



HAL
open science

Le dessin, trace géométrique du mouvement humain.

Agnès Roby-Brami

► **To cite this version:**

Agnès Roby-Brami. Le dessin, trace géométrique du mouvement humain.. Agnès Callu, Jacques André. Epistémologie du dessin. Concepts, lectures et interprétations (XIX-XXI Siècles), ATOMOS, p 230-243., 2021. hal-03167123

HAL Id: hal-03167123

<https://hal.science/hal-03167123>

Submitted on 11 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Par Agnès ROBY-BRAMI

LE DESSIN, TRACE GEOMETRIQUE DU MOUVEMENT HUMAIN.

"Si loin que vous alliez, si haut que vous montiez, il vous faut commencer par un simple pas. Aussi, l'Unique Trait de Pinceau embrasse-t-il tout, jusqu'au lointain le plus inaccessible et sur dix mille millions de coups de pinceau, il n'en est pas un dont le commencement et l'achèvement ne résident finalement dans cet Unique Trait de Pinceau dont le contrôle n'appartient qu'à l'homme". Shitao, traduction de Pierre Ryckmans/Simon Leys.

Le but de ce texte est de présenter quelques données issues de recherches multidisciplinaires sur le mouvement humain qui pourraient éclairer l'action de dessiner, considérée comme une activité motrice particulière. L'analyse quantifiée de l'activité motrice pendant l'écriture ou le dessin peut permettre de distinguer la dextérité, la maîtrise du geste qui contribuent à l'expertise du dessinateur par rapport à un novice. En revanche, ce type d'analyse rend difficilement compte de la virtuosité artistique et est impuissante lorsqu'il s'agit de juger de la valeur esthétique de la production.

L'action de dessiner sera envisagée sous trois angles complémentaires. Tout d'abord, on examinera les bases du contrôle du mouvement humain et les caractéristiques invariantes des trajectoires; puis l'importance de l'imagerie mentale, visuelle et motrice, et de ses bases cérébrales pour le dessin d'une forme; enfin, les conséquences neuropsychologiques de lésions cérébrales sur l'organisation du dessin.

Ces données fondamentales sur l'acte de dessiner pourront être utiles dans le cadre général de l'épistémologie du dessin, plus particulièrement en mettant l'accent sur l'importance de l'inscription corporelle dans le dessin. Je remercie Agnès Callu de m'avoir donné cette opportunité de réfléchir aux implications de mon activité de recherche sur la motricité humaine concernant le dessin.

Les invariants cinématiques du mouvement humain

Capture du mouvement

La motricité humaine ou animale dépend à la fois du fonctionnement du système nerveux central et des contraintes mécaniques du corps, son étude concerne donc plusieurs champs de recherche : neurosciences intégrées, biomécanique, sans oublier les modélisations mathématiques et robotiques qui ont beaucoup fait progresser les connaissances dans ces domaines. Les activités graphiques ont été largement étudiées par les méthodes expérimentales d'analyse quantitative de la motricité, en particulier l'écriture. Toutefois, il existe peu de données quantifiées sur le dessin artistique.

C'est à Etienne Jules Marey (1830-1904) que l'on doit les premières études sur la motricité humaine et animale. Il a inventé la méthode graphique qui permet d'enregistrer la trace des activités physiologiques du corps puis la chronophotographie. L'enregistrement de photographies à des intervalles de temps réguliers permet l'analyse précise des mouvements du corps et la reconstitution des trajectoires (Figure 1)¹.

Nikolaï A. Bernstein, un chercheur russe du début du XXème siècle, a ensuite approfondi ces méthodes par des analyses mathématiques et les a appliquées à de nombreuses activités humaines (travail, sport, performance musicale). Il s'est attaché à comprendre comment la motricité est contrôlée par le système nerveux central². Les contributions de ces deux pionniers font le lien entre les mouvements continus du corps dans l'espace et leur trace graphique. Leurs intentions étaient clairement scientifiques, mais ils n'ont pas négligé la dimension artistique, de plus la décomposition des mouvements qu'ils ont initiée a largement irrigué de nombreuses disciplines artistiques (la danse, le sport, en peinture avec le futurisme, le théâtre avec la biomécanique de Meyerhold etc.)³.

Les questions fondamentales posées par Bernstein sur les mécanismes du contrôle des mouvements humains restent encore d'actualité aujourd'hui. Le corps humain possédant un très grand nombre d'articulations, chaque tâche motrice peut être réalisée d'une infinité de manières. Bernstein a souligné le contraste entre la grande variabilité des mouvements des articulations et la régularité du déplacement du *point de travail*. Le *point de travail* est la partie du corps (ou liée au corps) la plus en rapport avec la tâche à effectuer et dont le déplacement doit donc être explicitement planifié, par exemple le bout du doigt pour pointer. Dans l'action de dessiner, c'est le *point de travail* qui va laisser la trace géométrique du dessin, par exemple l'extrémité du crayon, tenu dans la main. Malgré de nombreux travaux expérimentaux s'appuyant sur des modèles biomécaniques et robotiques, les mécanismes par lesquels le cerveau contrôle les plus simples des mouvements humains demeurent encore discutés.

Invariants cinématiques

La plus étudiée des tâches motrices consiste à déplacer le *point de travail* du corps d'une cible visuelle à l'autre. L'analyse cinématique du mouvement pendant cette tâche est illustrée figure 2 : le déplacement du *point de travail* est fluide avec une trajectoire rectiligne ou faiblement courbée et un profil de vitesse *en cloche*. Il s'agit d'un invariant cinématique qui démontre que le contrôle du mouvement anticipe les contraintes mécaniques liées à son exécution (interactions biomécaniques entre segments du corps, effet de la gravité etc..) pour aboutir à une optimisation du mouvement qui minimise les variations d'accélération, de force ou de dépense énergétique. La fluidité caractérisée par un profil de vitesse *en cloche* est très générale et spécifique des mouvements biologiques. La trajectoire du *point de travail* conserve ces caractéristiques fluides même lorsqu'il est déplacé à l'extrémité d'un outil, par exemple au bout d'une baguette. L'observation d'un profil de vitesse fluide indique que le mouvement de cette partie du corps (ou de l'outil) est planifié et contrôlé dans l'espace visuel. Lorsque la distance à parcourir augmente, l'amplitude du pic du profil de vitesse augmente proportionnellement à la distance. Lorsque le mouvement est plus complexe, par exemple pour décrire un trajet entre plusieurs cibles, il se décompose en plusieurs éléments de mouvement séquentiels (chacun caractérisé par un profil *en cloche*) qui se superposent en s'additionnant (Figure 3)⁴. Le contrôle du mouvement humain présente alors une tendance à égaliser les durées de chaque sous-élément que l'on appelle isochronie.

Une tâche complémentaire consiste à décrire des mouvements courbes, comme par exemple tracer des ellipses. Dans ce cas, il existe une relation invariante entre la géométrie de la trajectoire et la cinématique : le profil de vitesse varie en fonction du rayon de courbure (le mouvement est plus lent lorsque le rayon de courbure est plus petit)⁵. La relation mathématique entre la vitesse et le rayon de courbure est de type loi de puissance avec un exposant fixe de un tiers.

Les mouvements rythmiques obéissent à des régimes de contrôle différents de ceux des mouvements discrets. Ils apparaissent générés par des oscillateurs réguliers qui peuvent être couplés entre eux. Par exemple l'écriture manuscrite peut être modélisée par deux oscillations couplées, une verticale et une horizontale. Cette configuration limite relativement la mobilité à des figures préférentielles comme les lignes verticales, horizontales et les ellipses. La propriété rythmique du mouvement est au fondement de la régularité du dessin dans des techniques comme les hachures quand des traits de longueurs différentes sont exécutés pendant des durées égales⁶.

L'origine commune des invariants cinématiques est certainement liée aux contraintes biomécaniques du corps : l'inertie de chaque segment du corps et la raideur et viscosité des articulations ajustées par les muscles agonistes et antagonistes actifs pendant le mouvement qui filtrent les accélérations trop rapides⁷. Le mouvement dépend bien sûr des commandes venues du cerveau, mais aussi des informations reçues directement par la moelle épinière et des conditions mécaniques dans lesquelles se trouve le corps qui se comporte comme un ensemble de ressorts, avec ses propriétés

mécaniques propres à chaque individu, dont le système nerveux central peut changer la position d'équilibre.

Segments de mouvements droits ou courbes et mouvements rythmiques sont les composantes de base de la motricité. Ils se combinent de façon séquentielle et en se superposant dans toute activité motrice, en particulier concernant les activités graphiques, écriture et dessin.

Développement et apprentissage

Les invariants cinématiques sont acquis pendant le développement de l'enfant. La motricité s'affine progressivement grâce à la maturation cérébrale mais aussi par apprentissage. L'enfant produit des mouvements spontanés (le *babillage moteur*) qui deviennent de mieux en mieux coordonnés et adaptés à son propre corps. L'apprentissage sensorimoteur se poursuit toute la vie, sur des durées plus ou moins longues. Ainsi, malgré la tendance spontanée à segmenter les mouvements, on peut apprendre en quelques jours à planifier des mouvements courbes qui fusionnent plusieurs éléments de mouvement (Figure 3). Pour étudier l'apprentissage sensorimoteur, les chercheurs provoquent des perturbations de la relation entre la motricité et la vision. Chez des adultes, le contrôle moteur s'adapte rapidement à une perturbation de la relation action-perception qu'elle soit visuelle (écrire dans un miroir) ou motrice (exécuter le mouvement malgré un frein). Par exemple si on demande de dessiner une forme présentée dans un miroir, on observe une dégradation des trajectoires : pour éviter des erreurs massives, les participants effectuent des séries de segments de mouvements courts et lents au lieu de mouvements longs et régulés sur toute la distance du trait à copier. En effet, dans ce cas chaque petit sous-mouvement doit être contrôlé en permanence par la vision. La Figure 4, qui illustre cette tâche de dessin dans un miroir pendant le développement, montre bien que les enfants de 5-6 ans ne sont pas capables de produire des traits longs et que ceux de 7-8 qui produisent des traits plus longs sont aussi capables de s'améliorer⁸. Une fois acquises pendant le développement, les commandes motrices s'adaptent en permanence et à court terme aux propriétés changeantes de l'environnement.

Par contre, l'apprentissage de nouvelles habiletés motrices complexes, y compris l'utilisation d'outils, peut prendre plusieurs années avant d'acquérir un bon niveau d'expertise. L'apprentissage d'un outil, y compris les outils graphiques, nécessite une pratique prolongée pour l'intégrer dans le schéma corporel, maîtriser la dynamique nécessaire (appui, glissement..) et apprendre à coordonner les articulations du bras et de la main pour le diriger. Si bien que, finalement, les détails des postures et des mouvements du corps deviennent inconscients, le contrôle cognitif conscient s'adressant non plus à la main qui tient le crayon mais à l'extrémité du crayon sur le papier⁹.

Dans toutes les tâches complexes qui impliquent un outil on peut distinguer un expert d'un novice ou d'un apprenti grâce à la quantification de la fluidité et de l'harmonie des trajectoires. Il est toutefois beaucoup plus difficile de distinguer par ces méthodes un *tour de main* virtuose ou l'expressivité esthétique de la production¹⁰. En plus de la maîtrise de la technique et de l'efficacité de la gestuelle, il s'agit pour le virtuose de pouvoir s'adapter à des contextes et à des situations différentes et non pas seulement de pouvoir répéter un mouvement et/ou reproduire une forme donnée avec exactitude. Quant à la valeur esthétique de la production, on peut faire l'hypothèse qu'elle pourrait aussi impliquer des ruptures par rapport à la fluidité de la gestualité ordinaire.

Imagerie mentale et dessin d'une forme.

Equivalence motrice et technique graphique

Grâce à la redondance du corps, le mouvement du *point de travail* peut rester invariant quelque soient les articulations du corps impliquées dans la coordination. Ce phénomène, nommé équivalence motrice, est très général mais particulièrement illustratif dans le cas du dessin et des activités graphiques. L'écriture manuscrite est très personnelle et la forme du tracé préserve ses caractéristiques

géométriques si le mouvement est effectué avec d'autres parties du corps que la main dominante. C'est ce que montre Bernstein, qui a lui-même écrit le mot « coordination » en Russe, avec différentes parties du corps (crayon dans la main non dominante, attaché au coude, pieds, tenu entre les dents etc.. Figure 5). Dans les activités graphiques, le résultat dépend évidemment beaucoup de l'outil et du médium qui vont imposer des contraintes fonctionnelles différentes. Mais une fois que les techniques opérationnelles sont acquises, les experts peuvent l'exécuter avec d'autres effecteurs que la main, comme le montre l'étude d'un expert en calligraphie japonaise qui, ayant réappris à tenir son pinceau avec la bouche à la suite d'un accident, a atteint un très haut niveau de compétence esthétique¹¹. Cet exemple illustre le contraste entre la stabilité fonctionnelle de la tâche graphique et la grande variabilité motrice pour l'exécuter. Certains artistes ne privilégient pas la main comme partie du corps destinée à produire l'activité graphique. Le corps entier peut mouvoir le *point de travail* du dessin voire devenir l'outil lui-même comme le montrent les exemples de Fabienne Verdier ou Trisha Brown.

Morphocinèse : lien mouvement et forme.

L'interprétation par Nikolaï Bernstein de l'équivalence motrice illustrée figure 5 est que la forme du mot manuscrit (ou du tracé du dessin) ne dépend pas d'une formule basée sur des variables mécaniques (forces et déplacements) mais d'un *engramme mental*. La même idée est reprise par Jacques Paillard qui distingue deux types de motricité : la *morphocinèse* qui regroupe tous les gestes dont le but est de décrire une forme ou un enchaînement de formes, par opposition à la *topocinèse* qui désigne les gestes dirigés vers un but dans l'espace comme le pointage ou la préhension¹². Le mot *morphocinèse* s'applique également à des activités comme la danse mais il est particulièrement bien adapté à l'activité de dessin, en tant qu'action destinée à laisser une trace graphique.

Contrairement aux gestes dirigés vers un but, la *morphocinèse* est relativement indépendante du support sensoriel. En effet, on peut écrire ou dessiner des formes sans contrôle visuel, par exemple dans la technique de peinture à la lumière ou *light painting* où s'illustra Picasso (Figure 6). La proprioception, ou sens des mouvements du corps, n'est pas non plus indispensable. En effet, des personnes qui présentent un déficit total de la proprioception (qui ne ressentent plus ni la position ni les mouvements de leur corps) peuvent écrire ou dessiner sous contrôle visuel et sont paradoxalement moins perturbées par des situations de conflit visuo-proprioceptif comme dans le cas du dessin en miroir¹³.

Inversement, la cinématique du mouvement peut influencer la perception visuelle de la forme, comme l'ont montré des expériences qui utilisent l'affichage sur écran d'un point mobile décrivant une ellipse¹⁴. Lorsque le mouvement du point respecte la relation vitesse-courbure des mouvements humains naturels, la forme de l'ellipse est perçue avec exactitude, dans le cas contraire, l'ellipse va être perçue avec une forme plus ou moins aplatie que la forme effectivement parcourue. La robustesse de ce couplage se retrouve au niveau de l'activité des cellules cérébrales¹⁵. Ces expériences importantes montrent que les propriétés du système moteur influencent l'interprétation perceptive des stimuli visuels mobiles.

L'acte de dessiner, qu'il soit d'imagination ou d'après nature, fait intervenir des étapes cognitives complexes intégrant l'analyse de la scène visuelle, l'émotion, le jugement esthétique, la planification, la mémoire visuelle, l'exécution motrice etc.¹⁶. La plupart des adultes ne peuvent pas dessiner une scène visuelle de façon satisfaisante, ce qui a été attribué à des défauts d'analyse visuelle plus qu'à des défauts d'habileté motrice en général. Une étude plus récente propose que ce qui est crucial pour dessiner soit la « connexion intime entre l'œil et la main ». Le dessin implique une planification visuomotrice complexe, l'artiste doit sélectionner les aspects significatifs de l'objet à représenter ce qui implique des allers-retours du regard entre l'objet et le dessin avec des périodes pendant lesquelles l'artiste ne regarde pas son dessin¹⁷. Cela suggère qu'une compétence importante de l'artiste serait de décomposer la scène en éléments constitutifs répondant à des représentations la fois visuelles et motrices caractéristiques de *morphocinèses*.

Imagerie et simulation motrice

Les caractéristiques de la *morphocinèse* montrent qu'il existe un couplage étroit entre la forme de la trace et le mouvement nécessaire pour l'exécuter. Il est probable que ce couplage dépende de représentations mentales visuelles et sensorimotrices étroitement associées. Une façon d'étudier les représentations mentales est de les isoler de leur objet, c'est-à-dire d'en étudier l'imagerie. La notion d'imagerie (visuelle ou motrice) a donné lieu à de très nombreux travaux en psychologie expérimentale. Il s'agit de représentations cognitives sophistiquées qui conservent des propriétés analogues aux caractéristiques spatiotemporelles de l'objet représenté. La capacité d'imagerie est très variable d'une personne à l'autre. Par exemple, lorsqu'une personne explore mentalement une image visuelle, le temps d'exploration est proportionnel à ce qu'elle ferait devant l'objet représenté¹⁸. De même, l'imagerie motrice est la représentation mentale d'une action sans production concomitante de mouvement, toutefois l'action imaginée conserve les propriétés temporelles et contextuelles de l'action réelle, en particulier l'isochronie. Des études portant sur l'activité cérébrale montrent que l'imagerie motrice, ou simulation du mouvement, active les mêmes aires du cerveau que le mouvement lui-même¹⁹.

L'observation d'une action par autrui provoque une activation dans les aires motrices cérébrales, objectivable par des techniques électrophysiologiques très précises. Cet effet est attribué aux neurones miroirs qui ont été découverts chez le singe : ces neurones s'activent quand le singe fait une action ou qu'il observe l'expérimentateur faire la même action²⁰. Les neurones miroirs seraient à la base d'une *simulation incarnée* qui permettrait de réactiver par empathie nos propres représentations sensorimotrices. Les images statiques représentant une action humaine peuvent également provoquer cet effet. Quelques études se penchent sur l'observation d'œuvres d'art : Battaglia et collaborateurs montrent que la présentation d'Adam chassé du paradis par Michel-Ange provoque une activation de l'aire motrice cérébrale qui serait plus nette que la présentation d'œuvres représentant des actions plus calmes ou de photographies de modèles prenant la même pose²¹. De façon intéressante, l'aire motrice est également activée par des productions graphiques comme des lettres manuscrites ou une œuvre d'art abstrait caractérisée par de larges coups de pinceaux²². Cela suggère une simulation implicite qui permet de reconstituer le mouvement de l'artiste à partir de la production graphique. Selon Freedberg et Gallese, ce mécanisme de *simulation incarnée* contribue à l'expérience esthétique²³.

Neuropsychologie du dessin

Le dessin est très largement utilisé comme moyen d'expression en pratique clinique dans les domaines de la psychologie du développement, de la psychanalyse ou dans diverses autres situations²⁴. Cet aspect important et fructueux ne sera pas développé ici car il relève d'une approche psychologique très différente. En revanche, nous nous pencherons sur l'effet de lésions cérébrales sur l'organisation et l'exécution du dessin.

Une activité complexe comme le dessin fait intervenir l'ensemble des aires cérébrales. Les aires cérébrales sensorielles recueillent les informations visuelles (les positions respectives de la main et des objets dans l'espace), somatosensorielles et proprioceptives (relatives à la posture du corps). D'autres aires dites associatives dans le lobe pariétal les combinent en fonction du plan d'action généré dans les aires frontales et les transmettent aux aires motrices pour générer le déplacement de la main. D'autres structures interviennent en parallèle, pour réguler l'aspect séquentiel de l'action (noyaux gris centraux) et l'exécution de chaque élément de mouvement (cervelet). L'organisation des aires associatives est latéralisée : l'hémisphère dominant (le gauche) est spécialisé pour le langage et les praxies et l'hémisphère dominant pour le traitement des informations spatiales. Entre autres tests, le diagnostic et le bilan neurologique des atteintes cérébrales fait appel au dessin : copie de formes graphiques ou

dessin sur demande d'objets simples (maison, arbre). Ces épreuves sont très utiles pour révéler ou expliciter certaines anomalies neuropsychologiques en fonction de la zone cérébrale touchée.

Lorsque la lésion touche l'hémisphère cérébral non dominant (le droit en général) les patients présentent une atteinte qui prédomine sur la perception de l'espace et les relations géométriques. L'apraxie constructive se caractérise par une incapacité à imaginer et reproduire des relations géométriques²⁵ (Figure 7). La négligence se manifeste sur le plan comportemental, les patients négligent le côté gauche de leur espace péri personnel, ce qui se retrouve de façon évidente dans les activités graphiques sur commande ou sur copie²⁶. La négligence peut porter sur tout le côté gauche du dessin (négligence égocentrique) ou sur la partie gauche de chaque objet (négligence allocentrique) (Figure 8). Les lésions de l'hémisphère dominant se caractérisent par des troubles du langage (aphasie) et des actions complexes (apraxie). L'apraxie peut retentir sur le dessin car les outils graphiques sont mal intégrés dans le schéma corporel. Toutefois, dans le cas de l'aphasie, le dessin et la gestualité peuvent servir de moyens d'expression alternatifs au langage en rééducation comme dans la vie de tous les jours. Les atteintes plus générales des fonctions cérébrales ont d'autres caractéristiques graphiques comme les persévérations, les signes d'apraxie constructive ou la difficulté de s'écarter du modèle.

Plusieurs études montrent que des artistes qui ont continué leur production artistique après une lésion cérébrale ont pu modifier leur style pictural mais qu'ils gardent leur expressivité artistique malgré le retentissement de l'atteinte de leurs fonctions instrumentales (Figure 8)²⁷.

Conclusions

Toutes les études rapidement parcourues ci-dessus montrent bien la complexité de l'activité de dessin, même indépendamment de tout critère esthétique et artistique. Le dessin engage à la fois l'ensemble du fonctionnement cérébral et la matérialité biomécanique du corps. Le concept philosophique de cognition incarnée soutient cette complexité en proposant que les activités cognitives soient étroitement enracinées dans le corps²⁸. Le dessin présente une autre facette de l'incarnation corporelle dans la tradition phénoménologique car les caractéristiques intimes des traits qui le constituent résultent directement des caractéristiques individuelles du mouvement du corps.

Le champ émergent de la neuroesthétique propose d'intégrer l'analyse de l'art dans les sciences cognitives²⁹. Bien que cette proposition soit controversée, l'importance de l'enracinement corporel de l'activité de dessin incite à explorer de façon plus approfondie et multidisciplinaire les relations entre virtuosité graphique et qualité esthétique ainsi que les relations entre émotion empathique par simulation motrice et émotion artistique.

Citation dans le texte (style Citation)

Figure 1 : Chronophotographie par E.J. Marey.

Figure 2 : Cinématique de segments de mouvement dans deux directions à cinq distances différentes. En haut : profils d'accélération, suivie de décélération. En bas : profils de vitesse. La succession d'accélération et décélération est programmée de manière fluide de telle sorte que le profil de vitesse ait une forme invariante *en cloche*, avec une amplitude proportionnelle à la distance. Gordon J, Ghilardi MF, Cooper SE, Ghez C. Accuracy of planar reaching movements. II. Systematic extent errors resulting from inertial anisotropy. Exp Brain Res. 1994;99(1):112-30.

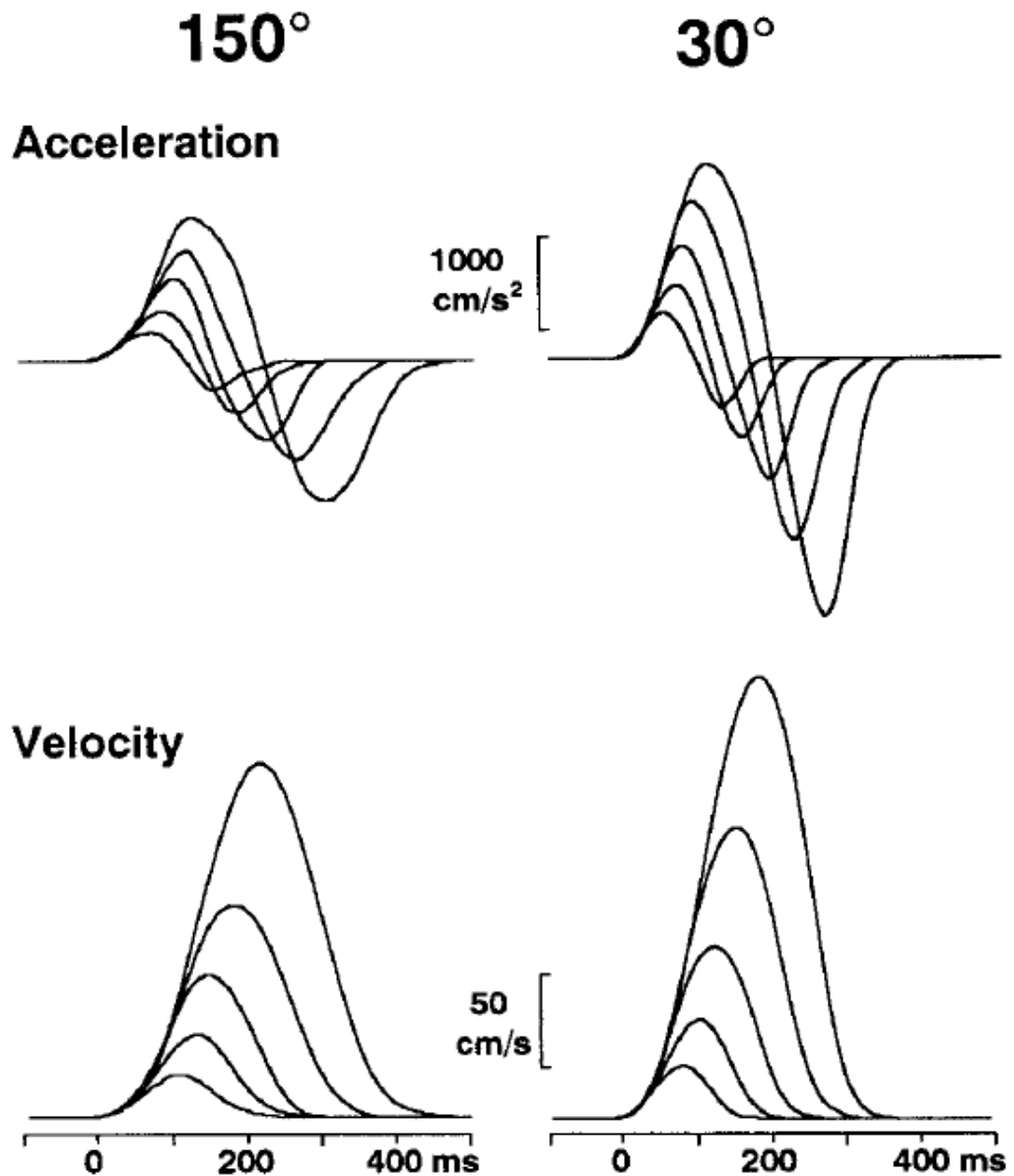


Figure 3 : Combinaison additive de plusieurs éléments de mouvements. La tâche consiste à relier les points A-D le plus rapidement possible. Chaque graphique présente la trajectoire en haut et le profil de vitesse en bas. Le premier jour, les participants effectuent la tâche en quatre éléments de mouvement. Après cinq sessions d'entraînement, ils arrivent à fusionner deux segments en un mouvement courbe si l'angle qui les joint est obtus (colonne de gauche), mais pas si il est aigu (colonne de droite). Sosnik, R., B. Hauptmann, A. Karni, and T. Flash. 2004. "When practice leads to co-articulation: the evolution of geometrically defined movement primitives." *Exp Brain Res* 156 (4):422-38.

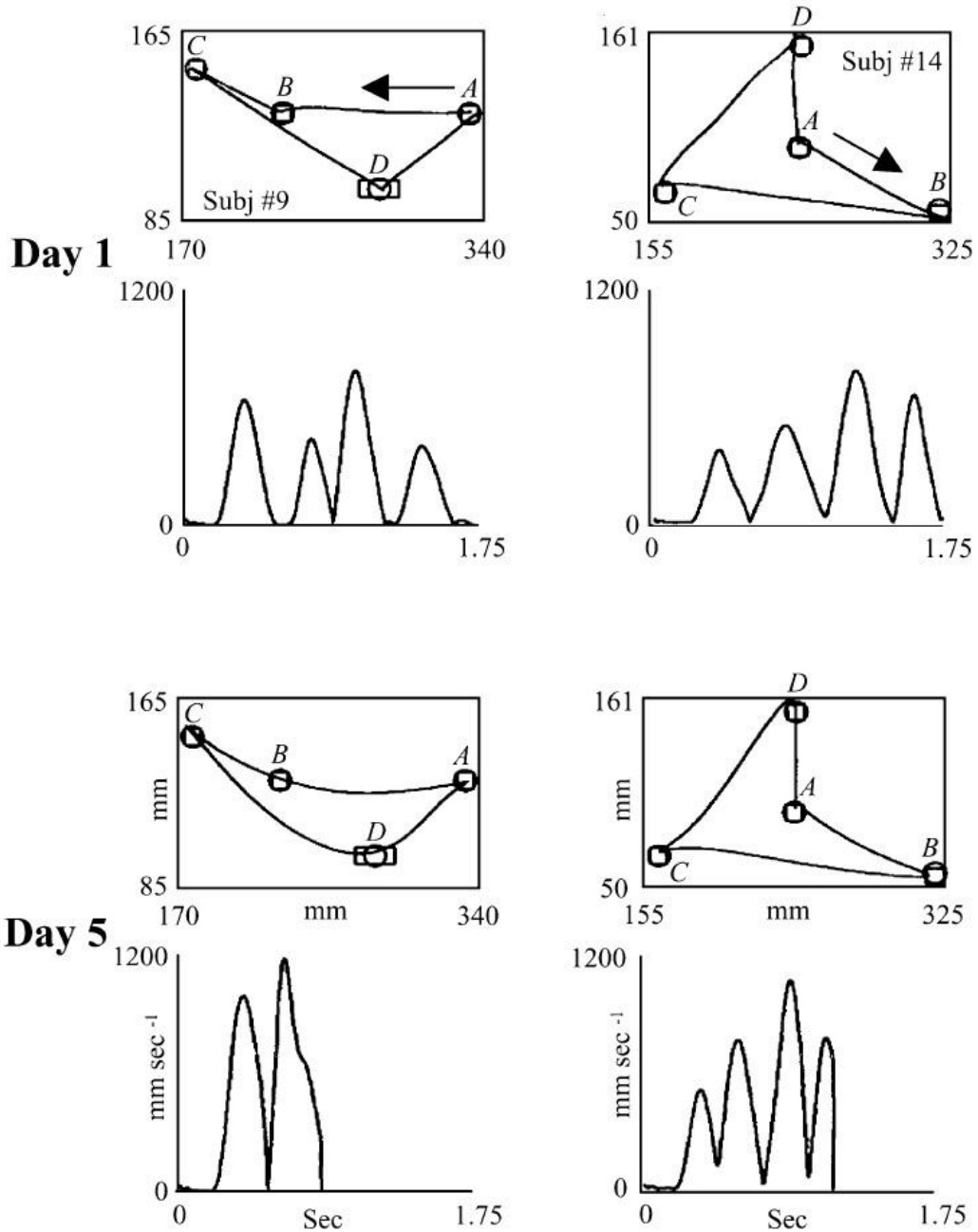


Figure 4 : Développement et apprentissage d'une tâche de dessin dans un miroir chez des enfants de 5-6 ans (kindergarten) et 7-8 ans (second grade) et des adultes. D'après Julius MS and Adi-Japha E, *A Developmental Perspective in Learning the Mirror-Drawing Task*. *Frontiers in Human Neuroscience* 2016, 10 (83).

Figure 5: Le mot coordination en russe écrit par NA Bernstein avec différentes parties du corps. Bernstein NA on the construction of movements. 1947. Moscow Medgiz. Repris dans Latash ML, « Neurophysiological basis of movement ». *Human kinetics*, 2nd edition. 2008.

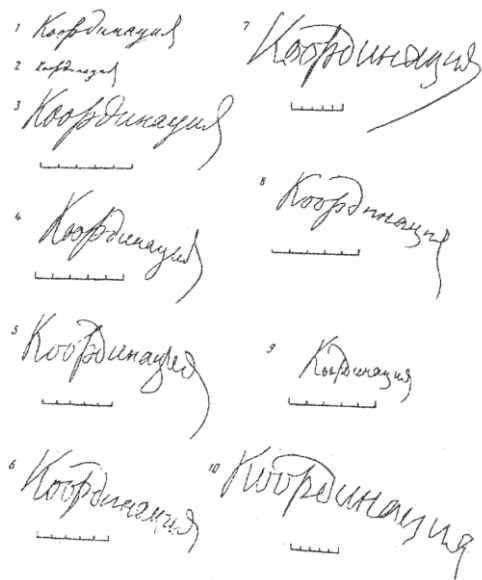


Figure 6. Picasso exécutant un dessin par la technique de *light painting*. <https://positivr.fr/pablo-picasso-life-light-painting/>
Crédit photo Gjon Mili / LIFE

Figure 7 : Apraxie constructive. En haut : modèles de dessins, en bas : copies par un patient. Trojano L and Grossi D. 'Pure' constructional apraxia - a cognitive analysis of a single case. *Behavioral Neurology* 1998, 11(1):43-49.

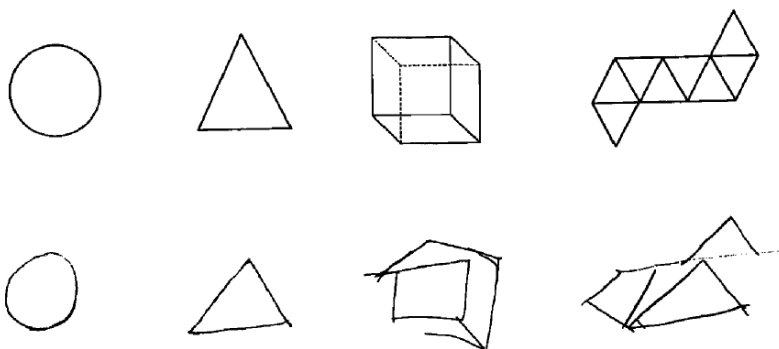


Figure 8 : Négligence spatiale. Dessin d'une horloge et d'une marguerite sur commande. En bas : copie d'un dessin : le patient a négligé de dessiner les arbres de gauche (négligence allocentrique) ainsi que la partie gauche des autres éléments (négligence égocentrique). D'après Rode G, Fourtassi M, Pagliari C, Pisella L, Rossetti Y Complexity vs. unity in unilateral spatial neglect Revue Neurologique 2017, 173 (7-8) : 440-450.

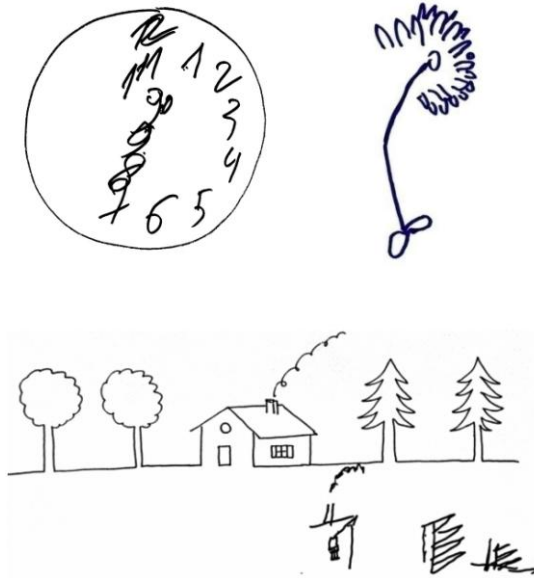
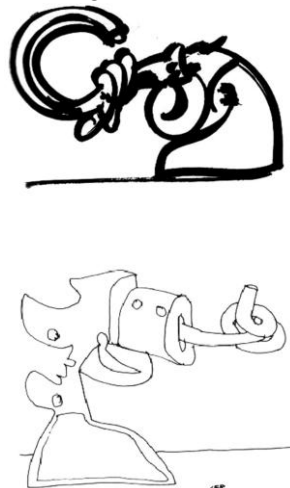


Figure 8 : dessin de Carl Fredrik Reuterswård représentant sa sculpture célèbre non-violence avant et après un accident vasculaire gauche (Colombo-Thuillard F and Assal G, *Persisting Aphasia, Cerebral Dominance, and Painting in the Famous Artist Carl Fredrik Reuterswård*. In : Bogousslavsky J, Hennerici MG (eds): *Neurological Disorders in Famous Artists - Part 2*. Frontiers of Neurology and Neuroscience. Basel, Karger, 2007, vol 22, pp 169–183).



Agnès Roby-Brami
Directeur de recherche INSERM, ISIR

- ¹ L'essentiel des publications de Marey et des plaques photographiques numérisées sont disponibles sur le site internet de la Bibliothèque Interuniversitaire Santé de l'Université Paris Descartes. <http://www.biusante.parisdescartes.fr/marey/>
- ² Bernstein NA. *On dexterity and its development*. Mahwah: Lawrence Erlbaum associates, 1996.
- ³ Mannoni L, *Etienne-Jules Marey, la mémoire de l'œil*. (catalogue de l'exposition à espace Electra, Paris Janvier-Mars 2000) Mazzotta éditions, 2003. Sirotkina I, *The art and science of movement in France and Russia*. In : *History of the neurosciences in France and in Russia. From Charcot and Sechenov to IBRO*. Edited by Jean-Gael Barbara, Jean-Claude Dupont et Irina Sirotkina Paris: Hermann, Histoire des sciences. 2011, pp 185-196..
- ⁴ Gordon J, Ghilardi MF, Cooper SE, Ghez C. *Accuracy of planar reaching movements. II. Systematic extent errors resulting from inertial anisotropy*. Experimental Brain Research. 1994, 99(1):112-130. Sosnik R. Hauptmann B, Karni A and Flash T. *When practice leads to co-articulation: the evolution of geometrically defined movement primitives*. Experimental Brain Research 2004, 156 (4):422-438.
- ⁵ Lacquaniti F, Terzuolo C and Viviani P. *The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements*. Acta Psychologica (Amsterdam) 1983, 54 (1-3):115-130.
- ⁶ Wadman WJ, Denier van der Gon JJ, Geuze RH and Mol CR. *Control of fast goal-directed arm movements*. Journal of human movement studies, 1979, (5) :3-17.
- ⁷ Viviani P and Flash T. *Minimum-jerk, two-thirds power law, and isochrony: converging approaches to movement planning*. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1995, 21(1):32-53. Gribble PL and Ostry DJ. *Origins of the power law relation between movement velocity and curvature : modeling the effects of muscle mechanics and limb dynamics*. Journal of Neurophysiology 1996, 76 (5):2853-2860.
- ⁸ Julius MS and Adi-Japha E, *A Developmental Perspective in Learning the Mirror-Drawing Task*. Frontiers in Human Neuroscience 2016, 10 (83).
- ⁹ Lenay, C. *Separability and technical constitution*, Foundations of science, 2012, 17:379-384.
- ¹⁰ Rodda N, Bril B, Goujon AL and Shim K. *Ethnographier le" tour de main". Une proposition méthodologique pour un défi toujours actuel*. Ethnographiques. org-La part de la main. 2015.
- ¹¹ Nonaka T, *Motor variability but functional specificity: the case of a C4 tetraplegic mouth calligrapher*. Ecological Psychology, 2013, 25(2) :131-154.
- ¹² Paillard J. *La Lecture sensorimotrice et cognitive de l'expérience spatiale: directions et distances*. CNRS éditions (Comportements). 1985.
- ¹³ Lajoie Y, Paillard J, Teasdale N, Bard C, Fleury M, Forget R and Lamarre Y. *Mirror drawing in a deafferented patient and normal subjects: visuoproprioceptive conflict*. Neurology 1992, 42 (5):1104-1106. Miall RC and Cole J, *Evidence for stronger visuo-motor than visuo-proprioceptive conflict during mirror drawing performed by a deafferented subject and control subjects*. Experimental Brain Research, 2007, 176 (3):432-439.
- ¹⁴ Viviani P and Stucchi N. *The effect of movement velocity on form perception: geometric illusions in dynamic displays*. Perception and psychophysics, 1989, 46 (3):266-274. Des exemples de stimuli mobiles sont présentés en vidéo sur le site de l'article Thoret E, Aramaki M, Bringoux L, Ystad S and Kronland-Martinet R, *Seeing Circles and Drawing Ellipses: When Sound Biases Reproduction of Visual Motion*. PLoS One 2016, 11 (4):e0154475. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0154475>.
- ¹⁵ Schwartz AB *Direct cortical representation of drawing*. Science. 1994, 265(5171):540-542..
- ¹⁶ Trojano L, Grossi D and Flash T. *Cognitive neuroscience of drawing: contributions of neuropsychological, experimental and neurofunctional studies*. Cortex 2009, 45 (3):269-77. Editorial du numéro spécial du journal Cortex *Cognitive neuroscience of drawing*. 45 (3), 2009.
- ¹⁷ Chamberlain R and Wagemans J. *The genesis of errors in drawing*. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2016, 65:195-207.
- ¹⁸ Denis P. *Image et cognition*. PUF, Psychologie d'aujourd'hui. 1989.
- ¹⁹ Abraham A. *The imaginative mind*. Human Brain Mapping. 2016, 37:4197-4211. Collet C, Di Rienzo F and Guillot A, *Corrélat neurophysiologiques de l'imagerie motrice*. Movement & Sport Sciences, Science & Motricité 2013, 82 (4) :7-19. Decety J and Grèzes J *The power of simulation: imagining one's own and other's behavior*. Brain Research 2006, 1079:4-14. Jeannerod M *The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery*. Behavioral and Brain Sciences, 1994, 17 :187-202.
- ²⁰ Fadiga L, Craighero L and Olivier E. *Human motor cortex excitability during the perception of others' action*. Current Opinion in Neurobiology. 2005, 15(2):213-218. Rizzolatti G and Sinigaglia C. *The mirror mechanism: a basic principle of brain function*. Nature Reviews Neuroscience. 2016, 17(12):757-765.
- ²¹ Battaglia F, Lisanby SH and Freedberg D *Corticomotor excitability during observation and imagination of a work of art*. Frontiers in Human Neuroscience 2011, 5:79.

²² Longcamp M, Tanskanen T and Hari R. *The imprint of action: motor cortex involvement in visual perception of handwritten letters*. Neuroimage. 2006, 33(2):681-688. Sbriscia-Fioretta B, Berchio C, Freedberg D, Gallese V and Umiltà MA *ERP modulation during observation of abstract paintings by Franz Kline*. PLoS One 2013, 8:e75241.

²³ Freedberg D and Gallese V, *Motion, emotion and empathy in esthetic experience*. Trends in Cognitive Sciences 2007, 11 (5) :197-203

²⁴ Morin C, *Schéma corporel, image du corps, image spéculaire, Neurologie et psychanalyse*. Editions Eres, 2013. Puglionesi A. *Drawing as Instrument, Drawings as Evidence: Capturing Mental Processes with Pencil and Paper*. Medical History 2016, 60(3):359-387. Wittmann B. *Drawing cure: children's drawings as a psychoanalytic instrument*. Configurations. 2010, 18(3):251-272.

²⁵ Trojano L and Grossi D. 'Pure' constructional apraxia - a cognitive analysis of a single case. Behavioral Neurology 1998, 11(1):43-49. Trojano L and Gainotti G Drawing Disorders in Alzheimer's Disease and Other Forms of Dementia Journal of Alzheimer's Disease, 2016, 53 (1) : 31-52.

²⁶ Rode G, Fourtassi M, Pagliari C, Pisella L, Rossetti Y Complexity vs. unity in unilateral spatial neglect Revue Neurologique 2017, 173 (7-8) : 440-450.

²⁷ Berti A, Cappa SF and Folegatti A. *Spatial representations, distortions and alterations in the graphic and artistic production of brain-damaged patients and of famous artists*. Functional Neurology 2007, 22 (4):243-256. Chatterjee A, *The neuropsychology of visual artistic production* Neuropsychologia 2004, 42 1568–1583. Colombo-Thuillard F and Assal G, *Persisting Aphasia, Cerebral Dominance, and Painting in the Famous Artist Carl Fredrik Reuterswärd*. In : Bogousslavsky J, Hennerici MG (eds): *Neurological Disorders in Famous Artists - Part 2*. Frontiers of Neurology and Neuroscience. Basel, Karger, 2007, vol 22, pp 169–183.

²⁸ Wilson RA and Foglia, L *Embodied Cognition*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/embodied-cognition>. Varela F, Thompson E. and Rosch E. *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris, Seuil, 1993.

²⁹ Casati R and Pignocchi A. *Mirror and canonical neurons are not constitutive of aesthetic response*. Trends in Cognitive Sciences, 2007, 11 (10), 410. Vidal F *La neuroesthétique, un esthétisme scientiste*. Revue d'Histoire des Sciences Humaines, 2011, 2 (25): 239-264.