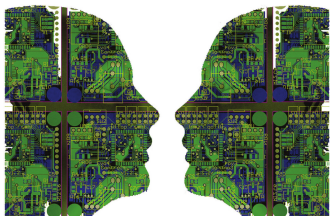


# Intelligence artificielle et « cognition 4E » : un changement de paradigme ?

Pierre Steiner

COSTECH, Université de Technologie de Compiègne

**Journée « Philosophie des sciences et intelligence artificielle »**  
le 2 février 2017, à l'École normale supérieure



Organisée par l'AFIA, la SPS et le DEC

Responsables scientifiques :

Robin Lamarche-Perrin et Daniel Andler



**AFIA**  
Association française  
pour l'Intelligence Artificielle



**DEC**  
DÉPARTEMENT  
D'ÉTUDES  
COGNITIVES

**IEC**  
INSTITUT D'ÉTUDE  
DE LA COGNITION ★

# Intelligence artificielle et « cognition 4E » : un changement de paradigme ?

Pierre Steiner

Université de Technologie de Compiègne / Sorbonne Universités  
(COSTECH – CRED)

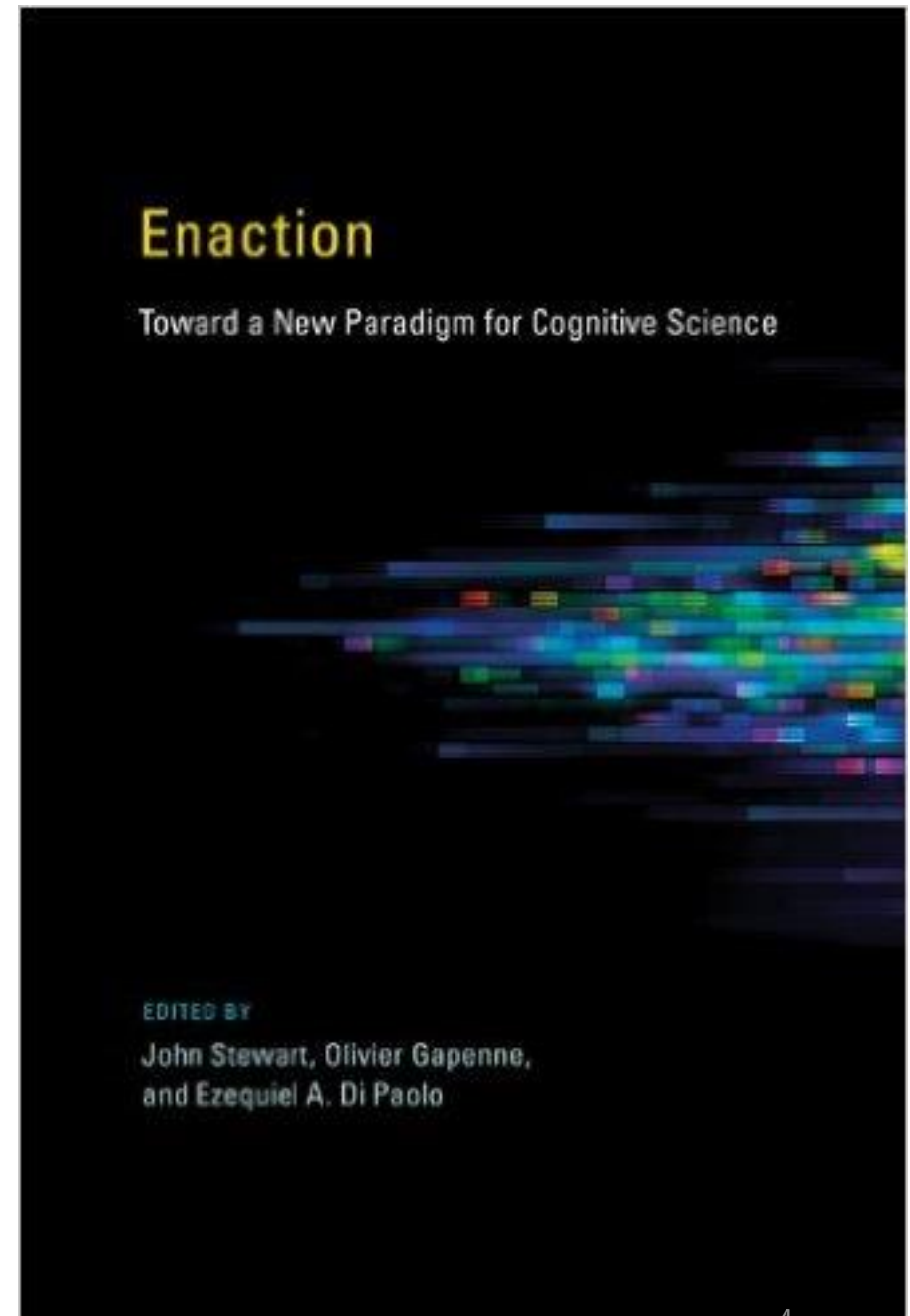
Journée « Philosophie des sciences et intelligence artificielle »  
(SPS/AFIA/DEC), Paris, 2 février 2017



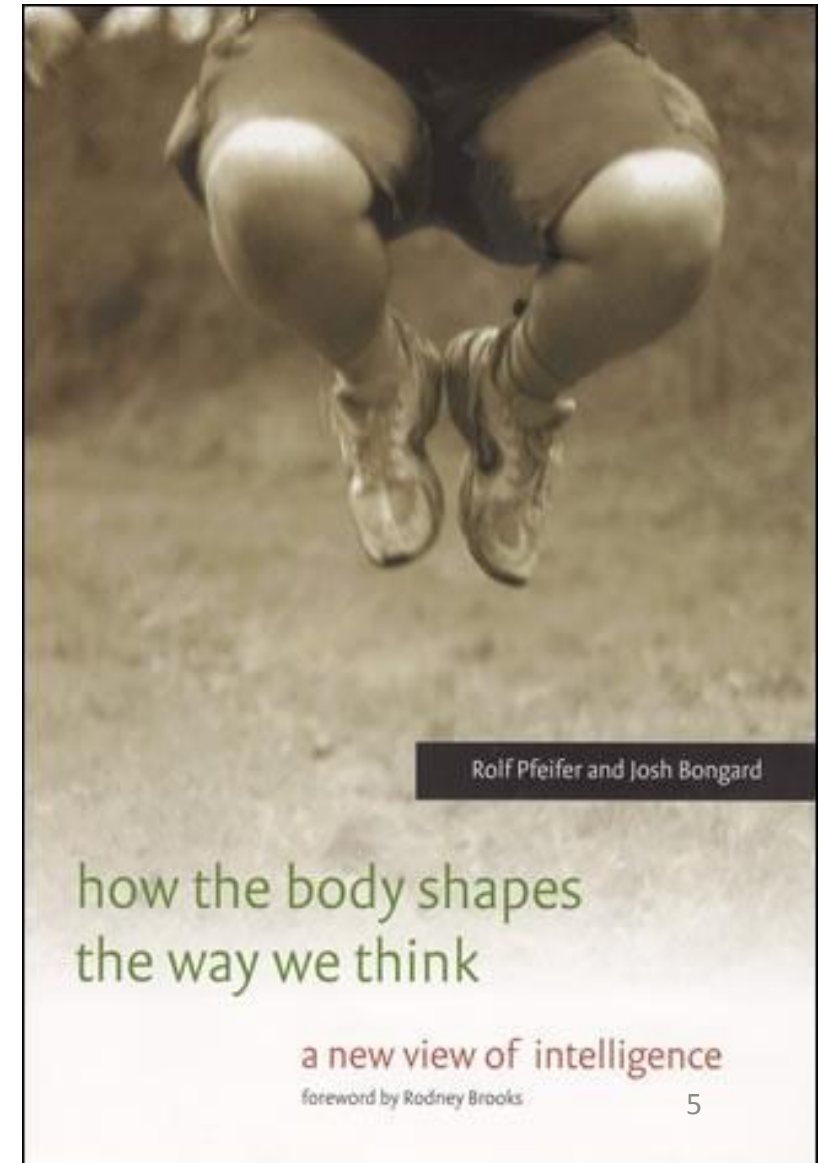
- ” 1. L’IA, les sciences cognitives aujourd’hui, et le concept de « paradigme »
- ” 2. La cognition 4E : prétentions et tensions
- ” 3. IA et cognition 4E: historiquement et philosophiquement, des relations complexes
- ” 4. Une tension particulière au sein de la cognition 4E : le statut du représentationnalisme

# 1. L'IA et les sciences cognitives aujourd'hui, et le concept de « paradigme »

« This program makes a radical break with the formalisms of information-processing and symbolic representations prevalent in cognitive science. In their stead (õ ) cognition is grounded in the sensorimotor dynamics of the interactions between a living organism and its environment » (Stewart, Gapenne and Di Paolo, 2010, p.vii)



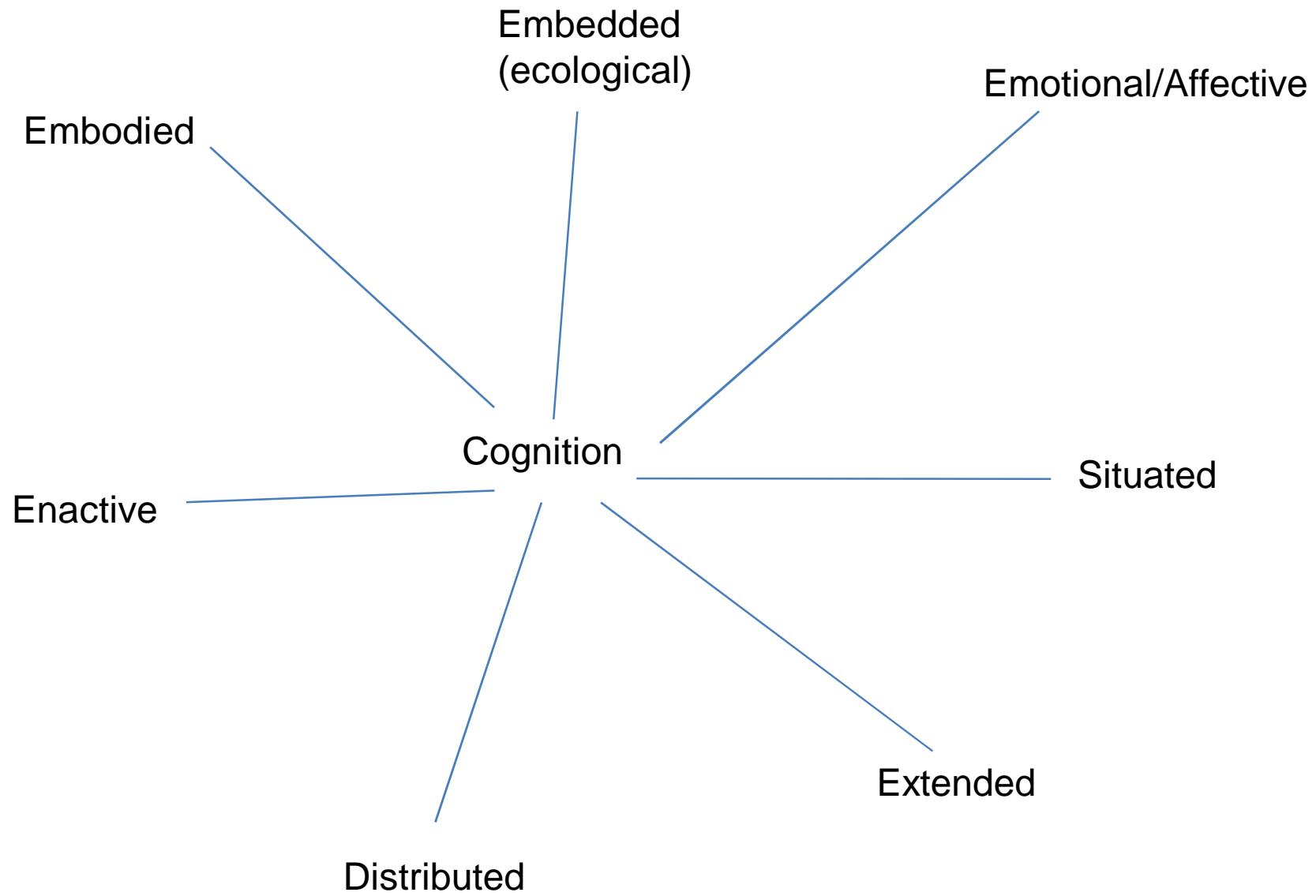
« After outlining the successes and problems of the classical approach we will turn to what we have called « the embodied turn », i.e., the new paradigm for artificial intelligence research » (Pfeifer and Bongard, 2007, p.26)

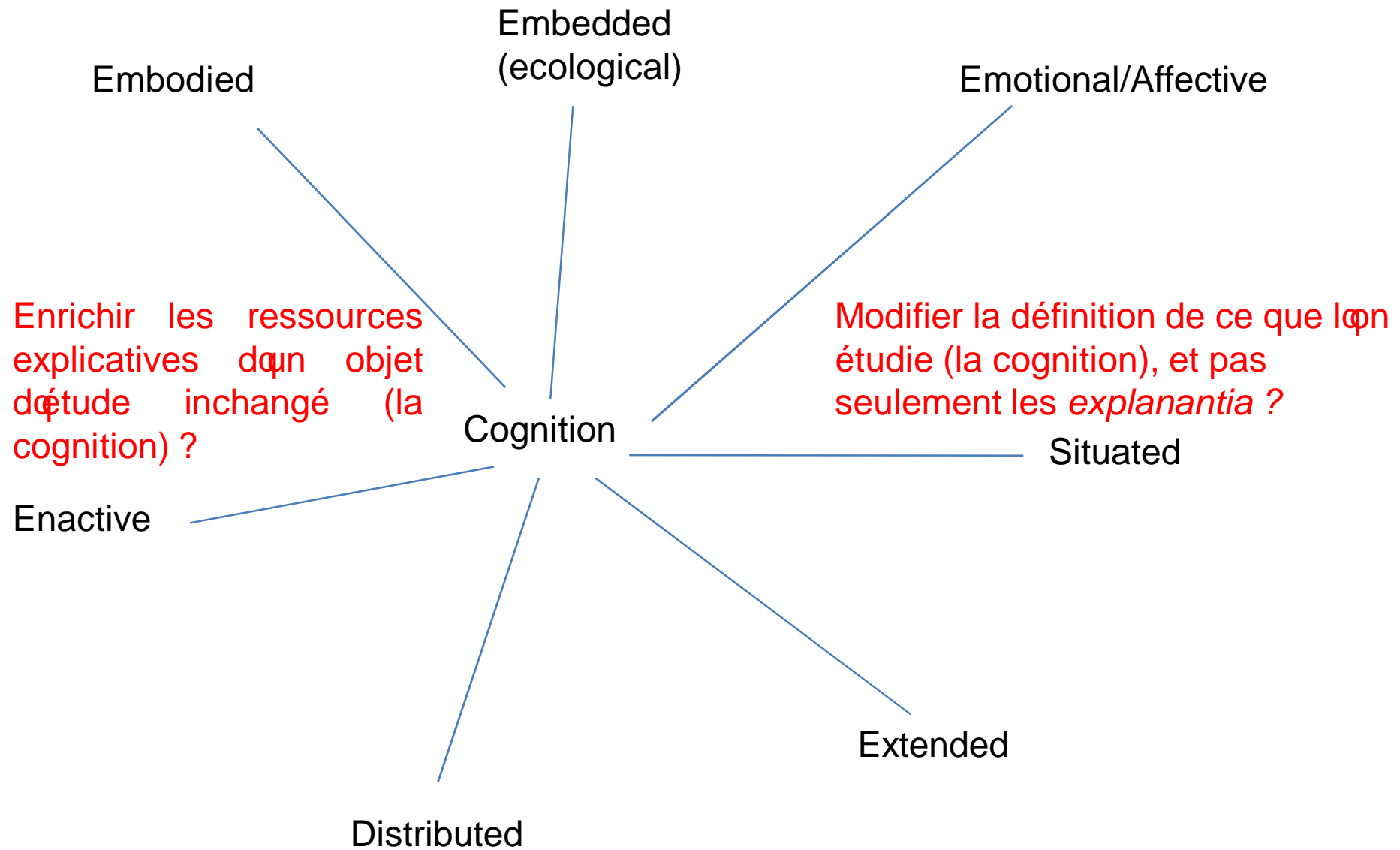


- ” Le concept de « paradigme » : origine, sens et usages
- ” La science, au-delà des théories : paradigmes (Kuhn), programmes de recherche (Lakatos), traditions de recherche (Laudan), styles de recherche (Fleck, Crombie, Hacking), *themata* (Holton)... ?
- ” → Implications pour les sciences cognitives et la « cognition 4E » : (1) dans quel(s) sens parle-t-on de tournant(s) paradigmatique(s) ; (2) ces usages du concept de « paradigme » sont-ils justifiés ?
- ” → Implications pour l’IA : (1) comment caractériser et comprendre les transformations de l’IA ces 20 dernières années ? ; (2) y a-t-il eu des relations entre la « cognition 4E » et ces transformations de l’IA ? Si oui, lesquelles ? Si non, pourquoi ?

## 2. La cognition 4E : prétentions et tensions





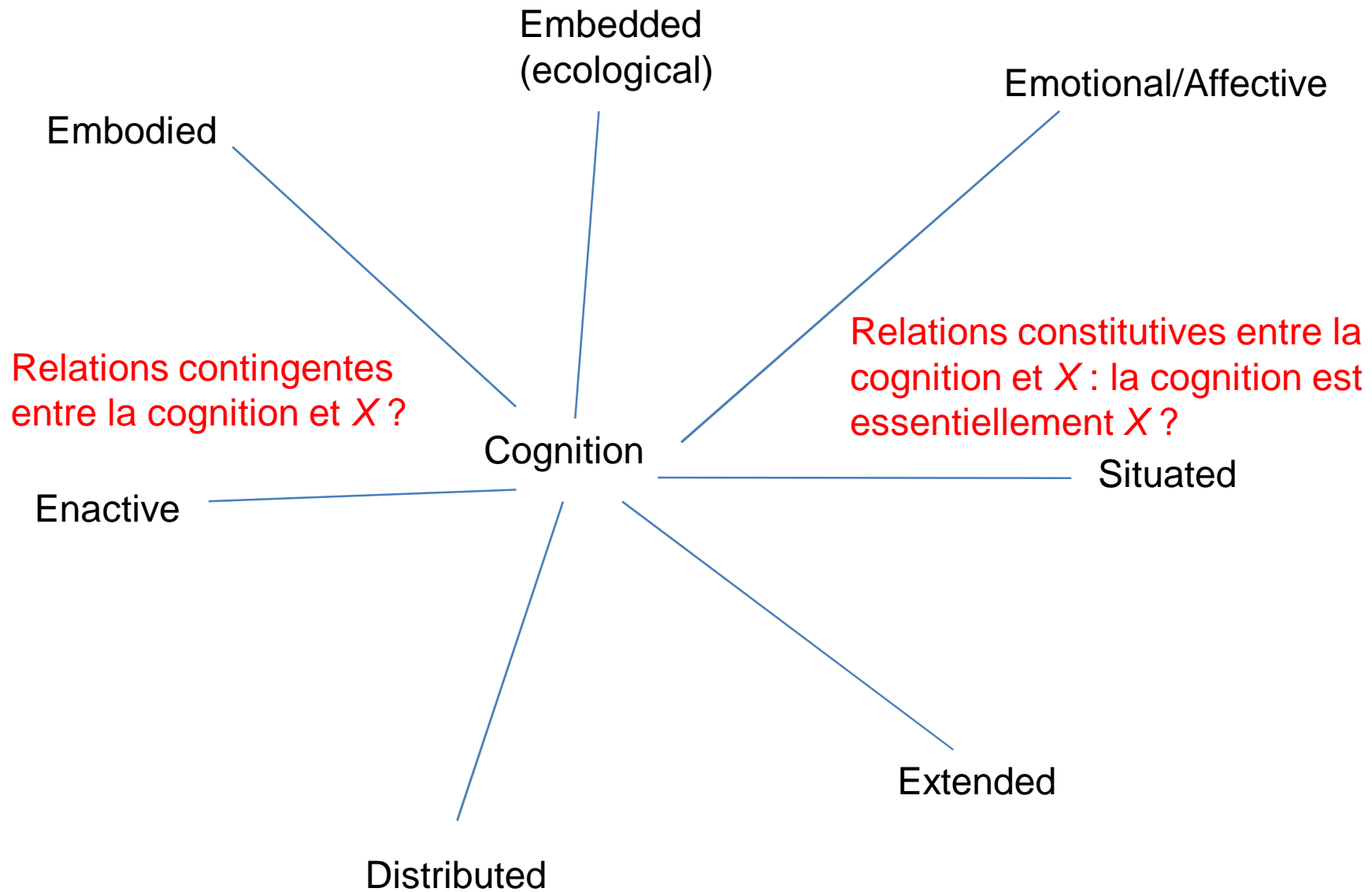


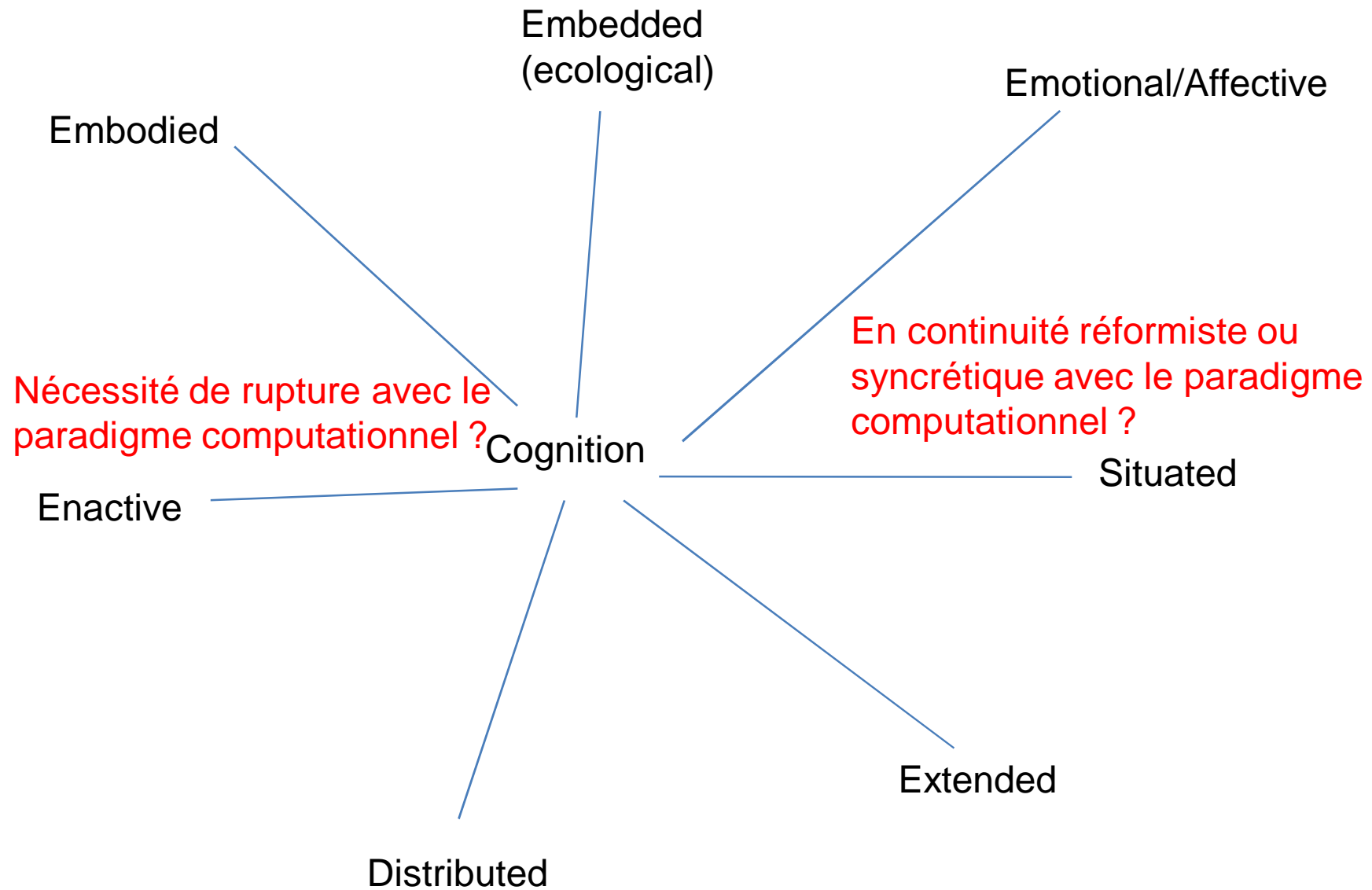
Pour cette tension, cf. Andy Clark, « An embodied cognitive science? », *Trends in Cognitive Sciences*, 3/9, 1999

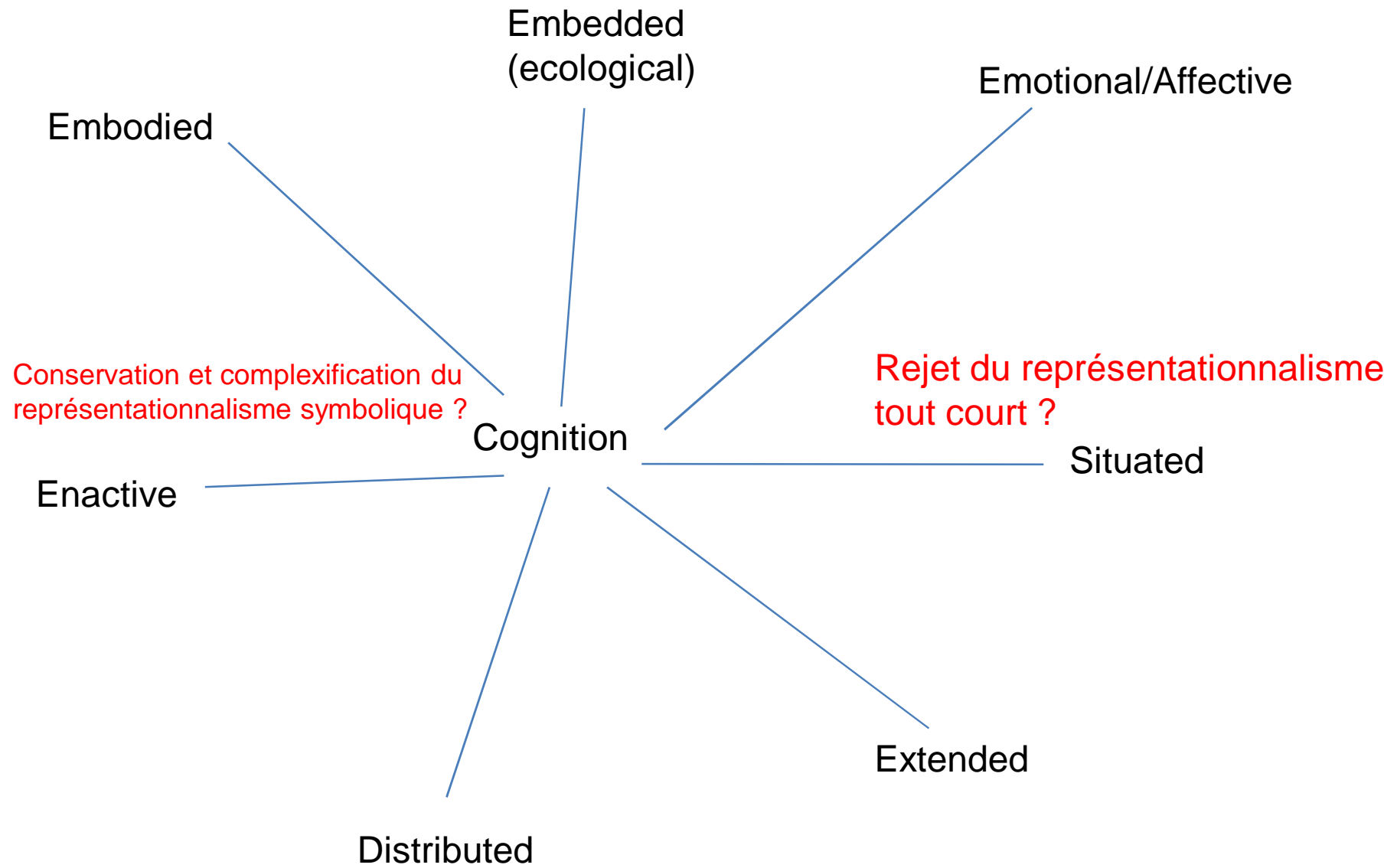
« Of course, human intelligence is embodied and embedded; nobody denies that. The question is how important this fact is to the nature of intelligence.» (John Haugeland, “Mind embodied and embedded”, 1995, repris dans *Having Thought. Essays in the Metaphysics of Mind*, Harvard UP, 2000)

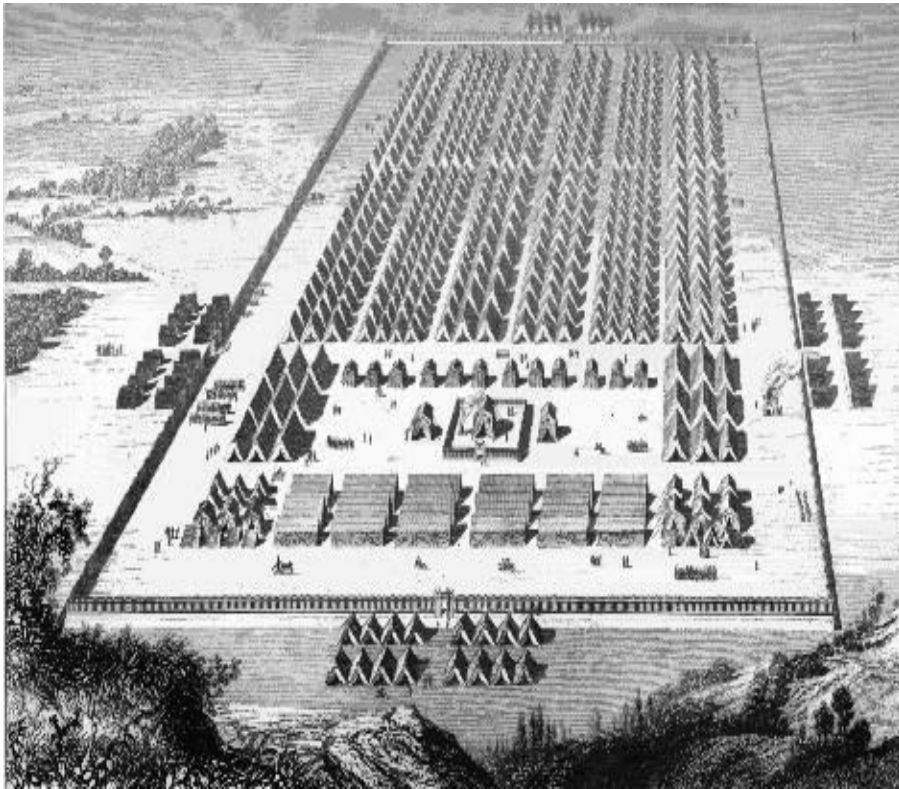
→ Une intelligence qui peut s'exercer à partir de ses relations avec le corps et l'environnement ?

→ Une intelligence qui est constitutivement incarnée et située ?









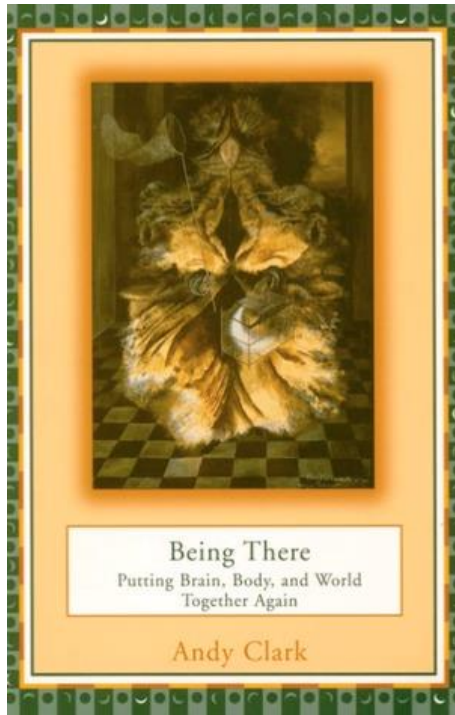
De l'extérieur : *un* paradigme ?

De l'intérieur : des programmes de recherche ?  
Des « assemblages de modèles de essais et d'erreurs » (Lakatos) ?



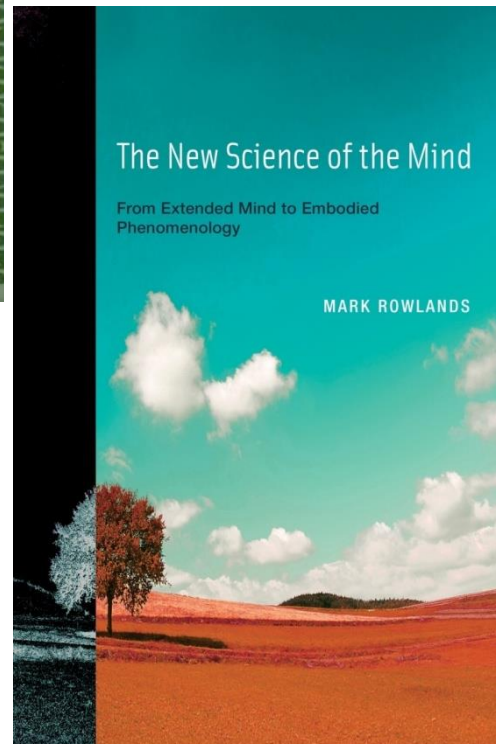


## Continuisme/synchrétisme



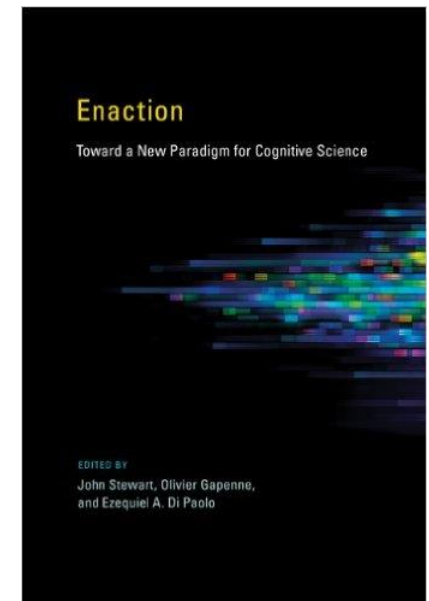
1997

2010

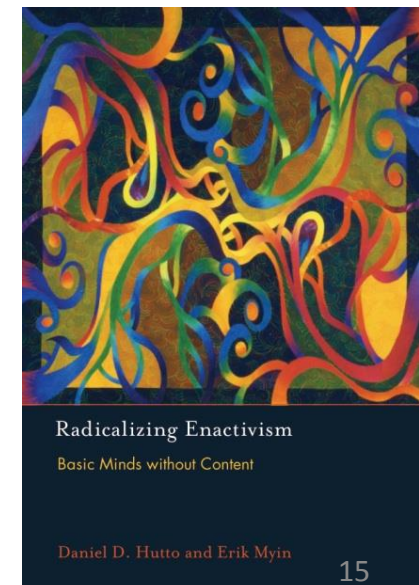


## Rupture/radicalité

2010



2011



2012



- ” « It is a curiosity of the philosophical temperament, this passion for radical solutions. Do you feel a little twinge in your epistemology ? Absolute skepticism is the thing to try... Apparently the rule is this : if aspirin doesn't work, try cutting off your head » (Fodor, 1985)
- ” « Ce ne sont plus des sciences cognitives, mais un retour au béhaviourisme ! »
- ” « Les phénomènes modélisés et les créatures conçues à partir des exigences de la cognition 4E n'ont rien de cognitif, ou se réduisent à la cognition de « bas niveau » »
- ” « *Ces créatures ne font rien d'intelligent !* »

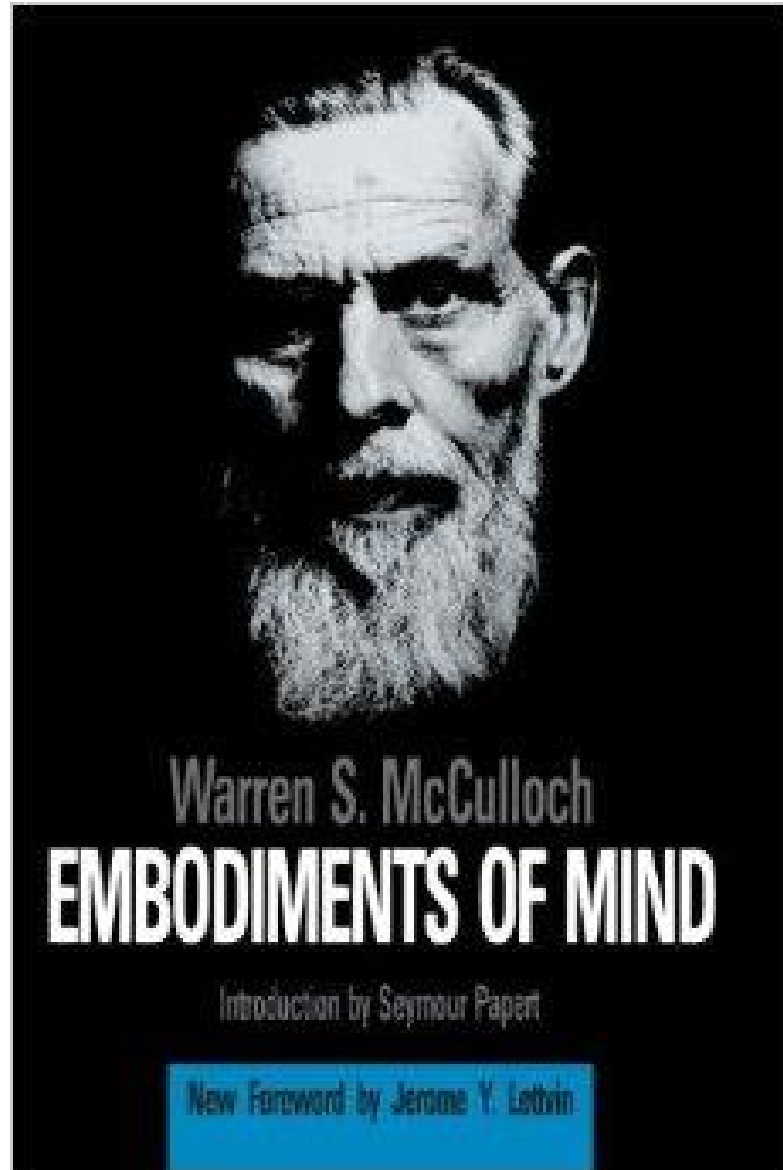
” « L’admission d’un nouveau paradigme nécessite souvent une définition nouvelle de la science correspondante. Certains des anciens problèmes peuvent être abandonnés à une autre science, ou déclarés tout simplement ‘non-scientifiques’. D’autres qui dans le passé n’existaient pas ou étaient de médiocre importance deviendront, avec un nouveau paradigme, le type même de travail scientifique significatif »

Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, 1962, p.148.

Exemple de prétention et de  
tension : la notion d'*embodiment*

# Quel(s) corps pour la cognition incarnée ?

- “ Le corps comme cerveau
- “ Le corps comme substrat matériel
- “ Le corps comme objet de représentation par le système nerveux central
- “ Le corps comme format de représentation : représentations motrices, somato-sensorielles, affectives, interoceptives,...
- “ Le corps comme référentiel spatial
- “ Le corps organique-anatomique : systèmes articulo-musculaire, cardio-vasculaire, digestif, endocrinien, dermal, respiratoire...
- “ Le corps comme générateur d'action
- “ Le corps vécu
- “ Le corps expressif
- “ Le corps affectif
- “ Le corps vivant
- “ Le corps outillé-prothétisé
- “ Le corps situé
- “ Le corps acculturé
- “ Le corps d'autrui
- “ ...



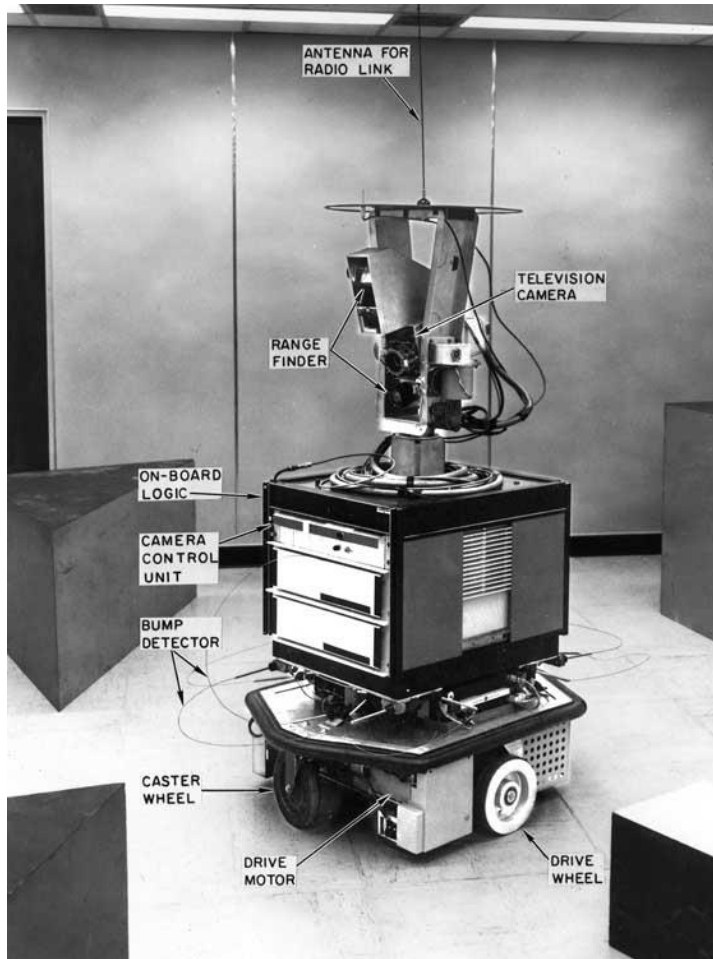
1965

*L'embodiment* comme incarnation  
cérébrale ?

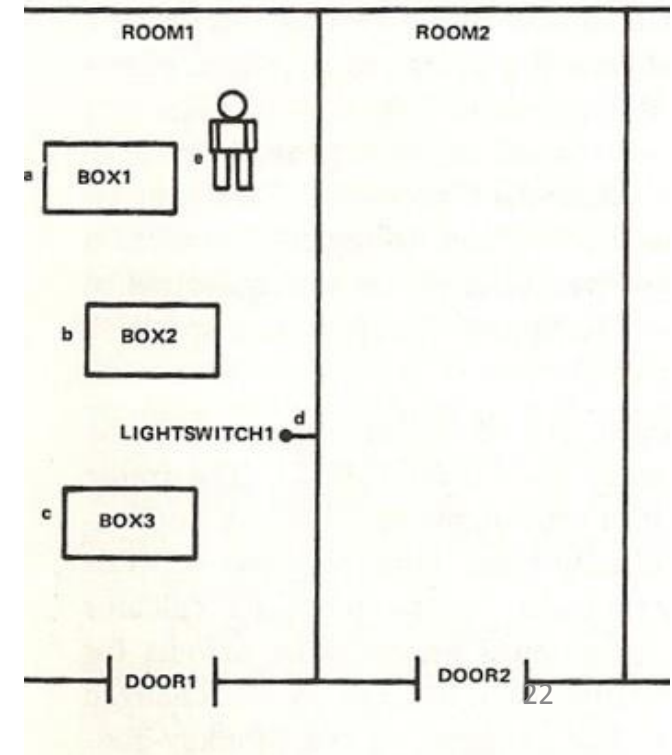
## *L'embodiment* d'un système : différents faits

- “ L'incarnation comme réalisation physique : un *embodiment* fonctionnaliste. Réalisation matérielle du *software*, mais réalisabilité multiple : neutralité du substrat
- “ L'incarnation comme interface pour la perception et effecteur pour l'action : Shakey (1966)
- “ L'incarnation comme réalisation *corporelle* (sensori-motricité, morphologie)
- “ L'incarnation comme réalisation *biologique* (pas de cognition sans corps vivant) : chauvinisme ?
- “ « This is not just the innocuous and obvious claim that we need a body to reason; rather, it is the striking claim that the very structure of reason itself comes from the details of our embodiment » (Lakoff et Johnson, 1999, p.4)

# Shakey (1966)



"Environnement aseptisé  
"Rapport indirect à l'environnement, via des descriptions symboliques  
"Fonctionnement à partir d'une architecture *sense-model-plan-act*



Raisonnement, orientation et action à partir d'instructions et d'une production/calcul sur des représentations

Le corps est un *contenant* neutre

# *L'embodiment* comme couplage

- “ « Software systems with no body in the usual physical sense can be intelligent. But they must be "embodied" in the situated sense of being autonomous agents structurally coupled with their environment.

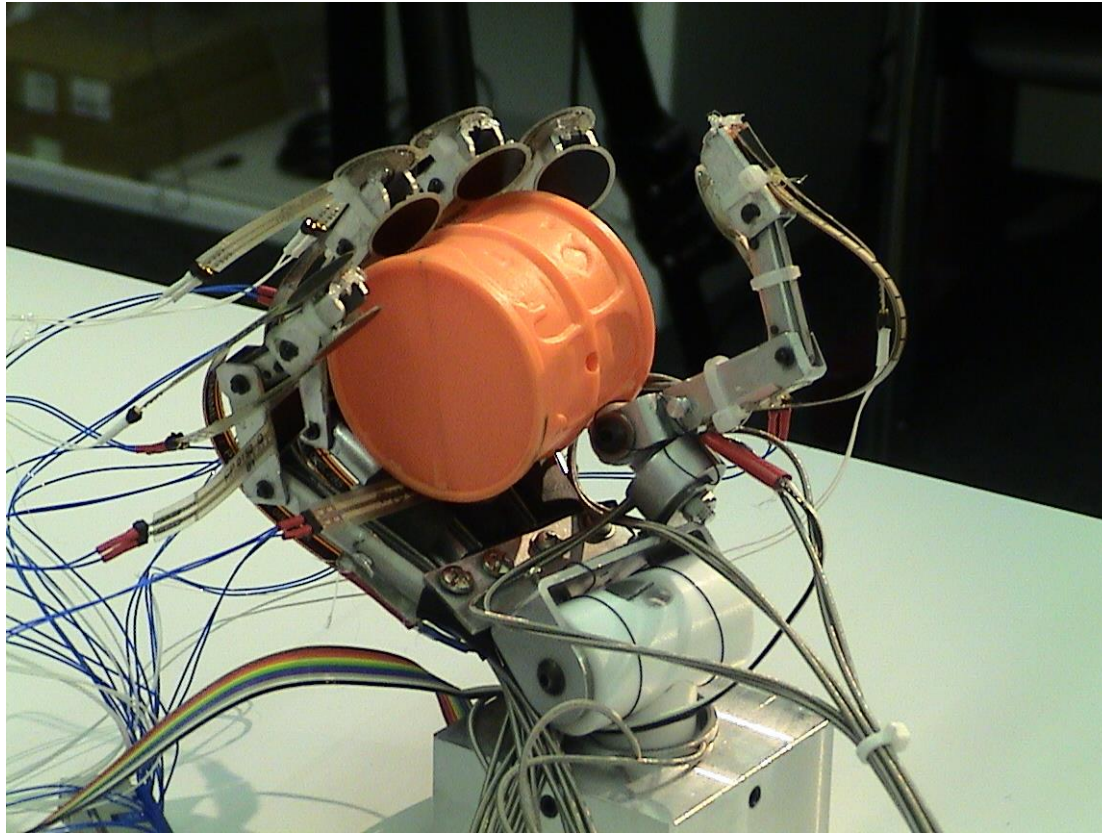
An embodied architecture must have at least the primary elements of an autonomous agent, sensors, actions, drives, and an action selection mechanism. Physical embodiment will, of course, constrain the sensors and actions but not the drives and action selection »

- “ Stanley Franklin, « Autonomous agents as embodied AI », *Cybernetics and Systems*, 28, 499-520, 1997



Embodiment comme stratégie explicative, et pas  
seulement comme fait

” « The concept of embodiment not only implies that the agent must have a body – obviously robots do have bodies – it also means that one should follow a particular style of thinking when building robots or generally intelligent systems; one should design with a particular theoretical attitude in mind, as we will elaborate in this book » (Pfeifer & Bongard, *How the body shapes the way we think. A new view of intelligence*, 2007, p.29)



Computation morphologique, Hiroshi Yokoi et Gabriel Gomez

# Deux variétés d'embodiment

## ASIMO vs. Passive Dynamic Walkers



ASIMO : mobile et incarné, mais le rôle du corps est très limité  
Le corps est un *problème* : comment contrôler les angles des joints, les articulations, etc.  
Les mouvements sont contrôlés

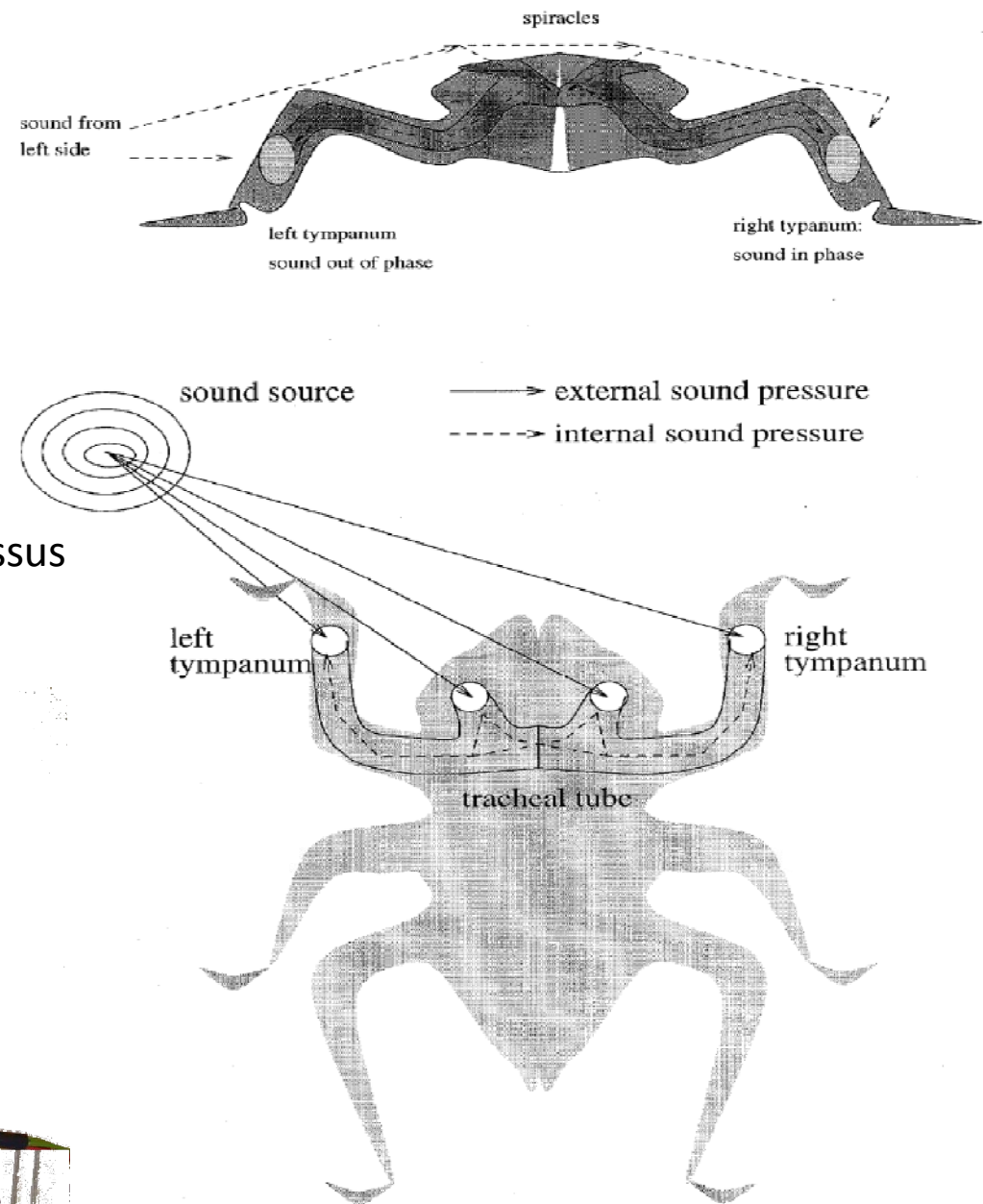
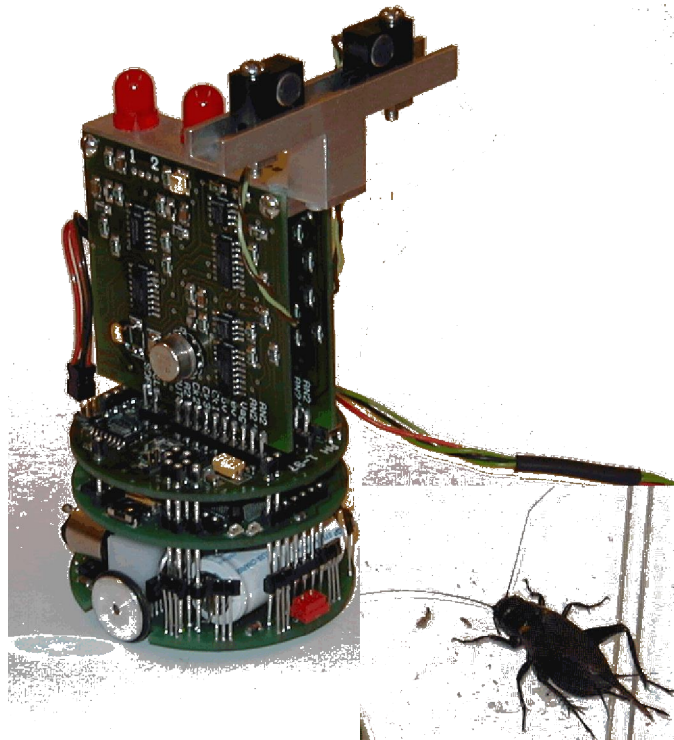


Tirer parti de la structure et de l'activité du corps pour résoudre le problème  
Le corps est une partie de la solution

S.Collins, A.Ruina, R. Tedrake, M.Wisse,  
« Efficient bipedal robots based on passive-dynamic walkers », *Science* 307, 2005, 1082

Barbara Webb, « A cricket robot », *Scientific American* 275 (6), 1996

L'architecture anatomique et morphologique d'un organisme comme ressource des processus cognitifs de cet organisme



### 3. IA et cognition 4E: historiquement et philosophiquement, des relations complexes

3. Une influence de la mouvance 4E sur lqA (« embodied AI », « enactive AI », robotique,õ )

2. Une influence de résultats et travaux ddA (Brooks, Agre et Chapman, Ballard, Flores et Winograd,õ ) sur les prémisses de cette mouvance (voir Clark, 1997 ; Varela, Thompson et Rosch, 1991 ; Haugeland, 1995 ; McClamrock 1995)

1. Ces travaux ddA (depuis 1985) sont en partie issus de transformations (objectifs, prétentions, moyens) provoquée par une critique de lqA qui soulignait *déjà* les dimensions incarnées et enchâssées de la cognition : Hubert Dreyfus (1974)

3. Une influence de la mouvance 4E sur lqA (« embodied AI », « enactive AI », robotique,õ )

2. Une influence de résultats et travaux ddA (Brooks, Agre et Chapman, Ballard, Flores et Winograd,õ ) sur les prémisses de cette mouvance (voir Clark, 1997 ; Varela, Thompson et Rosch, 1991 ; Haugeland, 1995 ; McClamrock 1995)

1. Ces travaux ddA (depuis 1985) sont en partie issus de transformations (objectifs, prétentions, moyens) provoquée par une critique de lqA qui soulignait *déjà* les dimensions incarnées et enchâssées de la cognition : Hubert Dreyfus (1974)

# De la cognition 4E vers l'IA

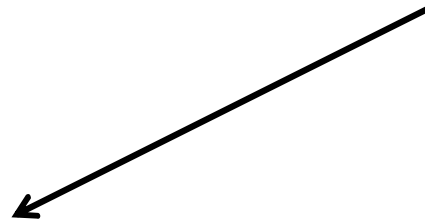
- “ De nouvelles ressources et méthodes pour construire/simuler un système intelligent, et dépasser des limites antérieures ?
- “ De nouvelles contraintes pour qualifier un système construit/simulé de système intelligent, et plus généralement pour évaluer les succès de l'IA ?
- “ Redéfinition de ce qui est à simuler/reproduire : des systèmes situés/incarnés
- “ De nouveaux enjeux pour penser les conséquences cognitives des technologies ?



## De la cognition 4E vers l'IA : un exemple

- ” Froese et Ziemke, « Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind”, *Artificial Intelligence*, 173/3-4, March 2009, pp. 466–500
- ” Insuffisance des approches incarnées et situées pour aborder l'enjeu du *sens* et de la *compréhension*
- ” Insistance sur les dimensions et enjeux biologiques de l'*embodiment* : de l'*embodiment* à l'*enaction*
- ” “The conceptual framework provided by the development of the enactive approach in the cognitive sciences might be exactly what is required in order to move the field of embodied AI into its next phase” (p.475)
- ” Autonomie, adaptivité, agentivité, “sense-making”,...

3. Une influence de la mouvance 4E sur lqA (« embodied AI », « enactive AI », robotique, ã )

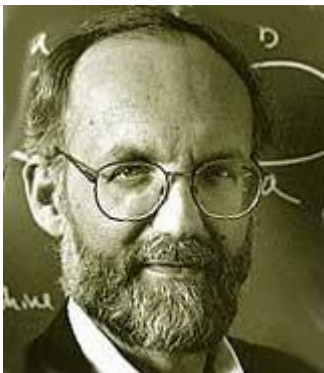


2. Une influence de résultats et travaux dñA (Brooks, Agre et Chapman, Ballard, Flores et Winograd, Beer ã ) sur les prémisses de cette mouvance (voir Clark, 1997 ; Varela, Thompson et Rosch, 1991 ; Haugeland, 1995 ; McClamrock 1995)

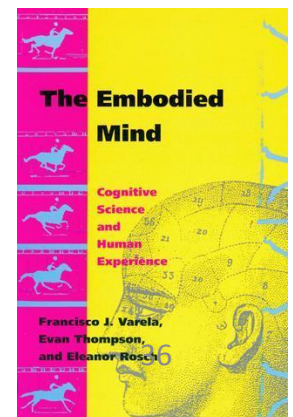
1. Ces travaux dñA (depuis 1985) sont en partie issus de transformations (objectifs, prétentions, moyens) provoquée par une critique de lqA qui soulignait *déjà* les dimensions incarnées et enchâssées de la cognition : Hubert Dreyfus (1974)

- ” **H.P. Moravec**, « Locomotion, vision and intelligence », in M.Brady and R.Paul, *Robotics Research* 1, MIT Press, 1984 :
- ” « Developing a responsive mobile entity is the surest way to approach the problem of general intelligence in machines (...) I conclude that a mobile way of life favors general solutions that tend towards intelligence, while non-motion favors deep specializations »
- ” **T. Winograd et F. Flores**, *Understanding computers and cognition*, Ablex, 1986
- ” **Ph. Agre et D.Chapman**, « Pengi: an implementation of a theory of activity », AAAI National Conference, Morgan-Kaufman, 1987
- ” **Phil Agre**, *The Dynamic Structure of Everyday Life*, MIT Artificial Intelligence Lab, 1988.
- ” **Rodney Brooks** , « Intelligence without representation », publié en 1991, soumis en 1987
- ” « This is not German philosophy ! »
- ” « Intelligence without reason », 1991 : Situatedness (« the world is its own best model »), Embodiment (« the world grounds regress »), Emergence
- ” **R.Beer, H.Chiel et L.Sterling**, “A biological perspective on autonomous agent design”, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 6, 1990.
- ” **Dana Ballard**, "Animate vision," *Artificial Intelligence Journal*, 48, 57-86, 1991

- “ Jon Barwise (1987). Unburdening the language of thought. *Mind and Language*, Vol.2, N°1, 82-96.
- “ Experience de pensée portant sur la conception d’un robot, “Domino”
- “ Possibilités d’*inférences computationnellement situées* : l’inférence est valide et légitime dépendamment de paramètres qui ne sont pas *représentés* dans l’espace computationnel
- “ “The richer we can make an artificial agent’s interaction with us and our environment, the less brittle will be their use of something vaguely approaching natural language” (p.95)



- ” Varela, Thompson et Rosch, *The Embodied Mind*, 1991, chap.9, section « Les sciences cognitives dans la perspective de l’énaction »
- ” Références aux travaux de Brooks, notamment au texte « Intelligence without representation » (1987)
- ” → « Cet exemple de ce que nous appelons l’IA procédant de l’énaction est distinctement et clairement présenté comme tel par ceux qui le proposent (bien évidemment, ils n’emploient pas notre terme *enaction* ; ils préfèrent parler de « nouvelle IA ») »



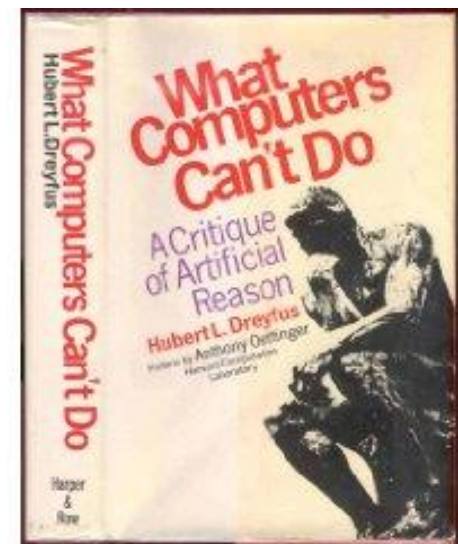
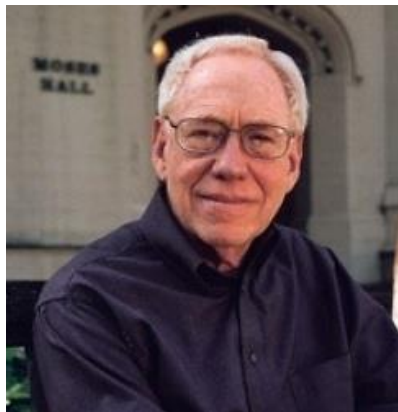
3. Une influence de la mouvance 4E sur lqA (« embodied AI », « enactive AI », robotique, etc )

2. Une influence de résultats et travaux dda (Brooks, Agre et Chapman, Ballard, Flores et Winograd, etc ) sur les prémisses de cette mouvance (voir Clark, 1997 ; Varela, Thompson et Rosch, 1991 ; Haugeland, 1995 ; McClamrock 1995)



1. Ces travaux dda (depuis 1985) sont en partie issus de transformations (objectifs, prétentions, moyens) provoquée par une critique de lqA qui soulignait *déjà* les dimensions incarnées et enchâssées de la cognition : Hubert Dreyfus (1972)

- ” Hubert Dreyfus, 1972, critique de l’IA « prométhéenne »
- ” Engagement dans le monde, être en situation, à la source de l’intelligence humaine
- ” Critique de l’intellectualisme, pour lequel toute connaissance (y compris le savoir-faire) relève de la possession et de l’usage de propositions
- ” Chapitre 9 : « Le rôle du corps dans l’exercice de l’intelligence »
- ” « Répétons-le, du fait que nous avons un corps, nous n’avons que faire, pour agir, des règles qui seraient nécessaires pour décrire objectivement notre compétence »

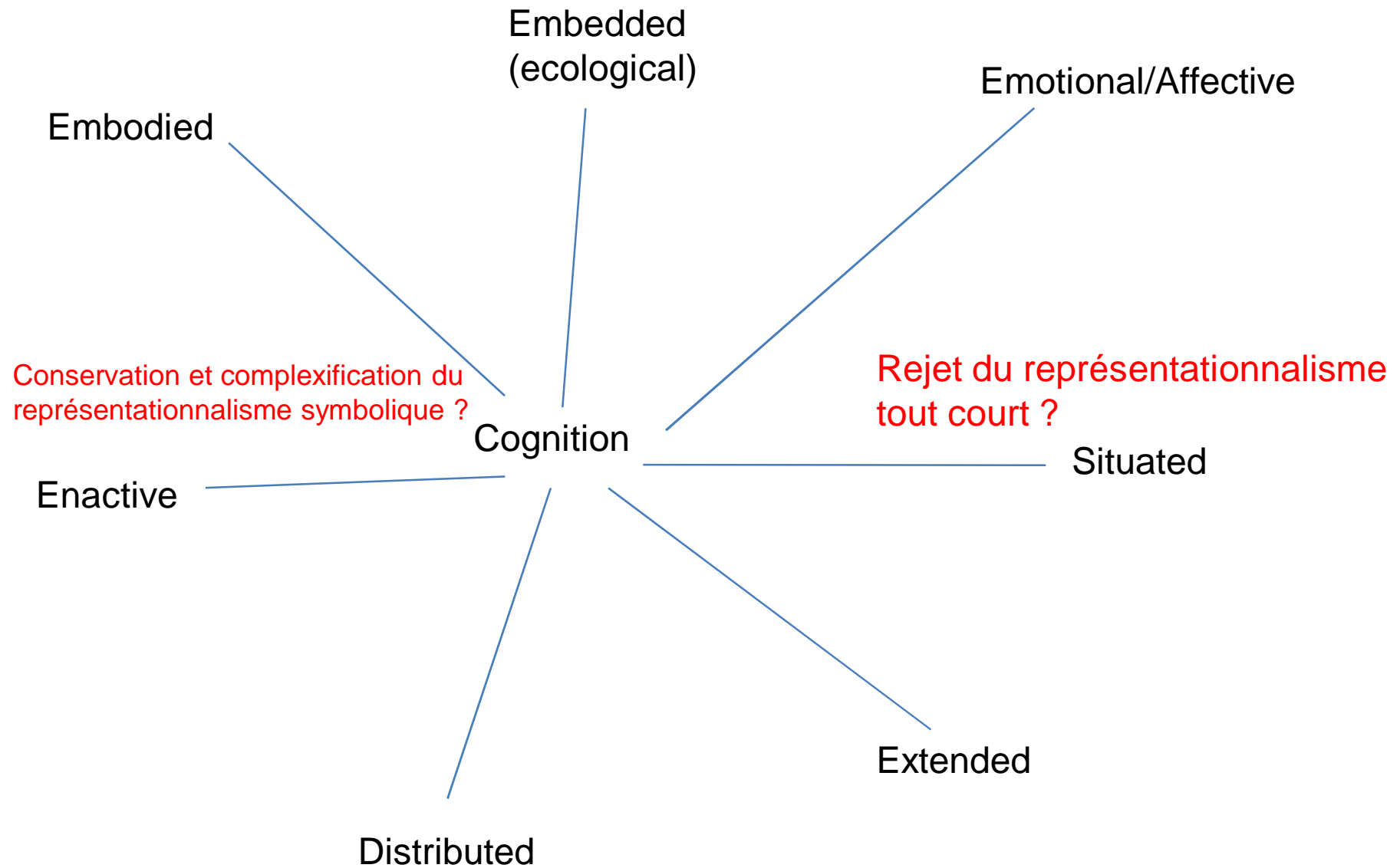


- ” « Un ordinateur, du fait qu’il ne se trouve pas à *l’intérieur* d’une situation, est contraint de traiter *tous* les faits, systématiquement, comme pouvant avoir rapport à la question. » (1972, p.332)
- ” « Lorsque nous sommes ‘chez nous’ dans le monde, les objets chargés de sens au milieu desquels nous vivons, enchâssés dans leur contexte de références, ne constituent pas *un modèle* du monde, stocké dans notre esprit ou notre cerveau : *ils sont le monde même* » (Dreyfus, 1972, p.342)



4. Tensions dans la « Cognition  
4E » : quelle radicalité, quel  
statut pour la notion de  
représentation ?

- ” H.Dreyfus, « Why Heideggerian AI failed and how fixing it would require making it more Heideggerian », *Artificial Intelligence* 171 (18), 2007, 1137-1160
- ” Limitations et échecs de l’ « IA heideggerienne » pour répondre au problème du cadre et au problème de la compréhension du sens
- ” De nombreux discours philosophiques portant sur les réalisations de la cognition 4E sont en réalité des *régressions* vers la GOFAI : cf. Michael Wheeler et les « action-oriented representations »



## Versions représentationnalistes de la 4E cognition :

- ” (V1) Pertinence d’une approche non-représentationnelle pour la cognition « on-line », sensori-motrice ; nécessité d’une approche représentationnelle pour la cognition abstraite, « off-line », « de haut niveau »
- ” (V2) L’incarnation et la situation est une question de représentation : construire des représentations plus variées, plus souples, dans des architectures décentralisées
- ” L’incarnation conçue comme *fait représentationnel* vs. l’incarnation comme *fait premier* (mais de portée limitée) *n’appelant pas d’explication représentationnelle*

## Un sens exigeant et radical dq « embodiment »

- ” “One way to use ‘embodiment’ is to emphasize the role of the particular properties of the body in shaping our cognitive capacities (...) Such a use of the notion of embodiment is in no way incompatible with a traditional cognitive science approach, in which computations and internal representations are assigned a key role for explaining our cognitive capacities. In particular, one could conceive of specifics of the body as constraining the form or content of our representations or computations. In the sense of ‘embodied’ at stake here, ‘embodied’ is used in contrast with ‘representational’, *such that saying that some capacity is embodied is to deny that it involves internal representations*” (Erik Myin et Jan Degenaar, “Enactive vision”, in L.Shapiro (éd.), *Routledge Handbook of Embodied Cognition*, 2014, p.90).

- ” « Even at a local level we do not have traditional AI representations. We never use tokens which have any semantics that can be attached to them » (Brooks, 1991, 144)
- ” « Representation is the wrong unit of abstraction in building the bulkiest parts of intelligent systems » (Brooks, 1991)
- ” Représentations explicites, représentations centralisées, représentations symboliques, représentations manipulables, représentations *tout court* (Brooks, 1991)
- ” Une interprétation représentationnelle est toujours possible, mais est-elle pour autant payante ?
- ” « If the mechanisms underlying situated, embodied cognitive behavior look nothing like re-presentations, and they act nothing like re-presentations, then they are not representations, and continuing to call them representations is just going to confuse everyone » (Beer, 2003, p.239 – « Dynamical Systems and Embedded Cognition »)

# Conclusion

- “ Diversité de la « cognition 4E » et revendication « paradigmatique » : force ou faiblesse ?
- “ Les relations entre l’IA et la cognition 4E : historiquement et épistémologiquement, dans les deux sens
- “ L’enjeu du représentationnalisme, y compris en IA

**FIN**