme on l'a souvent affirmé, les inconvénients d'une adaptation rapide des récepteurs sensibles aux effets d'une stimulation statique ? En ce qui concerne la réception tactile sur la pulpe des doigts, le contact avec la surface à explorer suffit généralement à stabiliser les récepteurs en annihilant les effets du tremblement postural. Il est bien reconnu, cependant, que l'adaptation rapide des récepteurs tactiles rend également impossible l'identification d'une configuration de stimulations stabilisées sur la peau. La palpation active des singularités de la surface, éventuellement le déplacement passif de ces singularités sur la peau, peuvent seuls conduire à une possibilité d'identification.

On a également décrit pour l'oeil, superposées aux trémulations aléatoires, des petites saccades irrégulières de l'ordre de cinq minutes d'arc et d'une dizaine de secondes de durée ainsi que des mouvements plus lents de durée variable (entre deux et cinq dixièmes de seconde) et dont l'amplitude varie entre 1 et 5 minutes d'arc. L'errement de l'image, dû à la totalité de ces mouvements, serait de l'ordre de 100 microns sur la surface de la région fovéale. Cet errement traduit-il un défaut toléré du système ou une activité fonctionnellement utile ?

En tout état de cause, la signification possible de ces mouvements et leur rôle éventuel pour l'analyse fovéale nous restent inconnus.

On connaît mieux, par contre, les saccades de fixation grâce auxquelles l'oeil peut parcourir une image à inspecter et l'analyse des stratégies d'exploration a donné lieu à de nombreux travaux (Yarbus 1967).

Toutefois, si l'on a bien déterminé un temps de fixation fovéale moyen de 300 ms, on ignore le rôle exact de la palpation fovéale du point de fixation, comme on ignore le rôle respectif des régions extrafovéales et des régions fovéales dans les opérations de perception des formes.

Quant au rôle de ces diverses activités palpatoires pour la genèse des opérations d'extraction et d'identification des formes, on imagine aisément l'intérêt d'une expérimentation qui consisterait à soumettre de jeunes animaux, temporairement paralysés, à une expérience des formes uniquement passive ou encore qui s'efforcerait de préciser les relations entre le système de repérage spatial des lieux et le système d'analyse des formes spatiales.

Il est particulièrement intéressant de noter que ces activités palpatoires des formes visuelles se manifestent très précocement chez le nourrisson (Fantz 1966), avec une dominante des saccades exploratoires dans le plan horizontal de la figure et une inspection fovéale privilégiée des contours et des accidents caractéristiques du contour comme l'a montré Salapatek (1968) sur une importante population de entre le premier et le cinquième jour après la naissance.

2°) L'EXTRACTION DES PROPRIETES INVARIANTES DE L'OBJET

Sans entrer ici dans le détail des nombreux travaux psychologiques consacrés à ce problème, retenons seulement pour notre propos que l'extraction des invariances qui vont conférer à l'objet sa permanence et son identité, quels que soient son éloignement ou sa position par rapport à l'organe analyseur, va relever de la mise en jeu d'une transformation des relations spatiales impliquant les activités du sujet, la réversibilité de ces activités, leur associabilité à l'intérieur de ce que les mathématiciens appellent un groupe de déplacement.

L'attribution des modifications perçues dans la structure de l'objet soit à des changements d'état touchant à la structure physique ou aux qualités de l'objet lui-même, soit à des changements de position de cet objet par rapport aux analyseurs sensoriels qui l'inspectent, changements annulables par un déplacement inverse de la position de l'analyseur par rapport à l'objet, constitue une opération essentielle de l'établissement de la permanence de l'objet et de la stabilité de ses caractéristiques de forme (Poincaré 1948).

On connaît l'importance accordée par les théories piagésiennes à la différenciation et à la composition des "schèmes d'action" aussi bien dans la différenciation des lieux de l'espace que dans la constitution de la permanence de l'objet. On trouvera dans un article récent de Bresson (1971) une excellente mise au point sur le rôle des actions du sujet dans la construction des propriétés des objets.

Les propriétés perceptives impliquent les transformations spatiales et l'identification des invariants par rapport à ces transformations.

a) Les mécanismes neurobiologiques

La recherche des mécanismes neurobiologiques qui sous-tendent la détection de ces invariants à travers les transformations qui les révèlent est à peine commencée.

Quelle que soit la nature des transformations utilisées, celles-ci se traduisent par une modification du champ d'afférence.

Cette modification peut s'exprimer de diverses manières aux différents niveaux de la chaîne de traitement des informations et relever d'activités transformatrices variées.

- Au niveau de la saisie des informations elle-même, on peut évoquer les transformations qui résulteront des activités de changements de position du récepteur ou de son support corporel par rapport à l'objet, comme des variations résultant d'un déplacement de l'objet lui-même.
- L'activité palpatoire de l'objet à la recherche des indices pertinents opérera par échantillonnages séquentiels. Nous avons déjà mentionné les stratégies d'exploration saccadiques de l'image par l'oeil qui permettent l'inspection initiale de la figure nouvelle et que l'on retrouve dans les activités de reconnaissance. Tout se

passé comme si l'activité motrice d'exploration contribuait à l'élaboration de la représentation interne de l'image comme support de l'organisation spatiale des caractéristiques utiles de l'objet. L'activité de reconnaissance tend, en effet, pour un sujet donné à reproduire les parcours exploratoires utilisés lors des premières analyses de l'image (Norton et Stark 1971).

- Peu de choses sont connues des mécanismes qui président à l'inspection des objets ou des fragments d'objets suffisamment petits pour couvrir la région fovéale et qui sont appréhendés par une seule fixation. On a invoqué parfois l'existence d'activités de centration attentive qui remplaceraient dans ce cas l'exploration motrice de l'oeil.
- Recherche des indices, identification des indices et organisation spatiale des indices relèvent vraisemblablement de mécanismes différents.
- Nous connaissons mal la nature des opérations nerveuses mises en oeuvre dans ces processus.

On doit supposer que l'efférence transformatrice peut intervenir soit en boucle externe par déplacement effectif de la surface réceptrice par rapport à l'objet, soit en boucle interne par contrôle des relais interposés sur les voies de distribution des afférences aux structures de traitement central. Nombreux sont les travaux actuellement consacrés à l'identification et aux démontages des contrôles centrifuges qui s'exercent sur les voies ascendantes de la sensibilité (voir revue de Coquery, sous presse). L'accessibilité de certaines configurations d'afférences aux niveaux d'intégration supérieure résulte d'opération de tri sélectif. Ce tri semble assuré par la prédisposition de serrures perceptives préadaptées à l'accueil de clés informationnelles pertinentes. Le critère de pertinence relève des standards élaborés sur la base des acquisitions antérieures du sujet. Il peut aussi bien entendu, et comme l'étude du comportement animal nous en fournit maints exemples, résulter de prédispositions génétiquement déterminées.

Tout reste encore à découvrir dans ce domaine où la masse des faits tirés de l'expérimentation psychologique fournit un guide irremplaçable.

Tout reste également à faire dans le domaine de la genèse de ces opérateurs d'extraction d'invariance qui semblent bien constituer l'instrument spécifique de la machine informationnelle des êtres vivants.

b) Boucles sensori-motrices et reconnaissance des formes

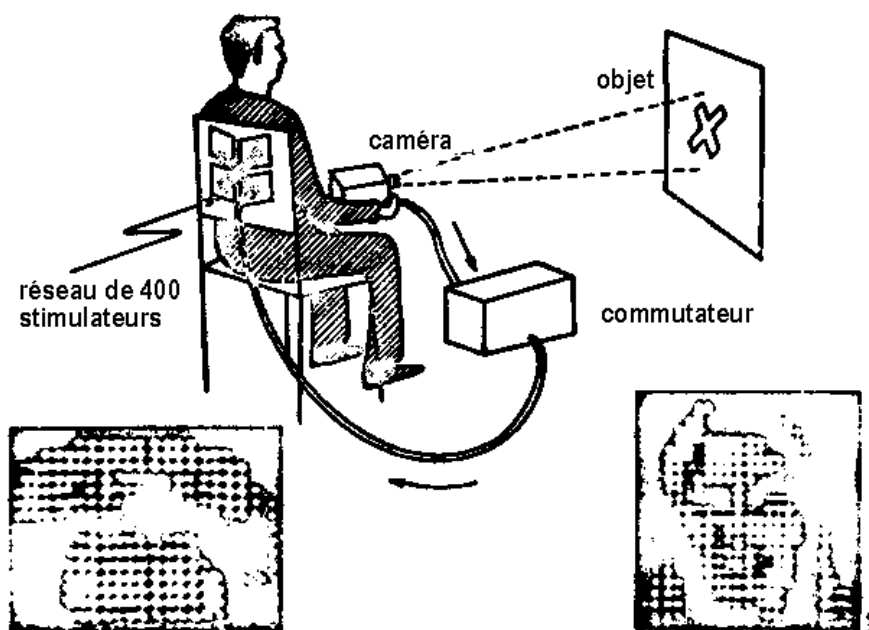
Il est bien reconnu que l'une des infirmités majeures du calculateur, lorsqu'on compare ses performances à celles d'un cerveau humain, réside dans l'extrême difficulté de sa programmation pour réaliser des opérations telles que celles de la reconnaissance de formes spatiales ou de formes sonores (ainsi celles du langage), performances qui semblent par contre facilement réalisées par les machines biologiques et ceci dès les premiers stades de leur développement.

L'insensibilité du calculateur aux formes contraste avec l'aptitude fondamentale du système nerveux à extraire les structures invariantes de son champ informationnel. L'homme reconnaît les visages même s'il oublie les noms qui leur sont associés, il identifie correctement et facilement les nombres bien avant d'être capable de les manipuler dans des opérations de calcul et il lui suffit parfois de quelques indices significatifs détectés par ses systèmes d'entrée pour reconstituer

tout le pattern. L'ordinateur, par contre, qui peut réaliser de prodigieuses opérations de tri, de classement, de calcul une fois conventionnellement programmé se montre si insensible au pattern, à la forme, que la moindre erreur au niveau de ses entrées peut entraîner l'invalidation de tout son calcul. On conçoit l'acharnement des spécialistes des problèmes d'intelligence artificielle pour doter les machines de la capacité de reconnaître et d'identifier les formes (Apter 1970).

On peut à ce sujet se demander si l'une des supériorités de la machine biologique sur l'ordinateur ne réside pas précisément dans la présence du générateur de transformation des relations spatiales que constitue son appareil moteur, générateur qui serait asservi à la demande des opérations internes elles-mêmes.

On évoquera à ce sujet l'étonnant succès de certaines prothèses sensorielles réalisées dans le domaine tactile (White et coll. 1970). Ces prothèses, en effet, traduisent sur la peau du dos du sujet, par l'intermédiaire d'une matrice de 400 vibrotacteurs, l'image pointilliste de figures ou d'objets captés par une caméra de télévision (voir figure 11).



Le dispositif du Docteur Collins et deux images-témoins des stimuli tactiles reçus par l'aveugle : un téléphone (à gauche) et un visage

Figure 11. - Dispositif de prothèse tactile pour aveugle. Une matrice de 400 facteurs est appliquée sur la peau du dos du sujet aveugle. L'image recueillie par la caméra de télévision est transformée en une image « pointilliste » au niveau de la peau par la vibration des tacleurs de la matrice. Les deux figures du bas illustrent le type d'« image » tactile appliquée à la peau : téléphone à gauche, visage humain à droite. Lorsqu'on donne au sujet la possibilité de palper l'image grâce aux mouvements qu'imprime la caméra, il extrait correctement de ses stimulations tactiles les caractéristiques invariantes de forme de l'objet à identifier. (D'après COLLINS et SAUNDERS 1970).

Un tel agencement pouvait au départ apparaître totalement aberrant, compte tenu du pouvoir séparateur de ces régions cutanées. De fait, le sujet semble au premier abord bien incapable de déchiffrer les formes imprimées sur son dos par la matrice vibrante, mais que l'on donne au sujet la possibilité de manoeuvrer lui-même la caméra exploratrice et d'opérer sur l'objet une véritable palpation active, alors et très rapidement le sujet extrait de son image tactile les caractéristiques pertinentes qui lui permettent de construire la forme de l'objet et de la reconnaître ultérieurement. Il semble également apte à la localiser correctement dans l'espace externe. Que des aveugles-nés soumis à cette expérience aboutissent aux mêmes résultats que les voyants ne manquera pas de surprendre. L'intérêt théorique et pratique d'un tel champ d'exploration est considérable. Ces résultats permettent de poser le problème des mécanismes d'extraction d'invariance en termes nouveaux en conférant aux activités palpatoires un statut privilégié et en soulignant l'importance de la fermeture de cette boucle externe de transformation du champ d'afférence pour la mise en place des opérateurs d'extraction des propriétés spatiales de l'objet.

Rien encore ne nous permet d'affirmer qu'une fois ces opérateurs mis en place et le répertoire des indices pertinents constitué au niveau représentatif, cette boucle externe continuera d'être indispensable à l'opération de reconnaissance de forme. On peut, en effet, faire l'hypothèse que la constitution de boucles internes de prédisposition de dispositifs de sélection pourrait à un stade ultérieur opérer des transformations internes des messages afférents conduisant à l'identification perceptive de l'objet exploré. Le problème ne devrait pas tarder à être soumis à l'analyse expérimentale.

Ces faits démontrent en outre l'erreur commise jusqu'ici dans le domaine des prothèses sensorielles. On s'est en effet appliqué, jusqu'à une époque récente, à choisir un canal sensoriel de suppléance (généralement la peau pour les déficits de la vue ou de l'audition) et à fournir à ce canal une description précodée des formes visuelles ou auditives à identifier. Ce faisant, on traitait en fait la machine biologique comme un ordinateur auquel on aurait fourni un assortiment sélectionné et prédéterminé d'instructions. Dès lors, on ne s'étonnera pas que devant un tel programme la machine biologique présente les mêmes infirmités que l'ordinateur devant les problèmes de reconnaissance de forme et d'extraction d'invariances. Comme l'ordinateur, la machine biologique ne peut dans cette situation que limiter son action à une indexation des indices que contient son programme avec toutes les limitations qu'impliquent la capacité limitée de traitement du canal choisi. Par contre, si on lui fournit une image pointilliste simplifiée, ou même déformée, du réel à traiter et que le système dispose d'une possibilité d'appliquer à ce réel ses propres activités manipulatoires et palpatoires, tout se passe comme si l'organisme engendrait lui-même les transformations nécessaires aux opérations d'extraction d'invariance.

Dès lors, tout une série de questions nouvelles se trouvent posées : Quel est la nature réelle de ces opérateurs ? De quelles transformations peut-il s'agir ? Quel support nerveux peut-on espérer donner à ces générateurs d'invariance ? Quels sont les déterminants génétiques de leur constitution dans la machine organique ?

Toutes ces questions restent encore malheureusement sans réponse mais le problème a le mérite d'être posé en termes opérationnellement traduisibles au plan

expérimental. Un formalisme mathématique récemment appliqué par Hoffman (1966) au problème des invariances perceptives semble même offrir d'intéressantes perspectives de structuration de ce nouveau champ de recherches.

c) Un modèle mathématique de générateur d'invariance : le groupe de transformation de Lie

Les propriétés invariantes du monde physique peuvent faire l'objet d'une description mathématique à l'aide des groupes de transformation de Lie issus des outils de formalisation de la géométrie différentielle.

Sans entrer ici dans le détail mathématique de ce formalisme que l'on trouvera dans les publications de Hoffman (1966-1970) nous retiendrons que le groupe de transformation de Lie constitue un groupe mathématique avec les propriétés de fermeture, d'identité, de réversibilité et d'associativité qui confèrent au groupe son état d'équilibre invariant. On sait l'importance accordée par les théories piagétienne à ces propriétés de groupe qui constituent la clé de voûte du développement des fonctions cognitives. En outre, le groupe de Lie n'est pas seulement un groupe au sens général rappelé ci-dessus mais un assortiment différenciable, c'est-à-dire que les transformations du groupe de Lie sont considérées comme des transformations infinitésimales. On décrit alors les transformations finies de groupe comme le résultat de l'application de générateurs infinitésimaux, autrement dit la transformation finie résulte de l'intégration d'une fonction dérivée caractéristique de la transformation considérée.

On peut ainsi décrire les divers générateurs infinitésimaux des groupes de translation, des groupes de rotation, du groupe de dilatation qui peuvent décrire adéquatement, comme Hoffman l'a démontré, les constances perceptives fondamentales de forme, de dimension, d'orientation, de mouvement des objets visuels qui constituent l'univers visuel cohérent accessible à notre expérience perceptive.

Hoffman indique comment la structure perceptive finale du monde des objets, décrite par l'algèbre totale de Lie, peut se décomposer en un nombre restreint de sous-algèbres qui correspondent à des restrictions du système final tout en gardant, chacune à leur niveau, les propriétés de fermeture d'un groupe équilibré. Ayant identifié les opérateurs de chacune de ces sous-algèbres, il montre comment elles s'engendrent les unes les autres jusqu'à constituer les opérateurs de l'algèbre terminale selon un processus qui semble décrire les étapes de la genèse de la perception chez l'enfant.

Ce modèle pourrait en outre impliquer le rôle des activités du sujet dans l'engendrement des divers groupes d'invariance et la mise en place des opérateurs associés. Il décrit parfaitement la plupart des illusions visuelles classiques. Il a même permis de prévoir de nouveaux types d'illusions visuelles confirmés par l'expérience. Bresson (1971) a récemment souligné la portée descriptive d'un tel modèle qui intègre parfaitement les théories psychologiques modernes sur la genèse des propriétés des objets.

Hoffman (1970) a poussé plus loin encore l'analyse du modèle en tentant de rechercher dans la morphologie même des neurones un support aux opérations élémentaires requises par le fonctionnement des générateurs de groupe.

Il semble même capable, en les intégrant au système, de justifier les arrangements colonnaires de détection de caractéristiques de divers ordres découverts par Hubel et Wiesel (1962), et il propose dans un travail récent un intéressant prolongement de son travail initial à la définition mathématique des opérations capables d'extraire les caractéristiques d'orbites complexes qui sont à la base de l'élaboration des contours identifiables de l'objet et dont la mise en mémoire en permet la reconnaissance perceptive ultérieure.

Il est encore prématuré de juger la portée d'une telle formalisation et sa valeur heuristique.

Elle semble néanmoins introduire, dans le domaine de la perception de l'espace des formes, d'intéressantes suggestions sur la nature des opérations susceptibles de rendre compte des capacités d'extraction d'invariance dont la machine biologique semble dotée.

Ce n'est pas non plus le moindre intérêt de ce nouveau champ théorique que de laisser entrevoir l'intervention des boucles sensori-motrices externes comme un des éléments générateurs des transformations qui conduisent aux opérations finales d'extraction d'invariance.

CONCLUSION

L'organisme est immergé dans un vaste univers de sources de stimulations qui bombardent ses systèmes sensoriels. Il doit en réduire les informations sous une forme manipulable par son système interne de traitement et par suite extraire du chaos primitif de ses impressions sensorielles des groupements stables des configurations utiles dont il peut faire usage pour guider sa propre activité et assurer sa survie. La recherche d'invariant et la découverte des configurations stables contribuent à réduire cette complexité et à ordonner le monde sensible.

1°) S'agissant de l'espace des lieux, les formes élémentaires de la maîtrise de l'espace sont assurées par les dispositifs élémentaires de capture qui constituent un équipement rigide prêt à fonctionner dès la naissance. Cet équipement permet à l'organisme les réactions adaptatives fondamentales propres à assurer sa survie. La construction d'un référentiel postural géocentré qui sous-tend l'édification d'un espace du corps va de pair avec la coordination des divers espaces de capture. De cette coordination émergera les qualités d'invariance de l'espace physique externe. Cet espace une fois stabilisé devient lui-même un élément de référence pour l'appréciation des positions du corps et l'appréciation des discordances éventuelles entre les données spatiales des divers canaux sensoriels. La genèse des référentiels posturaux et la construction de l'invariance des lieux de l'espace physique à travers la coordination des espaces de capture semblent nécessiter l'intervention d'une transformation active des rapports spatiaux. Le rôle de l'activité propre du sujet est également souligné dans les opérations de recoordination des espaces de capture expérimentalement décorrélés.

La plasticité fondamentale du référentiel postural est ici soulignée, alors que l'ancrage du système visuel sur l'espace physique dont l'invariance est constituée chez l'adulte confère aux données visuelles une stabilité prédominante pour la description de l'espace des lieux.

2°) La maîtrise de l'espace des formes repose à la base sur les capacités d'analyse des organes d'ingestion informationnelle et des dispositifs de traitement central. L'électrophysiologie a révélé dans le système visuel la présence de filtres sélectifs décomposant l'image, ces caractéristiques élémentaires et une stratification du niveau combinant ces données élémentaires pour en extraire des caractéristiques de formes. Présents à la naissance dans le plan de câblage de la machine, ces filtres semblent nécessiter pour leur stabilisation une expérience sensorielle appropriée au cours des premières semaines du développement. Une période critique dont la phase est relativement étroite a été découverte chez le chaton. Ces filtres toutefois peuvent modifier leur arrangement primitif en tenant compte de l'expérience subie au cours de cette même phase critique, ainsi que l'ont démontré des expériences d'élevage en condition de restriction sensorielle.

Le problème reste posé du rôle joué par les activités palpatoires dans les opérations d'extraction de caractéristiques. Les surprenants résultats des expériences récentes de prothèses tactiles pour aveugles ont souligné l'importance des activités "palpatoires" de la caméra exploratrice dans la genèse des formes perceptives transcrites sur la peau. Elles posent l'important problème de la nature des opérations d'extraction de caractéristiques invariantes qui aboutissent à la représentation perceptive et sous-tendent les opérations ultérieures de reconnaissance de formes.

Le formalisme de l'Algèbre de Lie offre un modèle mathématique prometteur pour la description de ces opérations en définissant le processus génératif qui conduit, des opérateurs élémentaires constitutifs des invariances partielles extraites d'un nombre restreint de transformations de base, à la construction de l'invariance des propriétés spatiales de l'objet qui définit sa permanence au sein d'un espace physique stabilisé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APTER, M. J., 1970. The computer stimulation of behaviour. London: Hutchinson University Library, 180 pages.
- ARONSON, E., & ROSENBLOOM, S., 1971. Space perception in early infancy: perception within a common auditory-visual space. Science, 172, 1161-1163.
- BERGERON, M., 1947. Les manifestations motrices spontanées chez l'enfant. Paris: Hermann, 105 pages.

- BLAKEMORE, C., & COOPER, G. F., 1970. Development of the brain depends on the visual environment. *Nature* (London), 288, 477-478.
- BOSSOM, J., & HAMILTON, C. R., 1963. Interocular transfer of prism altered coordination in split brain monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56, 769-774.
- BOSSOM, J., & OMMAYA, A. K., 1968. Visuomotor adaptation to prismatic transformation of the retinal image in monkeys with bilateral dorsal rhizotomy. *Brain*, 91, 161-172.
- BOWER, T.G.R., BROUGHTON, J. M., & MOORE, M. K., 1970. The coordination of visual and tactual input in infants. *Perception and Psychophysics*, 8, 51-53.
- BRESSON, F., 1971. La genèse des propriétés des objets. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 68, 143-168.
- BROUCHON, M., 1968. Les coordinations visuo-motrices. Etude expérimentale de l'adaptation au déplacement de l'espace visuel chez l'homme. *Année Psychologique*, 68, n° 2, 525-547.
- BROUCHON, M., & HAY, L., Analyse des interférences entre les informations proprioceptives et cutanées dans l'appréciation des positions du corps propre. *Psychologie Française* (Sous Presse).
- CHAVANIS, J., 1914. Histoire de la guérison d'un aveugle né. Thèse de Doctorat en Médecine. Faculté de Médecine, Lyon.
- COHEN, H. B., 1966. Some critical factors in prism adaptation. *American Journal of Psychology*, 79, 285-290.
- COLLINS, C.C., & SAUNDERS, F. A., 1970. Tactile television electro-cutaneous perception of pictorial images. In : D. REYNOLDS & SJOBERG A. (Eds), *Neuroelectric Research*. Chap. 6. Kingsport Press Tenn., 55-64.
- COQUERY, J. M., Fonctions motrices et contrôle des messages sensoriels d'origine somatique. A paraître dans *Journal de Physiologie*, Paris.
- CRASKE, B., 1966. Intermodal transfer of adaptation to displacement. *Nature*, 210, 765.
- DITCHBURN, R. W., 1955. Eye movements in relation to retinal action. *Optica Acta*, 1, 171-176.
- DOURIEZ, M., 1971. Perception et sémiotisation spatiales. Etude génétique de l'intégration des informations proprioceptives dans la construction de l'espace. Thèse de Doctorat de IIIe Cycle en Psychologie. Université de Provence, mai 1971, 431 pages.
- FANTZ, R. L., 1966. Pattern discrimination and selective attention as determinants of perceptual development from birth. In : A.H. KIDD & J.L. RIVOIRE (Eds), *Perceptual development in children*. New York : Int. Univ. Press.
- FLAMENT, F., 1963. Développement de la préférence manuelle de la naissance à six mois. *Enfance*, 16, 241-262.
- GIBSON, J.J., 1964. Introduction in : I. KOHLER, The formation and transformation of the perceptual world. *Psychological Issues*, 3, (4), 1-173.
- GREGORY, R. L., & WALLACE, J. G., 1971. Perceptual implications of recovery from blindness in man. in : *La fonction du regard*. Colloque INSERM, Paris, 243-278.
- HALVERSON, H.M., 1931. An experimental study of prehension of infants by means of systematic cinema records. *Genetic and Psychology Monographs* 10, 110-286.
- HAMILTON, C.R., 1964. Intermanual transfer of adaptation to prisms. *American Journal of Psychology*, 77, 457-462.
- HARRIS, C. S., 1965. Perceptual adaptation to inverted reversed and displaced vision. *Psychological Review*, 72, 419-444.
- HAY, L., & BROUCHON, M., Analyse de la réorganisation des coordinations visuomotrices chez l'homme. *Année psychologique* (Sous presse).
- HAY, J. C., & PICK, H. L., 1966. Visual and proprioceptive adaptation to optical displacement of the visual stimulus. *Journal of experimental Psychology*, 71, 150-158.
- HEÏN, A., G HELD, R., 1967. Dissociation of the visual placing response into elicited and guided components. *Science*, 158, 390-392.

- HELD, R., & BAUER, J.A., 1967. Visually guided reaching in infant monkeys after restricted rearing. Science, 155, 718-720.
- HELD, R., & BOSSOM, J., 1961. Neonatal deprivation and adult rearrangement : complementary techniques for analyzing plastic sensory. Journal of comparative and physiological Psychology, 54, 33-37.
- HELD, R., & FREEDMAN, S.J., 1963. Plasticity in human sensorimotor control. Science, 142, 455-462.
- HELD, R., & GOTTLIEB, N., 1958. Technique for studying adaptation to disarranged hand-eye coordination. Perceptual Motor Skills, 8, 83-86.
- HELD, R., HEIN, A., 1963. Movement produced stimulation in the development of visually guided behavior. Journal of comparative and physiological Psychology, 56, 872-876.
- HOFFMAN, W.C., 1966. The Lie Algebra of visual perception. Journal of mathematical Psychology, 3, 65-98.
- HOFFMAN, W. C., 1970. Higher visual perception as prolongation of the basic Lie transformation group. Mathematical Biosciences, 6, 437-471.
- HOLST, E., (Von), & MITTELSTAEDT, H., 1950. Das Reafferenzprinzip (wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie). Naturwissenschaft, 37, 464-476.
- HORN, G., & HILL, R. M., 1969. Modifications of receptive fields of cell in the visual cortex occuring spontaneously and associated with bodily tilt. Nature (London), 221, 186-188.
- HOWARD, I. P., 1971. Perceptual learning and adaptation. British Medical Bulletin, 27 248-252.
- HOWARD, I. P., G TEMPLETON, W. B., 1966. Human spatial orientation. New York : John Wiley and Sons, 533 pages.
- HUBEL, D.H., & WIESEL, T.N., 1962. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of Physiology (London), 160, 106-154.
- HUBEL, D.H., & WIESEL, T.N., 1970. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. Journal of Physiology (London), 206, 419-436.
- JEANNEROD, M., & PUTKONEN, P. T. S., 1971. Lateral geniculate unit activity and eye movements : saccade locked changes in dark and in light. Experimental Brain Research, 13, 533-546.
- JEANNEROD, M., & SAKAI, K., 1970. Occipital and geniculate potentials related to eye movements in the unanesthetized cat. Brain Research, 19, 361-377.
- KOUPERNIK, C., 1954. Le développement psychomoteur du premier âge. Paris : P. U. F., 197 pages.
- LETTVIN, J. Y., MATURAWA, H. R., Mc CULLOCH, W. S., & PITTS, H. H., 1959. What the frog's eye tells the frog's brain. Proceeding IRE, 47, 1940-1951.
- NISSSEN, H.W., CHOW, K. L., & SEMMES, J., 1951. Effects of restricted opportunity for tactual kinesthetic and manipulative experience on the behavior of a chimpanzee. American Journal of Psychology, 64, 485-507.
- NORTON, D., & STARK, L., 1971. Eye movements and visual perception. Scientific American, 224, 34-43.
- PAILLARD, J., 1960. The patterning of skilled movements. In : Handbook of Physiology, Section I. Neurophysiology, vol. 3, 1679-1708.
- PAILLARD, J., 1961. Les attitudes dans la motricité : In : Les attitudes. Paris : P.U.F., 7-31, 104-140.
- PAILLARD, J., 1963. Tonus, posture et motricité téléocinétique. In : Ch. KAYSER, Physiologie II. Paris : Flammarion, 403-512.
- PAILLARD, J., 1967. La motricité et le tonus : In : L'aventure humaine. Vol. V. Genève : Kister SA. , 39-44.

- PAILLARD, J., & BROUCHON, M., 1968. Active and passive movements in the calibration of position sense. IN : S. J. FREEDMAN, *The Neuropsychology of spatially oriented behavior*. Homewood Ill., Dorsey Press, chap. 3, 37-55.
- PIAGET, J., 1963. *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 370 pages.
- POINCARÉ, H., 1948. *La valeur de la Science*. Paris : Flammarion, 278 pages.
- RADEAU, M., & BERTELSON, P., 1969. Adaptation à un déplacement prismatique sur la base de stimulations exafférentes en conflit. *Psychologica Belgica*, 9, 133-140.
- ROCK, J., 1966. *The nature of perceptual adaptation*. Basic books, New York. 289 pages.
- ROCK, I., & HARRIS, C. S., 1967. Vision and touch. *Scientific America*, 216, 96-104.
- ROSEN, I., & ASANUMA, H., 1972. Peripheral afferent input of the forelimb area of the monkey motor cortex : input-output relations. *Experimental Brain Research*, 14, 257-273.
- SALAPATEK, P., 1968. Visual scanning of geometric figures by the human newborn. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 66, 247-258.
- SCHNEIDER, G. E., 1969. Two visual Systems. *Science*, 163, 895-902.
- SMITH, K. U., & MOLITOR, K., 1969. Adaptation to reversal of retinal feedback of eye movements. *Journal of Motor Behavior*, 1, 69-87.
- SPERRY, R. W., 1950. Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual neural inversion. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 43, 482-484.
- SPINELLI, D.N., 1970. Recognition of visual pattern. In : D.A. HAMBURG (Ed.), *Perception and its disorders*. Williams and Wilkins, 139-149.
- TAUB, E., & BERMAN, A.J., 1968. Movement and learning in the absence of sensory feedback. In : S.J. FREEDMAN. *The neuropsychology of spatially oriented behavior*. Homewood Ill., Dorsey Press.
- THOMSON, R., & MYERS, R. E., 1971. Brainstem mechanisms underlying visually guided responses in the rhesus monkey. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 74, 479-512.
- TOURNAY, A., 1924. L'asymétrie dans le développement sensitivomoteur de l'enfant. *Journal de Psychologie*, 21, 135-144.
- VEDEL, J. P., 1970. Etude de la régulation de la sensibilité des fuseaux neuromusculaires par les structures nerveuses centrales chez le chat. Thèse Doctorat es Sciences Naturelles, Faculté des Sciences de Marseille, 165 pages.
- VITAL-DURAND, F., MAGNIN, M., & JEANNEROD, M., 1971. Maturation sélective de la réponse optocinétique chez le chaton. *Journal de Physiologie* (sous presse).
- WALLON, H., 1956. Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant. *Enfance*, 9, n° 2, 1-4.
- WALLON, H., & LURCAT, L., 1962. Espace postural et espace environnant : le schéma corporel. *Enfance*, 15, 1-33.
- WHITE, B. L., CASTLE, P., & HELD, R., 1964. Observations on the development of visually directed reaching. *Child development*, 35, 349-364.
- WHITE, B.L., & HELD, R., 1966. Plasticity of sensorimotor development in the human infant. In J. F., ROSENBLITH & W., ALLINSWORTH (Eds). *The causes of Behavior*. Reading in child development and educational Psychology. Boston : Allyn and Bacon Inc., 2ème édition.
- WHITE, B.W., SAUNDERS, F.A., SCADDEN, L., BACH Y RITA, P., & COLLINS, C.C., 1970. Seeing with the skin. *Perception and Psychophysic*, 7, 23-27.
- YARBUS, A.L., 1967. *Eye movements and vision*. (Trad. L. A., RIGGS, B. HAIGH). Plenum Press, New York, 222 pages.

SUMMARY

The motor apparatus of organisms appears as a structure of assimilation, transformation and generation of spatial order. The appropriation of space is achieved through a double motor system. The first one deals with positioning and transport of the body as a whole or of a body segment : such activities are supposed for their accomplishment, to be referred to geocentred postural invariants. They contribute to the building up of a stable space of location. The second one deals with activities of catching, manipulation and transformation of objects or entities which inhabit the space of location. They operate upon the intraobjectal space and lead to the extraction of perceptive invariances as supporting the identification and recognition of objects and of forms. Such a morphological and functional duality, built into the nervous organization, emerges during the genesis of spatial relations through coordination of the various capture spaces. Self-induced activities seem to constitute a necessary factor for the initial constitution, preservation and eventual accommodation of postural referentials. The extraction of perceptive invariances is worked out on material given by the feature detectors whose maturation depends on the early experience of the subject, and through operators using active motor collection of information and transformation of the afferent inflow.