

Pierre LIVET*

Les avantages de la notion de modèle interne incomplet

Résumé : La notion de modèle interne du mouvement intentionnel (Paillard, Wolpert) est séduisante, mais elle se heurte à une impossibilité épistémique. Nous la contournons en revenant à un modèle incomplet, dont les tests portent sur la séparation entre domaines différenciés, avec une limite qui reste vague, et l'identification de points critiques évidemment discontinus. Cette approche permet de rendre compte du différentiel de prise de conscience entre une tâche focale et une tâche connexe, et de distinguer quatre niveaux de conscience dans le mouvement.

Mots-clés : modèle interne, mouvement intentionnel, limitations de la connaissance, vague, points critiques, niveaux de conscience.

Abstract: **The advantages of a notion of an incomplete internal model.** The internal model framework, applied to the analysis of intentional movement, seems successful, but a complete internal model is an epistemic impossibility. This impossibility can be avoided with the notion of an incomplete internal model, the tests of which are on one hand the separability between two differentiated domains, the limit of which cannot be but vague, and on the other hand the identification of discontinuous critical points. Using this approach, an account can be given of the differential in awareness between a focal motor task and a connex one, and four levels of awareness can be distinguished.

Keywords: internal model, intentional movement, limitations of knowledge, vague, critical points, levels of awareness.

Nous nous dégageons peu à peu de la métaphore picturale de la représentation : une représentation, selon cette métaphore, serait comme un tableau qui correspond point pour point à la réalité mise en perspective, donc à une sorte de coupe transversale du flux visuel, perpendiculaire à lui. Mais cette métaphore est tellement dominante qu'elle continue à influencer même les conceptions qui la contestent. Les analyses philosophiques qui s'inspirent des études de la motricité adoptent généralement cette attitude critique. Dans la même

* Université de Provence, Département de Philosophie, Laboratoire du CEPERC-UMR 6059.

orientation, Jeannerod oppose une représentation pragmatique à une représentation symbolique ou sémantique. Comme la représentation pragmatique implique des esquisses de motricité, elle ne peut pas se réduire à un tableau, statique par définition. Mais par ailleurs, la notion de modèle interne du mouvement se développe, et semble bien appuyée par une foule d'expérimentations. Or elle pourrait comporter des résidus de la métaphore du tableau représentatif. Il faut donc se livrer à une analyse critique de cette notion.

Avant d'aller plus loin, rappelons tout de même qu'il n'est pas nécessaire de passer du côté de l'action et de la motricité pour critiquer la conception de la représentation-tableau. En fait, la critique la plus vigoureuse de cette métaphore a été menée depuis longtemps au nom d'une conception de la représentation en termes de symboles. Il n'y a en effet pas de similitudes, pas d'homomorphisme entre un symbole, par exemple une suite de lettres, et le signifié que cette suite désigne. Si on applique cela au cognitivisme fodorien, il n'y a pas de correspondance-tableau entre les symboles du langage de la pensée et les contenus dont parle ce langage.

Le problème est évidemment que le cognitivisme fodorien a reconstitué une correspondance, en utilisant la dualité entre syntaxe et sémantique, entre une suite de lettres et une proposition. Mais une proposition a pour sémantique un ensemble de modèles qui associent aux symboles des entités qui ont de toutes autres propriétés (les nombres, par exemple), et qui déterminent des conditions de vérité. Il est lors possible de dresser un tableau de ces conditions de vérité. Mais pour une seule phrase logique, on a maintenant plusieurs colonnes de conditions de vérité, si bien que la correspondance n'est plus d'un symbole à un symbole, mais d'un symbole à une série ordonnée de symboles. Cependant, même si on a abandonné l'image du tableau pictural, on a conservé l'idée de la correspondance complète : pour toute représentation « interne », on va trouver une image externe - éventuellement plus riche, mais complètement déterminée par la représentation interne, qui est elle-même complètement déterminée par son homologue externe.

1. LA NOTION DE MODÈLE INTERNE

Une fois distinguées la représentation-tableau comme correspondance terme à terme, et la représentation comme correspondance complète, nous pouvons maintenant y voir plus claire pour nous interroger sur les aspects représentationnalistes de la notion de modèle interne. De manière générale, elle intervient en réaction contre des modèles du mouvement réduit à de simples programmes lancés de manière automatique et sans correction. Elle permet de conserver l'idée d'une représentation anticipatrice, dont on ne semble pas se pouvoir se passer quand on veut définir une action intentionnelle, et ce alors même qu'on travaille dans un domaine d'expérimentation où une bonne partie du traitement des informations

et du contrôle des mouvements est inconsciente. Il n'est alors plus possible de lier représentation anticipatrice d'un mouvement et représentation consciente, et de voir dans toute intention une représentation explicite antécédente par rapport à l'action. Mais on ne peut pas non plus considérer qu'un mouvement actionnel est totalement indépendant de la présence d'une intention qui l'oriente. Si nous avons comme consigne de pointer vers une cible, et que l'on change la cible de position (de quelques degrés) durant l'intervalle d'une saccade visuelle, nous ajustons notre mouvement de pointage sans délai¹. Cet ajustement montre que nos « automatismes » sont dépendants de notre « intention ». Mais par ailleurs nous n'avons pas eu conscience du déplacement de la cible, si bien que cette « intention » nous dirige aussi inconsciemment. D'autres expériences montrent d'ailleurs que des intentions de base sont liées à nos routines motrices, et que dans ces ajustements très rapides, elles prennent le pas sur l'intention d'une consigne moins basique : interrompre le mouvement de pointage quand la couleur de la cible change (Rossetti).

La notion de modèle interne comme modèle anticipateur (*forward*), telle que l'a développée Wolpert², permet de rendre compte de ces deux caractéristiques : l'effet de l'intention sur la motricité, et le caractère inconscient de ces effets pour les ajustements moteurs très rapides. Le modèle interne n'est pas alors défini simplement comme une représentation anticipée du résultat final du mouvement, tel qu'il pourra être enregistré par la perception (en particulier la perception visuelle). Il est au contraire et principalement défini comme l'anticipation des réafférences de la proprioception cinétique, en corrélation avec le lancement de commandes motrices. Dès que le mouvement est lancé, une réafférence obtenue dans le cours du mouvement et qui ne correspond pas aux réafférences anticipées provoque un ajustement, qui a donc lieu bien avant que n'arrivent les réafférences proprioceptives et perceptives qui accompagnent le résultat du mouvement. En revanche, tant que les réafférences continuent, en suivant le flux de l'action, à être conformes aux réafférences attendues, aucun réajustement n'est opéré³.

Ce contenu du modèle interne, fait d'anticipations des réafférences, explique que nous puissions ajuster très rapidement notre mouvement

¹ Bridgeman, 1981, Goodale, 1986.

² Modèle largement anticipé par J. Paillard.

³ L'idée d'une anticipation des réafférences, conjointe à celle d'un comparateur entre réafférences anticipées et réafférences perçues, ne semble pas pouvoir être confondue avec celle d'une copie d'efférence. Le contenu neurophysiologique de la copie d'efférence ne semble pas avoir été suffisamment précisé, mais quoiqu'il en soit, nous pourrions très bien disposer d'une information sur le fait que nous avons lancé tel mouvement, sans pour autant disposer d'une information sur ce que doivent être les réafférences de ce mouvement.

à l'intention. Au contraire, un mouvement conçu comme programme automatique ne permettrait aucun ajustement. Inversement si la conscience, elle, exige comme contenu le résultat perceptif du mouvement (ou, quand le mouvement n'est pas déclenché, son imagination motrice) on comprend pourquoi l'essentiel du contenu du modèle interne, qui utilise essentiellement les réafférences kinésiques, n'est pas conscient. On peut d'ailleurs se demander si cette inconscience tient au format réafférentiel, ou bien si elle a d'autres raisons.

La représentation-tableau semble à première vue exclue par ce modèle, puisque l'on est passé de la perception du résultat du mouvement, qui pouvait encore se présenter comme un tableau, à l'anticipation des réafférences, et que les réafférences proprioceptives semblent difficiles à organiser sous forme de tableau. Dans tous les cas, elles ne forment pas une conscience-de-tableau, comme semble nous la donner la perception visuelle.

Cependant, il est une interprétation possible du modèle interne qui ferait réapparaître l'idée de correspondance complète, qui est au cœur de la représentation-tableau. Ce serait la suivante : le modèle interne consisterait, avant l'action, en une activation par simulation anticipée de toute la chronique des réafférences, et pendant l'action, en une comparaison de cette chronique complète anticipée avec la chronique effective complète des réafférences réelles. Pour utiliser une métaphore, le modèle interne dessinerait par avance la courbe de chaque réafférence, et il comparerait ensuite ces courbes anticipées aux courbes des réafférences réelles. Si pour chaque courbe anticipée, la courbe effective correspondante vient en superposition parfaite, l'action continue sans encombre, sinon, il y a réajustement pour mettre en accord la courbe réelle avec la courbe anticipée. Pour réaliser l'ajustement, il faut induire des corrections, qui elles-mêmes s'expriment sous forme de courbes anticipées de réafférences. Ces courbes diffèrent des réafférences initialement anticipées pendant un temps, cette différence étant elle-même en correspondance avec la différence présentée par les courbes de réafférences réelles, puis tout revient dans l'ordre.

Le problème est qu'un tel modèle nous permettrait des corrections parfaites pour toute perturbation si légère soit-elle. Or nos mouvements réels n'ont pas cette finesse de correction. Au contraire, nous donnons à nos mouvements, même parmi les plus routiniers, une latitude qui ne serait pas nécessaire si nous pouvions parfaitement nous ajuster. Ainsi la taille de la prise de notre main est toujours légèrement plus grande que la taille de l'objet à saisir. Nous nous attendons, selon Wolpert lui-même, à ce qu'en soulevant une cafetière vide, nous la soulevions plus haut que nécessaire, et qu'inversement quand elle est pleine, nous la soulevions plus lentement que nous ne ferions de la cafetière vide, etc. On objectera

qu'un sportif accompli, par exemple un tennisman expert, peut donner à la balle juste l'effet nécessaire pour qu'elle fuse en *passing shot* et tombe dans l'extrême coin gauche du terrain. Mais il suffit de faire la statistique des coups de ce genre pour s'apercevoir qu'ils ne sont pas si nombreux, et de plus ils nécessitent un entraînement intensif et quotidien : ce sont des super-routines.

D'avantage, il faut expliquer pourquoi nous sommes parfois si peu sensibles aux informations que nous donnent les réafférences proprioceptives. Les expériences de Fournier et Jeannerod, ou celles de Daprati, montrent que nous faisons des erreurs sur nos mouvements. D'une part, si nous voyons sur un écran que la ligne que nous traçons est à peu près droite, donc conforme à la consigne, nous négligeons les informations réafférentielles qui nous avertissent que nous avons dû dévier la ligne pour corriger un commencement apparent de déviation sur l'écran, fruit d'une programmation perverse de l'ordinateur qui gère l'image. D'autre part, si nous voyons une main dans un gant qui exécute des mouvements semblables aux nôtres, nous nous trompons sur l'attribution de ce mouvement à autrui ou à nous-mêmes dans un nombre non négligeable de cas. Enfin, si nous manipulons un joystick et que le programme fasse dévier l'orientation du mouvement sur l'écran qui nous représente une main sur un joystick virtuel, nous restons insensibles à des déviations de l'ordre de 20%. Pourtant, dans d'autres conditions, nous pouvons être sensibles à des différences dans les réafférences qui sont liées à des déviations bien moindres.

La réponse du partisan du modèle interne complet sera que le modèle interne réafférentiel est prédominant pour les délais très courts, et qu'ensuite c'est le modèle perceptif conscient qui prend le contrôle. Dans les situations des expériences citées à l'instant, il y a distorsion au niveau des réafférences motrices mais pas au niveau visuel, et apparemment la vision domine la proprioceptivité motrice dès que l'on dépasse un certain délai.

Mais si l'on suit la théorie du modèle interne dans tous ses développements, l'idée d'un modèle interne complet semble de plus en plus difficile à soutenir. Wolpert imagine, avec quelque vraisemblance, que nous pourrions activer en parallèle plusieurs modèles internes rivaux, chacun avec sa prédiction sur les réafférences et son contrôleur de correspondance entre la réafférence prédite et la réafférence enregistrée. Dès que l'une des paires « prédiction-observation » faillirait à la mise en correspondance, elle serait éliminée, et rapidement il ne resterait plus qu'un seul modèle interne. Berthoz imaginait de même que la compétition entre les modèles internes se faisait par simulation parallèle et activation du modèle qui gagnait la compétition. Or si tous ces modèles sont complets, l'explosion combinatoire survient très vite. De même, si toute distorsion dans la correspondance disqualifie un modèle, on réagira très rapidement, mais on abandonnera aussi des modèles trop

rapidement (par exemple par suite d'un simple bruit dans les réafférences). Wolpert lui-même doit supposer que les réafférences sont anticipées comme bruitées.

Mais, dès lors, nous avons quitté subrepticement l'idée correspondantiste du modèle interne complet. Nous sommes passés d'un modèle complet et d'une correspondance complète à un modèle incomplet qui a les deux propriétés suivantes : il est sensible à une enveloppe générale - ne serait-ce que parce qu'il tient compte des variations possibles dues au bruit. Et cependant il est aussi sensible à des variations qui dépassent des seuils fixés - puisqu'il réagit à des discordances par des réajustements. Il est évident qu'on ne peut plus simplement parler ici de mise en correspondance : aucune mise en correspondance (unique) ne peut à la fois satisfaire ces deux contraintes, qui semblent opposées. Et si on envisage deux types de mise en correspondance, elles ne sont pas de même nature et ne peuvent pas se synthétiser en une mise en correspondance unique.

Un autre problème du modèle correspondantiste, c'est qu'il ne rend pas compte de notre phénoménologie de l'intentionnel. Considérons les mouvements de rééquilibrage que nous faisons pour conserver une posture verticale. Personne ne les perçoit comme des mouvements intentionnels. Ce sont tout au plus des mouvements qui accompagnent d'autres mouvements intentionnels, qui introduisent des déséquilibres qu'il faut compenser. Pourtant on peut anticiper les réafférences des mouvements de compensation tout comme celles des mouvements dirigés vers une cible. Les deux conditions satisfont le modèle de Wolpert, qui ne peut donc prétendre fournir à lui seul un modèle du mouvement intentionnel. Un modèle interne complet est donc à la fois trop exigeant (puisque'il devrait réagir à toute distorsion) et trop peu exigeant (puisque'il peut prétendre aussi s'appliquer pour des mouvements compensatoires non orientés).

2. LA NOTION DE MODÈLE INTERNE INCOMPLET

C'est pourquoi nous proposerons la notion de modèle interne incomplet. Notre métaphore ne sera plus celle de la mise en superposition des deux courbes. Ce sera celle d'une famille d'approximations (qui différencient deux types de mouvements), et de points critiques. Timothy Williamson nous a donné des arguments quasi a priori pour soutenir que nous ne pouvons pas utiliser un modèle interne complet, présentant une correspondance testée en tout point entre les réafférences anticipées et les réafférences effectives. Si nous reformulons à notre manière – et étendons – son raisonnement, il consiste à dire que nous ne pouvons pas discriminer tous les points nécessaires à cette correspondance. Il nous faut donc, pour croire avoir réalisé cette correspondance, en fait seulement son ersatz, arriver à combiner (c'est là notre proposition, non celle de Williamson) des différenciations qui laissent dans le vague la limite entre deux

domaines, et des points critiques bien identifiés mais qui laissent des zones non testées entre eux.

Une famille d'approximations ne peut s'identifier que différentiellement, par opposition avec une autre famille d'approximations d'une autre forme. Ainsi vient un moment où en arrondissant les coins d'un carré, on le transforme en cercle. Nous ne savons pas définir la limite entre le carré et le cercle, mais nous savons très bien reconnaître ce qui est suffisamment carré en le différenciant de ce qui est suffisamment cercle (cette conception différentielle est la solution classique aux problèmes de « sorite », qui tiennent à ce que parti d'un état p on arrive par des degrés insensibles dont aucun d'entre eux n'est suffisant à modifier p , à une propriété non p). Il en est de même pour les couleurs. Nous ne savons pas où est la limite entre le rouge et le jaune, mais nous savons différencier ce qui est bien jaune et ce qui est bien rouge⁴. Nous en savons pas où est exactement la limite entre des mouvements bizarres et des mouvements normaux (pour atteindre une même cible), mais nous savons reconnaître des mouvements impossibles et des mouvements usuels.

Si les domaines par différenciation nous laissent dans le vague quant à leur limite exacte, inversement nous pouvons avoir identifié une limite, un seuil, des points par lesquels il faut passer, et d'autres par lesquels il ne faut surtout pas passer, et n'avoir qu'une idée vague des domaines qui sont ainsi séparés. Nous recourons alors à un repérage par points critiques. Evidemment, la combinaison des domaines différenciés et des points critiques nous laisse aisément croire que nous avons la connaissance de la limite entre les différents domaines, mais c'est là une illusion, qui résulte d'une extrapolation des points critiques à une limite entre deux domaines.

Parmi les points critiques, les uns sont positifs : pour revenir au mouvement, il faut que la courbe des réafférences proprioceptives présente ces points critiques, il faut que l'on passe par eux. Les autres sont négatifs : il ne faut pas que la trajectoire du mouvement présente ces points critiques, il faut les éviter. Certains points critiques négatifs nous font bifurquer vers une autre enveloppe. En restant dans la métaphore, imaginez une courbe. On peut vouloir exclure qu'elle rebrousse chemin, ou encore qu'elle présente un pic très pointu, ou inversement qu'elle présente un plateau. On peut, positivement, exiger qu'elle présente ce pic ou ce plateau. Ces points critiques ne nous disent pas de quelle courbe singulière il s'agit. On peut noter que la théorie de Thom (dite des catastrophes) combine les deux approches et analyse justement les familles enveloppes définies dans

⁴ Williamson (2000) soutient que le vague de cette frontière est une limite indépassable de notre connaissance. C'est vrai, mais cela n'est guère gênant, puisque cela ne nous interdit pas de reconnaître différentiellement les zones franchement jaunes et les zones franchement rouges.

leurs différences par des points critiques (des singularités). Mais dans la pratique, nous ne disposons pas d'informations continues, si bien qu'il nous reste toujours les lacunes dénoncées par Williamson, et que notre représentation est incomplète.

A la base, nos neurones ne peuvent nous donner qu'une représentation incomplète, puisqu'ils semblent bien eux-mêmes fonctionner en basculant d'un comportement à un autre selon des seuils. Ils sont par-là même à la fois sensibles à l'accumulation de petits détails (par leur structure en réseau) et insensibles tant que certains seuils ne sont pas franchis. Un tel fonctionnement permet des approximations (par son insensibilité à des détails) et il permet aussi de rester très sensible à des convergences (les points critiques positifs) et à des divergences massives (les points critiques négatifs). Mais il ne faut pas espérer une correspondance de tout input à tout output, puisque ce système réagit à certaines variations par une même approximation et à d'autres variations par des bifurcations de comportement.

Dans notre pratique consciente, nous ne nous bornons jamais à un simple repérage des points critiques, mais nous nous trouvons toujours déjà au niveau de l'intégration (biaisée la plupart du temps par des tâches spécifiques) entre le test des points critiques et le test de la différenciation entre domaines. Pour prendre un exemple, quand nous saisissons une tasse sans anse pour en boire le contenu, les points critiques sont les points de contact avec la tasse, qui doivent être sur un des diamètres de la tasse pour assurer une prise correcte, avec la main positionnée sur le flanc de la tasse. Un point critique interdit est de mettre la main au-dessus de l'ouverture de la tasse, ce qui empêcherait de boire. Le domaine de mouvement attendant, lui, admet des trajectoires du coude et du poignet très variées. Cependant, notre système moteur minimise les efforts et les torsions, si bien que l'enveloppe d'une tâche routinière est beaucoup plus réduite que celle d'une tâche en cours d'apprentissage. Un autre exemple serait non plus une tâche téléocinétique, comme saisir une tasse, mais une tâche morphocinétique, consistant par exemple à décrire un mouvement circulaire avec le doigt. Nous restons dans le même domaine de différenciation quand nous restons dans une enveloppe d'approximation autour du cercle, et nous avons comme points interdits les tangentes partant de ce cercle, ou les cordes qui le traversent (on doit tourner, et non pas aller tout droit).

Un modèle interne incomplet de cette sorte permet d'expliquer les phénomènes qui nous gênaient quand nous avions en tête un modèle interne complet. Tout d'abord il explique comment nous pouvons rapidement mémoriser le système de réafférence d'une précédente action : c'est qu'il présente des formes enveloppantes –soit par un mouvement qui produit la forme, soit par différenciation entre deux domaines supposés- et des singularités identifiées, et qu'il nous suffit de retenir les unes et les autres. On comprend aussi pourquoi nos

actions routinières ne sont pas aussi affûtées que les actions d'un expert comme le tennisman soumis à son entraînement quotidien : nous n'avons pas élaboré des familles fines de formes par différenciation et des listes très détaillées de points critiques. On comprend pourquoi nous nous donnons des marges dans nos actions même routinières. La taille de la pince de notre main laisse une marge d'ajustement, pour que la famille enveloppe puisse être affinée par le passage par des points critiques. Nous soulevons la cafetière vide plus haut que nécessaire, parce que nous restons dans la famille enveloppe « soulever une cafetière ». Nous mettons plus de temps que nous ne le pourrions à soulever la cafetière pleine, pour la même raison.

Mais ces deux exemples nous font aussi découvrir une idée nouvelle : nous nous donnons systématiquement à nous-mêmes des points critiques et des enveloppes de différenciation par la façon dont nous réalisons nos actions. Nous n'agissons pas simplement pour obtenir un résultat et satisfaire notre but, nous formons notre action pour que nous puissions reconnaître des actions similaires. Cette finalité n'est évidemment pas consciente, et son résultat est obtenu par simple sélection : un organisme qui est capable de ce type d'action apprendra beaucoup plus vite qu'un autre un répertoire d'action plus riche et donc qui lui offrira plus de flexibilité d'adaptation. Pour pouvoir reconnaître nos actions, il nous faut leur donner des formes enveloppes par différenciation de domaines et des points critiques saillants. L'ensemble des mouvements d'une action n'est pas simplement sélectionné par un modèle interne prédéterminé qui s'applique ensuite (encore par une sorte de correspondance). L'ensemble du modèle incomplet des réafférences anticipées et des réafférences enregistrées est choisi non seulement en fonction de son adéquation au but, mais en fonction de l'ajustement entre les capacités d'identification des réafférences anticipées et de validation par reconnaissance des réafférences réelles.

Le modèle interne n'est donc pas une sorte de tableau des retours réafférentiels anticipés, tableau qui devrait être mis en correspondance avec le tableau réel des retours effectifs. Le modèle incomplet n'est pas un modèle lacunaire qui s'applique sur des déterminations concrètes complètes. Il fonctionne par co-stabilisation de différentes capacités limitées de reconnaissance et de détermination ; à tout le moins, une capacité de différenciation – qui reste incertaine sur la limite de différenciation – et une capacité de repérage sur des points bien identifiés – qui reste incertaine sur la manière de relier ces points. Les correspondances ou distorsions entre le modèle interne des réafférences anticipées et les réafférences réelles n'ont besoin d'être testées que dans la mesure où elles sont pertinentes pour ces deux capacités de différenciation et de repérage, c'est-à-dire dans la mesure où elles nous font changer de bassin de différenciation, et nous font passer ou non par des points critiques positifs ou négatifs. Pour le

dire encore plus justement, il n'existe pas de *modèle* incomplet préalable à l'interaction de ces capacités. Il n'existe qu'à la rencontre et la co-activation l'une par l'autre de deux capacités, l'une de reconnaissance par différenciation, l'autre de détermination par saillances, dont chacune n'a qu'une finesse limitée - cette limitation consistant à ce que par définition une enveloppe de différenciation ne peut pas être définie de manière autre que vague, et que les points critiques ne peuvent pas par définition constituer un ensemble complet de frontières⁵.

Quand les points critiques négatifs sont activés, il y a bien sûr déstabilisation, mais il y a aussi dérivation vers d'autres modes de stabilité. Et toute stimulation transmise produit une interprétation dans notre système de cognition motrice (sinon, des illusions comme l'impression devection quand on fait vibrer des tendons ne se produiraient pas).

On voit que la mise en correspondance du modèle-tableau s'est complètement retournée. Il ne s'agit plus de mettre en correspondance deux tableaux prédéterminés chacun de leur côté (avec l'éternel problème de savoir comment valider cette correspondance puisque les deux tableaux sont isolés) mais de partir d'une co-activation -sur le mode des différenciations et des points critiques- entre réafférences anticipées et réafférences ressenties. La « représentation » se construit alors dans cette interaction entre anticipations et réafférences, comme elle se construit, à une échelle plus large, entre perception et action, entre organisme et environnement, entre sujets et autres sujets.

Varela pourrait avoir eu cela en tête quand il parlait d'en-action, mais sa fixation anti-représentationaliste l'empêchait de voir qu'il s'agissait bien d'une fondation réelle et concrète de la représentation, de la solution même du problème qui était masqué et déformé par le problème de la représentation correspondance, de sa solution par la dissolution de la métaphore de la représentation-tableau. Heidegger, quant à lui, avait bien montré, après bien d'autres, l'absurdité du problème de la mise en correspondance de deux tableaux isolés, mais il ne disposait pas des idées de co-activation ni des processus d'approximation et de sensibilité à des points critiques, et ne se souciait pas de les élaborer. Nos représentations se produisent, comme toute chose en ce monde, par des rencontres entre évolutions, au sein desquelles certaines stabilités se maintiennent (ces stabilités étant la plupart du temps au moins de second ordre : ce sont les

⁵ Si l'on voulait établir un schéma des processus propres à un modèle interne incomplet, il faudrait donc démultiplier le rôle du comparateur. Il dépendrait de l'interaction des deux processus de reconnaissance par différenciation des enveloppes et de sensibilité aux points critiques, qui eux-mêmes dépendent du type d'intention choisi (qu'il s'agisse de notre intention ou de celle que nous prêtons à autrui). Mais ce type d'intention ne se construit que s'il réussit à activer une interaction entre nos deux processus.

invariances présentées par des variations, et non des permanences parmi des variations).

3. UNE EXPÉRIENCE SUR LA CONSCIENCE ET LA MOTRICITÉ

Dans ce cadre de pensée, ce qui pouvait sembler étrange si l'on conservait une attitude correspondantiste devient presque évident. Prenons l'expérience de Varraine, Bonnard et Pailhous⁶. Dans une première condition, on demande à un sujet de marcher sur un tapis qu'il fait tourner par sa marche même, mais qui a une certaine inertie en sens opposé, et de maintenir sa vitesse constante. Quand on augmente la résistance opposée par le tapis, et qu'on demande en plus au sujet de signaler à quel moment il ressent une augmentation de cette résistance, on voit qu'il compense cet accroissement de résistance pendant environ 6 secondes avant de signaler qu'il en a pris conscience. Quand on lui donne pour consigne de ne pas compenser cette résistance - de maintenir au même niveau sa force de propulsion, sans se soucier de sa vitesse - et de signaler quand il note un accroissement de la résistance, le sujet réduit bien sa vitesse en fonction de la résistance, mais il met aussi 6 secondes à noter l'accroissement de la résistance.

L'interprétation des auteurs suit un modèle à la Wolpert (ou à la Paillard) : tant que le sujet n'a pas de peine à réussir la tâche principale, il ne note pas de distorsion entre les réafférences anticipées et les réafférences effectives, et donc n'a pas conscience de la résistance. Il en prend conscience seulement quand il commence à avoir du mal à réussir la tâche.

Mais le sujet a deux tâches. La seconde consiste justement à être sensible à la résistance, et devrait exiger, selon le modèle interne à la Wolpert, que le sujet anticipe une différence entre les réafférences anticipées et les réafférences effectives, les premières impliquant une certaine résistance, les secondes un accroissement de la résistance, et qu'il signale cette différence anticipée dès qu'il la perçoit. Dans les termes d'un modèle interne complet et correspondantiste, cette deuxième tâche présente seulement par rapport à la première la particularité d'impliquer l'estimation de l'ampleur des différences entre réafférences anticipées et réafférences effectives, au lieu de simplement exiger la sensibilité à l'opposition entre une correspondance ou une distorsion entre les deux. Si le modèle interne était complet, la seconde tâche ne présenterait pas de difficultés particulières, et surtout, elle ne serait en rien en conflit avec la première tâche, puisque si on est capable de noter les convergences et divergences avec un modèle complet, on est aussi capable de noter les différences.

L'interprétation des auteurs est que dans les conditions normales du mouvement, la vitesse co-varie avec la force de propulsion. Ce qui

⁶ Varraine, *et al.* (2001).

renseigne le sujet sur la résistance, c'est une distorsion par rapport à ce parallélisme. Qu'il prenne pour repère la force de propulsion supposée constante ou la vitesse supposée constante, la distorsion sera la même. Donc le délai de prise de conscience sera le même. Cela explique bien que le délai soit le même, mais pas qu'il y ait un délai. Il nous faut donc approfondir notre analyse.

Éliminons d'abord quelques malentendus possibles sur cette expérience. Normalement, la tâche de maintenir sa vitesse apparaît beaucoup plus saillante au niveau de la conscience que la tâche de maintenir sa force de propulsion constante. On pourrait donc penser que cette seconde tâche est moins susceptible de focaliser le sujet. Mais inversement, cette dernière tâche semble très proche de la tâche secondaire de noter l'accroissement de résistance : pour maintenir sa force de propulsion constante, il faut s'obliger à ne pas compenser un accroissement de résistance, et donc cet accroissement devrait devenir sensible. Il suffit par exemple, pour noter l'accroissement de résistance, de constater que la vitesse résultante décroît. En revanche, la consigne de maintenir sa vitesse peut sembler plus aisément masquer l'accroissement de résistance, puisqu'elle consiste à compenser cet accroissement, qui n'a plus d'effet au niveau de la vitesse observée. Pourtant dans les deux conditions, le délai de prise de conscience est le même.

On pourrait avoir tendance à expliquer le délai dans la première condition par le fait que se fixer sur le maintien de la vitesse masque l'accroissement de résistance. Mais cette explication ne vaut pas pour la seconde condition, où la différence de vitesse devrait justement rester saillante. Pour que l'explication reste valide, il faudrait ajouter que dans les deux cas, la focalisation sur la consigne de base (maintenir la vitesse, ou maintenir la force) obnubile le sujet, si bien qu'il est peu sensible à la distorsion sur la force, le seul paramètre qui pourrait lui indiquer l'accroissement de résistance, dans le premier cas, et qu'il est peu sensible à la distorsion sur la vitesse, le seul paramètre qui pourrait lui indiquer l'accroissement de résistance, dans le second cas. Or il semble que dans une tâche de marche sur le plat, nous soyons plus consciemment plus sensibles à la différence de vitesse qu'à la différence de force (les choses changent si nous marchons en montée, ou si la tâche consiste à porter un poids lourd par rapport à un poids plus léger). La raison pourrait en être que nous pouvons utiliser la vision (et pas simplement les informations sur la fréquence de nos pas) pour nous rendre compte de la vitesse, alors que nous ne pouvons utiliser que la proprioception pour la différence de force.

Une première explication de tout ce qui nous semble ici étrange tient simplement à ce que dans la tâche en question (marcher sur un tapis, mais sans avancer réellement) le sujet n'a plus d'information visuelle sur sa vitesse de défilement. Pour estimer sa vitesse, il doit

donc se fier seulement aux informations proprioceptives sur la fréquence de ses pas et leur amplitude. Par ailleurs, le sujet ressent la résistance du tapis parce qu'il doit exercer plus de pression pour obtenir un même déplacement du tapis. Mais justement, dans la condition d'avoir à maintenir constante sa force, et donc sa pression, il ne peut plus obtenir cette information et doit donc s'en tenir à la décroissance de la vitesse, qu'il ne peut pas mesurer visuellement. L'avantage que nous prêtons à la seconde condition, concernant la facilité d'identification de la résistance, est donc perdu. Il ne lui reste que l'information sur la fréquence et l'amplitude de ses pas. La résistance du tapis va changer l'amplitude, puis la fréquence. Et paradoxalement, c'est maintenant dans la première condition que le sujet dispose de deux types d'informations, les unes sur la vitesse par la fréquence de ses pas, les autres sur la résistance par la pression à exercer.

Cependant ces dissymétries apparentes vont disparaître si nous nous demandons quelles sont les informations disponibles via les différences entre réafférences anticipées et réafférences effectives, dans les deux conditions et pour les deux tâches.

Dans la condition de maintien des forces, le sujet se fixe sur un but d'identité entre la réafférence anticipée et la réafférence effective, concernant la pression du pas. Cette identité constitue son point critique, une valeur saillante de pression. Par ailleurs, la seconde tâche implique d'observer une différence entre réafférence anticipée et réafférence effective sur la fréquence et l'amplitude des pas. C'est là une perception par différenciation.

Dans la condition de maintien de la vitesse, le sujet se fixe sur un but d'identité entre réafférence anticipée et réafférence effective, concernant la fréquence et l'amplitude des pas. C'est là son point critique – le retour d'une période. Par ailleurs, la seconde tâche implique d'observer une différence entre les deux types de réafférences, concernant la résistance du déplacement du tapis à la pression. C'est là une perception par différenciation.

On voit que les deux tâches sont bien symétriques, ce qui peut expliquer la similitude des délais. Mais il reste à rendre compte de l'existence de ce délai de 6 secondes concernant la seconde tâche. Il ne suffit pas de noter que la première tâche peut être exécutée inconsciemment au niveau moteur et que la seconde exige une prise de conscience, puisqu'un tel délai est bien supérieur à la différence de délai entre réaction motrice inconsciente et prise de conscience.

Un modèle interne complet ne rend pas compte de ce délai, puisque si chaque tâche primaire est assurée par le maintien en correspondance des réafférences anticipées et des réafférences effectives d'un paramètre donné (fréquence et amplitude, par exemple), le maintien de cette correspondance doit forcément rendre encore plus évidente toute distorsion entre les deux types de réafférence sur le paramètre restant (pression et déplacement), si bien qu'elle donne ipso

facto les informations sur les différences entre réafférences nécessaires à la réalisation de la seconde tâche.

Il nous faut donc passer au modèle interne incomplet, où les informations sont recueillies selon le double régime des points critiques repères, et des domaines différenciés par une limite qui reste vague. Se fixer le but de maintenir sa vitesse, c'est considérer comme point critique positif l'identité entre réafférences anticipées et réafférences effectives concernant la fréquence et l'amplitude des pas. Si ce point critique est satisfait, toute variation de force est considérée comme restant dans les limites vagues de la « marche à la même vitesse ». Certes, normalement, la vitesse co-varie avec la force exercée. Nous devrions donc être sensibles à la distorsion entre notre indicateur de vitesse (la fréquence et l'amplitude) et notre indicateur d'effet de la force (la pression et le déplacement). Mais nous avons une autre possibilité, puisque nous pouvons assigner le maintien de la vitesse au point critique positif et la variation de l'indicateur de force au vague qui entoure un régime de différenciation. C'est justement parce que normalement la vitesse co-varie avec la force que, une fois satisfaite notre anticipation sur le maintien du point critique « vitesse », nous faisons comme si la force continuait à co-varier avec la vitesse : nous entourons notre point critique de son enveloppe de tolérance normalement associée— de son vague. Le délai de 6 secondes (à étalonner en fonction de la montée en résistance du tapis) nous montre où se situe le point critique négatif qui nous fait sortir de ce vague pour basculer dans un autre régime.

L'explication du délai dans la condition de maintien de la force est évidemment totalement symétrique. Nous nous fixons cette fois sur le point critique positif du maintien de la pression, et, utilisant la co-variation normale de la force et de la vitesse, nous faisons comme si la vitesse continuait à co-varier : nous assignons les différences dans la fréquence et l'amplitude de nos pas à une variation de la vitesse qui reste dans la zone vague qui ne nous fait pas encore passer dans un autre régime. Là encore, le délai de 6 secondes nous montre où se situe le point critique négatif. Ainsi, le modèle interne complet permettait d'expliquer la similitude des délais, mais pas le délai lui-même, alors que le modèle interne incomplet et son double régime de points critiques et de vague entre deux différenciations permet d'expliquer les deux.

4. CONSCIENCE ET INCONSCIENCE DANS LES ACTIVITÉS MOTRICES : UN SCHÉMA À TROIS NIVEAUX

Nous pouvons tirer de cette analyse des enseignements pour ce qui concerne le rapport entre conscience et inconscience dans le domaine de la motricité. Plusieurs thèses ont déjà été envisagées : la conscience motrice exigerait un échec de l'action motrice; la conscience motrice ne pourrait porter sur les processus mêmes en lesquels se déploie la motricité, de même que la conscience

épistémique ne porte pas sur les processus mêmes qui font les inférences, ou qui changent nos croyances ; la conscience porte sur le distal, non sur le proximal. Toutes ces thèses ont leurs vertus, mais chacune est incomplète : on peut prendre conscience d'actions réussies ; on peut prendre conscience d'une partie des processus moteurs en cours ; on peut prendre conscience de sensations en tant que proximales. Nous proposons de distinguer quatre types d'informations sur l'action : le passage par les points critiques, qui est proximal, processuel (et conscient s'il est combiné à la constitution d'une enveloppe) ; la zone de vague entre deux domaines différenciés qui permet de tolérer des approximations constituant la marge d'une enveloppe ; l'intégration (soit imparfaite, soit illusoire si nous la supposons complète) de l'enveloppe et des points critiques ; la différenciation entre les types de domaines d'intégration, via des points critiques de bifurcation. Aucune des deux premières, isolément, ne peut être consciente. La conscience commence, semble-t-il, au troisième niveau. Mais il faut distinguer deux types de conscience. La première tient à l'intégration entre la satisfaction des points critiques positifs et l'assignation désinformations entre ces points critiques à une enveloppe d'approximation : c'est la conscience intégrative. La seconde tient à la capacité de relier différentes intégrations de différents types en les connectant par leurs points critiques négatifs : c'est la conscience différenciative et catégorisante.

Notre thèse est donc, tout d'abord, que ni la satisfaction des points critiques positifs, ni l'enveloppe, isolément, ne suffisent pour qu'il y ait conscience intégrative. Il faut encore que les autres informations soient assignées à une enveloppe conforme à la satisfaction de ces points critiques. Il y a certainement des contraintes sur cette assignation. Ainsi la réorientation du pointage entre deux saccades satisfait bien un point critique positif (le réaligement du doigt sur la nouvelle direction de la cible), mais elle ne peut intégrer le déplacement des saccades, qui participe à l'assignation de l'enveloppe d'approximation (c'est aux saccades près que la position de la cible est identifiable comme stable). Il n'y a donc pas conscience de cette réorientation.

On notera qu'un modèle interne complet ne peut rendre compte de cette différence, puisque pour lui la correspondance entre réafférences anticipées et réafférences effectives comporte avec elle son intégration, ou si l'on préfère n'exige aucune intégration supplémentaire. On notera aussi que poser comme on le fait souvent le problème de la perception comme un « problème inverse » donne des programmes différents selon qu'on pense à des modèles internes complets ou à des modèles internes incomplets. Si on veut un modèle interne complet, il faut compléter toutes les déterminations. Si on se satisfait d'un modèle interne incomplet il faut simplement préciser les points critiques et les enveloppes. La tâche est évidemment bien plus aisée.

On peut lier à ces différents stades différentes versions de la notion d'intention dans l'action. La sensibilité à des points critiques assure, aux yeux de l'observateur, une certaine présomption d'intentionnalité, mais cette présomption vire au doute quand l'observateur n'arrive pas à déterminer un domaine de mouvement suffisamment différencié (mouvements désordonnés). De même pour l'enveloppe du domaine, si l'on n'arrive pas à fixer de points critiques (ce pourrait être une trajectoire naturelle, dont les points critiques ne sont pas liés à une tâche). Un mouvement qui assure enveloppe et points critiques, et dont les points critiques peuvent être liés à une consigne ou une cible signifiante pour un humain, est perçu comme intentionnel par l'observateur. Mais celui-ci ne peut être sûr de son assignation que s'il peut vérifier la régularité avec laquelle l'agent passe d'une famille d'enveloppes intégratrices à une autre en fonction de changements de cible ou de tâche.

Si nous revenons à la conscience, il semble plausible de supposer que la conscience différenciatrice et catégorisante survient sur la conscience intégrative qu'elle présuppose. Dans l'expérience de Fournier et Jeannerod, la vision certifie l'intégration du tracé sur l'écran, et les informations proprioceptives exigeraient, pour devenir conscientes, une conscience différenciatrice (la conscience d'un trajet corrigé). Si dans le même temps nous avons deux modalités sensorielles dont l'une produit une conscience intégratrice et dont l'autre exigerait une conscience différenciatrice, mais qui impliquerait la mise en question de l'intégration de l'autre modalité, nous choisissons la conscience intégratrice, la conscience unifiée au plus bas niveau, puisque la seconde devrait s'édifier sur un premier niveau qui reste instable. Ce serait aussi l'explication des illusions perceptives qui demeurent une fois même que nous avons pris connaissance de leur caractère illusoire.

On peut nommer cela le principe de priorité dans l'intégration. Une fois qu'un bon nombre de réafférences ont été intégrées dans une enveloppe de domaine et ses points critiques, on atteint le niveau d'une conscience intégratrice, si bien que les informations qui manifestent une distorsion sont assignées à l'enveloppe de tolérance, du moins tant que les déviations signalées par ces réafférences ne satisfont pas un point critique de bifurcation, qui nous envoie sur une autre enveloppe. Tant que l'autre enveloppe intégratrice n'est pas activée, nous ne ressentons au mieux qu'un malaise dans notre perception de la situation.

5. PERCEPTION DES INTENTIONS D'AUTRUI ET NEURONES-MIROIRS

On peut aussi mieux comprendre dans cette perspective le rôle des neurones miroirs dans la perception des mouvements et même des intentions d'autrui. Ces neurones n'ont pas besoin d'assurer autre chose que la validation des points critiques positifs, certes non plus

cette fois simplement entre nos réafférences motrices anticipées et nos réafférences motrices effectives, mais bien entre nos réafférences motrices anticipées, nos anticipations perceptives, et nos réafférences perceptives. On peut se demander si les neurones miroirs « généralisateurs » assurent en plus la tolérance aux approximations d'une enveloppe. Selon une nécessité méthodologique bien connue, qui consiste à ne pouvoir montrer une complexité de type n qu'en mettant expérimentalement en évidence une complexité qui pourrait être de type $n+1$ (si bien qu'elle est assurément au moins de type n), on ne pourrait montrer cette tolérance qu'en passant au stade supérieur, celui de l'articulation entre enveloppes de domaines différents par la voie des points critiques négatifs. Autrement dit, il faudrait pouvoir montrer qu'en faisant varier les situations, on peut activer un autre ensemble de neurones miroirs, lui-même identifié comme correspondant à un autre type de mouvement perçu.

Il est évident que les neurones miroirs nous permettent de corréler les mouvements perçus des autres à nos propres anticipations motrices. Mais peut-on pour autant supposer qu'ils nous permettent d'identifier leurs intentions par une simulation à la Goldman ? Ce serait revenir à l'idée d'un modèle interne complet. La correspondance entre nos propres intentions motrices (elle-même gagée sur la correspondance entre nos réafférences anticipées et nos réafférences effectives) et les mouvements perçus des autres nous permettrait de déterminer les intentions des autres en simulant de manière interne leurs mouvements, déclenchant ainsi l'évocation de nos propres intentions.

Mais faisons l'hypothèse beaucoup moins lourde que la simulation elle-même se borne à activer un modèle incomplet, qui indique simplement les points critiques et un type d'approximation pour l'enveloppe.

Nous pourrions alors avoir trois modes de sensibilité aux intentions des autres (à partir de leurs mouvements perçus). Dans le premier, nous nous bornons à activer les points critiques de nos simulations par la perception de ces mouvements. Cela revient en fait à pouvoir identifier les mouvements, voire à être sensible à leurs conséquences sur notre propre activité, mais pas à identifier les intentions qui les intègrent. Dans le second, nous activons et les points critiques et les enveloppes (neurones miroirs généralisateurs, s'ils existent bien). Dès lors, nous pouvons percevoir des mouvements intentionnels, mais sans identifier les intentions comme telles. C'est seulement quand nous pourrions différencier les mouvements, raccorder entre elles des enveloppes différentes par leurs points critiques négatifs, que nous pourrions identifier des intentions, puisque les intentions tirent leur contenu de leurs différences avec d'autres intentions possibles pour la même situation. On en arriverait alors à une simulation plus complexe, qui consiste à pouvoir activer en parallèle plusieurs simulations, dont certaines ne correspondent

pas au mouvement perçu, alors même que leur activation est nécessaire pour pouvoir saisir le sens de ce mouvement, en opposition avec d'autres mouvements qui auraient pu être choisis dans la même situation. Ce type de simulation virtuelle autant qu'actuelle serait probablement capable de répondre à la plupart des objections d'une « théorie-théorie » à une théorie de la simulation. Et il impliquerait vraiment une conscience des intentions des autres en tant qu'autres, puisque alors nous pourrions simuler en parallèle à ce que nous voyons des réactions des autres, les réactions qui auraient été les nôtres normalement, si bien que nous pourrions différencier nos intentions et les leurs.

Pour réaliser une telle performance en utilisant un modèle interne complet, il faut tout simplement stipuler que nous sommes capables de disposer du modèle interne des autres, ce qui est évidemment impossible. Il semble donc que les avantages du modèle interne incomplet soient multiples, puisqu'il permet de mieux rendre compte des expériences de notre sensibilité motrice, mais aussi de la phénoménologie de nos prises de conscience dans ce domaine, ainsi que de nos capacités à identifier les intentions d'autrui.

Références bibliographiques

- Bridgeman, B., Kirsh, M., Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion, *Perception and Psychophysics*, 29, pp. 336-342.
- Jeannerod, M. (2002). *La nature de l'esprit*, Odile Jacob, Paris.
- Fourneret, P., et Jeannerod, M. (1998). Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects, *Neuropsychologia*, Vol. 36, n°11, pp.1133-1140.
- Gallese, V. (2000). The inner sense of action, *Journal of Consciousness Studies*, 7, n°10, pp. 23-40.
- Goodale, M.A., Péliesson, D., Prablanc, C. (1986). Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement, *Nature*, 320, pp. 748-750.
- Frith, C., Blakemore, S.-J., Wolpert, D. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action, *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, B, 355, 1771-1788.
- Varraine, E., Bonnard, M., Pailhous, J. (2001). The top-down and bottom-up mechanisms involved in the sudden awareness of low level sensorimotor behavior, miméo, à paraître.
- Williamson, T. (2000). *Knowledge and its limits*, Oxford University Press, Oxford.