

Le schéma corporel (2)

Données actuelles et définition

Eric W. Pireyre

Résumé : Ce texte est le deuxième sur deux et décrit de nouvelles hypothèses sur la notion de schéma corporel (SC). Clarifié par Dolto [1] et Gallagher [2] qui l'ont conceptuellement cantonné à l'équipement neuro-anatomique et neurophysiologique, le SC est devenu un champ de recherche pour les neurosciences. Distinct de l'image du corps, donnée affective, il concerne, en plus des systèmes moteurs, la proprioception principalement, la vision périphérique – c'est-à-dire la vision des mouvements - et le système vestibulaire. La vision périphérique est un soutien. Le système vestibulaire (antigravitaire) est concerné par les constants et nécessaires réajustements posturaux. Intéroception et toucher ne sont pas impliqués dans le SC, contrairement à l'espace péri-personnel. Différentes zones du système nerveux central sont impliquées.

Mots clés : Schéma corporel, neurosciences, proprioception, vision périphérique, système vestibulaire, espace péri-personnel, réseaux neuronaux, zones corticales, psychomotricité.

Introduction

Les neurosciences ont permis d'établir que le SC concerne la gestion automatisée de la position du corps dans l'espace ainsi que les changements de position. Elles ont mis en évidence l'existence d'un substrat neuro-anatomique au SC. Les zones corticales impliquées sont variées et organisées en réseaux neuronaux. La clarification de Dolto et Gallagher s'est révélée très fructueuse. Commençons par quelques esquisses de définition.

1/ Définitions générales

Commençons avec Fontan [3] :

- « Pour agir efficacement il est nécessaire d'avoir une connaissance précise de nos capacités corporelles engagées dans l'action. Cette connaissance comprend la composition des différentes parties du corps, la localisation des différents segments corporels dans l'espace, les relations qu'entretiennent ces segments corporels ou encore les limites physiques du corps. Ces informations se retrouvent au niveau cérébral sous forme de représentations internes renseignant sur les caractéristiques de l'action que le corps réalise et sur son interaction avec l'environnement.
- Il est évident que, pour générer correctement et de façon précise une action, l'obtention des informations sur l'état du corps est nécessaire. Une erreur en provenance de l'état du corps aurait un impact direct sur le mouvement réalisé. L'exemple de l'utilisation de retours sensoriels à propos du corps en action (effecteurs utilisés, position) suggère l'existence d'une représentation interne du corps agissant : *le schéma corporel* (Gallagher [2]).
- Pour agir efficacement il est nécessaire de connaître la position du corps dans l'espace ainsi que sa géométrie et les relations qu'entretiennent les différents segments corporels engagés dans l'action. Cette représentation interne des segments corporels en mouvement a été conceptualisée sous le terme de schéma corporel (Head & Holmes [4] ; Naito et al. [5]).
- Le schéma corporel contiendrait les informations sur le corps agissant, telles que sa position dans l'espace, essentielle à l'exécution des actions.
- L'intégration des informations sensorielles provenant du corps et de l'environnement jouerait donc un rôle essentiel dans la construction de la représentation de notre propre corps ainsi que ses relations avec l'environnement. Pour créer une représentation précise du corps dans l'espace, le schéma corporel intègre à la fois des informations sensorielles générées par le corps en mouvement via la transmission d'afférences sensorielles – *i.e.* vestibulaires, visuelles et proprioceptives – et des informations motrices relatives à la planification, l'exécution et le contrôle du mouvement. L'intégration de ces différentes informations produites lors de l'action permettrait chez l'adulte une mise à jour continue du schéma corporel.
- Lorsque le corps interagit avec son environnement, de multiples informations sensorielles vont converger vers le système nerveux central. Ces informations vestibulaires, visuelles et proprioceptives vont renseigner sur les changements posturaux du corps ou encore sur les modifications liées à l'environnement.
- En résumé le schéma corporel se caractérise par un encodage spatial du corps intégrant la position et la configuration du corps dans l'espace, permettant aux représentations de l'action d'intégrer les modalités du corps agissant pour

atteindre un but. Le schéma corporel est une entité supra-modale qui intègre les différentes informations sensorielles provenant du corps – c'est-à-dire vestibulaires, proprioceptives et visuelles - permettant ainsi de créer une représentation amodale tridimensionnelle ajustée à son environnement. La plasticité du schéma corporel, comme observée lors de l'utilisation d'outil ou dans les paradigmes d'illusion de mouvement, permettrait une mise à jour continue et rapide afin d'ajuster les représentations du corps aux multiples changements susceptibles d'impacter l'action dans un environnement donné. »

Autrement dit, il nous est nécessaire de disposer en temps réel d'informations sensorielles à propos de la position des différents segments de notre corps les uns par rapport aux autres. Ces informations peuvent entre autres assurer un contrôle en retour des mouvements effectués pour s'assurer de leur bonne efficacité. C'est cette forme de représentation spatiale des différentes parties du corps en mouvement qui a été nommée schéma corporel. Ce dernier implique, en continu et en plus de la planification des mouvements, la mobilisation des systèmes sensoriels proprioceptif, visuel et vestibulaire. Le schéma corporel est donc le fruit de la coordination de différentes modalités sensorielles et motrices. Il s'agit d'un concept sensori-moteur. Forts de ces précisions, il est possible maintenant de proposer une définition de la notion de schéma corporel :

Le SC relève d'un fonctionnement physiologique non subjectif. C'est une représentation sensori-motrice, tridimensionnelle, non consciente, automatique et sans cesse réajustée de la position globale et/ou segmentaire du corps et de ses mouvements. Cette représentation implique différents systèmes sensoriels, leurs coordinations et leur intégration (proprioception, vision, équilibration). La proprioception est, chez l'adulte¹, la référence principale. Ce qu'on appelle « espace péri-personnel » fait partie intégrante du SC².

L'intéroception, c'est-à-dire la sensibilité en provenance des systèmes respiratoire, digestif, cardiaque et endocrinien, ne peut être incluse dans une définition du SC car trop reliée à la « fabrique des sentiments » (Damasio [6]) et donc à la subjectivité³.

2/ La proprioception

Pour Breedlove et al. [7], la proprioception est la perception du corps basée sur l'innervation sensitive (*proprioceptive*) des muscles, tendons et articulations, elle informe le cerveau de la position et des mouvements du corps. Pour Richard et Orsal [8], la proprioception, appelée aussi sensibilité profonde, correspond à trois types d'informations sensorielles : la position (ou posture), le mouvement et la force.

- Les informations de position concernent les angles articulaires. Ce système sensoriel nous permet le ressenti de la position des différents segments du corps les uns par rapport aux autres et donc, par exemple, de la position des segments des membres entre eux et par rapport au corps. Mais cela concerne aussi la position du cou, l'orientation du tronc ainsi que l'ouverture de la mâchoire inférieure. Cette forme de sensibilité est, selon Richard et Orsal, « faible⁴ mais peut-être grandement améliorée par l'apprentissage. »
- La sensibilité au mouvement, la kinesthésie, inclut tout à la fois des sensations de vitesse, d'amplitude et de direction. Les seuils sensoriels sont plus faibles dans les articulations proximales que distales.
- La sensibilité à la force nous permet une certaine forme de résistance musculaire mais aussi un ressenti de l'effort musculaire produit pour soulever une charge.

1 Chez l'enfant, primauté est donnée d'abord à la vision, on le verra plus loin.

2 Voir paragraphe 6

3 Voir aussi De Preester [9].

4 C'est-à-dire peu précise.

Les récepteurs sensoriels impliqués dans la proprioception sont des mécanorécepteurs (ou propriocepteurs) localisés dans les muscles, les tendons et les articulations. Dans les muscles, il s'agit de « terminaisons sensorielles qui s'enroulent autour de la région centrale des fibres des fuseaux neuromusculaires. » Le fuseau neuromusculaire entre en action lors de l'étirement passif du muscle. Dans les tendons, les organes tendineux de Golgi sont sensibles à la tension musculaire et plutôt insensibles aux elongations musculaires passives. Ils sont impliqués lors d'efforts importants. Ils enregistrent donc l'intensité de la contraction et fournissent une partie des informations qui contribuent au contrôle précis des mouvements. Les récepteurs musculaires et tendineux jouent donc un rôle très important dans le contrôle de la contraction. Les articulations sont équipées de nombreux types de récepteurs : corpuscules de Golgi, de Manzoni et de Pacini. D'autres types se réduisent à de simples terminaisons libres. Fait important, tous ces récepteurs renseignent plus sur les mouvements articulaires que sur l'angle d'ouverture de l'articulation. Les récepteurs à la force semblent être les récepteurs musculaires.

La proprioception concerne donc une représentation interne des segments corporels en mouvement (ou suite à un mouvement pour les informations de position), représentation interne qui a été conceptualisée sous le terme de schéma corporel par Head et Holmes (1911) [4].

3/ Le rôle de la vision

Parson [10] mentionne la vision comme une source vitale d'informations pour la posture et le mouvement. Gallagher et Cole [2] ont étudié le rôle de la vision dans l'élaboration du SC. Ils ont fait, pour cela, référence à la situation d'IW, sujet adulte, souffrant d'une « neuropathie sensorielle ». Cette personne ne disposait d'aucune information proprioceptive ni tactile en-dessous de son cou. Sa motricité était théoriquement indemne. Il n'avait aucune conscience proprioceptive de la position de ses membres. Il ne pouvait en conséquence pas les localiser sans les voir. « Sans information proprioceptive ni tactile, il ne pouvait ni savoir où sont ses membres ni contrôler sa posture à moins de regarder son corps avec un très gros effort de concentration. Sans cela, il n'avait aucun contrôle de ses mouvements. » Le système visuel est donc une composante importante du SC.

Gibson [11] propose la notion de « visual proprioception » pour caractériser le rôle de la vision dans la prise d'informations lors de mouvements actifs. Cette « proprioception visuelle » interviendrait pour traiter le flux visuel se déroulant dynamiquement dans l'espace. Gallagher et Cole [2] vont plus loin et proposent que la proprioception visuelle soit impliquée dans le traitement non subjectif d'informations visuelles liées à des mouvements apparaissant dans le champ visuel et pas seulement lorsque c'est le sujet lui-même qui se déplace. « Des ajustements posturaux sont réalisés dans le but de compenser les changements du flux visuel. » Selon Jouen [12], cette capacité à traiter ce type d'informations est présente à la naissance. La proprioception visuelle de Gibson [11] évoque la notion de vision périphérique de Bullinger [13]⁵ : « La vision périphérique traite essentiellement des mouvements. Les réponses de l'organisme à ces stimulations sont toniques et posturales. Le déplacement d'un segment corporel dans le champ visuel est en partie réglé par les indices rétinien. C'est essentiellement la périphérie des rétines qui est sollicitée. La découverte d'un corps « véhicule » s'appuie largement sur les signaux visuels périphériques. » Il y a nécessairement coordination entre vision et proprioception. La proprioception, en tant que « mécanique » non coordonnée (par exemple, lors de la réalisation d'une tâche les yeux fermés) au système visuel est de toute évidence une source majeure d'informations sur -

5 Bullinger [13], dans le paragraphe définissant la vision périphérique (p.29), cite Gibson : « Gibson [11] a montré l'importance de cette composante primitive du système visuel. » Il n'est donc pas insensé de parler d'une équivalence entre la proprioception visuelle de Gibson et la vision périphérique de Bullinger.

et de contrôle de - la posture dans l'ici et maintenant. Elle contribue au contrôle automatique de la posture et du mouvement. Mais la vision joue un incontestable rôle. Le déficit proprioceptif de IW a mis à mal la coordination sensori-motrice entre la vision et la proprioception. Le contrôle par la vision périphérique s'est substitué à la proprioception. Pour IW, l'intensité et la réussite de la concentration nécessaire pour compenser son déficit proprioceptif en s'appuyant sur sa vision périphérique montre que ce dernier système est, chez un sujet non malade, en fait un soutien à la proprioception.

Le caractère compensateur de la vision périphérique dans le cas de perte des informations proprioceptives montre bien l'importance de la vision des mouvements dans le SC. Le cas du développement de l'enfant, on le verra plus loin, appuie bien également cette idée. La vision, dans sa composante périphérique, fait bien partie du SC.

4/ L'équilibration et le système vestibulaire

Les débats ont d'abord porté sur la pathologie à la suite des remarques de Bonnier [14] :

- Ce dernier propose le terme « d'aschématie » pour décrire une distorsion de la représentation du volume, de la forme et de la position du corps et de ses différents segments. Schilder [15] raconte que des patients souffrant de troubles vestibulaires faisaient état d'un gonflement de leur cou pendant un engourdissement ou que leurs extrémités s'élargissaient ou encore que leur pied semblait s'allonger. Les recherches⁶ à partir de la pathologie ont montré que des troubles vestibulaires pouvaient entraîner des changements du SC à cause de mauvaises interprétations des signaux corporels, par exemple posturaux. Sang et al. [16] ainsi que Lopez et al. [17] affirment que les patients souffrant de troubles vestibulaires périphériques localisent mal les différentes parties de leur corps. Borel et al. [18] ont démontré que des patients pouvaient sous-estimer leurs déplacements ainsi que la direction de leurs mouvements. Schmidt et al. [19] expliquent qu'une légère et non invasive stimulation électrique du système vestibulaire améliore les déficits proprioceptifs dans des cas de lésion de l'hémisphère droit. Les patients en question, souffrant d'une hémionégligence visuo-spatiale, s'avèrent ainsi plus précis dans la localisation de leur membre supérieur gauche. Les signaux vestibulaires pourraient fournir des informations sensorielles à même de localiser correctement le membre en impliquant des structures intactes impliquées également dans la recalibration de la position du corps et des membres. Et chez le sujet indemne de toute lésion du système nerveux central ?
- La même forme de stimulation du système vestibulaire utilisée chez des sujets non pathologiques non seulement modifie les capacités de localisation mais crée même une illusion de mouvement du corps entier, c'est-à-dire une dissociation entre les localisations perçue et réelle (Leggenhager et al. [20]). Bresciani et al. [21] rapportent que la stimulation électrique vestibulaire perturbe les mouvements d'approche d'une cible visuelle en interférant avec l'estimation spatiale par le sujet lui-même de la position de ses mains dans l'espace environnant.

La pathologie montre donc bien l'implication du système vestibulaire dans le SC par mauvaise interprétation des signaux sensoriels. Des stimulations électriques du système vestibulaire modifient les localisations perçues des différentes parties du corps et perturbent les mouvements. De plus, les modifications du centre de gravité au cours des changements de position nécessitent l'implication du système vestibulaire. Le système vestibulaire est donc bien engagé dans le SC.

Substrats neuroanatomiques

- D'emblée, il faut noter qu'il n'existe pas de zone corticale dévolue à l'équilibration. Les signaux vestibulaires parviennent aux noyaux vestibulaires du bulbe rachidien et sont projetés sur plusieurs régions multisensorielles cérébrales (Lopez [22]. On pense, grâce à la neuro-imagerie, que la position des différents segments du corps repose sur le lobe pariétal supérieur. Des représentations somatotopiques du corps pourraient impliquer l'operculum pariétal mais aussi la partie postérieure de l'insula. On parle à propos de ces régions de « cortex vestibulaire pariéto-insulaire ». Elles sont situées très proches de la jonction temporo-pariétale (Hashimoto et Iriki [23] ; Leggenhager et al. [20]).
- Les noyaux vestibulaires sont le lieu d'une convergence multi-sensorielle (vision, tact, proprioception). Cette convergence semblerait « noyer » les informations vestibulaires (Roy et Cullen [24]).
- Les noyaux vestibulaires projettent des voies vers les noyaux oculomoteurs et vers les noyaux thalamiques impliqués dans le traitement somato-sensoriel ainsi que vers des zones corticales.
- Certaines de ces liaisons assurent des rétrocontrôles utilisés pour tourner les yeux vers la gauche et prendre en compte les signaux proprioceptifs du cou lors d'un mouvement de rotation de la tête.

Les données de la pathologie, les études sur les sujets sains ainsi que nos connaissances sur les structures du système nerveux central impliquées permettent de faire des propositions sur l'importance du système vestibulaire dans le SC.

- Paillard [25] affirme que l'accélération gravitationnelle est un cadre de référence dominant qui influence le contrôle visuomoteur de nos actions et perceptions. « Les signaux gravitaires fusionnent et donnent cohérence aux cadres de références variés qui étayent l'action et la perception ».
- Quand on demande à un sujet d'attraper une cible alors que sa chaise est en rotation, diverses forces dévient la main. Les signaux vestibulaires générés alors permettent de corriger la trajectoire de cette dernière (Guillaud et al. [26]).
- Les signaux vestibulaires sont utilisés pour contrôler nos actions et nos interactions avec les objets de l'environnement.
- Les signaux vestibulaires contribuent à la localisation de la main et au mouvement. La convergence qu'ils reflètent (leur rôle d'intégration multisensorielle) maintient une certaine forme de perception du corps.
- « Le système vestibulaire fournit des informations continues au cerveau pour mettre à jour les informations de position du corps ainsi que pour maintenir son orientation dans l'espace environnant » (Berthoz [27]).
- La perception de la verticalité repose sur une intégration multisensorielle impliquant le système vestibulaire. La marche est un ensemble d'actions impliquant cette intégration.

Le système vestibulaire repose sur des bases neuroanatomiques multiples. Repère fondamental par rapport à la gravité, il participe à l'adaptation des mouvements – du corps entier ou des membres - d'approche de l'objet à atteindre alors même que le corps se trouve en mouvement et est donc alors en phase d'adaptation aux modifications du centre de gravité.

5/ Les substrats neuroanatomiques adultes : l'apport des neurosciences (Naito et al. [6], Fontan [3])

Les bases neuroanatomiques du SC sont à chercher du côté de l'existence et de la collaboration de trois réseaux principaux qui intègrent les informations sensorielles provenant des aires somato-sensorielles primaires et convergeant ensuite vers les aires pariétales associatives : les réseaux

- Sensori-moteur
- Pariétal spécialisé
- Fronto-pariétal.

Le réseau sensori-moteur (Naito [6]) est composé des systèmes sensoriel et moteur à visée de contrôle de l'action. « Il participe au traitement kinesthésique des informations en provenance des membres ». Les structures impliquées sont les aires sensorielles primaires et secondaires et le cortex moteur primaire avec une partie du cortex prémoteur, l'aire motrice supplémentaire, l'aire motrice cingulaire, les ganglions de la base et le cervelet. Cet ensemble de structures permet de localiser une modification corporelle et de contrôler le mouvement. Il s'agit en fait d'allers-retours entre les informations sensorielles et motrices. Le cortex moteur (cortex prémoteur et cortex moteur primaire) est le lieu d'informations descendantes mais aussi ascendantes. Connecté avec le cortex pariétal, il en reçoit les nombreuses informations sensorielles. Le cortex moteur primaire « contenant un nombre considérable de neurones cortico-spinaux, à la fois pour les muscles proximaux et distaux, n'est donc pas un simple centre d'exécution motrice mais plutôt un important nœud qui peut contribuer à la perception du mouvement du membre en recevant et traitant les signaux musculaires afférents [...] La représentation du corps portée par ce réseau est très certainement un modèle postural kinesthésique/dynamique *du membre*. »

Pour Fontan [3] :

- « L'implication du réseau sensori-moteur dans la formation des représentations du corps indique un couplage entre les représentations sensorielles et motrices. Ces aires sensori-motrices vont permettre de localiser précisément les changements corporels perçus grâce à leur organisation somatotopique. »

Pour Naito [6] :

- « Des aires pariétales associatives antérieures sont responsables de l'intégration de l'information somatique provenant de différentes parties du corps pour élaborer un modèle postural de *la totalité du corps*. »

Autrement dit, ce réseau participe aux contrôles en retour des mouvements des quatre membres grâce aux informations sensorielles ascendantes. La totalité des postures du corps sont donc représentées au niveau de différentes zones corticales, entre autres associatives.

Le réseau pariétal spécialisé (Naito [6]) implique un cortex pariétal postérieur très connecté avec les zones corticales traitant et intégrant les informations sensori-motrices nécessaires au mouvement. Cette activité d'intégration multisensorielle donne au cortex pariétal postérieur un rôle dans l'élaboration du schéma corporel. Il recense les informations provenant du corps pour localiser avec précision la position des membres, il crée et met en permanence à jour une représentation cohérente du corps en son entièreté mais aussi du corps en contact avec l'objet.

Ce réseau joue à peu près le même rôle que le réseau sensori-moteur sauf qu'il ne se cantonne pas à s'appuyer sur la kinesthésie mais intègre les informations de diverses modalités sensorielles. De la sorte, il peut créer une représentation corticale complète du corps, y compris dans ses contacts avec les objets.

Le réseau fronto-pariétal (Naito [6] ; Fontan [3]) de l'hémisphère droit est appelé ainsi en raison de

l'étroite connexion entre aires pariétale et frontale. Il semble « jouer un rôle majeur dans l'élaboration des représentations internes du corps en mouvement et de leur accès conscient [...] Il joue un rôle essentiel dans le contrôle et la supervision de l'état du corps permettant aux sujets d'accéder consciemment à leurs représentations corporelles pour pouvoir agir. » « En surveillant et accumulant l'information corporelle et en mettant à jour le modèle postural de notre corps, le réseau fronto-pariétal pourrait porter des fonctions de haut niveau telles que la *reconnaissance*⁷ et la *conscience de soi*. » En facilitant donc la conscience des représentations du corps.

Ce réseau est donc primordial pour construire une représentation corticale *consciente* du corps en mouvement, ce qui contribuerait à la conscience que nous avons de nous-mêmes.

Ces trois réseaux neuronaux sont complémentaires, le premier (sensori-moteur) traite les informations kinesthésiques ascendantes pour élaborer une représentation posturale du corps en mouvement. Le deuxième (pariétal spécialisé) complète le précédent pour inclure dans la représentation corporelle la relation avec l'objet. Le troisième nous permet une certaine forme de conscience de nous-même. On est donc, en passant du premier au deuxième puis au troisième, devant une complexité croissante de représentation corporelle.

6/ L'espace péri-personnel

Brain [28] pose l'existence de représentations d'un espace proche du corps, l'espace péri-personnel (EPP), et d'un espace éloigné, l'espace extra-personnel. Des études neurophysiologiques ont confirmé cette distinction. Rizzolatti et al. [29] ont mis en évidence les liens étroits existant entre les traitements proprioceptif et visuel impliqués dans ce secteur de l'espace.

L'EPP est défini comme la région de l'espace situé aux environs proches du corps et dans lequel les objets peuvent être atteints et manipulés. La notion d'espace extra-personnel réfère à l'espace au-delà, celui qui implique l'exploration par mouvements oculaires. Les représentations de l'EPP sont centrales pour un guidage sensoriel de l'acte moteur. Expérimentalement, après immobilisation d'un bras, les sujets surutilisent leur autre bras et en modifient la représentation. Le membre surutilisé est perçu plus grand après qu'avant l'immobilisation de l'autre. Le SC (D'Angelo et al. [30]) est donc étroitement mêlé à une représentation fonctionnelle de l'EPP.

Les expériences avec outil ont fait évoluer la conception de l'EPP. Utiliser un outil pour agir sur des objets éloignés, en dehors de l'EPP, agrandit ce dernier. Pour Canzoneri et al. [31], les outils peuvent être intégrés au SC car : « après usage de l'outil, la distance perçue entre deux points dans la longueur de l'avant-bras est significativement plus grande que la distance perçue entre deux points situés dans la largeur de l'avant-bras [...] La longueur perçue du membre s'est donc agrandie⁸. » Selon D'Angelo et al. [30], « l'espace éloigné est intégré à l'EPP après utilisation de l'outil⁹. »

Pour obtenir cet effet expérimental, il est nécessaire de présenter des stimuli visuels ou auditifs aux environs proches du corps. La fonction de l'EPP est donc sensori-motrice. L'information traitée ne porte pas seulement sur la partie du corps concernée mais aussi sur des représentations multisensorielles. L'EPP est donc un système sensori-moteur à l'interface du corps et de son environnement. Il servirait (Noël et al. [32]) de « frontière corporelle permettant des réactions adaptées grâce à une mise à jour et

7 « L'importance du cortex fronto-pariétal droit et du lobule pariétal inférieur dans la discrimination du visage du sujet de celui d'autrui a été rapportée par de nombreuses études » (Naito [6]).

8 Cette illusion a été également étudiée au moyen de la réalité virtuelle. Quand le « bras virtuel est allongé, la cible à attraper paraît plus proche » (Linkenauger et al. [35]).

9 Cette déformation de l'EPP, son caractère plastique, en fait une notion différente de l'espace de préhension (l'ensemble des points de l'espace atteignables sans déplacement) proposé par Bullinger [13].

une correction en temps réel du mouvement prenant en compte les retours sensoriels concomitants [...] C'est l'action qui détermine ce qui est codé comme proche ou éloigné. »

Pour de Vignemont et Ianetti [33], on peut distinguer deux types d'EPP : celui du geste (« couper des carottes ») et celui de la protection (« ne pas toucher la casserole chaude »).

- « Il est plausible de ne considérer l'existence que de deux EPP, chacun ayant des aspects fonctionnels et sensori-moteurs. »

Pour di Pellegrino et al. [34], la représentation de l'EPP est socialement modulée : la présence d'une personne dans l'espace extra-personnel rétrécit la représentation de l'EPP, pour peu que cette personne soit jugée « coopérative ». Dans cette situation, la représentation de l'EPP peut aller jusqu'à englober l'espace extra-personnel dans lequel se trouve la personne.

D'abord cantonné à l'espace environnant la main et le membre supérieur, il est reconnu maintenant comme s'étendant bien au-delà. Noël et al. [32] proposent que « la représentation de l'EPP du tronc s'agrandisse en direction de l'avant » au cours de la marche. Cette modulation est due aux mouvements de l'ensemble du corps et permet d'éviter les obstacles qui se profilent sur notre chemin.

La représentation de l'EPP repose sur l'activité des neurones multisensoriels du réseau fronto-pariétal qui inclut le cortex prémoteur et le cortex pariétal postérieur (D'Angelo [30]). Ces neurones déchargent lors d'une stimulation tactile, visuelle et/ou auditive présentée à proximité d'une partie du corps. Pour di Pellegrino [34] :

- « Le même neurone qui contrôle les mouvements de la main sur la base d'informations cutanées peut aussi le faire à partir des informations visuelles ou auditives. »

Par ailleurs, des stimuli auditifs ou visuels dans l'EPP modifient la représentation de la main dans le cortex moteur. Pour Noël et al. [32], ce phénomène est possible grâce à la modification des champs récepteurs des neurones du cortex prémoteur inférieur. « Les champs récepteurs de ces neurones s'agrandissent proportionnellement à l'augmentation de la vitesse du stimulus à l'approche. » Ces neurones sont donc spécialisés dans la cartographie de secteurs spécifiques de l'espace environnant les parties du corps et concourent aux mouvements de ces mêmes parties du corps.

L'EPP ne doit pas être confondu avec l'espace de préhension dont parle, par exemple Bullinger (2004). Pour ce dernier, l'espace de préhension regroupe tous les points de l'espace atteignable par les mains sans déplacement de la totalité du corps. L'appréhension de l'EPP, pour sa part, implique tout le corps (et pas seulement les membres supérieurs) et modifie la représentation corporelle (agrandissement ou rétrécissement d'une partie du corps) dans le mouvement global. De plus, il implique la mise en action d'autres modalités sensorielles en plus de la kinesthésie. L'EPP est modifiable, modulable s'il y a utilisation d'un outil. Il permet, par ailleurs, le ressenti d'une certaine forme de limite corporelle. Enfin, il est « déformable » dans le cas de la présence d'autrui. L'EPP repose sur des structures cérébrales bien déterminées, particulièrement sur des champs récepteurs neuronaux adaptables en fonction des déplacements.

L'EPP est une notion sensori-motrice qui permet « d'intégrer au corps » l'environnement spatial immédiat ou plus éloigné sous certaines conditions. De la sorte, la gestion de l'espace proche du corps est facilitée et des anticipations deviennent possibles. La représentation de l'EPP n'est pas le SC¹⁰ mais elle y est associée.

7/ L'évolution du SC au fil du développement de l'enfant

Si l'on a fait l'hypothèse, avec Meltzoff et Moore [36], de l'existence d'un SC primitif dès le plus jeune âge, on pense de nos jours à une construction très liée au développement sensori-moteur. On sait que la perception influence les réponses motrices. Les informations visuelles, par exemple, affectent le comportement de l'enfant. Mais l'inverse est vrai aussi : l'apparition de nouvelles aptitudes motrices modifie la perception de l'environnement. De la sorte, les comportements appropriés sont sélectionnés. Perception et action sont donc deux processus intriqués. On parle de couplage perception-action. Pour Assaiante [37], « le couplage précoce perception-action constitue le socle des représentations sensori-motrices indispensables pour exercer une motricité intentionnelle, harmonieuse et adaptée. » Pour Fontan [3]), « les bases neurales du couplage perception-action se développeraient à travers un apprentissage basé sur l'expérience sensori-motrice. » Ce couplage :

- Est fonctionnel dès la naissance, ses bases en sont le système des neurones miroir (Van Helk et al. [38]) ;
- Permet, en dernière étape, « d'anticiper les conséquences de l'action, sur la base d'une représentation interne du corps en action, dans le but de préserver l'efficacité du geste » (Assaiante et al. [39]). C'est le SC.

Le SC de l'enfant ne fonctionne pas comme celui de l'adulte. Primauté est d'abord donnée à la vision au détriment des informations proprioceptives et vestibulaires. Surtout en cas de conflit sensoriel. L'immaturité des zones pariétales et somato-sensorielles qui gèrent l'intégration proprioceptive les rend moins actives avant 7 ans. Ce développement se poursuit jusqu'à l'adolescence. Le cervelet est impliqué chez l'enfant - mais pas chez l'adulte - (Fontan [3]). Il « établit et consolide les représentations du corps en action. » Le cervelet se désengage au fur et à mesure de la maturation neurologique. En l'occurrence, il fait office de structure de soutien aux apprentissages.

Le SC repose sur de solides coordinations entre les systèmes visuel et proprioceptif. Cet ensemble de coordinations ne prendraient place que vers 10 ans. Toutefois, la repondération sensorielle - c'est-à-dire la modulation de l'importance donnée à telle modalité sensorielle – semble commencer à se mettre en place entre 4 et 6 ans : peu à peu, les informations proprioceptives et vestibulaires montent en charge. Les âges cruciaux, selon Assaiante [39] sont « la petite enfance, la transition 6/7 ans et l'adolescence. » Pour le tout petit, cela signifie que c'est au cours des périodes transitoires de fortes acquisitions motrices que la vision prédomine : position assise, debout et marche. Son importance diminue vers 7 ans, âge de montée en puissance de l'utilisation des informations vestibulaires.

On note donc une construction du SC qui passe peu à peu d'un appui principal sur les afférences visuelles à une ferme prise en compte des afférences proprioceptives et vestibulaires. Des à-coups se produisent lors des périodes de fort remaniement au cours desquelles le traitement des informations spatiales doit considérablement évoluer. La primauté des afférences proprioceptives n'est réelle que vers la fin de l'adolescence. A ce moment, la vision périphérique est devenue un appui et le système vestibulaire intervient à tous les niveaux en raison de sa structure neurophysiologique.

Quant à l'espace péri-personnel, on estime que les enfants de 5 à 7 ans en ont déjà une représentation efficiente, indépendamment de la taille de l'outil utilisé dans les recherches (Caçola et Gabbard [40] ; Gabbard et al. [41]).

Le SC, construction sensori-motrice des premières années de l'enfance passe par une succession d'étapes. D'abord étayé sur - et coordonné avec - les informations visuelles, il voit peu à peu la montée en puissance des systèmes proprioceptif et vestibulaire. C'est vers 6-7 ans qu'entrent en scène

proprioception et vestibulaire. A l'adolescence, la proprioception aura la primauté.

Conclusions

Les neurosciences nous ont donc apporté une définition claire du concept de SC¹¹. Ancré dans les coordinations sensori-motrices et spatiales, il devient une voie d'accès à l'approche clinique. Il est cohérent avec nombre de concepts sensori-moteurs de Bullinger (coordination vision périphérique/proprioception, coordinations sensori-motrices en général, importance des postures, notion d'espace, couplage perception-action...). On fera l'hypothèse ici d'un rôle crucial de l'instrumentation des systèmes sensori-moteurs dans le développement du SC, la mise en place de l'instrumentation s'accompagnant d'une représentation élaborée de l'espace.

De nombreuses populations de patients relevant de suivis en psychomotricité devraient pouvoir être accompagnées au plus près de leurs compétences et déficits. Troubles du développement psychomoteur, « dys », psychopathologies et handicaps psychiatriques et neurologiques (asomatognosies par exemple), pathologies du vieillissement et du grand âge. Longtemps classés comme phénomènes psychiques, les « out of body experiences » impliquant des particularités vestibulaires de même que les problématiques du membre fantôme relèvent également de troubles du SC. Il serait important que les psychomotriciens investissent encore plus ces champs d'exercice.

Il serait, en psychomotricité, adapté de prendre désormais en compte l'existence de l'espace péri-personnel dont les fondements neurologiques ont été démontrés. De même, les neurosciences nous montrant que la présence d'un autre, même dans l'espace extra-personnel, influence la dimension de la représentation de l'EPP, il faut donc tenir compte de l'aspect relationnel, voire tonico-émotionnel.

Les tâches d'idéation motrice où l'on demande aux participants.tes de la recherche de s'imaginer faire un mouvement ou une action font partie des paradigmes les plus féconds. Impliquant neurones miroir et couplage perception-action, ce type de tâche gagnerait à être plus utilisé en psychomotricité. Par exemple en développant de nouveaux outils d'évaluation.

Les ressentis de déformation (d'allongement) de l'avant-bras dans les tâches d'atteinte et saisie d'un objet avec outil sont de très intéressantes manifestations de vécus corporels « inhabituels. » Ces ressentis sont peut-être un pont entre certains thèmes de recherche en neurosciences et certains aspects de l'image du corps telle qu'elle est comprise en psychomotricité. D'ailleurs, et ce n'était pas le sujet de cet article, l'image du corps est prise en compte dans nombre de références bibliographiques citées ici. Il s'agit là d'une conception différente de l'image du corps envisagée en psychomotricité (Pireyre [42]). Mais les caractéristiques neuroscientifiques de l'image du corps incluent la perception du corps (« body awareness » et « body perception ») de l'individu singulier et subjectif, voire son aspect émotionnel. La perception étant la sensation envisagée par le psychisme, et l'IC étant subjective et singulière, nous ne sommes pas très loin d'un recouvrement des deux champs conceptuels (neurosciences et psychomotricité).

De plus, les troubles de l'image du corps sont également concernés par la conception neuroscientifique du SC dans la mesure où des seuils sensoriels trop élevés ou trop bas, des troubles de « l'auto-attribution¹² » et de la subjectivité trouvent leur origine dans le fonctionnement sensoriel et ses

11 Elles utilisent toujours cette terminologie de SC, probablement pour rester dans la continuité des travaux de Head et Holmes (1911) dont elles reconnaissent l'importance plus de 110 après.

12 Ce terme est employé par les neurosciences pour qualifier le déficit d'appartenance du corps à son « propriétaire ». « Comment elle a fait la balle pour aller là-bas ? » dit cet enfant avec TSA montrant ainsi que son bras ne lui appartient pas.

coordinations. Comprenons : SC. Les vécus de morcèlement et d'effondrement lui seraient eux aussi indirectement reliés en raison de leurs origines neurologiques : cortex pariétal pour le premier, système vestibulaire et noyaux gris centraux, dont noyau sous-thalamique, pour le second.

A la lecture des références bibliographiques, on constate combien solide est l'apport des neurosciences aux fondements théoriques de la psychomotricité.

Bibliographie

- [1] Dolto, F. (1984). L'image inconsciente du corps. Paris : Seuil.
- [2] Gallagher S., Cole J. Body schema and body image in a deafferented subject. Journal of mind and behavior 1995 ; 16:369-90.
- [3] Fontan A. La construction du schéma corporel dans un cerveau en développement. Thèse de doctorat en neurosciences sous la direction de Christine Assaiante. Aix-en-Provence ; 2017.
- [4] Head H., Holmes G. Sensory disturbances from cerebral lesions. Brain, 1911 ; 34(2-3):102-254.
- [5] Naito E., Morita T., Ameniva K. Body representations in the human brain revealed by kinesthetic illusions and their essential contributions to motor control and corporal awareness. Neuroscience Research 2016 ;14:16-30.
- [6] Damasio A. L'étrange ordre des choses. Paris : Odile Jacob ; 2017.
- [7] Breedlove S.M., Rosensweig M.R., Watson N. V. Psychobiologie. Paris : de Boeck ; 2012.
- [8] Richard D., Orsal D. Neurophysiologie. Paris : Dunod ; 2007.
- [9] De Preester H. Body image and visceral dimension. Theoria et Historia Scientiarum 2008 ; 8(2).
- [10] Parson L.M. Body image. In M.W. Eysenck (Ed.). The Blackwell Dictionnary of cognitive psychology. Oxford : Blackwell Reference ; 1990.
- [11] Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Boston : Houghton-Mifflin ; 1979.
- [12] Jouen F. Visual-proprioceptive control of posture in newborn infants. In Amblard G., Berthoz A., Clarac F. (Eds). Posture and gait : development, adaptation and modulation Amsterdam : Excerpta Medica ; 1988.
- [13] Bullinger, A. Le développement sensori-moteur et ses avatars. Paris : Erès.
- [14] Bonnier, P. L'aschématie. Revue de neurologie 1902 ; 12 :605-609.
- [15] Schilder, P. L'image du corps. 1980 Paris : Galimard.
- [16] Sang F., Jauregui-Renaud K., Green D.A., Bronstein A.M., Gresty M.A. Depersonnalisation/derealisation symptoms in vestibular disease. Journal of Neurosurgery and Psychiatry 2006 ; 77(3):760-66.
- [17] Lopez C., Halje P., Blanke O. Body ownership and embodiment : Vestibular and multisensory mechanisms. Clinical Neurophysiology 2008 ; 38(3):149-61.

- [18] Borel L., Harlay F., Lopez C., Magnan I., Chays A., Lacour M. Walking performance of vestibular-defective patients before and after unilateral vestibular neurectomy. *Behavioural Brain Research* 2004 ;150:191-200.
- [19] Schmidt L., Utz K.S., Depper L., Adams M., Schaadt A.K., Reinhart S., Kerkhoff G. Now you feel both : galvanic vestibular stimulation induces lasting improvements in the rehabilitation of chronic tactile extinction. *Frontiers Human Neuroscience* 2013 ;7.
- [20] Leggenhager B., Lopez C. Vestibular contributions to the sense of body, self and others. In Metzinger, T., Windt, J. *Open MIND*. Frankfurt am Main : MIND Group ; 2015.
- [21] Bresciani J.P., Blouin J., Popov K., Bourdin C., Sarlegna F., Vercher J.L. et al. Galvanic vestibular stimulation in human produces online arm movement deviations when reaching towards memorized visual targets. *Neuroscientific Letters* 2002 ; 318:34-8.
- [22] Lopez C. A neuroscientific account of how vestibular disorders impair bodily self-consciousness. *Frontiers in integrative neuroscience* 2013 ;7(91).
- [23] Hashimoto T., Iriki A. Dissociations between the horizontal and dorso-ventral axes in body-size perception. *European Journal of Neuroscience* 2013 ;37:1747-53.
- [24] Roy, J.E., Cullen, K.E. Dissociated self-generated from passively applied head motion : Neural mechanisms in the vestibular nuclei. *Journal of Neuroscience* 2004 ;24(9):2102-111.
- [25] Paillard J. Knowing where and knowing how to get there. In Paillard, J. (Ed.). *Brain and Space*, 461-81. New-York : Oxford University Press ; 1991.
- [26] Guillaud E., Simoneau M., Blouin J. Prediction of the body rotation-induced torques on the arm during reaching movements : Evidence from a proprioceptive deafferented subject. *Neuropsychologia* 2011 ;49(7):2055-59.
- [27] Berthoz A. How does the cerebral cortex process and utilize vestibular signals ? In Baloh, R. W. et Halmagyi (Eds.). *Disorders of the vestibular system* 1996 ; 113-25. New York : Oxford University Press.
- [28] Brain, W.R. Visual dissociation with special reference to lesions of the right cerebral hemisphere. *Brain* 1941 ; 64:244-72.
- [29] Rizzolatti G., Scandolara C., Matelli M., Gentilucci M. Afferent properties of periarculate neurons in macaque monkeys : I. Somatosensory responses. *Behavioral Brain Research* 1981 ;2:125-46.
- [30] D'Angelo M., di Pellegrino G., Seriani S., Gallina P., Frassinetti F. The sense of agency shapes body schema and peripersonal space. *Scientific Reports* 2018 ; 8:13847.
- [31] Canzoneri E., Ubaldi S., Rastelli V., Finisguerra A., Bassolino M., Serino A. Tool-use reshapes the boundaries of body and peripersonal space representations. *Experimental Brain Research* 2013 ; 228-25:25-42.
- [32] Noël J.P., Grivas P., Marmaroli P., Lissek H., Blanke O., Serino A. Full body action remapping peripersonal space : the case of walking. *Neuropsychologia* 2014. Available from URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.030>.
- [33] De Vignemont F., Ianetti G.D. How many peripersonal spaces ? *Neuropsychologia* 2014.

Available from : URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.018>.

[34] Di Pellegrino G., Ladavas E. Peripersonnal space in the brain. *Neuropsychologia* 2015 ; 66:126-33.

[35] Linkenauger , S.A., Witt, J., Proffitt, D.R. Taking a hands-on approach : apparent grasping ability scales the perception of object size. *Journal of experimental psychology and human perceptual performance* 37(5):1432-1441.

[36] Meltzoff A.N., Moore M.K. Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science* 1977 ;198 :75-8.

[37] Assaiante C. Expertise collective : dyspraxia : Synthèse et recommandations. Institut thématique INSERM. Ecriture du chapitre : Développement sensori-moteur chez l'enfant TDC. Décembre 2019.

[38] Van Helk M., van Schie H.T., Hunnius S., Vesper C., Bekkering H. You'll never crawl alone : neurophysiological evidence for experience-dependant motor resonance in infancy. *Neuroimage* 2008 ;43(4):808-14.

[39] Assaiante C., Barlaam F., Cignetti F., Vaugoyau M. Body schema building during childhood and adolescence : a sensory approach. *Clinical Neurophysiology* 2014 ; 1:3-12.

[40] Caçola P., Gabbard C. Modulating peripersonnal space and extrapersonnal reach space via tool use : a comparison between 6- to 12- years-olds and young adults. *Experimental Brain Research* 2012 ; 218:321-30.

[41] Gabbard, C., Corova, A., Ammar, D. Estimation of reach in peripersonnal and extrapersonnal space : A developmental view. *Developmental psychology* 2007 ; 32(3):749-756

[42] Pireyre E. Clinique de l'image du corps. Paris : Dunod ; 2021.

Remerciements chaleureux à Christine Assaiante, Bernard Meurin et Florent Vincent.

Conflit d'intérêt : aucun.

Financement : aucun.