

Conclusion

Rassembler dans un ouvrage des travaux de chercheurs francophones associant systèmes artificiels, cognition et approche dynamique est encore actuellement une gageure. En effet, il n'existe pas encore de communauté instituée se réclamant d'une approche « dynamique » de la cognition. C'est à travers des travaux multiples, parfois contradictoires, que nous avons tenté de définir cette ligne de recherche. A l'issue de la lecture des différents chapitres de cet ouvrage, on pourrait identifier cette ligne à un éclairage visant à mettre en avant l'interaction plutôt que l'individu, la transition plutôt que la structure, l'apprentissage plutôt que la connaissance. Sous cet aspect, la cognition ne peut être vue comme le simple produit de la machinerie corporelle – ou, de façon équivalente, d'une machine logique – mais doit correspondre à une activité au carrefour des processus cellulaires, physiologiques, locomoteurs, relationnels et sociaux.

La synthèse d'un « animat », qui sert de fil conducteur à cet ouvrage, semble provisoirement écarter le projet prométhéen d'un système artificiel dont les compétences rejoindraient celles de l'humain. En s'intéressant à des systèmes aux compétences plus limitées, le débat est recentré sur un aspect plus fondamental de toute relation au monde qui est l'interaction physique, corporelle, immédiate : le frottement, la préhension, la douleur, la faim, la soif, la fatigue. Cette mise en avant du corps fait surgir des perspectives trop vite écartées par les tenants d'une approche plus formelle de la cognition. En extrayant la cognition du « carcan » du raisonnement, on vise à « renaturaliser » la cognition en la rattachant à des processus physiques et physiologiques inhérents aux systèmes vivants.

Dans ce cadre, on utilise le corps et la « physiologie » simplifiée d'un animat en guise d'outil théorique d'étude des processus d'interaction corps-environnement. On impose au système cognitif d'être relié aux capteurs et aux actionneurs d'un corps robotique, c'est-à-dire la contrainte d'un ancrage corporel. Cette démarche vise à

identifier les difficultés de conception propres à la synthèse d'un corps complet, et en particulier à identifier *in situ* les interactions entre les composants fonctionnels de l'animat. Elle vise aussi à explorer les limites de l'analogie entre un corps artificiel et un corps vivant, et à marquer plus clairement la frontière de démarcation entre les propriétés qui relèvent de l'artificiel, celles qui relèvent de l'organique et celles qui peuvent être vues comme communes (le recouvrement maximal étant bien sûr le but recherché). D'un point de vue plus pragmatique, l'ancrage corporel permet d'exposer directement un système cognitif à des perturbations naturelles, en « plongeant » notre système dans un environnement véritablement non stationnaire, c'est-à-dire plus complexe et plus imprévisible que les modèles de bruit couramment utilisés en simulation. De telles perturbations peuvent modifier de façon fondamentale le comportement du système.

Cette approche située a paradoxalement essaimé dans le champ des simulations informatiques. Ce cadre restreint à sa définition la plus faible la contrainte d'ancrage corporel : le corps de l'agent se définit comme un lieu de l'environnement virtuel, ce qui contraint son champ de perception et d'action. L'intérêt des simulations est l'étude des comportements à grande échelle, et en particulier les interactions entre les systèmes et leurs milieux physiques et sociaux. Les simulations informatiques rendent également possible l'analyse de comportements non linéaires, dont les changements sont souvent contre-intuitifs. Elles fournissent en effet des résultats quantifiables qui peuvent être générés en abondance et qui se prêtent ainsi, mieux que leurs équivalents biologiques, à une analyse en termes de systèmes dynamiques (identification d'attracteurs comportementaux et sociaux, étude de la stabilité ou de la multistabilité des structures sociales, etc.).

L'approche dynamique, en retour, apporte une contribution importante à la façon de concevoir des systèmes artificiels cognitifs situés. Elle permet en particulier de distinguer deux aspects complémentaires de la cognition située :

1. l'activité cognitive repose sur une interaction réciproque entre un corps et un environnement, qui implique au même degré l'action de l'agent sur l'environnement que celle de l'environnement sur l'agent. En ce sens, l'activité cognitive ne peut être totalement détachée de ce processus englobant et ne doit pas être vue comme strictement individuelle. En inscrivant la cognition au cœur du processus d'interaction, on en dessine le nouveau contour, à la fois plus vaste et plus éphémère ;

2. l'activité cognitive inscrite dans un corps interagissant n'est pas strictement identifiable à une dynamique d'interaction. Il est en effet une autre caractéristique fondamentale des organismes vivants à prendre en compte : leur autonomie, c'est-à-dire leur capacité à agir selon leur propre loi, qui s'exprime en termes de dynamique interne.

Il s'ensuit donc une tension, un conflit potentiel entre la dynamique interne et les contraintes d'interaction avec l'environnement. C'est de ce processus doublement contraint que semble surgir l'activité cognitive. En effet, un agent réagissant passivement aux seuls signaux de l'environnement, bien qu'interagissant, n'a pas d'initiative, ne produit pas de « choix », ne prend pas en compte le passé. A l'opposé, un agent ne prenant en compte que son état interne pour déterminer son action n'est en aucune façon adapté ni adaptable. Deux caractéristiques contradictoires d'une aptitude cognitive complexe – l'adaptabilité et la prise de décision – nécessitent, d'une part, de prendre en compte les caractéristiques de l'environnement, d'autre part de piloter les actions par une loi interne. C'est dans le cadre d'un processus d'interaction que ces deux tendances doivent s'équilibrer, favorisant d'un côté la réactivité, et de l'autre l'initiative, l'action « construite ».

On récapitulera enfin les quatre atouts essentiels qui distinguent la démarche proposée au cours de cet ouvrage d'une démarche computationaliste ou connexionniste classique (Beer, 2000)¹. Le premier est qu'elle intègre naturellement l'idée que les capacités adaptatives d'un agent corporellement ancré et situé émergent d'une interaction constante entre son système nerveux, son corps et son environnement. Le second est qu'elle incorpore explicitement une dimension temporelle qui est essentielle dans l'étude de la cognition. Le troisième est qu'elle ne rend pas nécessaire l'interprétation des processus cognitifs en termes de symboles et de représentations et qu'elle laisse le champ à d'autres alternatives. Le quatrième enfin est qu'elle propose un « langage » commun qui peut établir des liens entre la cognition et les processus nerveux qui la sous-tendent, les comportements non cognitifs que l'homme effectue aussi, et les simples comportements adaptatifs des animaux. Cette approche peut ainsi également contribuer à enrichir nos connaissances sur le développement ontogénétique et phylogénétique des processus cognitifs. Elle peut aussi permettre d'envisager une *continuité* entre les capacités adaptatives encore primitives des systèmes artificiels actuels, celles plus élaborées des animaux, et la complexité de l'intelligence humaine.

Au terme de ce parcours, on soulignera également un certain nombre de difficultés conceptuelles et théoriques propres à cette approche, qui peuvent en limiter l'usage ou la portée. Une des premières difficultés, inhérente à l'approche animat, est qu'elle nécessite pour concevoir un système artificiel une « démarche inverse », c'est-à-dire de construire un animat à partir d'une connaissance partielle, comportementale de l'animal. Ainsi, même si l'on sait caractériser un animat en tant que système dynamique adaptatif, il est très difficile de définir *effectivement* un système qui ait au niveau comportemental les caractéristiques d'un animal. Un autre problème évoqué plus haut est la différence fondamentale de nature entre un corps

1. Beer, R.D. (2000). Dynamical approaches to cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 91-99.

organique et un corps artificiel – et à plus forte raison un corps simulé : on ne peut jamais formellement prouver qu’une part fondamentale de la corporéité des animaux n’a pas été négligée. Ainsi un environnement de laboratoire n’est jamais aussi « agressif » que l’environnement naturel et il est rare qu’un robot autonome risque réellement de « mourir », c’est-à-dire de détruire l’intégrité de ses circuits, ne serait-ce que pour des raisons de budget de laboratoire. Un troisième inconvénient, que cet ouvrage vise un peu à combler, est l’inhomogénéité des outils conceptuels et théoriques utilisés. Il n’y a pas encore à l’heure actuelle de cadre théorique précis qui fixe les extensions et les limites de l’approche dynamique. L’utilisation du langage des systèmes dynamiques reste très empirique, descriptive à défaut d’être explicative. Il demeure en effet un certain nombre de difficultés, propres à l’outil systèmes dynamiques en tant que tel, pour décrire des dynamiques évoluant simultanément à différentes échelles temporelles, ou pour décrire des interactions entre systèmes faiblement couplés. Il manque à l’approche dynamique un caractère véritablement opérationnel et prédictif ; et l’on peut rarement *prouver* les propriétés des systèmes de contrôle que l’on définit en tant que propriétés de convergence de systèmes dynamiques, mais on constate, par expérimentation ou simulation, que le comportement du système est conforme à celui d’un système dynamique.

Ainsi, à l’heure actuelle, on peut encore reprocher à l’approche dynamique de rester essentiellement au niveau de la métaphore. Néanmoins, même si cette approche ne prédit pas, elle oblige à regarder *autrement* certains types de comportements et à tester, simuler et éventuellement mettre en évidence certaines propriétés contre-intuitives des systèmes étudiés. Bref, cette approche nous apprend à nous laisser surprendre et à laisser aux systèmes artificiels une certaine liberté d’action, en leur permettant d’utiliser comme bon leur semble les différentes potentialités dont nous les avons dotés au départ. L’approche dynamique incite avant tout à un certain effacement du concepteur.

Actionneur,303	Contrainte,305
Ancrage corporel (embodiment),303, 304	Contrôle,306
Animal,305	Convergence,306
Animat,303, 305	Décision,305
Apprentissage,303	Développement,305
Attracteur,304	Dimension,305
Autonomie,304	Identification,304
Beer, R.D.,305	Interactions,303, 304, 305
Biologique,304	Interne (dynamique interne),304, 305
Capteur,303	Langage,305, 306
Cognition,303, 304, 305	Loi interne,305
Comportement,304, 306	Perception,304
Conflit,305	Perturbation,304
Connaissance,303, 305	Robot,306
	Simulation,304, 306

304 Approche dynamique de la cognition artificielle

Social,303, 304

Stabilité,304

Symbole,305

Système nerveux,305