

L'engagement corporel moteur en conception architecturale instrumentée. Logique homonculaire et cadre d'analyse

Sheldon CLEVEN, tsa-lab, LAB, UCLouvain, sheldon.cleven@uclouvain.be

Damien CLAEYS, tsa-lab, LAB, UCLouvain, damien.claeys@uclouvain.be

Résumé

Dans le domaine d'activités expressives pratiquées en conception architecturale, un cadre conceptuel et méthodologique est proposé pour figurer et comparer l'engagement corporel moteur dans des situations instrumentées. Inspirée du processus de construction de l'homoncule de Penfield-Cantlie, une logique homonculaire est dégagée et complétée, avant d'être transposée pour établir un protocole de construction de profils d'engagement corporel moteur, sous la forme de figures anthropomorphes comparables. Différentes étapes du protocole sont explicitées : situation observée, segmentation du corps, valeur d'engagement, normalisation et distribution relative, amplification visuelle et magnification relative, profil anthropomorphe et annotations associées. Le protocole prépare la mise en place future d'expérimentations concrètes pour comparer des situations instrumentées différemment (médiations analogiques, numériques 2D et XR).

Mots clés

Conception architecturale, homoncule, engagement corporel, sensorimotricité, modélisation de l'activité, dispositifs technologiques

1. Introduction

Traditionnellement, la conception architecturale est décrite à partir de deux pôles théoriques contrastés. D'un côté, les modèles *internalistes*, conceptuels, non situés et désincarnés, issus de la cybernétique, de l'informatique et des sciences cognitives, décrivent la conception de manière computationnelle comme une suite d'opérations mentales, opérant sur des représentations internes, en cantonnant le corps à un rôle exécutif secondaire (Alexander, 1964; Simon, 1969; Visser, 2006). De l'autre, des approches *externalistes*, praxéologiques, situées sans être incarnées, déplacent l'attention vers les outils, les situations et les collectifs, en questionnant notamment la construction des connaissances (Piaget, 1937), la réflexion dans l'action (Schön, 1983), les activités instrumentées (Rabardel, 1995 ; Béguin & Rabardel, 2000) et collaboratives (Ben Rajeb, 2012). Pour dépasser cette dichotomie arbitraire, des « *enactive metaphors* » (Gallagher & Lindgren, 2015) promeuvent une approche de la cognition, à la fois *incarnée et située*, dans laquelle les connaissances émergent des couplages dynamiques entre corps et environnement, entre perception, intégration et action (Varela et al., 1991; Versace et al., 2018). Dans cette perspective, la conception architecturale est envisagée comme une activité, dans laquelle le corps n'est pas uniquement un récepteur sensoriel ou un support d'exécution, mais un processus *sensorimoteur* engagé dans des boucles de perception-intégration-action en interaction avec le milieu, notamment par la médiation d'un instrument ou lorsque la tâche est collaborative (Claeys et al., 2025). Dans le présent article, le propos se concentre uniquement sur l'engagement corporel moteur d'un concepteur travaillant seul, mais confronté à différentes formes d'instrumentation du corps. D'autres recherches futures intégreront nécessairement la dimension sensorielle et la conception collaborative.

Lors d'une activité de conception, l'action du concepteur est parfois *directe*, lorsque « le corps exerce une force physique ou une influence chimique sur une partie de l'environnement », mais elle est souvent *indirecte*, lorsqu'il « agit sur l'objet par l'intermédiaire d'un autre objet », c'est-à-dire lorsqu'une médiation est opérée par un instrument, lorsque le corps actionne un artefact pour produire, sur un

support matériel, une représentation externe du projet en cours (Claeys et al., 2025). Dans toutes les formes d'expression graphique, la médiation est biaisée et orientée, physiologiquement et cognitivement (Claeys, 2023). En effet, tout en proposant des rapports différents aux supports, les instruments utilisés redistribuent également les gestes, les postures, les coordinations et les possibilités d'exploration (Cleven et al., 2025).

Dans ce cadre, la question centrale discutée ici est la suivante : comment figurer et comparer la valeur de l'engagement corporel moteur d'un concepteur, alors qu'il utilise différents instruments lors d'une activité expressive ?

Plusieurs outils tels que l'Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) (Karhu et al., 1977), le Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (McAtamney & Nigel Corlett, 1993), le Rapid Entire Body Assessment (REBA) (Hignett & McAtamney, 2000), ou encore, le Digital Human Modeling (DHM) (Duffy, 2009) objectivent l'engagement corporel (postures, durées, amplitudes, déplacements...). Mais ces outils ne produisent pas une figure synthétique du corps humain instrumenté, physiquement engagé dans une activité expressive.

La réinterprétation du concept d'*homonculus*, inspiré des recherches neuroanatomiques de Wilder Penfield et de ses collègues répondrait partiellement à ce manque. En effet, la logique homonculaire fournit un point de départ prometteur pour figurer et comparer différents types d'engagement corporel moteur. Elle est transposable heuristiquement à la construction d'une méthode générale de modélisation anthropomorphe de profils corporellement engagés, associés à l'usage de différents instruments de dessin en conception architecturale, tout en les rendant comparables.

2. L'engagement corporel moteur en conception instrumentée

En théorie de l'activité, le modèle SACI des « situations d'activités collectives instrumentées » (Rabardel, 1995) met en relation quatre polarités sujet–instrument–objet–autres sujets. L'*instrument* est défini comme une entité fonctionnelle articulant un *artefact* (matériel ou symbolique) et des *schèmes d'utilisation* construits dans l'activité. Un *artefact* est donc la composante matérielle ou symbolique mobilisable dans l'action, tandis que l'*instrument* désigne cet artefact tel qu'il est effectivement approprié et rendu opératoire par des schèmes d'utilisation (Rabardel, 1995).

Dans ce cadre, la pratique de la projection architecturale est considérée comme une activité physique du corps, agissant à l'aide d'un artefact (crayon, souris, cutter, contrôleur XR, interface logicielle...) pour modifier un support de représentation (papier, calque, écran, carton, impression 3D...). Animé par des boucles de perception–intégration–action (Claeys et al., 2025) contribuant à appréhender, à comprendre et à transformer une situation (par exemple, regarder un tracé > évaluer > ajuster la main > regarder à nouveau > réévaluer > réajuster...), le corps est le siège de *coordinations sensorimotrices* (par exemple, coordination main–œil, stabilisation posturale, orientation de la tête...) et d'une *fonction instrumentale* (par exemple, contrôle fin du tracé, pointage/sélection, manipulation, stabilisation, coordination globale...). Cette dynamique de *médiation* est compatible avec une approche énaïve, selon laquelle la cognition n'est pas la représentation interne d'un monde donné, mais « *the enactment of a world and a mind on the basis of a history of the variety of actions that a being in the world performs* » (Varela et al., 1991). Le concepteur comprend alors une relation spatiale, non seulement en la représentant, mais en l'éprouvant et en l'actualisant par son engagement moteur. Autrement dit, le corps *compte* dans la cognition, parce qu'il remplit des fonctions dans l'activité (orienter, stabiliser, contrôler finement, coordonner, explorer...). De plus, l'idée que les supports de l'expression ne sont pas neutres et participent à la pensée en retour s'aligne avec la « conversation réflexive » avec la « situation » (Schön, 1983b), la « *material engagement theory* », allant jusqu'à affirmer la possibilité de « *think through things, in action, without the need of mental representation* » (Malafouris, 2004), ou encore, la « pensée incarnée » où la main outillée, durant l'exécution d'une idée, contribue à la faire émerger le dessin au fil des ajustements œil–main–support (Pallasmaa 2009).

Puisque le propos se concentre uniquement sur le cas spécifique de situations instrumentées et non collaboratives en conception architecturale, le modèle sujet–instrument–objet–autres sujets de la théorie de l'activité est ici volontairement limité à une triade corps–instrument–support.

Du point de vue de la motricité, le *corps instrumenté* est régulièrement étudié à partir d'une *segmentation* opératoire. Elle favorise la compréhension de la mobilité des différentes parties du corps dans une activité donnée et elle permet d'évaluer le confort et les risques auxquels est soumis le corps en action.

Un *segment corporel* désigne l'une des parties distinctes et rigides qui composent le corps humain, généralement délimitée par deux articulations consécutives. Ces segments constituent la structure de base pour analyser les contraintes physiques, les postures et les mouvements apparaissant pendant une activité. Le corps est donc découpé virtuellement en segments rigides (correspondant aux principaux os du squelette), reliés par des articulations mobiles (par exemple : main, avant-bras, bras, cuisse, jambe...). La modélisation d'un corps par segmentation nécessite habituellement l'acquisition de données anthropométriques (longueur, poids, centre de gravité de chaque segment corporel).

La valeur de l'*engagement corporel moteur* (ECM), la mobilisation physique et située du corps au service de l'activité, ou encore, la mobilisation combinée des segments corporels qui le constituent, correspond à une forme de prise de position active, sous-tendue par un investissement personnel, au service d'une finalité (par exemple, créer un dessin, concevoir un projet). L'observation de l'ECM est possible par l'identification et l'observation de segments corporels. L'ECM contribue à comprendre, orienter et transformer une situation de conception. Autrement dit, les segments du corps sont analysés pour comprendre comment ils sont *engagés* différemment dans la chaîne corps–instrument–support. Dans ce cadre, l'engagement moteur du corps est une première valeur dynamique à définir, correspondant à la mise en mouvement *volontaire* de segments du corps, contribuant fonctionnellement à une exécution motrice consciente, pour faire avancer l'activité en cours. Dans ce cas, l'engagement n'est pas réduit à une dépense physique brute illustrant un changement d'intensité ou un effort physique, il inclut des fonctions corporelles – plus discrètes, mais décisives –, comme orienter le regard, stabiliser le tronc, coordonner plusieurs segments, explorer un volume ou contrôler finement un geste.

En mettant de côté les situations collaboratives, lorsque le corps est instrumenté, il interagit avec, d'un côté, l'artefact pour altérer le support (manipuler, pointer, déclencher, régler...) et, de l'autre, l'espace directement nécessaire pour l'activité (se pencher, se déplacer, ajuster la posture pour percevoir/évaluer un tracé, un volume, une profondeur...). Ainsi, certaines parties du corps, comme la main dominante, peuvent être fortement mobilisées pour contrôler un artefact, tandis que d'autres, comme les membres inférieurs, peuvent l'être pour fournir un support postural.

Au cours de la réalisation d'une tâche de conception, l'action des différents segments du corps est *fonctionnellement distribuée* entre les différents segments mobilisés pour les différentes sous-tâches intégrées à l'activité. Ainsi, dans une esquisse papier, la main dominante peut assurer le contrôle fin, la main non dominante la stabilisation du support, la tête l'orientation visuelle, le tronc l'ajustement postural. De même, en dessin XR, cette répartition peut inclure plus fortement les membres inférieurs, la rotation du buste et les déplacements dans l'espace.

3. Identification d'une logique homonculaire

Au cours de leurs recherches neuroanatomiques visant à identifier les zones neurologiques impliquées dans l'apparition des crises d'épilepsie, Wilder Penfield et ses collègues ont proposé le concept de *somatotopie* – une correspondance relative entre chaque zone du corps (*soma*) et un emplacement spécifique (*topos*) dans le système nerveux (Penfield & Boldrey, 1937; Penfield & Jasper, 1954; Penfield & Rasmussen, 1950). Ils construisent des tableaux en listant systématiquement les réponses motrices et sensibles suscitées par la stimulation des régions *précentrales* (motricité) et *postcentrales* (somatosensoriel), avant d'établir une représentation somatotopique, une carte spatialisée des relations entre des zones nerveuses précises à la surface du cortex et des parties corporelles spécifiques.

Parallèlement, ils confient à Hortense P. Cantlie le soin de créer différentes illustrations pour visualiser ces données sur une figure anthropomorphe : un « homoncule ». Décliné en deux versions, moteur et somatosensoriel, l'homoncule qu'elle dessine est un petit corps dont les proportions reflètent l'étendue relative de cortex consacrée à chaque segment corporel : mains et lèvres hypertrophiées, tronc réduit,

langue avancée, le tout projeté le long du gyrus central, le relief cortical qui borde le sillon central (Pogliano, 2012). Cantlie utilise une technique d'amplification visuelle, une logique de *mise à l'échelle différentielle* des parties du corps pour rendre les distinctions plus visibles par l'observateur. En jouant « *in and out of realism* » (Gandhoke et al., 2019), cette distorsion graphique n'est pas anecdotique : elle montre que l'homoncule est d'emblée une *construction visuelle* destinée à condenser la complexité d'une distribution fonctionnelle dans une image synthétique (Gandhoke et al., 2019; Pogliano, 2012). Insistant eux-mêmes sur le caractère schématique de cette « *grotesque creature* » à visée didactique, Penfield & Rasmussen (1950) rappellent que : « Les dessins de l'*homoncule sensoriel et moteur* peuvent prêter à confusion si trop d'importance est accordée à leur forme et à leur taille relative. Seule compte l'indication de l'étendue de la représentation. » (Penfield & Rasmussen, 1950) De son côté, Schott (1993) souligne que l'homoncule de Penfield-Cantlie est « *a deceptively simple and yet naive concept* » et qu'il n'a qu'« *a limited and even doubtful scientific value, since fact and fancy have been confused* ». L'homoncule est bien entendu critiquable puisque son apparence est le résultat d'une amplification graphique partiellement indépendante des rapports initiaux entre les données. Par la suite, Catani (2017) réanalyse les tableaux de 1937 et il reconstruit plusieurs homoncules en changeant de métrique : par *surface* corticale, par *longueur* verticale de la bande, ou par *nombre* de sites de stimulation. Il en conclut que la construction de chaque « *little man* » est, en réalité, *relatif* à la mesure corticale choisie.

En outre, les travaux plus récents montrent que l'homoncule n'est pas une carte stable, continue et strictement segmentaire, mais qu'il constitue une synthèse graphique robuste à grande échelle et hétérogène à petite échelle. Sur le plan clinique, Branco et al. (2003) et Roux et al. (2018) mettent en évidence une organisation globale relativement stable, mais localement faite de chevauchements, de micro-fractures et de variabilité interindividuelle. L'imagerie haute résolution renforce cette idée en montrant qu'un même segment peut être distribué dans plusieurs champs, selon des logiques fonctionnelles différentes (Kuehn et al., 2017; Huber et al., 2020; Muret et al., 2022). Enfin, l'organisation corporelle ne concerne pas seulement les effecteurs visibles de l'action, mais aussi des zones d'intégration qui coordonnent posture, effort, orientation et planification globale de l'action (Graziano, 2016; Gordon et al., 2023). Autrement dit, l'homoncule classique met surtout en avant ce qui exécute, alors que les modèles contemporains rappellent l'importance de ce qui *tient l'action ensemble* à l'échelle du corps entier.

La principale remise en cause du modèle concerne la *magnification*. Alors que Penfield parle plutôt d'*ordre* et de *taille comparative* des parties du corps pour construire l'homoncule, les expressions « *cortical magnification* » (Virsu et al., 1987) et « *cortical magnification factor* » (Harvey & Dumoulin, 2011) désignent en neurosciences une surreprésentation différentielle au sein du cortex. Tandis qu'une magnification graphique est introduite en ergonomie pour traduire visuellement le niveau d'engagement musculaire. La magnification est alors visible sur les figures par l'agrandissement de certaines zones du corps, l'épaississement de segments ou l'intensification des couleurs. Ainsi, un segment corporel apparaît agrandi, non parce que plus grand anatomiquement, mais parce que correspondant à une représentation corticale plus étendue, ou, plus généralement, à une part relative plus importante dans une métrique donnée.

La traduction graphique opérée par Cantlie ne présente donc pas une morphologie établie directement à l'aide d'une distribution relative. Elle est opérée à l'aide d'une *magnification relative* ayant une double fonction : d'une part, elle permet de surreprésenter certaines zones afin de les rendre visible ; d'autre part, elle rend possible deux types de comparaisons : (1) entre le corps observé et un corps de référence ; (2) entre le corps observé et d'autres corps, à condition qu'ils partagent une segmentation et une règle de sur-représentation.

Dès lors, la correspondance graphique biaisée de l'homoncule de Penfield-Cantlie n'est pas retenue pour figurer et comparer différents types d'engagement corporel moteur en conception architecturale instrumentée. Cependant, une logique homonculaire est dégagée et elle comprend, au minimum, quatre opérations : (1) *segmenter* un ensemble en unités comparables ; (2) *associer* une mesure explicite à chaque unité ; (3) *exprimer* ces mesures sous la forme d'une distribution relative ; (4) *traduire* cette distribution par une règle de déformation graphique.

Mais comment s'inspirer de cette logique homonculaire pour produire une figure comparative qui rende visibles des distributions d'engagement corporel propres à différentes configurations instrumentales ?

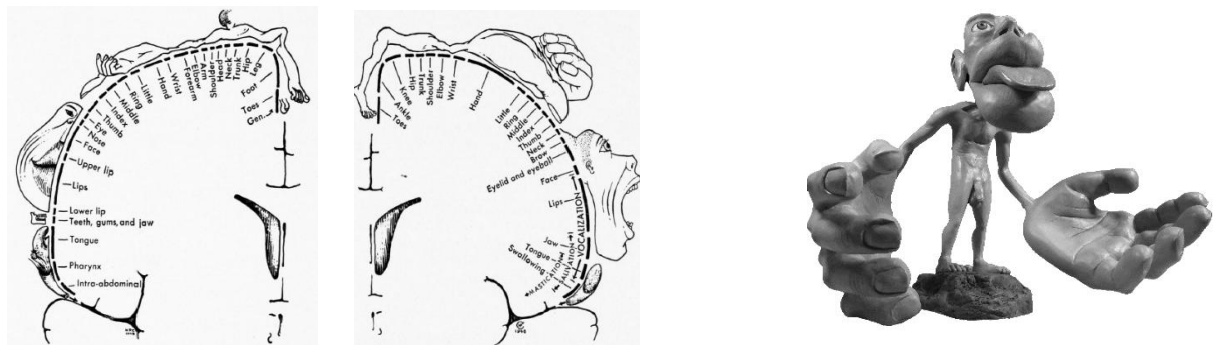


Fig. 1 – L’homoncule rapporté aux zones correspondantes du cortex cérébral (sensoriel à gauche et moteur à droite) d’après une des illustrations de Hortense P. Cantlie (Penfield & Rasmussen, 1950). Photo de la restitution de l’homoncule somatosensoriel par l’artiste Sharon Princes-James, 2012.

4. Transposition de la logique homonculaire

En substituant une métrique corticale en neuroanatomie par une métrique d’activité en conception architecturale, les quatre étapes de la logique homonculaire précédemment dégagées sont intégrées dans une méthode de comparaison de la valeur d’engagement corporel moteur en situation instrumentée de production expressive. La transposition de la logique homonculaire retient donc de l’homoncule de Penfield–Cantlie un noyau opératoire, formé de quatre opérations (segmenter, mesurer, exprimer, traduire), contextualisées par les relectures contemporaines qui précisent comment ce noyau doit être compris : comme une construction dépendante d’une métrique, susceptible de mener à plusieurs profils et simplifiant prudemment une organisation plus distribuée que la figure elle-même. A ce noyau, des opérations méthodologiques propres à l’analyse de l’activité sont ajoutées : définir le phénomène observé et délimiter une situation. L’ensemble fournit un protocole, comprenant sept étapes à suivre par le modélisateur : (1) la définition préalable du type de *situation observée*, de l’activité analysée et du périmètre de l’analyse ; (2) la définition d’unités comparables par la *segmentation* du corps ; (3) l’association de chaque segment à une *mesure* décrivant l’importance de son engagement corporel moteur dans l’activité étudiée ; (4) la normalisation de chaque valeur par la *distribution relative* des valeurs par rapport à l’ensemble du corps ; (5) l’amplification visuelle des segments par la *magnification relative* comme règle explicite de déformation graphique ; (6) la représentation anthropomorphe construite à partir des valeurs d’engagement moteur du corps, normalisées et magnifiées, fournissant un *profil d’engagement corporel*; (7) l’*annotation* des profils d’engagement figurés contenant la trace des opérations de normalisation et de magnification opérées.



Fig. 2 – Méthode en sept étapes de construction des profils d’engagement corporel moteur.

4.1. Situation observée

En général, l’étude est volontairement limitée ici à l’étude de la dimension motrice de la relation du corps à son milieu, sans prendre en compte la dimension sensorielle. En particulier, elle est limitée à une situation de conception architecturale, instrumentée et individuelle, sans prendre en charge la dimension collaborative. Du point de vue de la situation observée, deux registres d’interaction sont distingués : (1) l’interaction entre le corps et l’artefact ; (2) l’interaction du corps avec l’espace immédiatement nécessaire de l’activité expressive. Les paramètres proposés ci-dessous ont été pensés pour pouvoir s’appliquer à ces deux registres, tout en maintenant ouverte la possibilité d’établir, si nécessaire, deux profils distincts avant leur éventuelle mise en relation dans une synthèse commune.

Cette distinction permet d'éclairer plus finement la part du corps engagée dans l'action proprement dite et celle mobilisée dans son observation, son appréciation et son ajustement. Elle ouvre ainsi la voie à une figuration anthropomorphe capable de montrer si un outil sollicite davantage le corps dans l'acte de création ou dans le rapport perceptif à ce qui est produit par lui.

La captation des données peut être organisée selon un protocole à trois niveaux d'instrumentation, afin de ne pas faire dépendre l'analyse d'un seul dispositif : (1) l'observation vidéo avec grille de codage, permettant d'estimer les durées d'activation, les rôles instrumentaux et des scores posturaux issus de méthodes comme OWAS, REBA ou RULA (Hignett & McAtamney, 2000; Karhu et al., 1977) ; (2) une captation cinématique légère, par capteurs inertiels, à l'image des *tracking* natifs des dispositifs XR ; (3) le recours plus fortement instrumenté au Digital Human Modeling (modélisation numérique d'un corps dans un environnement simulé) pour comparer des données observées à des données simulées en termes de contraintes et de performance (Duffy, 2009). L'ensemble forme un protocole gradué, allant de l'observation codée à la simulation, permettant la comparaison de plusieurs modalités de conception sur base d'une base méthodologique commune.

4.2. Segmentation opérée

À partir de la représentation d'une silhouette de référence – dont l'origine est sujet à discussion –, le modélisateur opère une segmentation, une décomposition en segments corporels. L'échelle de la décomposition est choisie en fonction de l'activité observée. Un compromis est nécessaire entre la fidélité anatomique et la comparabilité lors d'usages de médiation différentes. Si la segmentation est trop fine, elle devient difficile à modéliser et à appréhender, mais si elle est trop grossière, elle ne rend pas compte des logiques motrices à analyser.

En ergonomie, certaines méthodes découpent le corps en segments isolés du reste du corps et codent des postures pour rendre des comparaisons opérationnelles. REBA vise explicitement à « *divide the body into segments to be coded individually* » (Hignett & McAtamney, 2000). De même, OWAS repose sur une technique observationnelle et une logique d'échantillonnage temporel permettant d'estimer la fréquence et le temps passé dans chaque posture (Karhu et al., 1977).

Dans la perspective de la conception instrumentée, la segmentation est structurée en deux niveaux, le premier est indispensable, tandis que le second est optionnel : (1) un *niveau A* (macro) montrant des segments de type homonculaire, relativement stables et comparables entre médias : tête/cou, tronc, bras droit/gauche, main droite/gauche, bassin, jambe droite/gauche, pieds (ou appuis) ; (2) un *niveau B* (micro) zoomant sur des segments pris en comptes uniquement par une captation fine : doigts, poignet, scapula/épaule...

La segmentation permet l'identification : (1) des *effecteurs* (segments qui produisent l'action) ; (2) des *stabilisateurs* (segments qui *tiennent* l'action : posture, appui, orientation) ; (3) des segments de *locomotion* (particulièrement saillants en XR). Cette tripartition fait écho, par analogie, aux relectures contemporaines du cortex moteur où des zones *inter-effecteurs* contribuent à coordonner l'action à l'échelle du corps entier (logique de réseau d'action et de contrôle global) (Gordon et al., 2023).

4.3. Définition de l'engagement corporel moteur

Pour caractériser l'*engagement corporel moteur*, l'analyse des mouvements corporels permet de retenir plusieurs paramètres liés à la motricité. Leur sélection repose sur leur capacité à décrire à la fois les interactions entre le corps et l'artefact de conception, et celles entre le corps et l'espace de travail. Ces paramètres présentent également l'intérêt d'être déjà mobilisés dans des domaines tels que l'ergonomie, l'analyse posturale ou l'étude cinématique, où ils donnent lieu à des modes de mesure et à des représentations visuelles segmentées du corps (Karhu et al., 1977; McAtamney & Nigel Corlett, 1993; Hignett & McAtamney, 2000).

Une *première définition opératoire* est proposée sous la forme d'une valeur de l'engagement corporel moteur pour pouvoir associer une mesure aux différents segments d'un corps. Dans le cadre d'une activité d'expression architecturale, il s'agit de définir la valeur de la variable $ECM_{s,i}$, correspondant à la valeur de l'*ECM*, du segment s , lorsqu'un instrument i est utilisé pour modifier un support, dans une situation donnée par une fonction mathématique $f(d,a,p,s,l)$. La fonction intègre actuellement cinq paramètres quantitatifs :

1. la *durée d'activation* (d) correspond au temps cumulé pendant lequel un segment corporel est mobilisé sur une période de temps, qu'il s'agisse d'un mouvement effectif ou d'un maintien postural contraint. En conception architecturale instrumentée, elle permet d'identifier quelles parties du corps sont sollicitées de manière continue et de décrire la répartition temporelle de l'engagement corporel dans l'activité. *OWAS* relie explicitement observation et « *time spent in each posture* » (Karhu et al., 1977) ;
2. l'*amplitude* (a), angulaire ou spatiale, renseigne sur l'étendue du mouvement. Elle est utile pour distinguer des *micro-ajustements* localisés de gestes plus amples, et pour comparer des modalités de conception qui engagent le corps dans un espace plus ou moins étendu (dessin sur un support 2D *versus* dessin spatialisé) ;
3. la *précision* (p) ou contrôle fin, renvoie au degré d'exactitude requis par l'action. Elle est particulièrement pertinente en conception, car certaines opérations brèves (sélectionner, viser, ajuster, accrocher) mobilisent un fort engagement moteur malgré une faible amplitude. La loi de Fitts (1954) formalise cette relation en montrant que le temps de mouvement augmente avec la difficulté liée à la distance et à la taille de la cible ;
4. la *posture* (s) rend compte de la manière dont le corps se maintient, se stabilise et soutient l'action. En conception instrumentée, elle permet d'observer comment le corps participe à l'orientation, à l'observation et au maintien de l'activité, au-delà du seul geste effecteur (*cf.* REBA, RULA) ;
5. la *locomotion* (l) décrit le déplacement du corps, de ses segments (ou de leurs déplacements cumulés) dans l'espace. Ce paramètre est pertinent pour comparer des situations où le corps reste localisé ou lorsqu'il devient un opérateur spatial de la conception, notamment pour changer de point de vue, contourner, cadrer ou ajuster l'échelle.

Ces paramètres ne constituent pas une liste définitive. Leur sélection peut évoluer selon les situations observées, les instruments mobilisés et les objectifs de l'analyse. La normalisation doit donc rester suffisamment souple pour intégrer d'éventuels ajouts, retraits ou réagencements sans perdre la comparabilité des profils d'engagement corporel moteur.

4.4. Définition de la distribution relative

Définir l'engagement comme une *distribution fonctionnelle* mène à la nécessité de définir une seconde valeur : le poids relatif associé à chaque segment par rapport à la valeur totale de l'ECM. Elle exprime une *distribution relative* correspondant aux mesures moyennes associées aux différentes parties du corps.

Une *deuxième définition opératoire* est proposée afin de produire une distribution comparable des différentes valeurs d'ECM à l'échelle de l'ensemble du corps. Une forme de normalisation est opérée par une pondération des valeurs d'ECM et une transformation de chaque mesure en un *poids* par la conversion de ces mesures en parts relatives à un tout. En effet, une fois ces valeurs définies, elles peuvent être *normalisées* en poids relatifs :

$$W_{s,i} = \frac{ECM_{s,i}}{\sum_{j=1}^n ECM_{j,i}}$$

Où $\forall j \in \{1, 2, 3, \dots, k, \dots, n\}$, un $W_{s,i}$ désigne la part relative du segment s , lorsqu'un instrument i est utilisé pour modifier un support. Cette seconde écriture prépare la traduction homonculaire proprement dite à l'aide d'une magnification.

4.5. Règles de magnification relative

La *magnification relative* désigne l'opération par laquelle les valeurs des poids relatifs attribués aux segments sont associés à des *amplifications visuelles* sélectives des segments représentés dans la figure anthropomorphe correspondant à la construction du profil ECM. Appliquée à la conception instrumentée, la magnification accentue graphiquement des parties du corps pour rendre perceptible la part relative à l'ECM portée par chaque segment. À l'instar de l'homoncule de Penfield-Cantlie, l'ordre des segments est conservé tout en admettant quelques « inexactitudes inévitables » dans la figure (Penfield & Jasper, 1954) permettant une meilleure lisibilité des rapports entre les segments.

Dans cette perspective, la *magnification relative* peut être définie comme une *règle explicite de déformation graphique* appliquée à une silhouette de référence. L'existence d'une règle ne suppose pas nécessairement l'application mécanique d'un coefficient géométrique unique à chaque segment. Plusieurs solutions sont possibles : l'application d'un facteur d'échelle continu, l'usage de classes d'intensité, ou encore le recours à une silhouette préalablement adaptée servant de base de déformation. Le choix retenu ici consiste à préserver une part de subjectivité graphique, à la manière de l'interprétation visuelle opérée par Cantlie, mais en l'encadrant par plusieurs contraintes minimales : (1) la correspondance entre poids et taille doit rester constante (si un segment est plus engagé qu'un autre, il doit apparaître plus amplifié) ; (2) l'ordre anatomique et la reconnaissance anthropomorphe de la figure doivent être conservés ; (3) la déformation doit porter prioritairement sur la *surface apparente* (épaisseur ou largeur des segments), plutôt que sur la silhouette entière ; (4) la règle choisie doit être explicitement préétablie et déclarée, afin de rendre les profils comparables dans différentes situations (par exemple, entre différents instruments ou tâches de conception).

4.6. Profil d'engagement corporel moteur instrumenté

Dans une situation donnée, la représentation anthropomorphe d'un profil d'engagement corporel moteur en conception instrumentée est complexe à réaliser en une fois. D'un point de vue méthodologique, une hypothèse serait de modéliser d'abord des *profils partiels*, en ne prenant en compte qu'un paramètre à la fois. Plusieurs profils partiels pourraient être déterminés en fonction de la *durée d'activation* (*d*), l'*amplitude* (*a*), la *précision* (*p*), la *posture* (*s*) ou la *locomotion* (*l*). Plutôt que de rechercher trop rapidement le résultat global et unique d'une valeur d'ECM menant à une figuration définitive, il serait préférable de comparer d'abord des figures distinctes, puis, seulement dans un second temps, de discuter la possibilité d'une synthèse globale.

4.7. Annotation des profils d'engagement figurés

À côté du *socle de magnification*, il convient de distinguer une couche *descriptive* qui n'a pas vocation à modifier la taille des segments, mais à qualifier leur rôle dans l'activité. Cette couche ne dérive pas directement de l'homoncule historique de Penfield-Cantlie. Elle constitue un ajout méthodologique propre à la présente transposition vers la conception instrumentée. Son rôle est de qualifier ce que la *magnification* seule ne peut pas dire (par exemple, le *rôle instrumental* du segment, le type d'interaction, la phase d'activité ou la fonction posturale). Cette couche permet de lire un même segment de plusieurs manières : une main peut apparaître fortement engagée parce qu'elle dessine, parce qu'elle navigue, ou parce qu'elle stabilise une autre action. Sans cette couche interprétative, la *magnification* risquerait de rester muette quant à la fonction de l'engagement observé.

5. Discussion et conclusion

Le parti pris est d'assumer l'absence d'existence réelle de toute figure homonculaire, tout en valorisant les effets heuristiques de la transposition d'une logique homonculaire. Ce point de départ implique des avantages et des limites à toute tentative d'appliquer cette *logique* à la modélisation théorique du corps en action, lors d'activités instrumentées et expressives menées en conception architecturale.

Plusieurs *apports* développés ici montrent des avantages à la transposition :

1. la logique homonculaire possède une portée didactique évidente, mais également une capacité à rendre perceptible, d'un seul regard, une hiérarchie relative entre segments du corps du point de vue de leur engagement corporel moteur, rendant ce type de représentation utilisable pour des chercheurs de domaines différents ;
2. la formulation de règles explicites préalables à leur construction rend les profils élaborés comparables, reproductibles et réfutables, ce qui est important puisque l'obtention d'une figure homonculaire est le résultat du choix raisonné d'une méthode de construction, de règles de déformations et de conventions graphiques ;

3. inspirée de la logique homonculaire et complétée par des recherches plus récentes, une méthode en sept étapes est proposée ici pour observer, modéliser et comparer l'engagement corporel moteur du concepteur instrumenté : (1) définition de la situation observée ; (2) définition de la segmentation ; (3) mesure de l'engagement corporel moteur de chaque segment ; (4) distribution relative ; (5) magnification relative ; (6) dessin du profil d'engagement corporel moteur ; (7) annotation des profils figurés.
4. la perspective proposée distingue plus clairement trois niveaux complémentaires d'analyse : (1) les mesures observées pour chaque type de segment corporel, autrement dit une forme d'engagement *localisé* du corps dans l'activité ; (2) la figure elle-même, où l'*homoncule instrumenté* traduisant visuellement la distribution relative de cet engagement entre les différents segments par une règle explicite de magnification ; (3) la possibilité de lectures plurielles, grâce à l'élaboration de profils partiels ou de visualisations distinctes selon la durée, la posture, la locomotion ou d'autres dimensions observées, avant toute tentative de synthèse.

Plusieurs *limites* doivent néanmoins être assumées lors de cette tentative de transposition :

1. la comparaison des processus de médiation dépend de la tâche observée (par exemple, un croquis libre analogique et une navigation outillée en XR ne sollicitent pas les mêmes régimes d'action), la transposition ne peut pas rester totalement abstraite et des expérimentations incluant les modalités de la conception seront nécessaires ;
2. le degré de précision de la segmentation est un compromis, entre les moyens d'observation et de captation des données disponibles et le niveau de détail nécessaire à la compréhension des mouvements du corps ;
3. la fonction définissant une valeur d'ECM dépend du nombre et de la nature des paramètres quantitatifs pris en compte, mais rien ne permet actuellement de hiérarchiser leur importance ;
4. le recours à une figure synthétique et anthropomorphe, où « *fact and fancy have been confused* » (Schott, 1993), peut devenir trompeur si elle est sur-interprétée ;
5. sachant que figure homonculaire ne représente pas à l'identique la morphologie d'un concepteur en particulier, la détermination d'une silhouette de référence, à partir de laquelle dessiner un profil par distribution et magnification relative, pose des questions éthiques dans le sens où l'objectif de la méthode de construction des profils présentée n'a pas pour objectif d'illustrer et de propager l'image trompeuse d'un canon de beauté, d'un système de proportion de la silhouette humaine ou d'une volonté de normalisation sociétale des corps humains.

Enfin, la méthode proposée ici fournit une base détaillée destinée à rendre possible la mise en œuvre d'expériences futures pour comparer des situations de conception, sans prétendre encore à une validation empirique. Son apport principal tient à la mise en place d'une succession d'étapes aboutissant à une forme de visualisation, capable de condenser une distribution corporelle complexe en une figure synthétique, tout en gardant explicites les règles qui en organisent la construction. La généralité de la méthode inspirée de la logique homonculaire et complétée par des recherches plus récentes en conception architecturale, en ergonomie et en biomécanique permet d'imaginer des protocoles expérimentaux de construction de profils comparables, en analysant des échantillons de concepteurs, mis en situation dans des activités et des instruments et des collaborations différentes.

L'attention est portée au corps instrumenté à partir de la dimension motrice, mais le cadre devra être élargi pour intégrer la dimension sensorielle et la conception collaborative. La poursuite logique du programme de recherche consistera à proposer une métrique sensorielle complémentaire, puis d'envisager d'autres expériences élargies, comprenant des situations de conception distribuées entre plusieurs acteurs, en observant comment les engagements corporels moteurs et sensoriels se coordonnent, se relaient ou se spécialisent au sein d'une même activité.

Références

- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.
- Beguin, P., & Rabardel, P. (2000). Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2), 35-54.
- Ben Rajeb, S. (2012). *Modélisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives en conception collaborative instrumentée*. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure d'Architecture Paris La Villette. <https://hal.science/tel-05041746>
- Branco, D. M., Coelho, T. M., Branco, B. M., Schmidt, L., Calcagnotto, M. E., Portuguez, M., Neto, E. P., Paglioli, E., Palmi, A., Lima, J. V., & Da Costa, J. C. (2003). Functional Variability of the Human Cortical Motor Map : Electrical Stimulation Findings in Perirolandic Epilepsy Surgery. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 20(1), 17.
- Catani, M. (2017). A little man of some importance. *Brain*, 140(11), 3055-3061. <https://doi.org/10.1093/brain/awx270>
- Claeys, D. (2023). Physiological and cognitive discontinuities. From mythical mediation to implicit discretization of architectural design tools. *Frontiers of Architectural Research*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.06.008>
- Claeys, D., Cleven, S., & Roobaert, L. (2025). Sensorimotoricity in tool-based architectural design. Reconnecting with corporality. *Le travail humain*, 88(4), 387-409. <https://doi.org/10.3917/th.884.0387>
- Cleven, S., Roobaert, L., & Claeys, D. (2025). Synesthésie en conception architecturale. Définir le concept de dessin corporel immersif. *lieuxdits*, (28), 22-29. <https://doi.org/10.14428/ld.vi28.90693>
- Duffy, V. G. (2009). *Handbook of Digital Human Modeling : Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*. CRC press.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381-391. <https://doi.org/10.1037/h0055392>
- Gallagher, S., & Lindgren, R. (2015). Enactive metaphors: Learning through full-body engagement. *Educational Psychology Review*, 27(3), 391-404. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9327-1>
- Gandhoke, G. S., Belykh, E., Zhao, X., Leblanc, R., & Preul, M. C. (2019). Edwin Boldrey and Wilder Penfield's homunculus: A life given by Mrs. Cantlie (in and out of realism). *World Neurosurgery*, 132, 377-388. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.08.116>
- Gordon, E. M., & al. (2023). A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex. *Nature*, 617(7960), 351-359. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05964-2>
- Graziano, M. S. A. (2016). Ethological action maps: A paradigm shift for the motor cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(2), 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.10.008>
- Harvey, B. M., & Dumoulin, S. O. (2011). The relationship between cortical magnification factor and population receptive field size in human visual cortex : Constancies in cortical architecture. *The Journal of Neuroscience*, 31(38), 13604-13612. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2572-11.2011>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Huber, L., & al. (2020). Sub-millimeter fMRI reveals multiple topographical digit representations that form action maps in human motor cortex. *NeuroImage*, 208, 116463. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116463>
- Karhu, O., Kansil, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry : A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- Kuehn, E., & al. (2017). Body topography parcellates human sensory and motor cortex. *Cerebral Cortex*, 27(7), 3790-3805. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx026>
- Malafouris, L. (2004). The cognitive basis of material engagement: Where brain, body and culture conflate. In L. Malafouris (Ed.), *Materiality : The Engagement of Mind with the Material* (McDonald Institute for Archaeological Research, p. 53-62).

- McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
- Muret, D., Root, V., Kieliba, P., Clode, D., & Makin, T. R. (2022). Beyond body maps : Information content of specific body parts is distributed across the somatosensory homunculus. *Cell Reports*, 38(11), 110523. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2022.110523>
- Pallasmaa, J. (2009). *The Thinking Hand : Existential and Embodied Wisdom in Architecture*. John Wiley & Sons.
- Penfield, W., & Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 60(4), 389-443. <https://doi.org/10.1093/brain/60.4.389>
- Penfield, W., & Jasper, H. (1954). *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*. Boston: Little Brown & Co.
- Penfield, W., & Rasmussen, T. (1950). *The Cerebral Cortex of Man. A Clinical Study of Localization of Function*. Macmillan & Co.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- Pogliano, C. (2012). Penfield's homunculus and other grotesque creatures from the Land of If. *Nuncius*, 27(1), 141-162. <https://doi.org/10.1163/182539112X637192>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Roux, F., Djidjeli, I., & Durand, J. (2018). Functional architecture of the somatosensory homunculus detected by electrostimulation. *The Journal of Physiology*, 596(5), 941-956. <https://doi.org/10.1113/JP275243>
- Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.
- Schott, G. D. (1993). Penfield's homunculus : A note on cerebral cartography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 56(4), 329-333. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.4.329>
- Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind : Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, ed.1993.
- Versace, R., Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée : Une cognition située et projetée*. Mardaga.
- Virsu, V., Näsänen, R., & Osmoviita, K. (1987). Cortical magnification and peripheral vision. *Journal of the Optical Society of America A*, 4(8), 1568. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.001568>
- Visser, W. (2006). *The Cognitive Artifacts of Designing*. Lawrence Erlbaum Associates.