

# **Corps, cerveau et processus mentaux**



*Sous la direction de*  
**Yann Coello**

# **Corps, cerveau et processus mentaux**

**Les fondements sensori-moteurs  
de la cognition**

*Préface*  
**Alain Berthoz**  
**(Académie des Sciences)**

**DUNOD**

### **NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :**



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

## Liste des auteurs

*Sous la direction de:*

Yann Coello      Université de Lille, Laboratoire Sciences Cognitives et Sciences Affectives (UMR CNRS 9293) et Fédération de Recherche Sciences et Cultures du Visuel (FR SCV CNRS 2052).

*Avec la collaboration de:*

Théodore Alexopoulos      Université de Bordeaux, Laboratoire de Psychologie.  
Michael Andres      Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve), Psychological Sciences Research Institute et Institute of Neuroscience.  
Arnaud Badets      Université de Bordeaux, Institut de Neurosciences Cognitives et Intégratives d'Aquitaine (UMR CNRS 5287).  
Jean-Yves Baudouin      Université Lyon 2, Laboratoire Développement, Individu, Processus, Handicap, Éducation. Institut Universitaire de France (IUF), Paris.  
Josselin Baumard      Université de Rouen Normandie (Rouen), Centre de Recherche sur les Fonctionnements et Dysfonctionnements Psychologiques.  
Suliann Ben Hamed      Université Claude-Bernard Lyon I, Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod, CNRS UMR 5229.  
Fabien Bitu      Université de Rouen Normandie (Rouen), Centre de Recherche sur les Fonctionnements et Dysfonctionnements Psychologiques.  
Cédric Bouquet      Université Clermont Auvergne, Laboratoire de Psychologie Sociale et Cognitive (LAPSCO), UMR CNRS 6024.  
Denis Brouillet      Université Paul-Valéry Montpellier 3, Montpellier Laboratoire Epsilon.  
Lionel Brunel      Université Paul-Valéry Montpellier 3, Montpellier Laboratoire Epsilon.  
Anthony Clément      École Normale Supérieure-PSL, Inserm (Paris), Laboratoire de Neurosciences Cognitives et Computationnelles.  
Souhir Dali      Université Claude-Bernard Lyon I, Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod, CNRS UMR 5229.  
Frédérique de Vignemont      Institut Jean Nicod, École Normale Supérieure, Université Paris Sciences et Lettres, EHESS, CNRS, Paris.  
Julie de Wever      Université de Picardie Jules Verne (Amiens), Centre de Recherche en Psychologie: Cognition, Psychisme et Organisations, UR UPJV 7273.

Karine Doré-Mazars	Université Paris Cité (Paris), Laboratoire Vision Action Cognition VAC URP 7326.
Sylvie Droit-Volet	Université Clermont Auvergne, LAPSCO, CNRS, F-63000.
Karine Durand	Université de Bourgogne (Dijon), Equipe Cognition et Communication Olfactives en Développement, Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, UMR CNRS Inrae, Agro Dijon.
Alessandro Farnè	Université Claude Bernard Lyon I, Équipe Impact du Centre de Recherche en neurosciences de Lyon, INSERM U1028 CNRS UMR5292.
Marie-Pierre Fayant	Université de Paris Cité (Boulogne-Billancourt), Laboratoire de Psychologie Sociale: Contexte et Régulation, URP 4471.
Francisco Victor	Université de Poitiers, Université de Tours, CNRS, Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, ISAE-ENSMA, PPRIME, Melioris, Centre de Médecine Physique et de Réadaptation Fonctionnelle Le Grand Feu, Niort.
Laurie Geers	Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve), Psychological Sciences Research Institute et Institute of Neuroscience.
Anne Giersch	Université de Strasbourg, INSERM U1114, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Strasbourg.
Valérie Gyselinck	Université Gustave Eiffel et Université de Paris, Laboratoire de Psychologie et Ergonomie Appliquée, Campus Versailles.
Mathieu Hainselin	Université de Picardie Jules Verne (Amiens), Centre de Recherche en Psychologie: Cognition, Psychisme et Organisations, UR JPJV 7373.
Théo Héritier	Université Lumière Lyon 2, Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC - EA 3082).
Loïc Heurley	Université Paris Nanterre (Nanterre), Laboratoire sur les Interactions, Cognition, Action, Emotion (LICAE).
Christel Bidet-Ildéi	Université de Poitiers, université de Tours, CNRS, Centre de Recherche sur la Cognition et l'Apprentissage (UMR CNRS 7295), Poitiers. Institut Universitaire de France (IUF), Paris.
Marine Join	Université de Picardie Jules Verne (Amiens), Centre de Recherche en Psychologie: Cognition, Psychisme et Organisations, UR UPJV 7273.
Anne Kever	St. Michael's Hospital, Barlo Multiple Sclerosis Centre 30 Bond St, ON M5B 1W8, Toronto.
Thomas Le Bras	Université Paris Cité (Paris), Laboratoire Vision Action Cognition VAC URP 7326.

Samuel Lepoittevin	Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve), Psychological Sciences Research Institute et Institute of Neuroscience.
Mathieu Lesourd	Université de Franche-Comté (Besançon), Laboratoire de Recherches Intégratives en Neurosciences et Psychologie Cognitive (UMR INSERM 1322).
Simon Lhuillier	Université Gustave Eiffel et Université de Paris, Laboratoire de Psychologie et Ergonomie Appliquée, Campus Versailles.
Marie Loescher	École Normale Supérieure-PSL, Inserm (Paris), Laboratoire de Neurosciences Cognitives et Computationnelles.
Héloïse Longuépée	Université de Picardie Jules Verne (Amiens), Centre de Recherche en Psychologie: Cognition, Psychisme et Organisations, UR UPJV 7273.
Christophe Lopez	Aix-Marseille Université (Marseille), Centre de Recherche en Psychologie et Neurosciences, UMR CNRS 7077.
Marie Martel	University of Surrey, School of Psychology, Guildford.
Martial Mermillod	Université Grenoble Alpes, université de Savoie-Mont Blanc (Grenoble), Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, UMR CNRS 5105.
Jordan Mille	Université de Tours, Centre de Recherche sur la Cognition et l'Apprentissage (CeRCA, UMR CNRS 7295).
Luke Miller	Radboud University, Donders Centre for Cognition, Nijmegen.
Michèle Molina	Normandie Université, UNICAEN, Laboratoire de Psychologie de Caen Normandie, LPCN EA 7452.
Nicolas Morgado	Université Paris Nanterre (Nanterre), Laboratoire sur les Interactions Cognition, Action, Émotion (LICAE).
Tatjana Nazir	Université de Lille, Laboratoire Sciences Cognitives et Sciences Affectives (UMR CNRS 9293) et Fédération de Recherche Sciences et Cultures du Visuel (FR SCV CNRS 2052).
Ivane Nuel	Université de Poitiers, Centre de Recherche sur la Cognition et l'Apprentissage (UMR CNRS 7295).
François Osiurak	Université de Lyon (Bron), Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs. Institut Universitaire de France (IUF), Paris.
Richard Palluel-Germain	Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, LPNC, Grenoble.
Rudy Purkart	Université de Montréal, Montréal, Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal,
Alice C. Roy	Université Lyon 2, Laboratoire Dynamique du Langage (UMR5596 CNRS).
Catherine Tallon-Baudry	École Normale Supérieure-PSL, Inserm (Paris), Laboratoire de Neurosciences Cognitives et Computationnelles.

Guillaume Vallet	Université du Québec à Trois-Rivières, Département de Psychologie. Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, Québec. Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO, UMR CNRS 6024), Clermont-Ferrand.
Nicolas Vermeulen	Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve), Institut de recherche en sciences psychologiques. Fonds National de Recherche Scientifique (FNRS).
Rémy Versace	Université Lumière Lyon 2, Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC – EA 3082).
Marc Wittmann	Institute for Frontier Areas of Psychology and Mental Health, Freiburg.
Melisa Yavuz	Université de Lille, Laboratoire Sciences Cognitives et Sciences Affectives (UMR CNRS 9293) et Fédération de Recherche Sciences et Cultures du Visuel (FR SCV CNRS 2052).



# Table des matières

<i>Préface</i> .....	13
<i>Avant-propos</i> .....	23
<b>CHAPITRE 1 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE LA PERCEPTION</b>	
1. Une perception sensori-motrice : définition, effets et considérations théoriques (Lionel Brunel et Loïc P. Heurley).....	31
2. De l'affordance aux contraintes de l'action : une perception calibrée par la sensori-motricité (Richard Palluel-Germain et Nicolas Morgado) .....	40
<b>CHAPITRE 2 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE L'ATTENTION</b>	
1. L'attention en action : de la saccade oculaire à l'exploration visuelle (Thomas Le Bras et Karine Doré-Mazars) .....	53
2. De l'exploration attentionnelle à l'exploration oculomotrice : mécanismes neuronaux et réseaux cérébraux (Souhir Dali et Suliann Ben Hamed) .....	60
<b>CHAPITRE 3 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE LA CONSCIENCE</b>	
1. La fluence motrice comme prédicteur de la conscience phénoménale (Denis Brouillet) ....	75
2. Corps, soi et conscience : du sujet à la qualité de l'expérience consciente (Marie Loescher, Anthony Clément et Catherine Tallon-Baudry).....	82
<b>CHAPITRE 4 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE L'ESPACE</b>	
1. Une approche sensori-motrice de l'espace proximal (Frédérique De Vignemont et Yann Coello).....	93
2. Sensori-motricité et espaces de navigation (Simon Lhuillier et Valérie Gyselinck) .....	101
<b>CHAPITRE 5 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE LA MÉMOIRE</b>	
1. La sensori-motricité au cœur de la mémoire, la mémoire au cœur de la cognition (Rémy Versace, Guillaume Vallet et Théo Héritier).....	113
2. Discrimination mnésique : substrats neuro-fonctionnels et applications au vieillissement (Jordan Mille, Rudy Purkart, Rémy Versace et Guillaume Vallet) .....	124

**CHAPITRE 6 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DU TEMPS**

1. Le temps : des données en faveur d'un temps incarné  
(Sylvie Droit-Volet et Marc Wittmann) ..... 137
2. Les théories et modèles du temps : les récentes théories du temps incarné  
(Marc Wittmann et Sylvie Droit-Volet) ..... 146

**CHAPITRE 7 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DU LANGAGE**

1. Contribution du système sensori-moteur au traitement sémantique des verbes d'action  
(Christel Bidet-Ildéi et Victor Francisco) ..... 161
2. La danse complice : quand la compréhension du langage  
exploite le système moteur du cerveau (Melisa Yavuz et Tatjana A. Nazir) ..... 169

**CHAPITRE 8 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DES NOMBRES**

1. Le comptage sur les doigts : ancrage sensori-moteur de la représentation des nombres  
(Samuel Lepoittevin et Michael Andres) ..... 181
2. La théorie du recyclage idéomoteur dans le domaine de la cognition numérique  
(Arnaud Badets) ..... 191

**CHAPITRE 9 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DES ÉMOTIONS**

1. Cognition incarnée des émotions : de la physiologie au concept  
(Anne Kever et Nicolas Vermeulen) ..... 203
2. Les émotions : une approche incarnée pour la cognition humaine  
et l'intelligence artificielle (Martial Mermillod) ..... 211

**CHAPITRE 10 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DU SENS DE SOI**

1. Bases multisensorielles du soi corporel (Christophe Lopez) ..... 225
2. Perturbations sensori-motrices et troubles du sens de soi (Anne Giersch) ..... 235

**CHAPITRE 11 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DES RELATIONS INTERPERSONNELLES**

1. Comportements sensori-moteurs et imitation dans le développement  
de la communication sociale (Jean-Yves Baudouin et Karine Durand) ..... 247
2. Recouvrement corporel soi-autrui et perception sociale (Cédric Bouquet) ..... 255

**CHAPITRE 12 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DES INTERACTIONS SOCIALES**

1. Rôle des représentations motrices dans l’ajustement des distances sociales  
(Laurie Geers et Yann Coello) ..... 265
2. L’influence des comportements d’approche et d’évitement sur les évaluations sociales  
(Ivane Nuel, Marie-Pierre Fayant et Théodore Alexopoulos) ..... 275

**CHAPITRE 13 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE L’UTILISATION D’OUTILS**

1. Comment nous fabriquons mentalement nos outils  
(François Osiurak, Mathieu Lesourd et Josselin Baumard) ..... 287
2. Contrôle sensori-moteur et incorporation des outils mécaniques  
(Marie Martel, Luke Miller, Alice C. Roy et Alessandro Farnè) ..... 299

**CHAPITRE 14 – FONDEMENTS SENSORI-MOTEURS DE LA CRÉATIVITÉ**

1. La créativité incarnée : que sait-on ? (Fabien Bitu et Michèle Molina) ..... 311
2. L’improvisation théâtrale : une forme créative de cognition incarnée  
(Mathieu Hainselin, Marine Jouin, Héloïse Longuépée et Julie de Wever) ..... 319

*Références bibliographiques* ..... 327



# Préface<sup>1</sup>

---

1. Par **Alain Berthoz**.



Il est rare et précieux de voir rassemblés dans un même ouvrage l'essentiel des fonctions cérébrales et surtout la diversité des approches conceptuelles et expérimentales que l'on trouve dans ce livre. Aujourd'hui, ou plus que jamais, en raison de l'extrême spécialisation des disciplines, des fossés se perpétuent et empêchent des confrontations fécondes, ce livre sera utile aussi bien à l'étudiant qu'au chercheur ou à ceux qui s'intéressent aux multiples capacités de notre cerveau et de nos comportements.

Même si apparemment une fois encore, les chapitres découpent le fonctionnement cérébral suivant les compétences et intérêts particuliers, on sent très vite que Yann Coello et ses collègues ont voulu donner au contenu une unité théorique que le lecteur découvrira et qui place l'ouvrage à la confluence des théories modernes qui privilégient la sensibilité, l'émotion, le mouvement et l'action à une approche d'une rationalité abstraite et dominée par la logique. Cette unité est clairement annoncée par les premiers mots des titres de chaque chapitre : « Les fondements sensori-moteurs ».

Avec cette prise de position théorique, ce livre propose une orientation qui correspond aux idées de philosophes comme Maurice Merleau-Ponty, qui écrivait que « La vision est palpation par le regard », mettant au premier plan l'acte, le corps, et l'expérience sensible. Elle privilégie aussi les idées de Francisco Varela (et bien qu'elles soient moins reconnues, celles de Humberto Maturana sur l'autopoïèse), et de façon générale le courant qui se reconnaît actuellement dans les termes d'« énaction » de « cognition incarnée », d'« embodiment », en les documentant scientifiquement. Elle correspond aussi aux efforts des philosophes qui ont récemment tenté de « Naturaliser la phénoménologie »<sup>1</sup>, et aux thèses que j'ai soutenues dans mes livres depuis « Le sens du mouvement », « La simplicité » et « La vicariance »<sup>2</sup>, et dans l'ouvrage que nous avons rédigé avec Jean-Luc Petit « Phénoménologie et physiologie de l'action »<sup>3</sup>, inspiré par la théorie des kinesthèses de Husserl, qui fut un manifeste pour une théorie proche de celle que promeuvent les auteurs de ce livre.

Que l'on me permette d'utiliser la liberté d'une préface pour proposer au débat quelques remarques qui sont évoquées par la remarquable richesse des faits et idées exposées dans l'ouvrage. Ce ne sont que des suggestions dans la tradition scientifique de la discussion. La « dispute » comme on disait à Babylone.

---

1. Petitot, J., Roy, J.M., Pachoud, B., Varela, F. (2002). *Naturaliser la phénoménologie*. Editions CNRS ; Petit, J.L. (2015). *La naturalisation de la phénoménologie 20 ans après (Cahiers de Philosophie de Strasbourg)*. Presses Universitaires de Strasbourg.

2. Berthoz, A. (1997). *Le sens du mouvement*. Paris : Odile Jacob, p. 345. Trad. *The Brain's Sense of Movement*. Harvard University Press. Trad *Il senso di movimento*. Mc Graw Hill. Berthoz, A. (2009). *La simplicité*. Paris : Odile Jacob. Trad. *Simplicity*. Yale University Press. Trad. *Simplessita*. Codice. Berthoz, A. (2013). *La vicariance. Le cerveau créateur de mondes*. Paris : Odile Jacob. Trad. (2014) *La vicarianz*. Codice. Trad. (2016). *The Vicarious Brain. Creator of worlds*. Harvard University Press. Berthoz, A. et al. (2023). *Champion le cerveau!* INSEP, Amphora.

3. Berthoz, A., Petit, J.L. (2006). *Physiologie de l'action et phénoménologie*. Paris : Odile Jacob. Trad. *The Physiology and Phenomenology of Action*. Oxford University Press.

## 1. Incarnation et prédiction

Les divers chapitres sur la perception, l'attention, la conscience, l'espace, la mémoire, le temps, le langage, les nombres, la créativité, montrent bien le fondement de notre connaissance du monde dans « l'expérience ». J'avais mis l'*acte*, et pas seulement l'action, en exergue de mon livre « Le sens du mouvement » en citant la fameuse phrase de Faust « Au début était le verbe, non au début était la force, non au début était l'*acte* ». En effet notre cerveau ne fait pas une analyse « sensorielle » puis « motrice » du monde. Il est anticipateur, prédictif, parieur dans un monde incertain, fait des hypothèses sur le monde, projette ses hypothèses. Le cerveau n'organise pas des actions, en fonction de perceptions, il interagit, en fonction de ses motivations, avec le monde par des « actes », il prédit et anticipe<sup>1</sup> avec des processus qui incluent la mémoire des succès et échecs du passé, les scénarios du futur, la valeur, l'émotion, etc... Il n'est pas seulement un calculateur Bayésien qui fait des inférences en fonction du passé. Il se permet les « libertés de l'improbable »<sup>2</sup>. L'improbable ne se calcule pas. L'utopie, le geste signe et le symbole sont le résultat d'une extraordinaire activité d'interaction et d'émergence entre les multiples réseaux qui sont maintenant mieux connus. Le problème n'est plus de simplement décrire l'« incarnation » mais de comprendre comment interagissent les multiples niveaux dont l'évolution nous a doté. On trouvera dans le livre des pistes pour, si ce n'est résoudre, tout au moins clairement tenter de formuler la question.

Au fond il faudrait inverser l'ordre de l'expression « sensori-moteur ». J'avais moi-même proposé l'expression de « perçaction » pour insister sur le lien entre percevoir et agir mais au fond, j'aurais aussi dû inverser l'ordre pour tenir compte de ce qui est un des fils rouges du livre. Le caractère anticipateur et « embodied » du fonctionnement cérébral. Car cela est bien décrit dans le livre, par exemple dans les chapitres sur la perception avec l'analyse de la notion d'affordance de l'Ecole de Gibson, qui est par essence prédictive.

## 2. Abandonner le singulier

Je pense aussi que nous devons abandonner l'usage du singulier pour désigner les grandes fonctions qui sont traitées dans le livre. Nous savons la diversité des processus perceptifs depuis les plus automatiques jusqu'à ceux dictés par l'interprétation symbolique ou les valeurs culturelles. Les neurosciences et la pathologie ont bien identifié la multiplicité des mécanismes attentionnels qui sont bien décrits dans le chapitre sur l'attention. C'est aussi vrai pour les processus

1. Berthoz, A., Debru, C. (2015). *Anticipation et prédiction: du geste au voyage mental*. Paris: Odile Jacob.

2. Berthoz, A., Ossola, C. (2019). *Les libertés de l'improbable*. Paris: Odile Jacob.



conscients. Semir Zeki a insisté sur la multiplicité des processus et des formes des niveaux de conscience. Par exemple la théorie exposée, dans ce livre sur l'importance de processus inférentiels et de la fluence dans « la conscience » pourrait être développée en précisant comment elle peut rendre compte des niveaux ou l'émergence d'un processus conscient apparaît. De même, le chapitre sur le rôle des signaux intéroceptifs et la notion de « soi minimum » de « conscience minimale » ou « d'état d'éveil non-répondant » me paraît ouvrir une voie pour un dialogue sur ce sujet.

### 3. Les espaces et les stratégies cognitives de navigation

On trouve aussi une multiplicité dans la façon dont le cerveau est en relation avec « l'espace ». La partie consacrée à l'espace apporte un argument important pour distinguer au moins deux sortes d'espace : l'espace proche et l'espace distant. Mais il faut aller beaucoup plus loin dans la diversité des espaces. Nous en avons discuté dans le livre publié avec Roland Recht<sup>1</sup>, historien de l'art, sous le titre « Les espaces de l'homme ». Le mathématicien Henri Poincaré l'avait compris ; il n'était pas seulement à l'origine de la théorie dite « sensorimotrice » du mouvement. Il avait argumenté que les fondements de la géométrie sont dans l'expérience sensible et le changement de point de vue, mais aussi que la géométrie euclidienne est « la plus commode mais n'est pas la vraie » et qu'il faudrait étudier l'usage par le cerveau d'autres géométries.

Les neurologues ont montré depuis longtemps qu'il faut distinguer entre espace corporel, espace de préhension ou péri-personnel, espace extra-personnel et espace environnemental. Nous avons récemment, avec le mathématicien Daniel Bennequin établi une théorie<sup>2</sup> qui décrit la diversité des « espaces d'action » (qui rejoint la notion de « potentialité pour l'action » de Yann Coello), et montré, avec Tamar Flash<sup>3</sup>, que le cerveau utilise des géométries non euclidiennes (affines, équi-affines) pour le mouvement et la perception comme l'avait aussi montré Ian Koenderink. J'ai proposé une « théorie des 5 espaces d'action » (Corporel, Peri-personnel, Extra-personnel Locomoteur, Environnemental, Imaginaire) avec l'idée que chaque espace d'action exige une géométrie différente. L'unité et la compatibilité (ou compositionnalité) de toutes ces géométries (c'est-à-dire de tous ces espaces), serait peut-être assurée par la géométrie des Topos du mathématicien Alexandre Grothendieck.

L'idée développée dans ce livre que l'activité locomotrice « idiothétique » ou « podokinétique » contribue de façon cruciale aux stratégies cognitives de simulation mentale de l'espace

1. Berthoz, A., Recht, R. (2005). *Les espaces de l'homme*. Paris: Odile Jacob.

2. Bennequin, D., Berthoz, A. (2017). Several geometries for movement generation. In J.P. Laumond *et al.* (Eds.), *Geometry for Robotics*. Springer.

3. Flash, T., Berthoz, A. (2020). *Geometries of the brain and their expression in Arts*. Springer.

de navigation est tout à fait compatible avec l'usage par le cerveau d'une géométrie pour les actions dans *l'espace locomoteur*, mais différente de celles utilisées pour l'espace du corps, ou pour imaginer comment on va organiser son voyage pour partir en vacances ! On trouve aussi évoquée la diversité des stratégies cognitives de navigation. En effet, en plus de stratégies dites égocentrées ou allocentrées, le cerveau est capable de multiplier des référentiels et, par exemple, de prendre autrui comme référence (stratégie hétérocentrée)<sup>1</sup> et il met en jeu des réseaux différents pour explorer un espace ou exploiter les connaissances pour trouver un nouveau trajet.

## 4. Les mémoires

La multiplicité des processus qui sous-tendent les fonctions cérébrales est aussi illustrée par ce que l'on désigne sous le terme de « La mémoire ». On a identifié différentes sortes de mémoire, épisodique, sémantique, procédurale, motrice, par exemple. D'ailleurs la mémoire est une propriété fondamentale à tous les niveaux du système nerveux et notre corps lui-même est doté de mémoires biomécaniques variées. Les chapitres sur la mémoire, dans ce livre, discutent de façon originale quelques-unes des nombreuses théories des processus mnésiques et évoquent, par exemple, des méthodes de réhabilitation pour compenser les déficits liés à l'âge. Mais à mon avis, une des découvertes récentes les plus importantes, mentionnée dans l'un des chapitres, est la similarité de l'organisation en modules cérébraux qui codent les différentes sortes de mémoire avec l'organisation des modules qui construisent des scénarios pour le futur. La notion de « voyage mental dans le temps » qui désigne l'aller et retour permanent entre les mémoires du passé et les prédictions sur l'avenir modifie de façon cruciale la notion d'identité<sup>2</sup>. Enfin, nous savons tous qu'il n'y a pas un seul temps mais des échelles temporelles variées. Nous nous souvenons des vifs débats entre les tenants, comme Noam Chomsky, des propriétés universelles du langage, et ceux, comme Claude Hagège qui ont insisté sur la diversité des langues.

En résumé, un des problèmes les plus intéressants concernant les fonctions cognitives est la double nécessité de rendre compte à la fois des propriétés universelles et de la diversité. C'est ce

---

1. Committeri, G., Galati, G., Paradis, A.L., Pizzamiglio, L., Berthoz, A., Le Bihan, D. (2004). Reference frames for spatial cognition : Different brain areas are involved in viewer-, object- and landmark-centered judgments about object location. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(9), 1517. Vallar, G., Lobel, E., Galati, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., Le Bihan, D. (1999). A fronto-parietal system for computing the egocentric spatial frame of reference in humans. *Experimental Brain Research*, 124, 281-286. Iglói, K., Zaoui, M., Berthoz, A., Rondi-Reig, L. (2009). Sequential egocentric strategy is acquired as early as allocentric strategy: Parallel acquisition of these two navigation strategies. *Hippocampus*, 19(12), 1199-1211. Iglói K., Doeller CF., Paradis AL., Benchenane K., Berthoz A., Burgess N., & Rondi-Reig L. (2014). interaction between hippocampus and cerebellum crus I in sequence-based but not place-based navigation. *Cerebral Cortex*, 25(11), 4146-4154.

2. J'ai traité de cette question dans un chapitre du livre co-écrit avec Claude Debru, *Anticipation et prédiction* (op. cit.).

qui est traité dans « La simplicité » (lois générales) et « La vicariance » (diversité et flexibilité) et qui souligne le rôle majeur de l'inhibition pour la flexibilité cognitive et la créativité<sup>1</sup>.

## 5. Le regard et l'attention

J'ai été particulièrement intéressé par les chapitres sur le regard qui complètent bien ceux sur l'attention. J'écris « le regard » car les mouvements des yeux, saccades, poursuite, réflexes vestibulaire et optocinétique, vergence, ne sont pas seulement des processus « sensori-moteurs » mais font partie de l'activité anticipatrice qu'est le regard et d'ailleurs aussi l'expression des émotions. On ne bouge pas seulement pas les yeux pour explorer, on *regarde*, on construit le monde, un monde. Le regard anticipe la trajectoire de la marche<sup>2</sup>

L'analyse très approfondie des bases du « focus attentionnel » dans un des chapitres, développe de façon claire ce que nous avons été, je crois, avec Bernard Mazoyer et l'équipe du CEA, les premiers à démontrer avec l'imagerie en caméra à émission de positons (TEP SCAN), *i.e.* que les mêmes aires (les champs oculomoteurs frontaux) sont activées lors de saccades exécutées et lorsque le sujet fait mentalement un déplacement attentionnel sans mouvement. De plus j'ai publié dans plusieurs livres l'organisation neuronale qui, grâce à plusieurs niveaux d'inhibition (ganglions de la base, colliculus supérieur, tronc cérébral), permet au cerveau d'activer les réseaux de déplacement du regard dans des boucles neuronales internes sans que soit mis en jeu la dernière étape d'activation motrice au niveau du tronc cérébral.

Le caractère anticipateur de la perception, et la fonction de « simulateur » du cerveau, sont illustrées, une fois de plus, dans les chapitres sur le nombre. On y insiste non seulement sur le rôle de l'action (comptage des doigts) mais aussi sur ce que les auteurs appellent la perception « située » *i.e.* centrée sur, ou plutôt en interaction avec, les effets et le but dans le monde. On a souvent lié la numération à l'espace mais ici il y a une proposition importante de lien avec les « kinesthèses ».

1. Berthoz, A. (2020). *L'inhibition créatrice*. Paris: Odile Jacob.

2. Bernardin, D., Kadone, H., Bennequin, D., Sugar, T., Zaoui, M., Berthoz, A. (2012). Gaze anticipation during human locomotion. *Exp. Brain. Res.*, 223(1), 65-78. Authié, C., Hilt, P., N'Guyen, S., Berthoz, A., Bennequin, D. (2015). Differences in gaze anticipation for locomotion with and without vision. *Front. Hum. Neurosci.*, 8(9), 312.

## 6. Relations entre soi et autrui

La construction d'un « soi » basé sur les kinesthèses a bien sa place dans cet ouvrage. La capacité pour le cerveau d'anticiper et de prédire les conséquences des actions, et de simuler des scénarios, exige la construction d'une cohérence entre toutes les données des sens mais aussi ce que Pascale Piolino et Francis Eustache ont appelé, et documenté, les deux composantes du soi (épisodique et sémantique). Cette capacité est en partie liée à l'existence de « modèles internes » du corps et des propriétés physiques monde, y compris la gravité etc. Le neurologue Wilder Penfield, avait il y a près de cinquante ans, identifié dans les réseaux neuronaux du cortex pariéto-temporal un double du corps, un « schéma corporel » et montré son implication dans les relations entre le corps et l'espace. Le chapitre consacré au soi dans le livre rappelle que cette région du cerveau est aussi la projection du système des récepteurs vestibulaires qui, comme nous l'avons aussi suggéré<sup>1</sup>, constitue un référentiel spatial fondamental pour la constitution du schéma corporel. Il y est mentionné brièvement que le système vestibulaire est aussi impliqué dans les phénomènes de perte de contact avec le réel (déréalisation et dépersonnalisation) qui sont liés avec l'anxiété<sup>2</sup>. Cela établit un lien nouveau, encore à enrichir, avec la psychiatrie comme en témoigne l'identification récente d'une catégorie dite « vestibulaire » d'agoraphobie.

## 7. Créativité et réflexion entre Art et Science

Il est merveilleux d'avoir terminé le livre par la créativité. En effet les théories modernes du fonctionnement cérébral montrent que le problème n'est pas tant que la cognition soit « incarnée », ni de faire une théorie « sensori-motrice ». Ce que révèlent les données récentes des neurosciences cognitives est l'extraordinaire curiosité du cerveau des mammifères, des primates, et surtout de l'homme qui est capable d'une remarquable flexibilité cognitive, de changement de point de vue, de « pluralité interprétative »<sup>3</sup> et j'ai montré que la créativité est en grande partie due à une propriété qui n'est peut-être pas assez soulignée dans l'ouvrage « L'inhibition créatrice »<sup>4</sup>. Dans le chapitre sur l'improvisation théâtrale, on met beaucoup en exergue cette flexibilité qui correspond pour moi à la « vicariance » qui permet lors de l'improvisation de remettre en cause les schèmes acquis.

1. Kahane, P., Hoffmann, D., Minotti, L., Berthoz, A. (2003). Reappraisal of the human vestibular cortex by cortical electrical stimulation study. *Annals of Neurology*, 54(5), 615-624.

2. Kolev, OI., Georgieva-Zhostova, SO., Berthoz, A. (2014). Anxiety changes depersonalization and derealization symptoms in vestibular patients. *Behavioural Neurology*, 2014, 847054.

3. Berthoz, A., Ossola, C., Stock, B. (2013). *La pluralité interprétative*. Editions du Collège de France.

4. Berthoz, A. *L'inhibition créatrice, op.cit.*

Le chapitre qui propose une réflexion aux frontières entre Art et Science est très important pour ce que j'appelle une « fertilisation croisée » entre les disciplines. J'ai eu la chance de travailler avec Jos Houben, professeur à l'École Internationale de Théâtre Jacques Lecoq, où l'improvisation occupait une large place, sur l'émotion pendant la marche et sur la perception de la transition entre un geste festif et un geste violent. J'ai eu aussi l'occasion, avec Béatrice Picon-Valin, de diriger une thèse sur l'enseignement du metteur en scène russe Vsevolod Meyerhold, et d'enregistrer au Collège de France les mouvements d'un de ses derniers élèves faisant des exercices de la « biomécanique »<sup>1</sup>. Ces coopérations avec les artistes nous ont permis de construire des paradigmes expérimentaux avec une action des sujets mettant en œuvre l'idée d'une recherche sur la cognition dite « incarnée ». Car le défi est bien de construire des paradigmes rigoureux où le sujet est en action dans le monde réel. Récemment nous avons publié avec la peintre Fabienne Verdier un livre<sup>2</sup> qui contient les échanges au cours d'une séance de peinture à laquelle j'ai activement participé. L'intérêt de partager en la faisant, la création de l'œuvre, est que, au-delà d'articles scientifiques très rigoureux mais aussi très encadrés, ce genre de travail avec les artistes permet de laisser ouvert la discussion et de faire émerger des idées nouvelles. Il ne s'agit pas seulement d'incarner mais de faire surgir, de l'acte lui-même, ces idées nouvelles. En effet les artistes expriment des propriétés du cerveau que nous devinons mais dont nous sommes encore aujourd'hui incapables de décrire les mécanismes.

La plupart des paradigmes que j'ai mis au point récemment avec les pédopsychiatres pour l'étude des pathologies de l'action, de la mémoire spatiale, de l'attention, sont issus ou ont été inspirés de dispositifs et œuvres d'artistes mettant en jeu le corps, par exemple le « miroir double » utilisé pour l'étude des relations entre soi et autrui chez les patients autistes, schizophrènes et atteints d'anorexie mentale<sup>3</sup>, où l'utilisation d'un paradigme de « funambule virtuel »

1. Ce travail est mentionné dans *La simplicité* (op. cit.).

2. Berthoz, A., Verdier, F. (2022). *Une séance de peinture. Le cerveau entre art et sciences*. Paris: Odile Jacob.

3. Keromnes, G., Motillon, T., Coulon, N., Berthoz, A., Du Boisgheheneuc, F., Wehrmann, M., Martin, B., Thirioux, B., Bonnot, O., Ridereau, R., Bellissant, E., Drapier, D., Levoyer, D., Jaafari, N., Tordjman, S. (2018). Self-other recognition impairments in individuals with schizophrenia: A new experimental paradigm using a double-mirror. *Nature PJ Schizophr.*, 4(1), 24. Lavenne-Collot, N., Tersiguel, N., Dissaux, N., Degrez, C., Bronsard, G., Botbol, M., Berthoz, A. (2023). Self/other distinction in adolescents with autism spectrum disorder (ASD) assessed with a double-mirror paradigm. *PLoS ONE*, 18(3), e0275018.

inspiré à la fois des théories esthétiques des philosophes allemands Theodor Lipps et Friedrich Theodor Vischer, pour l'imitation et le changement de point de vue dans l'empathie<sup>1</sup> et des travaux d'une équipe académique d'arts numériques.

Mais une préface ne doit pas devenir un chapitre, et le foisonnement de commentaires qui m'ont été inspirés par ce livre montre à quel point il est susceptible d'intéresser un très large public et de susciter des débats féconds.

Alain Berthoz

Professeur Honoraire au Collège de France. Membre de l'Académie des Sciences  
et de l'Académie des Technologies, de l'Académie Américaine des Arts et des Sciences,  
et des Académies Royales Belges de Lettres et de Médecine.

---

1. Thirioux, B., Jorland, G., Bret, M., Tramus, M.H., Berthoz, A. (2009). Walking on a line: a motor paradigm using rotation and reflection symmetry to study mental body transformations. *Brain Cogn.*, 70(2), 191-200. Xavier, J., Gauthier, S., Cohen, D., Zaoui, M., Chetouani, M., Villa, F., Berthoz, A., Anzalone, S. (2018). Interpersonal synchronization, motor coordination, and control are impaired during a dynamic imitation task in children with autism spectrum disorder. *Front Psychol.*, 3(9), 1467. Gauthier, S., Anzalone, SM., Cohen, D., Zaoui, M., Chetouani, M., Villa, F., Berthoz, A. (2018). Behavioral own-body-transformations in children and adolescents with typical development, autism spectrum disorder, and developmental coordination disorder. *Front Psychol.*, 25(9), 676.



**Avant-propos**





## Une approche incarnée de la cognition<sup>1</sup>

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, le philosophe et humaniste italien Giambattista Vico s'opposa vigoureusement à l'approche cartésienne de l'esprit, ainsi qu'à la réductionnisme philosophique qui en découlait. Il formula l'expression désormais célèbre : *Verum ipsum factum*<sup>2</sup>, qui peut être considérée comme une manifestation précoce de l'épistémologie constructiviste. Giambattista Vico (1725) utilisa cette expression latine pour exprimer l'idée que la vérité est créée ou produite par l'activité humaine et par l'expérience, plutôt que simplement découverte ou révélée par la pensée. Cette perspective a joué un rôle crucial dans le développement des théories qui plus tard mettront en avant le rôle central de l'activité humaine dans la construction des connaissances. Elle a été adoptée par de nombreuses figures non seulement en philosophie, telles que Kant ou Hegel, mais également en histoire avec Foucault. On en retrouve un écho en psychologie chez les penseurs « pragmatistes » comme James (1892) ou Janet (1889). Selon James (1892), la connaissance est construite activement à travers l'interaction entre l'individu et son environnement. Cette conception sera partagée avec Janet (1889) qui établira que le phénomène psychologique premier n'est ni la sensation ni l'idée, c'est l'action. La connaissance n'est ainsi pas simplement une réception passive de données sensorielles dont on peut extraire par abstraction un ensemble de concepts, mais plutôt un processus actif et dynamique où l'individu joue un rôle déterminant dans la construction de sa représentation du monde. Cette perspective a eu un impact considérable sur l'évolution des recherches sur la cognition humaine, notamment en psychologie, comme en témoignent le travail novateur de Piaget et sa formalisation de l'épistémologie génétique pour rendre compte de la contribution de la sensori-motricité à l'acquisition des connaissances tout au long du développement de l'enfant.

Les recherches en paléocognition<sup>3</sup> suggèrent que l'ancrage de la cognition dans les comportements sensori-moteurs trouve son origine dans l'évolution des espèces (Van der Henst, 2009). En réalité, l'essor de l'humanité, qui a débuté il y a environ sept millions d'années, a eu comme principal effet de doter les préhumains et les humains de capacités cérébrales trois à quatre fois supérieures à celles des autres hominidés<sup>4</sup>. Ce développement cérébral sans précédent trouve en partie son explication dans le changement alimentaire induit par la maîtrise du feu par l'*Homo erectus*, il y a un peu plus d'un million d'années. Cet accroissement cérébral a permis

1. Par **Yann Coello**. Ce livre a été réalisé sous l'égide du Comité National Français de Psychologie Scientifique de l'Académie des Sciences Morales et Politiques.

2. L'expression latine *Verum ipsum factum* (Le vrai est ce qui est fait) se trouve dans le livre *Principi di una scienza nuova* (Principes d'une nouvelle science), publié en 1725.

3. La paléocognition se réfère à l'étude ou à la compréhension des processus cognitifs chez les humains anciens ou préhistoriques, généralement déduite à partir de preuves archéologiques telles que des artefacts, des peintures rupestres ou des restes humains.

4. La famille des hominidés comprend dans l'ordre d'apparition l'orang-outan, le gorille, le chimpanzé (dont le bonobo), et l'humain.

le développement de nouvelles activités physiques et mentales, constituant les prémisses de l'expansion progressive des compétences cognitives au cours du temps. Parmi ces activités, la fabrication d'outils de pierre taillée et la communication gestuelle ont certainement joué un rôle déterminant (Oakley, 1964). Durant le début du Pléistocène, les technologies lithiques se sont en effet développées, contribuant à l'expansion des fonctions cognitives au sein du système nerveux central (Semaw *et al.*, 1997). De fait, la fabrication des outils de pierre taillée implique l'articulation d'un ensemble de fonctions cognitives complexes telles que la planification, la perception spatiale, la coordination œil-main et la manipulation d'objets (Bril, 2015). La création d'outils exige ainsi une capacité à anticiper le produit final, à prévoir les étapes nécessaires pour y parvenir, et à prendre des décisions rapides et précises pendant la fabrication (Stout et Khreisheh, 2015). Les exigences de cet exercice – renforcé par des interactions sociales complexes qui ont joué un rôle crucial dans leur développement et leur transmission – ont probablement été le moteur de l'évolution cognitive chez l'humain<sup>1</sup>. En effet, en reproduisant la création d'outils de cette époque, Stout *et al.* (2008) ont montré que la maîtrise de la taille oldowayenne<sup>2</sup> par l'*Homo habilis* implique une augmentation significative de l'activité cérébrale au niveau du sillon intra pariétal et du gyrus supra-marginal du lobe pariétal inférieur. Chez l'humain moderne, le cortex pariétal inférieur contribue fortement, non seulement à la création et à l'utilisation d'outils, mais également à l'attention visuelle, aux représentations spatiales, aux gestes symboliques, voire aux mathématiques, au langage écrit et au dessin. Ce savoir-faire fut perfectionné au cours des périodes qui suivirent, et la maîtrise de la taille acheuléenne<sup>3</sup> par l'*Homo erectus* implique une augmentation significative de l'activité cérébrale dans les aires communes à celles permettant la taille oldowayenne, mais aussi dans une partie bien précise du cortex préfrontal, le gyrus frontal inférieur du fait de leur plus grande complexité (Stout *et al.*, 2008). Chez l'humain moderne, le cortex frontal contribue fortement non seulement à l'utilisation d'outils, mais également aux activités de planification, de raisonnement, de jugement, de décision, et de mémoire, et également au contrôle moteur, à la régulation des émotions, au comportement social et au langage. Ici, se dessine une continuité frappante entre l'accroissement des activités sensori-motrices, rendu possible par le développement cérébral, et l'expansion des fonctions cognitives.

---

1. Il s'agit du scénario de l'*Homo artifex* (l'homme artisan).

2. Les premiers humains du genre *Homo*, comme l'*Homo habilis*, ont commencé à fabriquer des outils en pierre taillée il y a environ 2,5 millions d'années, utilisant le quartz, le silex, ou la roche volcanique. Ces outils étaient généralement des galets ou des éclats de pierre qui étaient façonnés en bifaces ou en outils plus simples comme des grattoirs ou des hachoirs (taille oldowayenne des outils de pierre).

3. D'autres humains du genre *Homo*, comme l'*Homo erectus*, ont perfectionné la fabrication des outils de pierre taillée il y a environ 1,7 million d'années, utilisant le silex, le quartzite, le basalte, ou d'autres roches dures. La taille de pierre acheuléenne fait référence à une tradition de fabrication du Paléolithique inférieur comprenant des bifaces de forme symétrique, ainsi que des hachereaux avec une arête tranchante sur un bord et une surface de frappe sur l'autre.

Concernant la communication, de nombreuses données expérimentales en psychologie, éthologie et paléanthropologie suggèrent que le système de production du langage oral chez l'humain serait issu du système de communication gestuelle utilisé par l'ensemble des hominidés (Corballis, 2009). Selon cette hypothèse, les gestes communicatifs auraient joué un rôle déterminant dans l'évolution du langage humain et de la communication sociale. Le contrôle des mouvements de la main et de la bouche au sein des mêmes régions du cerveau aurait facilité ce transfert de la communication du geste à la parole (Gentilucci et Dalla Volta, 2008). Selon cette perspective, les gestes auraient joué un rôle fondamental dans le développement de la communication humaine en fournissant le premier système de codage symbolique des interactions sociales. De manière surprenante, chez l'homme moderne les gestes demeurent essentiels dans la communication sociale en accompagnant le langage oral (Corballis, 2009), ou en le remplaçant chez l'enfant pendant la période prélinguistique ou encore chez les personnes malentendantes (Goldin-Meadow, 2003). Par ailleurs, l'observation d'une asymétrie cérébrale chez les grands singes en faveur de l'hémisphère gauche pour les gestes communicatifs, homologue de celle permettant la maîtrise du langage humain, constitue un argument convaincant à l'appui de cette approche théorique reliant geste communicatif et langage oral (Becker *et al.*, 2002).

Considérées ensemble, ces données suggèrent que la cognition humaine trouve ses racines dans les comportements sensorimoteurs ancestraux ayant permis le développement de compétences intellectuelles, représentationnelles et communicatives inédites, à partir du contrôle d'activités motrices et gestuelles devenant sans cesse plus complexes au sein des groupes sociaux. Le livre *Corps, cerveau et processus mentaux: les fondements sensorimoteurs de la cognition*, rédigé collectivement, s'inscrit pleinement dans la tradition des écrits qui soutiennent les approches incarnées de la cognition. En philosophie comme en psychologie, ces approches accordent une importance primordiale au rôle du corps et de l'action dans le fonctionnement cognitif, mettant en lumière le fait que les expériences sensorimotrices et les interactions avec l'environnement façonnent la pensée et les connaissances (Barsalou, 1999; Berthoz, 1997; Clark & Chalmers, 1998; Gallagher, 2005; Gibson, 1979; Lakoff & Johnson, 1980; Shapiro, 2011; Varela *et al.*, 1991). Dans ce contexte, l'objectif de ce livre est de présenter les connaissances les plus récentes sur le plan comportemental et neurophysiologique, permettant d'approfondir notre compréhension des bases sensorimotrices de la cognition. De nombreux champs théoriques sont abordés et sont systématiquement illustrés par des chapitres articulant deux textes complémentaires. Les *Fondements sensorimoteurs de la perception* offrent un large panorama des recherches scientifiques étudiant l'influence des capacités d'actions avec le corps sur la perception visuelle. Les *Fondements sensorimoteurs de l'attention* abordent la question des relations entre l'attention visuo-spatiale et le contrôle de l'orientation du regard en examinant également leurs corrélats neurophysiologiques. Les *Fondements sensorimoteurs de la conscience* explorent le rôle de la fluence motrice dans la conscience phénoménale au sein d'un dialogue continu entre le corps et le cerveau. Les *Fondements sensorimoteurs de l'espace* examinent la segmentation fonctionnelle de l'espace et le rôle différencié des espaces proximal et distal dans les interactions avec

l'environnement. Les *Fondements sensorimoteurs de la mémoire* présentent une perspective théorique suggérant que le système cognitif est par nature un système mnésique et que la mémoire est fondamentalement sensorimotrice. Les *Fondements sensorimoteurs du temps* explorent la notion du temps en tant que résultant de la dynamique spatio-temporelle du corps en mouvement dans un environnement avec lequel il interagit. Les *Fondements sensorimoteurs du langage* abordent le rôle crucial des représentations sensorimotrices dans les traitements sémantique, syntaxique et pragmatique du langage. Les *Fondements sensorimoteurs des nombres* explorent l'hypothèse d'un ancrage sensorimoteur de la cognition numérique s'appuyant sur un recyclage des processus idéomoteurs. Les *Fondements sensorimoteurs des émotions* analysent le rôle déterminant de la dynamique des états corporels – expressions faciales, postures et gestes – et des interactions entre système nerveux périphérique et central dans les expériences émotionnelles. Prenant appui sur divers syndromes psychiatriques, les *Fondements sensorimoteurs du sens de soi* abordent, en population générale et en psychiatrie, le sentiment d'appartenance corporelle et d'agentivité comme une forme préreflexive et minimale de soi qui implique l'intégration de signaux sensoriels provenant du corps propre et de l'environnement. Les *Fondements sensorimoteurs des relations interpersonnelles* examinent le rôle crucial des comportements sensorimoteurs et de l'imitation dans le développement de la communication et de la cognition sociale. Les *Fondements sensorimoteurs des interactions sociales* discutent le rôle des représentations fonctionnelles de l'espace et du contexte émotionnel dans la régulation des distances interpersonnelles, et comment les comportements d'approche et d'évitement influencent l'évaluation subjective des individus. Les *Fondements sensorimoteurs de l'utilisation d'outils* explorent la combinaison des fonctions sensorimotrices et idéomotrices permettant la manipulation des outils ainsi que l'intégration des outils dans le schéma corporel. Enfin, les *Fondements sensorimoteurs de la créativité* abordent la créativité comme une activité déterminée par les états corporels et la simulation motrice. Considérés ensemble, ces chapitres offrent un vaste aperçu des fondements sensorimoteurs de la cognition, en explorant de nombreuses fonctions cognitives, et en offrant une perspective novatrice pour explorer les liens entre *corps, cerveau et processus mentaux*.