

Il est vrai que c'est être misérable, que de se connaître misérable ; mais c'est aussi être grand, que de connaître qu'on est misérable. Pascal¹

Ignorance et suppléance : la question de l'espace

Avertissement

Ce mémoire vise à montrer une façon d'articuler les thématiques de recherche que j'ai développées au long de mon parcours. Il s'agit de comprendre les rapports entre question de l'ignorance et question de la nature et du fonctionnement des technologies cognitives à travers un travail sur l'activité perceptive spatiale et ses prothèses. C'est un « essai » au sens propre dans lequel j'ai voulu tester la cohérence d'un certain nombre d'idées et principes qui traversent mes différents champs de recherche.

Après avoir défini la question de l'ignorance (**1. Le travail de l'ignorance**), je présente mes premières recherches technologiques et psychologiques sur la perception prothétisée et la question de l'espace (**2. Suppléance perceptive et perception spatiale**), ce qui me permettra de définir la méthode d'un dialogue entre philosophie phénoménologique et sciences empiriques, la « Méthode des répondants » (**3. Phénoménologie et science expérimentale**). On verra ensuite comment cette méthode a guidé mes recherches expérimentales sur la perception de formes et la spatialité du corps propre, recherches qui visent à une ergonomie théorique fondamentale du couplage homme-technique (**4. Spatialité du corps propre et perception de formes**). Puis, à travers diverses hypothèses sur l'imagination et le schématisme (**5. Espace d'action et proprioception**) ; on reviendra à la question centrale des liens entre cognition de l'ignorance et espace perceptif (**6. L'espace de l'ignorance**). Finalement, je présenterai quelques exemples d'application aux technologies cognitives des éléments conceptuels précédemment développés (**7. Technologies cognitives et expérience humaine**).

¹ Blaise Pascal (1623-1687), [Pascal 1963]

1 Le travail de l'ignorance

La connaissance de nos ignorances intervient de façon cruciale dans nos raisonnements et nos choix. Nous travaillons dans l'ignorance et l'ignorance nous travaille. Former un projet de recherche consiste toujours précisément à discourir sur quelque chose que l'on ignore puisqu'il s'agit de la chercher... mais que l'on sait ignorer puisqu'on désire la chercher. Cette connaissance réflexive qui d'emblée doit gérer ses limites fonde non seulement toute recherche, mais participe aussi aux constructions du savoir qui s'en suivent.

Le savoir de nos ignorances intervient de façon omniprésente dans nos raisonnements et nos choix. Pourquoi hésiter, craindre, espérer, nous étonner, si nous ne savions pas être dans l'ignorance ? Il me paraît très rare que nous raisonnions en passant séquentiellement d'une connaissance positive à une autre. Tout raisonnement est motivé par un problème à résoudre, et celui-ci ne subsiste que tant que l'on sait ignorer sa solution. Si nous pensons, c'est parce que nous avons connaissance de nos ignorances.

La question de la cognition de l'ignorance ne concerne donc pas d'abord l'ignorance absolue, mais le rôle du savoir d'ignorances particulières, reconnues, situées et définies par des sujets et dans l'histoire.

Il y a deux façons d'envisager l'ignorance :

- Soit il s'agit d'un jugement que nous portons de l'extérieur, en troisième personne, sur un système cognitif : ce sujet ignore ceci ; cette machine ne sait pas faire cela. L'ignorance est ici posée comme la limitation d'un système reconnue du point de vue d'un domaine plus large. A partir de cette connaissance des limitations d'un système, on pourra faire un certain nombre de déductions sur son comportement. Devant une différence de perturbations que nous reconnaissons dans son environnement, mais que nous savons ignorée du système, nous pourrions déduire qu'il agira de façon uniforme.
- Soit, et c'est ce que j'appelle à proprement parler « cognition de l'ignorance », l'ignorance est entendue comme un type particulier de savoir interne au système. Le sujet sait, en première personne, qu'il ignore certaines choses.

En général, on a tendance à se plaindre de l'ignorance des machines en remarquant leur incapacité à résoudre des problèmes qui nous sont aisément accessibles. Mais une telle ignorance est posée de l'extérieur. C'est un jugement sur les machines et non une connaissance interne. Au contraire, je crois que ce que l'on peut le plus reprocher aux machines déterministes, c'est leur prétention à l'omniscience (dans le domaine de leurs actions), c'est-à-dire leur incapacité à reconnaître leur ignorance. C'est pourquoi elles peuvent si facilement s'obstiner dans une démarche qui nous paraît fautive ou sans issue. C'est un lieu commun de la pédagogie que, la découverte de l'erreur intervient dans tous processus d'apprentissage. Non seulement l'enseignant doit identifier les lacunes de l'apprenant, mais il faut aussi que ce dernier admette ignorer ce qu'il doit apprendre.

Mais qu'est-ce que savoir qu'on ignore ?

Un dialogue de Platon, le *Ménon*, permet de bien d'introduire cette question qui se trouve ainsi posée à l'origine même de la rationalité critique occidentale. Rappelons que ce texte éminemment célèbre et intéressant à plus d'un titre, a servi d'argument pour la conception innéiste de la connaissance partagée par Chomsky et Fodor dans le cognitivisme classique².

Il ne s'agit pas dans cette introduction de prétendre mener une analyse approfondie de ce dialogue extraordinairement riche et difficile, mais simplement de montrer qu'il concerne

² [Canto-Sperber 1991]

aussi notre problématique de l'ignorance. Face à l'aporie posée par les sophistes « on ne peut chercher ce qui est inconnu puisqu'on ne le connaît pas »³, Socrate entreprend de montrer sa théorie de la réminiscence: nous n'apprenons jamais rien que nous ne sachions déjà. Ce qui nous semble être de l'apprentissage ou de la découverte ne serait en fait que le ressouvenir d'un savoir qui était déjà là mais oublié. Pour cela, Socrate dialogue avec un esclave de Ménon et montre que, sans qu'on lui enseigne rien, celui-ci est capable de découvrir seul (ou plutôt de se souvenir) un théorème de géométrie qu'il croyait ignorer.

A suivre le dialogue, on voit bien que dans ce travail d'éveil du souvenir, l'esclave procède par la reconnaissance progressive de ses erreurs. Mais comment peut-il reconnaître qu'il se trompe ? Imaginons que, plutôt qu'un esclave, Socrate ait eu devant lui une machine de type système expert. Si l'idée fautive de départ (on double la surface d'un carré en doublant la longueur de ses cotés) avait été une règle dans sa base de connaissances, la machine se serait obstinée dans sa réponse.

Pour qu'il y ait progrès, il faut donc un mécanisme interne de mise en doute des connaissances : il faut que le système sache qu'il est possible qu'il se trompe, qu'il est possible qu'il ignore ce qu'il croyait savoir. Ce n'est pas d'abord la découverte de l'erreur qui crée le savoir de l'ignorance, c'est le savoir de l'ignorance qui rend possible la reconnaissance de l'erreur. L'erreur ne peut que révéler une ignorance déjà possible. Ce dialogue, plutôt que de prouver que la connaissance doit déjà être là pour pouvoir être redécouverte, montre que c'est le savoir de l'ignorance qui doit déjà être possédé pour que puisse se poursuivre un processus de recherche par essais et erreurs. Une ignorance reconnue, qui permettra dans un deuxième temps la *construction* de connaissances nouvelles.

L'aporie de l'ignorance partait du principe quasi-tautologique que l'on ignore ce que l'on ignore. Dans ce cas d'une ignorance absolue, il est clair qu'on ne peut ni chercher ce que l'on ignore (parce que l'on ne sait pas ce que l'on cherche), ni le trouver (parce que l'on ne pourrait même pas le reconnaître). Socrate passe donc à l'autre extrême pour dire que, puisqu'on a pu découvrir ce que l'on ignorait, c'est que cette ignorance n'était qu'une apparence. On devait déjà savoir ce qu'on a pu reconnaître. C'est la fameuse idée de réminiscence.

Mais, c'est là se placer d'un coup à la fin de la recherche. Durant le travail de l'esclave, il faut comprendre comment fonctionne son ignorance de fait. Il n'est pas dans une ignorance absolue qui ne pourrait que bloquer la recherche, ni non plus dans le savoir que l'ignorance ne serait qu'illusoire, ce qui devrait aussitôt donner la solution de son problème. En fait, et le dialogue le révèle bien, l'esclave ignore, sait qu'il ignore, et plus encore, sait *ce* qu'il ignore : c'est une longueur, celle du côté d'un carré double d'un carré de deux pieds de côté⁴. Son ignorance est seulement relative. En effet, il accepte la critique de l'expérience et de la logique. Il voit que ses premières suppositions ne fonctionnent pas. Mais comment peut-il s'en rendre compte ? Il faut bien que par le savoir de son ignorance il ait préalablement défini un domaine de possibles dans lequel la réfutation était connaissable. Disons ici le domaine des longueurs possibles, des carrés que l'on peut construire à partir de ces longueurs, des mesures que l'on peut faire de leurs surfaces, de la logique qui force à reconnaître ou non une égalité, etc. Dire que l'esclave sait ce qu'il ignore ne retire rien à son ignorance mais en contraint et définit le champ. Dans le processus de sa recherche ce qui se modifie d'abord, c'est cela, ce qu'il sait qu'il ignore se précise et se restreint. Savoir qu'on ignore n'est pas

³ «... il n'est pas possible à l'homme de chercher ni ce qu'il sait, ni ce qu'il ne sait pas ? Il ne saurait chercher ce qu'il sait, puisqu'il le sait, et qu'en ce cas, il n'a pas besoin de le chercher, ni ce qu'il ne sait pas par la raison qu'il ne sait même pas ce qu'il doit chercher » [Platon 1967 : 342].

⁴ « Socrate.- Eh bien, essaye de dire quelle serait la longueur de chaque ligne de ce nouveau carré. Dans celui-ci, la ligne a deux pieds ; qu'elle longueur aura-t-elle dans le carré double ? » [Platon 1967 : 344]

simplement ignorer. Ce savoir particulier semble porter immédiatement et irrésistiblement à la construction d'une pluralité de possibles connaissables.

Ce qui est ignoré est seulement quel est celui des possibles qui se révélera convenir aux conditions de vérité définies avec le problème. Dans ce cas, si, comme dans l'enthousiasme des lumières, on admettait pouvoir définir complètement ce champ de possibles, on pourrait tenter de traduire l'ignorance en termes de calcul de probabilité et proposer des méthodes inductivistes pour la construction des connaissances.⁵ Mais, même si le savoir des possibles est lui-même incertain et qu'on le sait, il reste qu'est déjà présent au moins le possible que cette ignorance soit ou non levée. Bien sûr, philosophiquement, par redoublement de l'ignorance, on dira comme plus haut, qu'on ignore absolument ce que l'on ignore ; qu'il y a des choses dont on ignore même qu'on les ignore, ce qui permet de définir une limite de la rationalité même. Mais, ici notre travail concerne d'abord les ignorances avérées et reconnues dans l'histoire des sciences et des idées comme dans la psychologie individuelle. Dès lors, on voit bien que, pour chaque ignorance particulière, au moment même où elle est reconnue et définie, commence la construction des possibles qui permettront ou non sa résolution.⁶ C'est ce que j'appelle la question de l'ignorance, l'effort de définir ce que l'on ignore, et les savoirs qui en découlent. Ce n'est pas dire qu'en se définissant l'ignorance s'éliminerait. Elle se maintient. Mais en même temps se définissent des possibles dont au moins certains seraient reconnaissables.

C'est une question récurrente pour l'épistémologie et l'histoire des sciences que celle d'évaluer pour toute connaissance nouvelle, quel est le rapport entre ce qui est produit par les acteurs humains de la recherche et ce qui vient de la nature étudiée. Qu'est-ce qui est construit et qu'est-ce qui est donné ? Or, cette opposition naïve du « subjectif » et de « l'objectif » se révèle très vite aporétique.

Si l'étude historique montre que ce qui était de prime abord apparu comme nouveau résulte en fait de savoirs et enjeux qui étaient là auparavant, que la discontinuité que l'on croyait cachait une continuité sous-jacente, alors il n'y a plus ni de vraie nouveauté, ni de vraie histoire. Le savoir nouveau est construit à partir de savoirs précédents. Nous ne pouvons qu'assister à un développement déterminé, une simple maturation, où l'origine contenait tout l'avenir. Notre ignorance n'est qu'un brouillard qui doit nécessairement se dissiper.

Si, inversement, on ne veut voir, derrière la découverte scientifique, que la force du fait qui s'impose, la nature qui parle elle-même, alors là non plus on ne comprend pas qu'il y ait de vraies nouveautés et une histoire du savoir. Il n'y a qu'à écouter le monde, et nos connaissances progresseront de façon nécessaire et continue. S'il y a ignorance, ce ne peut être que par résistance idéologique. Notre ignorance ne serait qu'un voile que nous posons artificiellement sur les évidences de l'empirisme, un refus de savoir.

Ainsi, comme d'ailleurs toute épistémologie conséquente le montre, cette alternative se trouble très vite, en particulier quand ce qui est construit vise justement à former les conditions pour que quelque chose nous soit donné. Par exemple, comment construire des situations expérimentales telles que la nature soit forcée à parler le langage humain de la science, ... et que pourtant on puisse prétendre que ce soit bien elle qui parle ? Comment

⁵ C'est bien cette confiance que l'on trouve chez Laplace (Pierre-Simon, Marquis de), (1749-1827) [Laplace 1986]. C'est aussi ce que nous avons vu par exemple chez Buffon [Lenay 1989].

⁶ Ainsi, Socrate affirme qu' : « ...il est un point que je soutiendrais de toutes mes forces, en paroles et en actes, c'est que, si nous sommes convaincus qu'il faut chercher ce qu'on ne sait pas, nous serons meilleurs, plus courageux et moins paresseux que si nous nous persuadons qu'il n'est même pas possible de chercher et qu'il ne faut pas chercher ce que nous ne savons pas. » [Platon, *Ménon*, p. 354]

construire une situation où, à travers les controverses qui l'animent, une communauté scientifique accepte de regarder ce qui va advenir comme ignoré ... et cependant connaissable quand il adviendra ? C'est là qu'intervient la cognition de l'ignorance. Définir et partager des ignorances forme tout l'enjeu des débats, de la rhétorique des arguments, des alliances et ruptures entre communautés, des succès et échecs des carrières individuelles, etc⁷.

C'est donc une question de méthode pour l'historien que de toujours se demander qu'est-ce que tel ou tel auteur croit savoir qu'il ignore ? C'est une question essentielle pour comprendre sa recherche, et les savoirs qu'il construira. Par exemple, qu'est-ce que Socrate sait qu'il ignore ? Dans le dialogue du *Ménon*, c'est ce qu'est l'idée de vertu. Et plus généralement, Socrate sait qu'il ignore les « idées ». C'est pourquoi il les cherche, mais on voit bien qu'il pose en même temps qu'elles existent indépendamment de la connaissance qu'on en a immédiatement puisqu'on peut les chercher alors qu'on les a oubliées.

Plus profondément, la question de l'ignorance intervient dans les révolutions épistémologiques. J'entends par là les grands moments de redéfinition de ce qui est ignoré parce qu'apparaît en même temps un nouveau schème pour le connaître. En effet, pour les divers cas que j'ai étudié, ce renouvellement des questions procède d'un « travail de l'ignorance », une réflexion non sur ce qui est ignoré, mais sur l'ignorance elle-même. On vient d'en donner un exemple avec le travail de Socrate. C'est bien à partir d'une analyse de ce qu'est l'ignorance humaine (sa propre ignorance, celle de *Ménon* ou celle de l'esclave) que Socrate construit l'idée « d'idée » comme celle d'une distinction fondamentale entre idée et fait particulier, entre épistémé et opinion. En retour, c'est cette distinction qui explique notre ignorance.

Avec le recul historique, on peut fort bien considérer que la réflexion sur l'ignorance et la finitude n'a pas atteint son objet ultime. Mais il reste que le travail de l'ignorance a pu conduire à la création de nouveaux schèmes explicatifs de l'homme et de la nature. Socrate peut bien reconnaître son échec et aller en répétant qu'il ne sait rien, il reste qu'une nouvelle forme de savoir de l'ignorance est créée. Et, on sait que ce savoir deviendra avec Platon celui du monde des idées, et qu'il orientera pour des siècles la recherche philosophique et scientifique.

On peut conduire le même type d'analyse avec bien d'autres auteurs. Par exemple, l'œuvre profonde et difficile de Nicolas de Cuse (1401-1464) est extrêmement révélatrice du début de la renaissance⁸. Or, en 1441 dans sa *Docte ignorance*, on voit comment à partir d'une méditation sur l'ignorance, qui procède d'abord de la théologie négative, il conçoit la connaissance comme mesure de l'inconnu à partir du connu, et du coup l'infini comme inconnaissable absolu. Un inconnaissable que justement l'on connaît puisqu'on le connaît comme tel. Nicolas de Cuse peut alors passer de la théologie et la philosophie à des considérations sur le système du monde qui annoncent les œuvres de Nicolas Copernic et Giordano Bruno. En effet, sa critique radicale du système aristotélicien, pourtant écrite dans les termes de la scolastique dont elle annonce la fin, le conduit à abandonner la coupure entre le supra-lunaire et le sub-lunaire. Puisqu'on ne peut en aucun cas passer continûment du fini à l'infini, on ne peut admettre que dans le monde des choses sensibles puissent se distinguer le fini et l'infini, le désordre de la matière et la perfection des formes pures. Toute chose est mixte, y compris les astres et le soleil, et il ne peut y avoir ni repos absolu, ni centre absolu. Toute chose est en mouvement dans l'espace relatif du monde connaissable par les êtres humains. La « machine du monde » est comme « une sphère infinie dont le centre est partout et la circonférence nulle part ».

⁷ C'est d'ailleurs aussi une question éminemment politique, et le lot de toute décision que de devoir non seulement être prise dans l'incertain, mais aussi de devoir faire partager et inscrire ensemble l'ignorance même qui présidait lors de cette décision. Voir par exemple [Callon 2001] et [Dupuy 2002].

⁸ Cf. [Cassirer 1983]

De même, au XVIII^e siècle, on pourrait montrer comment les réflexions de Pascal sur la finitude humaine et l'espérance, c'est-à-dire une ignorance de l'avenir dont on admet connaître les possibles, permettent sa conception d'un calcul qui sera à l'origine du calcul des probabilités. On sait l'extraordinaire destin de ce nouvel outil pour l'analyse des phénomènes naturels, des décisions et comportements humains individuels ou collectifs, et finalement pour prétendre mesurer notre ignorance.

Dans un contexte encore tout différent, au XIX^e siècle, on peut reconnaître un même type de mouvement chez Darwin quand, réfléchissant sur l'ignorance persistante des éleveurs et horticulteurs en ce qui concerne les causes des variations qu'ils observent dans la descendance de leurs croisements, il en viendra à introduire la notion de hasard dans une explication scientifique avec l'idée d'une sélection naturelle de variations quelconques. Le schème explicatif de la sélection naturelle sera alors mobilisé partout où l'on cherche à expliquer une finalité en évitant tout emploi de causes finales, non pas seulement en biologie mais aussi par exemple en psychologie, économie, ou linguistique.

Ces quelques indications historiques montrent suffisamment j'espère, comment le « travail de l'ignorance », c'est-à-dire une méditation portant sur l'ignorance elle-même, peut être porteuse d'innovations conceptuelles, de transformations historiques des paradigmes par création de nouveaux schèmes explicatifs.

On verra dans les pages qui suivent un approfondissement de ces questions et les quelques éléments que j'ai pu proposer pour les éclaircir, mais ici il faut bien reconnaître que ce que j'ignore précisément c'est ce qu'est cette faculté et que, en même temps, je suis pourtant justement bel et bien capable de reconnaître cette ignorance. Telle est mon humilité préliminaire: « Je suis ignorant et je le sais ». Aussi ma première approche a été de travailler non pas sur la nature de l'ignorance, mais, suivant une méthode historique, sur le fonctionnement de cette faculté, les conséquences de ce savoir, ses modifications et ses effets.

Cependant, dans une seconde approche, que je vais développer ici, à partir de l'étude de la faculté perceptive, j'ai pu reprendre la question de la cognition de l'ignorance de façon plus directe. En effet, on peut remarquer que l'ignorance est au fondement de toute connaissance. J'ai invoqué une humilité préliminaire. On doit aussi reconnaître que cette humilité est constitutive : il n'y a pas même la moindre connaissance possible sans ignorance. Un argument de F.W.J. von Schelling (1775-1854) le fait bien comprendre. Il s'agit d'analyser les contradictions internes à l'idée d'un Dieu absolu transcendant, à la fois créateur conscient et omniscient⁹. Pour cela, Schelling se propose de montrer l'alternative suivante :

- Si Dieu est omniscient (et absolument libre), alors il n'est pas un créateur conscient.
- Si Dieu est un créateur conscient, alors il n'est pas omniscient (ni absolument libre).

Voyons tout d'abord ce que pourrait signifier l'omniscience divine (dans une conception de la connaissance qui est ici directement issue du travail de Kant).

« On dit couramment : *Dieu contemple les choses en soi*. Si cette proposition a un sens, ce ne peut être que celui-ci : Dieu est le réalisme accompli. »¹⁰

En tant qu'il est omniscient Dieu atteint le réel au delà des limites de notre raison qui ne nous permettent de saisir que des phénomènes. Dieu voit les choses en soi.

« Mais le réalisme accompli devient, de ce fait même, donc nécessairement, idéalisme. Car le réalisme parfait n'est possible que là où des objets cessent d'être des objets, c'est-à-dire des (phénomènes) opposés au sujet, c'est-à-dire là où la représentation est identique aux objets représentés, c'est-à-dire le point où le sujet est identique à l'objet. Il en

⁹ Je remercie ici Jean-Pierre Pesron qui, en m'enseignant ce paradoxe alors que j'étais en classe terminale scientifique, est certainement pour une grande part à l'origine de mes préoccupations philosophiques.

¹⁰. [Schelling 1950]

résulte que le réalisme, grâce auquel Dieu est à même de contempler les choses en soi, n'est pas autre chose que l'idéalisme accompli... »¹¹

Dans l'omniscience chaque chose est entièrement pensée, sans reste, au point que cette pensée est égale à la chose dans son individualité et son existence même. Tout ce qui existe se trouve ainsi dans la pensée de Dieu. Il lui suffit de penser une chose pour qu'elle soit. Il n'y a plus pour Dieu de choses qui lui seraient données de l'extérieur dans une sensibilité. Tout est dans sa pensée. C'est l'idéalisme accompli. Il n'y a plus de différence entre pensée et existence, entre entendement et intuition sensible, entre représentation et chose représentée.

Or, une action consciente est une action effectuée en fonction d'un objectif, c'est-à-dire une action pour laquelle la représentation de l'objectif est la cause (une création par cause finale). Autrement dit, pour une création consciente, responsable, il faut que la *représentation* de la fin soit la cause de cette création. Cela présuppose que la fin soit représentée comme seulement *possible* avant d'être réelle.

Mais, on vient de voir que si Dieu est omniscient, alors il n'y a plus pour lui de séparation entre concept et existence, plus de distinction entre possible et réalité. Tout pour Dieu est nécessaire. Et en même temps, puisqu'Il n'est pas conditionné par une réalité étrangère à sa pensée, Il est inconditionné, absolument libre. « Liberté absolue et nécessité absolue sont identiques ».¹²

Dès lors, un Dieu omniscient ne peut être conscient de lui-même:

« Mais aucune connaissance de soi n'est compatible avec la liberté *absolue*. Une activité pour laquelle il n'existe plus aucun objet, aucune résistance, ne peut faire retour à soi. La *conscience* ne naît que par suite de ce retour à soi. Seule la réalité *limitée* constitue ce qui est *réalité* pour nous. »¹³

S'il n'y a plus de différences entre sujet et objet, il n'y a plus un objet pour la conscience d'un sujet : pour nous, la conscience est celle des phénomènes qui sont le produit de notre limitation¹⁴. Ainsi Dieu omniscient est inconscient et ne peut pas même choisir parmi divers possibles, il n'y en a qu'un seul: ce qui est, ce qu'Il pense.

A l'inverse, si Dieu est un créateur conscient alors Il n'est plus omniscient¹⁵. Ses pensées ne sont que des représentations de phénomènes donnés dans ce qui devra être une forme d'intuition sensible.

Cet argument vise ici, non pas à amorcer un débat de théologie, mais à montrer qu'en l'absence de toute ignorance, de toute finitude, non seulement il n'y a pas de jugement parmi plusieurs possibles, mais il n'y a plus de différence entre possible et réel, entre concept et phénomène, entre pensée et perception. S'il était envisageable de tout savoir, y compris ce qui détermine nos pensées, il n'y aurait plus de simplification du divers des phénomènes dans des schèmes généraux, plus même de prévision, mais seulement, au contraire, une infinie diversité et instantanéité de chaque savoir. Reporté dans le champ des sciences cognitives, cet argument permet de dire que l'ignorance est une condition de possibilité de la pensée. La possibilité d'être ignorant et de négliger des détails, est nécessaire pour pouvoir penser des concepts généraux au milieu de la diversité de nos sensations, des formes indépendamment des variations de la matière qui les constituent. C'est par cette faculté que, pour nous, il nous

¹¹ [Schelling 1950 : 139]

¹² [Schelling 1950 : 141]

¹³ [Schelling 1950 : 125]

¹⁴ "S'il est vrai qu'une activité, lorsqu'elle n'est plus limitée par des objets et qu'elle est tout à fait absolue, n'est jamais accompagnée de conscience..." [Schelling 1950 : 131]

¹⁵ "...son activité ne serait pas absolue, mais conditionnée par sa connaissance des lois rationnelles." [Schelling 1950 : 123]

semble possible d'agir d'après nous, que nous nous sentons capable d'imposer, ou de tenter d'imposer, au divers, nos idées, notre volonté, nos buts et que finalement, peut naître le sentiment de notre liberté.

Avec l'omniscience disparaissent les formes de la sensibilité, c'est-à-dire l'espace et le temps. Prenons par exemple une autre façon de concevoir l'omniscience qui consiste à poser métaphysiquement un déterminisme absolu des choses dans le monde. Le génie de Laplace en est la plus célèbre illustration :

« Une intelligence qui pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule, les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et *l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux.* »¹⁶

Pour l'intelligence omnisciente de Laplace, il n'y a plus de temps, ni même d'ailleurs d'espace. Tout est présent *devant* elle : elle n'est pas englobée dans un espace qui la contiendrait, mais le monde n'est pour elle qu'un système d'équations déterministes s'appliquant à un unique ensemble de conditions initiales infiniment précises.

Mais, si en l'absence d'ignorance il n'y a plus de distinction entre catégories de l'entendement et intuitions sensibles, alors inversement, on peut faire l'hypothèse que c'est par notre ignorance que se constitue cette distinction. Si en l'absence d'ignorance, il n'y a plus de phénomènes, plus d'espace et de temps où ils pourraient nous être donnés, alors inversement, on peut faire l'hypothèse que c'est par notre ignorance que se constitue la possibilité d'une perception, d'une réception d'un donné phénoménal.

Le savoir de l'ignorance n'est pas seulement une connaissance particulière (une méta-connaissance sur les connaissances), elle est constitutive de toute connaissance. Les mécanismes de reconnaissance de notre finitude sont donc un problème essentiel, un problème de fondement pour les sciences cognitives. En particulier, la question de l'ignorance se trouve posée à l'origine même de la faculté perceptive, comme possibilité d'un donné pour notre conscience. Cette question se pose d'ailleurs aussi bien sur le plan philosophique que sur le plan des théories scientifiques de la cognition.

Sur le plan philosophique d'abord, si l'on admet que nous, êtres finis, ne pouvons jamais sortir de notre pensée pour contempler la chose en soi, comment est-il possible que nous soit donnée la moindre chose qui ne serait pas déjà en nous ? Comment, si toute chose pensée doit être construite à partir de notre pensée, peut-il y avoir la pensée de choses qui ne seraient pas entièrement construites par nous et qui nous seraient données ? Il faut bien que la raison constitue en elle-même la possibilité, non pas de son dépassement, mais d'une forme de réceptivité : la possibilité d'un ignoré qui puisse devenir connu. On rencontrera plus loin la façon dont la perspective phénoménologique tente de résoudre ou déplacer cette question. Dans cette introduction, je voudrai seulement rappeler que ce questionnement philosophique renvoie, sur le plan des sciences cognitives, à la question de l'intentionnalité (au sens de la philosophie de l'esprit anglo-saxonne).

Si l'on admet, comme dans le « *computo-représentationnalisme* » du cognitivisme classique, que la pensée procède par la manipulation de représentations symboliques d'après leurs caractéristiques formelles, comment comprendre que ces représentations puissent avoir un contenu de signification différent d'elle-même ? Comment donc articuler le système formel des représentations et la causalité externe pour que ces représentations aient un

(16) [Laplace 1986]. C'est moi qui souligne. D'Alembert avait lui aussi donné une formule d'omniscience de ce type: "L'univers, pour qui saurait l'embrasser d'un seul point de vue, ne serait, s'il est permis de le dire, qu'un fait unique et une grande vérité", in "Discours préliminaire" de l'*Encyclopédie* (1751).

« contenu large », renvoyant d'une façon ou d'une autre à quelque chose qui est en dehors d'elles ? De même, si comme généralement dans les neurosciences, on admet que nos états mentaux sont associés à des états cérébraux définis, et que donc les enchaînements de la pensée correspondent à des enchaînements de ces états matériels du cerveau, comment donc comprendre qu'un état cérébral puisse renvoyer à autre chose que lui-même et produire par exemple cette conscience que j'ai d'un monde extérieur ? Si l'on admet que toute notre conscience résulte d'états mentaux qui enchaînent sur des états mentaux (ou si l'on préfère d'états cérébraux qui enchaînent sur des états cérébraux), on ne connaît que ce que l'on construit dans notre conscience, alors comment est construite la possibilité même du donné ? Pour cela, il semble nécessaire de construire un champ de possibles connaissables, et tel que le choix ne soit pas déterminé par nous : un espace d'ignorance pour la perception.

Il me semble donc qu'en étudiant les liens entre question de l'ignorance et question de la perception, on devrait pouvoir proposer des alternatives à ces difficultés. C'est du moins ce que je vais tenter de faire au long des pages qui viennent en approfondissant progressivement la question d'une constitution de l'espace.

Mais, travailler sur la constitution de l'espace pose immédiatement de difficiles problèmes. En adoptant un recul philosophique classique, on doit remarquer que les formes de l'espace et du temps s'imposent *a priori* et avant toute expérience, et qu'il est donc vain de chercher dans l'expérience la constitution de ses conditions de possibilité. Même si, depuis Kant, la découverte des géométries non euclidiennes oblige à remettre en question la nécessité de sa géométrie, il reste que le fond de la pensée kantienne n'est pas de défendre une géométrie mais plutôt de montrer que l'espace, comme forme de l'intuition sensible, échappe à toute détermination conceptuelle propositionnelle complète. Ce qui est important, ce ne sont pas des formes déterminées de l'espace (le nombre de trois dimensions, la géométrie d'Euclide) mais ses formes intuitionnées générales : sa *totalité*, son *englobement*, son *infinité*, sa *continuité*, etc. qui sont autant de noms d'énigmes dont la détermination conceptuelle est toujours en cours, inachevée¹⁷. Dès lors, ni du point de vue de la phénoménologie, ni du point de vue de l'objectivité de la psychologie, il n'est envisageable de proposer une constitution de l'espace comme chose déterminée. S'il doit être constitué, ce ne peut être que comme est constituée une question, c'est-à-dire comme une certaine façon de déterminer notre ignorance.

Ma stratégie consistera à faire jouer un rôle de pivot essentiel aux dispositifs techniques de suppléance perceptive. En effet, ils permettent de construire des situations expérimentales simplifiées à l'extrême, et où l'on peut dégager clairement le rôle constitutif de l'action et de la spatialité du corps propre dans la constitution d'un espace de localisation et de reconnaissance de formes. On pourra alors justifier une méthode de recherche, la « méthode des répondants » qui permettra de reprendre la question de l'espace et de l'extériorité comme essentiellement liée au savoir de l'ignorance de l'action. En retour cette analyse permettra de mieux comprendre la façon dont les dispositifs techniques participent à notre façon de percevoir, de penser et d'ignorer. On montrera ainsi j'espère, la valeur heuristique d'un passage dans les deux sens entre la spéculation philosophique, la science et la technique.

Notre humilité première est une humilité constitutive. Ce que nous ignorons le plus ici, c'est bien ce qu'est cette faculté d'ignorer. Dans les pages qui suivent nous ne prétendrons pas résoudre cette question. Dire ce qu'est l'ignorance serait une ambition

¹⁷ Voir : [Salanskis 1991].

métaphysique inadmissible par laquelle nous prétendrions sortir de notre finitude. D'ailleurs, réduire l'ignorance à une forme particulière de connaissance alors qu'elle est une condition de possibilité de toute connaissance serait illogique et, en même temps, une forme de contradiction dans les termes, puisque l'ignorance connue ne serait plus une ignorance. Notre question n'est donc pas de comprendre ce qu'est l'ignorance, mais ce qu'est le savoir « de » l'ignorance. Et travailler cette question ce n'est pas l'épuiser. Mais, même si la question de l'ignorance est probablement inachevable, ce n'est pas une raison pour abandonner la recherche. Le savoir de l'ignorance est le nom d'une énigme comme il y en a bien d'autres : l'espace, la matière, l'infini, ... Mais comme pour ces autres énigmes, admettre leur caractère insoluble ne signifie pas que l'on ne puisse rien en dire ou en comprendre, ni même que l'on ne puisse se donner l'idéal régulateur de les résoudre. Surtout, comme j'ai essayé de le suggérer plus haut, l'épreuve de cette recherche est souvent porteuse de nouveaux savoirs ou de nouveaux pouvoirs, même s'ils se révèlent toujours rater leur objectif ultime.

2 Suppléance perceptive et perception spatiale

Pour cette partie j'emploierai le « nous », non comme figure académique, mais parce que nombre des résultats présentés ont été obtenus dans la dynamique d'une équipe que j'anime depuis 1997 et qui n'a cessé de croître depuis pour être finalement institutionnalisée comme une plate-forme interlaboratoire de « Suppléance Perceptive ».

Il faut aussi dire à titre préliminaire que ce travail nous semble avoir ouvert un champ de recherche nouveau. Les résultats présentés ici ne sont donc qu'une étape dans une entreprise plus large que nous espérons continuer ensemble. En effet, ces recherches qui visent à réaliser une étude systématique dans le contexte des systèmes de perception prothésisée (dispositifs de substitution sensorielle) s'est en même temps révélé comme une **recherche fondamentale sur les médiations techniques, recherche dont les conséquences pratiques sont directes.**

La perception prothésisée est une perception rendue possible par un dispositif de couplage artificiel distribuant au sujet des sensations en fonction de ses actions et de l'état de son environnement. C'est en fait ce que réalise toute saisie d'un outil en général. On verra donc si ces études effectuées dans des situations très contraintes permettent des généralisations utiles.

2.1 *Les Systèmes de substitution sensorielle. Expériences et résultats.*

Nous nous appuyons sur une extension des travaux de Bach-y-Rita sur les systèmes dits de « substitution sensorielle ». Ces dispositifs techniques ont été développés, depuis la fin des années 60, pour l'aide aux personnes atteintes de cécité visuelle (congénitale ou non) [Bach y Rita 1972, 1994, Kaczmarek 1995]. Le premier (Tactile Vision Substitution Systems) convertit une image visuelle captée par une caméra vidéo en une « image » tactile composée d'une surface de stimulateurs (une matrice de 20 / 20) placée soit dans le dos, soit sur le thorax [Collins 1973]. Les premières utilisations de tels dispositifs ont apporté trois résultats fondamentaux [Sampaio 1994].

i)- Tout d'abord, la présentation de formes à la caméra immobile ne permet qu'une discrimination très limitée des stimuli reçus, et ils restent perçus à la surface de la peau. Ainsi la simple substitution d'une entrée tactile à une entrée par le nerf optique ne donne pas, en tant que telle, accès à une perception spatiale.

ii)- Mais, si l'utilisateur dispose des moyens de manipuler la caméra (mouvement de droite à gauche, de bas en haut, zoom avant et arrière, focale), il développe des capacités de reconnaissance de forme spectaculaires. Il commence par apprendre comment les variations de ses sensations sont liées à ses actions : quand il déplace la caméra de gauche à droite, sur sa peau les stimuli se déplacent de droite à gauche; quand il zoom avant, les stimuli vont en s'écartant, etc. Après avoir appris à diriger la caméra vers une cible, il discrimine des lignes et des volumes, puis reconnaît des objets familiers de plus en plus complexes jusqu'à être capable de discriminer des visages.

iii)- Troisièmement, cette reconnaissance s'accompagne d'une mise en extériorité des percepts en des objets placés dans l'espace. Au départ l'utilisateur sent sur sa peau des stimulations qui se succèdent. Mais avec les progrès de l'apprentissage perceptif, il finit par oublier ces sensations du toucher pour percevoir des objets stables à distance, là-bas devant lui. Ainsi, d'après les témoignages des utilisateurs, les irritations proximales que peut provoquer la plaque tactile sont clairement distinguées de la perception proprement dite. Cette localisation subjective des objets dans l'espace se produit rapidement (après 5 à 15 heures

d'entraînement). L'aveugle découvre ainsi des concepts perceptifs nouveaux pour lui tels que la parallaxe, les ombres, l'interposition des objets, etc. Certaines illusions visuelles classiques sont spontanément reproduites [Bach y Rita 1982, Guarniero 1977]. Une telle expérience peut être réalisée aussi bien par une personne handicapée que par une personne voyante ayant les yeux bandés.

iv)- Cependant, les premières réussites spectaculaires des systèmes développés pour les handicapés ont été accompagnées d'une déception inattendue: le rejet par les utilisateurs aveugles de dispositifs qu'ils déclaraient décevants et déprimants. Nous reviendrons aussi sur des tentatives d'explication de ce rejet.

L'apprentissage perceptif impliqué par un tel dispositif met en évidence une étonnante plasticité du système nerveux central qui doit subir de vastes réorganisations fonctionnelles. L'entrée sensorielle tactile n'a rien à voir avec celle du système visuel, pas plus que le contrôle de la caméra par les mains n'a de relations avec les commandes des muscles oculaires. Pourtant le cerveau se révèle capable d'organiser un monde perceptif dont les formes et événements croisent ceux qui nous sont donnés dans la perception visuelle. De plus, si pour un sujet entraîné, on déplace la plaque de stimulateurs tactiles du thorax vers le dos, et que l'on remplace la caméra qui était tenue dans les mains par une caméra miniaturisée attachée à une monture de lunette, l'adaptation est presque immédiate. En quelques secondes le sujet retrouve une perception distale devant lui.

Le rôle essentiel joué par l'action dans l'émergence progressive de perceptions structurées permet de former quelques hypothèses. Ce qui est perçu, reconnu, ce ne sont pas à proprement parler les invariants de la sensation, mais plutôt les invariants de cercles sensori-moteurs inséparables de l'activité du sujet [Gibson 1966, 1986 ; Piaget 1936 ; Paillard 1971 ; Varela 1979 ; Brooks 1999 ; O'Regan 2001]. On abandonne ici la conception passive de la perception pour laquelle le système recevrait en entrée une information puis effectuerait un calcul pour identifier des objets, des événements, et produire des représentations dans un espace interne. Au contraire, c'est par son action que le sujet cherche et construit des règles de liaisons constantes entre action et sensation. Ces règles, qui permettent d'anticiper les effets des actions sur les sensations correspondent à la perception des formes et de leurs positions spatiales. La perception d'un objet consiste en la découverte de régularités dans la liaison entre variation d'action (mobilité de l'organe de perception) et variation de sensation (produite par ces actions), c'est ce que Kevin O'Regan appelle une loi de contingence sensorimotrice [O'Regan 2001]. La richesse de la perception doit donc dépendre autant des qualités de l'action (mobilité, rapidité, zoom, etc.) que de la sensation (largeur du spectre, nombre de senseurs, etc.).

2.2 Méthodologie expérimentale

La nécessité d'une action du sujet sur les capteurs sensoriels pour constituer une perception, rend inadéquate l'appellation de « systèmes de substitution sensorielle ». En effet, ce que doit amener le dispositif technique ce n'est pas seulement un accès à de nouvelles données sensorielles, c'est aussi le pouvoir d'agir sur le système récepteur. Il en est d'ailleurs de même pour la vision naturelle. Elle nécessite à la fois un œil fonctionnel et l'activité des muscles oculaires qui déterminent des micro-saccades (de 10 à 20 millisecondes). En cas d'immobilisation parfaite de l'image sur la rétine, il ne semble pas y avoir de vision possible. La scène perçue s'évanouit en quelques secondes [Ditchburn 1973, Steinman 1990]. De plus, le terme de substitution est abusif. Il y a de fait, de nombreuses différences entre le couplage artificiel et notre couplage visuel: il n'y a pas de couleur, peu de points, une caméra dont les

mouvements sont difficiles et limités, ce qui donne une grande lenteur à la reconnaissance de la situation. Ce couplage sensori-moteur ressemble bien par certains aspects à celui de notre vision, mais l'expérience qu'il permet est toute différente, comme peuvent d'ailleurs bien le comprendre les voyants qui se prêtent à son apprentissage. Le dispositif de Bach y Rita ne réalise pas une *substitution* sensorielle, mais une *suppléance au sens de supplément (d'addition ou d'augmentation)* : l'ouverture d'un nouvel espace de couplage de l'homme avec le monde. Les dispositifs dit « de substitution sensorielle » bouleversent les catégories classiques de définition des diverses modalités sensorielles. Il est donc préférable de nommer ces systèmes « dispositifs de couplage sensori-moteurs » ou « Systèmes de suppléance perceptive ».[Lenay 2000b].

Ces prothèses, outre leur intérêt pratique, offrent une situation expérimentale originale pour l'étude de l'activité perceptive. Elles donnent un accès empirique possible à la question de l'intentionnalité telle qu'elle est définie dans la philosophie de l'esprit, c'est-à-dire, ici, à la conscience de quelque chose comme en extériorité, puisqu'ils permettent d'en suivre et reproduire la genèse chez l'adulte.

On retrouve donc, dans une situation bien contrôlable, la question que je posai en introduction : dans quelles conditions peut apparaître un espace dans lequel des choses nouvelles ou inattendues peuvent nous être données. C'est pourquoi je décidais d'investir la plus grande partie de mon énergie dans ce champ de recherche où les approches philosophiques, psychologiques, technologiques et expérimentales semblaient idéalement pouvoir être associées.

En dotant un sujet d'un dispositif de couplage sensori-moteur on se donne les moyens d'étudier empiriquement comment sa façon de percevoir et d'agir est transformée. Par le contrôle du dispositif on peut espérer dégager les conditions nécessaires pour la constitution d'espaces perceptifs nouveaux, c'est-à-dire d'espaces de significations et de manipulations dans lesquels se délimitent un sujet et des objets qu'il peut rencontrer et sur lesquels il peut agir.

Mais dès lors que l'on se donne pour objectif de comprendre les conditions de la constitution d'un espace pour un sujet, les difficultés épistémologiques propres à la psychologie se trouvent immédiatement portées à leur paroxysme. En effet, l'espace semble être une condition de possibilité nécessaire pour la constitution d'une objectivité « externe », indépendante du sujet. Comment donc prétendre donner une explication scientifique, objective, d'une composante de la constitution même de l'objectivité ? On verra plus loin comment nous avons proposé d'assumer cette profonde difficulté.

En tout cas, de prime abord, il nous semblait clair que cette étude obligeait à conjointre deux types d'approches.

D'une part, du point de vue externe de l'objectivité scientifique (point de vue à la troisième personne) on peut analyser les modes d'usage du dispositif et les capacités nouvelles qu'il donne au sujet. On pourra pour ça mobiliser les méthodes de différentes approches scientifiques depuis la sociologie jusque la psychologie, les neurosciences et la psychophysiologie classique (mesure de la vitesse de résolution de tâches définies, analyse des comportements, mesure des activités organiques).

Mais s'en tenir à ces études serait insuffisant. En effet, l'opportunité de vivre l'expérience de l'acquisition d'une nouvelle modalité perceptive permet aussi de suivre, pour ainsi dire « de l'intérieur du sujet », la façon dont le monde lui apparaît (point de vue à la première personne). Nous essaierons alors de détailler la façon dont les dispositifs techniques transforment notre expérience vécue en tentant d'appliquer une démarche de type phénoménologique dont notre modèle principal est celle de Maurice Merleau-Ponty.

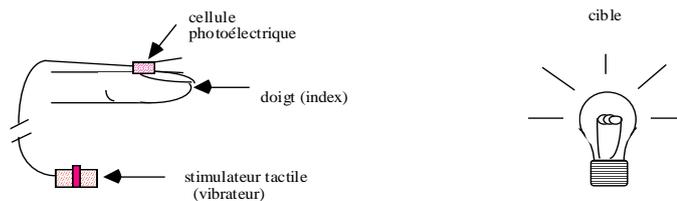
Il faut donc, d'autre part, étudier du point de vue interne, la façon dont les dispositifs techniques transforment les modes de perception, de raisonnement ou d'action du sujet. Ceci nécessite de mobiliser une méthode de type phénoménologique [Husserl 1989]. En effet, cette démarche philosophique s'intéresse à l'apparaître des phénomènes dans la conscience, indépendamment de l'existence d'une chose en soi particulière qui pourrait les causer. Dans le cadre d'une recherche expérimentale, une telle connaissance interne n'est accessible que par implication directe du chercheur. Nous reviendrons sur les conditions apparemment paradoxales de cette « phénoménologie expérimentale ». Pour préparer cette discussion épistémologique et méthodologique nous allons tenter de distinguer soigneusement ces deux approches. Commençons par l'approche en troisième personne.

2.3 Localisation spatiale

Notre méthode a d'abord consisté à simplifier le dispositif de couplage au maximum. Nous cherchions à déterminer les conditions techniques minimales nécessaires pour que soit possible la perception d'un objet extériorisé dans un espace où il pourrait être localisé par un sujet non-voyant [Lenay 1997]. Ici notre modèle épistémologique était celui de l'extraction d'un principe transformant en chimie ou en biologie : par purification et séparation plus ou moins approfondies d'un composé initial dont on sait qu'il a l'effet recherché, on cherche à extraire la partie la plus simple possédant encore cet effet. Ici, on sait que le dispositif complet de Paul Bach y Rita produit l'effet de constitution d'un espace d'extériorité. Jusqu'où doit-il être simplifié pour que disparaisse cet effet ?

En simplifiant le dispositif, on pouvait espérer atteindre la structure minimale qui rende possible cette perception spatiale, et dégager ainsi des principes explicatifs d'autant plus facilement généralisables qu'ils seront simples.

Le dispositif absolument minimal que j'ai pu concevoir consiste en une simple cellule photoélectrique fixée sur un doigt de la main dominante et connectée à un stimulateur tactile (un vibreur) tenu dans l'autre main. Le vibreur réagit en tout ou rien au dépassement d'un seuil d'activation de la cellule photoélectrique qui capte un faisceau de lumière incidente assez large ($\approx 20^\circ$).



2.3.1 Exploration libre

Une cible lumineuse est placée à distance du sujet dans une pièce noire. Le sujet a les yeux bandés et peut librement mouvoir le bras et la main qui tient le récepteur.

Résultats du point de vue de l'observateur extérieur : après quelques minutes d'exploration, le sujet se révèle capable de localiser la cible, c'est-à-dire d'indiquer sa direction et sa distance approximative.

Ceci peut se vérifier, soit par une tâche de pointage directe, soit par une verbalisation (sur la base d'un ensemble de positions précédemment apprises).

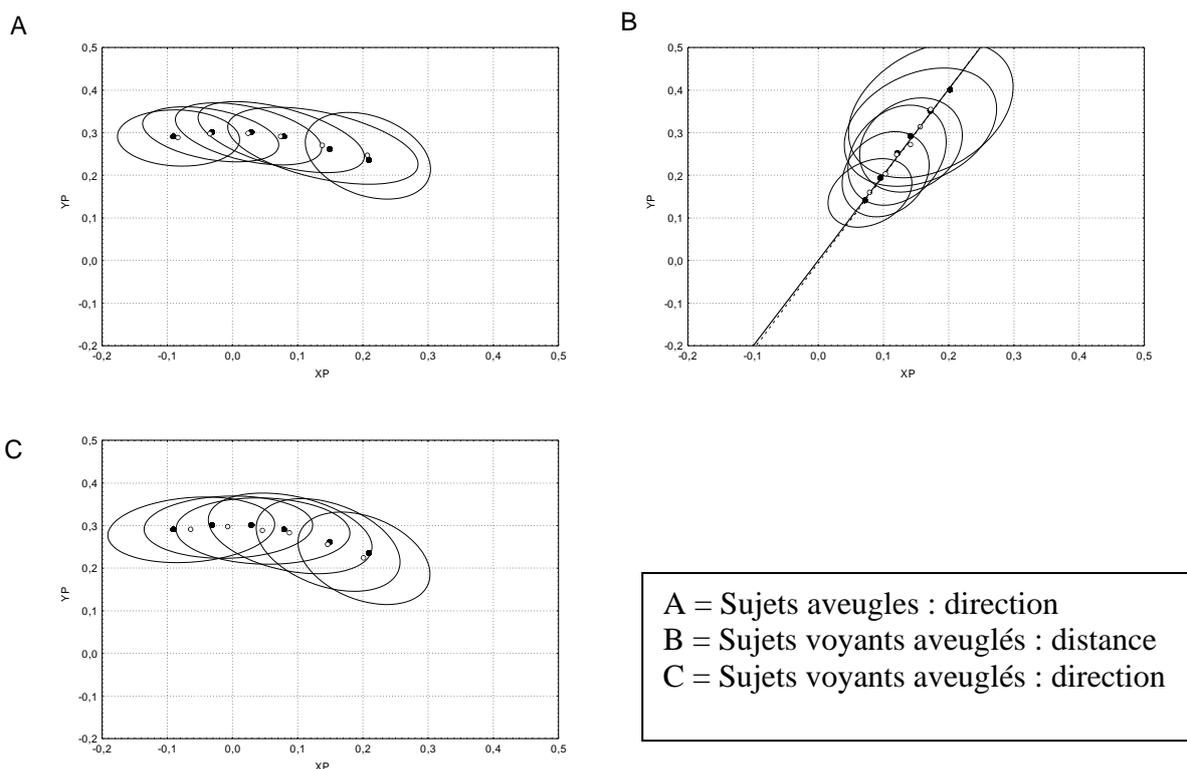
Dans une expérience réalisée par Bianca Hardy et Marie-Martine Ramantsoa [Hardy 2000] 30 sujets étaient séparés en trois groupes : 10 sujets voyants ayant les yeux bandés

réalisant une tâche de pointage de direction, 10 sujets aveugles réalisant cette même tâche et 10 sujets voyants les yeux bandés réalisant une tâche de pointage de distance. Chaque sujet portait la cellule photoélectrique du dispositif que nous avons décrit plus haut sur l'index de la main gauche. Il était assis face à une table. Au départ, la main gauche est posée sur la table, et la main droite sur le stimulateur tactile. Avant l'expérience proprement dite, les sujets participaient à un entraînement consistant en l'apprentissage passif de 6 positions possibles pour la cible lumineuse. Cette phase d'apprentissage était achevée quand le sujet se révélait capable d'atteindre chaque cible.

Condition 1 ("direction") : 6 positions de la cible disposées en arc de cercle autour de la position de départ ;

Condition 2 ("distance") : 6 positions de la cible disposées sur une ligne passant par la position de départ.

Chaque sujet effectuait 60 essais de pointage (avec une interruption tous les 20 essais pour répéter l'apprentissage passif des positions possibles de la cible). On ne considère ici que l'erreur variable indiquant la précision du pointage par la moyenne de l'écart entre la position du doigt et la position de la cible. Les ellipses de confiance montrent bien que les sujets se sont révélés capables de distinguer les positions de la cible. Remarquons que ces ellipses de confiance sont légèrement plus petites pour les sujets aveugles bien que l'erreur variable n'indique pas de différence significative ($F[5, 108] = 0,763$; $p < 0,577$) sauf pour les cibles 1 et 2



Ellipses de confiance¹⁸

D'une certaine façon, il faut admettre un échec dans notre tentative d'extraction du principe technique constitutif d'un espace de localisation puisque, même avec ce dispositif de

¹⁸ Ces résultats ont été obtenus par Bianca Hardy, Marie-Martine Ramantsoa, et avec les conseils de Sylvain Hanneon. [Hardy 2000]

couplage minimal, on observe une telle capacité de localisation. Cependant, ces conditions minimales rendent possible une analyse approfondie de cette perception spatiale.

Avec un seul point de stimulation pour un seul champ récepteur, la stimulation sensorielle est réduite à une simple séquence temporelle binaire : « 0000000011... 111000011110000000..... », où « 1 » correspond à un retour sensoriel, et « 0 » à une absence de stimulation¹⁹. On se rappellera qu'avec le TVSS de Bach-y-Rita, il y avait 400 points de stimulation, disposés dans une matrice de 20 x 20 correspondant aux champs récepteurs de la caméra. Dans ces conditions, on ne pouvait pas exclure que l'entrée sensorielle contienne déjà des informations spécifiquement spatiales. Par contre, le dispositif expérimental employé ici a été délibérément construit pour exclure ce genre de possibilité. En effet, avec un seul point de stimulation l'espace ne peut pas être présumé dans l'instant de la donnée sensorielle.

S'il n'y a aucune spatialité intrinsèque des entrées sensorielles, la perception d'une cible localisée en direction et en profondeur, n'est accessible que par une exploration active et non par l'analyse interne d'une image projetée sur une rétine sensorielle. On dit que *le dispositif force un déploiement spatial et temporel de l'activité perceptive*. Dès lors celle-ci peut être étudiée par le biais des mouvements observables sous une forme proprement behavioriste.

On comprend bien que la localisation de la cible soit possible. Et elle reste possible même si les mouvements du sujet sont simplifiés, et réduits aux mouvements du bras autour de l'articulation de l'épaule, et des mouvements de la main autour de l'articulation du poignet (autrement dit, le coude est bloqué avec le bras tendu ; les articulations des doigts et de la main sont immobilisées ; et la position du sujet est fixe, le buste toujours tourné dans la même direction). Dans les figures suivantes, nous ne considérons que les mouvements dans un plan horizontal (on retrouvera un espace tridimensionnel en intégrant aussi des mouvements de bas en haut). Dans la Figure 1, la situation est représentée en coordonnées (x,y). Le sujet est placé à l'origine (0,0), que nous désignons comme le point O. La cible est une source ponctuelle, S, située à une distance L du sujet avec les coordonnées (0,L). Le point P désigne le poignet du sujet ; ses coordonnées sont (b.cosα, b.sinα), où b est la longueur du bras, et l'angle α = (Ox, OP) indique l'orientation du bras. L'angle au poignet, entre le bras et la main, est désigné par β = (PO, PS).

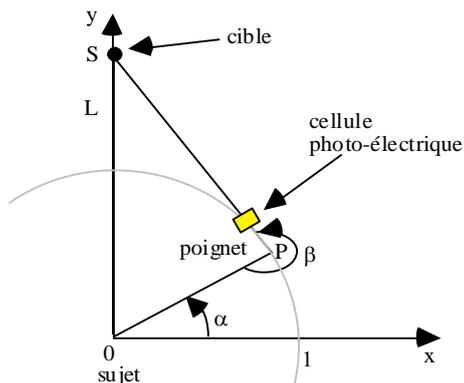


Figure 1 : Le bras (avec l'avant bras) a une longueur b.

La distance de la cible L (OS) est alors atteinte par triangulation suivant la formule :

$$(1) \quad L = b(\sin \alpha - \cos \alpha \tan(\alpha + \beta))$$

¹⁹ Je remercie ici John Stewart pour cette description très intuitive de l'activité perceptive.

Supposons tout d'abord que la longueur du bras, b , est connue (on reviendra sur ce point). On notera que pour $\alpha = \pi/2$, β est nécessairement π et la distance L est indéterminée. On peut supposer que cette position singulière (le bras droit devant, la main et le doigt aligné avec le bras) est utilisée pour fixer l'orientation générale du buste. Dans ce cas, d'un point de vue purement mathématique, une seule autre paire de valeurs (α , β) pourrait suffire pour déterminer la distance L .

On observe cependant expérimentalement qu'un ou deux « contacts » avec la cible ne sont pas suffisants pour que les sujets réussissent les tâches de localisation. Au contraire, ils réalisent des battements réguliers autour de la cible : petites oscillations de la main avec changements de la position du poignet de sorte à ce que la stimulation apparaisse et disparaisse sans cesse.

Ces variations exploratoires de l'angle β du poignet semblent servir à déterminer, pour une valeur donnée de α , la valeur précise de β qui est nécessaire pour obtenir le retour sensoriel. Les sujets répètent souvent cette procédure, en faisant varier lentement l'orientation du bras α . On peut résumer en disant que tout se passe comme si les sujets cherchent à identifier la relation fonctionnelle entre α et β qui doit être respectée pour obtenir un retour sensoriel, c'est-à-dire à identifier la loi de contingence sensorimotrice attachée à une position donnée de la cible²⁰. En effet, il est possible de ré-écrire Equation (1) pour exprimer β comme une fonction déterminée de α :

$$(2) \quad \beta = 2\pi - \alpha + \text{Atan} \left(\frac{b \sin\alpha - L}{b \cos\alpha} \right)$$

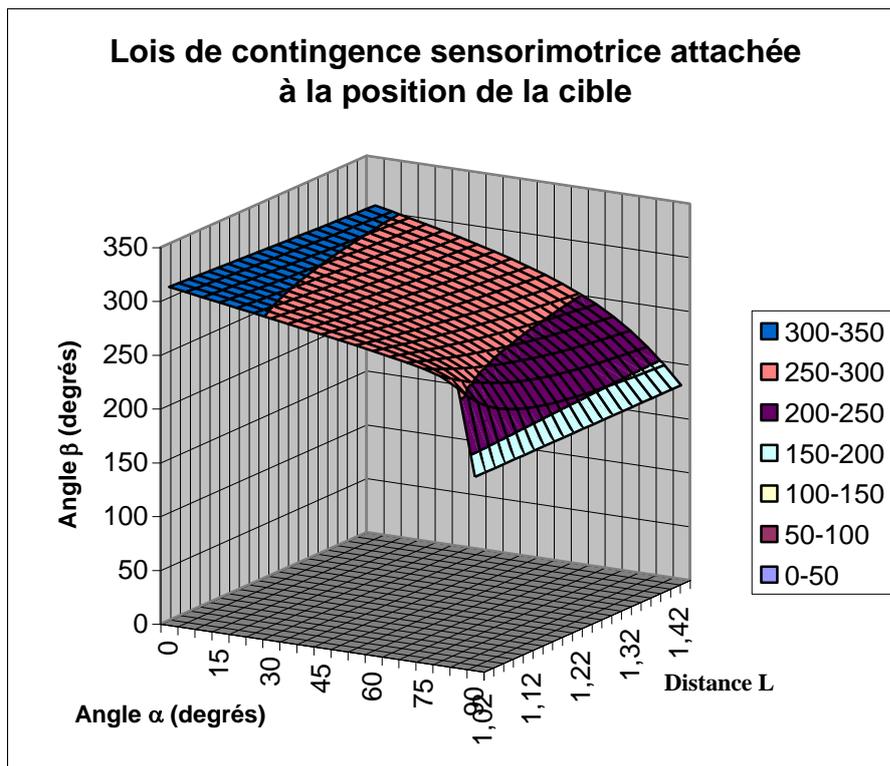


Figure 2 : Courbe représentant l'angle β en fonction de l'angle α (exprimés en radians) pour différentes valeurs de L .

α varie entre 0 et $\pi/2$. La longueur du bras b est prise égale à 1, si l'on considère qu'elle est de un mètre, les courbes représentées ici correspondent à la perception d'une cible située entre 2 cm et 42 cm devant le poignet.

²⁰ [O'Regan 2001]

La figure 2 montre comment la relation entre α et β change de façon caractéristique pour différentes valeurs de L . En particulier, pour de petites valeurs de L , β augmente très rapidement quand α diminue de sa valeur limite de $\pi/2$; quand L augmente, la courbe s'aplatit. Autrement dit, la proximité de la cible est liée à la rapidité avec laquelle β doit être augmenté afin de compenser une diminution donnée de α . Par son extrême simplicité, notre dispositif de couplage sensori-moteur met donc en évidence ici une nécessité absolue de l'action pour que la perception soit possible.

Ce qui caractérise une modalité perceptive donnée c'est « la *structure des règles* gouvernant les changements sensoriels produits par les différentes actions motrices, c'est ce que nous appelons les contingences sensorimotrices »²¹

On notera également ici que si le sujet fait un mouvement brusque et ample avec son bras (un grand $\Delta\alpha$ discontinu), il se « perd » et se trouve incapable de retrouver immédiatement un angle au poignet, β , adéquat pour obtenir un retour sensoriel en pointant son doigt vers la cible. On ne peut décider ici si cette dérive a pour origine une incertitude au niveau de la commande et de ses copies efférentes (la mémoire de ce que l'on a décidé de faire), une incertitude au niveau du mouvement qui a été effectivement exécuté (ignorance des diverses variables extérieures qui participent à la réalisation concrète de l'action), ou d'une incertitude au niveau des données proprioceptives de ce qui a été effectivement fait (précision et sensibilité des capteurs). Il reste que c'est dans cette finitude du savoir de ses actions, que le sujet doit activement constituer ses perceptions²². Ceci confirme que la base de sa perception de la distance L n'est pas une seule paire de valeurs (α , β), mais bien plutôt la fonction continue illustrée dans la figure 2.

Remarquons qu'un des avantages pratiques de la méthode expérimentale choisie, est que l'on peut supposer que la règle de commande des mouvements décrite par de telles courbes leur est déjà connue comme faculté de « montrer du doigt » n'importe quel point de l'espace proche. C'est ce schème sensori-moteur qui est utilisé (en le renversant) pour « percevoir du doigt ». Ce schème général étant déjà acquis, la perception proprement dite n'est rien d'autre que l'extraction d'une loi de pointage stable, c'est-à-dire la sélection d'une ligne particulière de co-variation entre α et β . Elle se produit rapidement dès que la cible est « accrochée ». Je propose plus loin un schéma de modélisation de cette activité perceptive (Paragraphe 3.3.).

Pour reprendre notre démarche analytique sur les conditions de la perception spatiale, ne pouvant plus imaginer de dispositif plus simple, l'entrée sensorielle étant ici réduite à un bit d'information à chaque instant, notre seule solution était maintenant de limiter le répertoire d'action.

²¹ “ ... the *structure of the rules* governing the sensory changes produced by various motor actions, that is, what we call the *sensorimotor contingencies* ” [O'Regan 2001 : 5].

²² Nous retrouvons, au cœur de l'activité perceptive spatiale, une “ finitude rétionnelle ” au sens développé par Bernard Stiegler à propos de la conscience du temps et de ses liens avec les supports techniques de la mémoire [Stiegler 1996]. Nous y reviendrons.

2.3.2 Exploration par rotation

Dans une deuxième série d'expériences, nous avons contraint le domaine des actions possibles en demandant au sujet de bloquer les mouvements du poignet en gardant le doigt aligné avec le bras. Les seuls mouvements autorisés sont des rotations du bras sur l'épaule (autrement dit, des variations de α mais non de β).

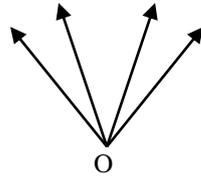


Figure 4 : **Expérience 2** Balayage par rotation

Résultats : le sujet peut encore indiquer la direction de la cible et grossièrement évaluer sa grandeur angulaire mais il ne peut plus donner sa distance. De façon similaire, si des mouvements de rotation du poignet sont autorisés, mais le bras reste fixe (autrement dit, variation de β mais non de α), le sujet peut encore indiquer la direction de la cible mais toujours pas sa distance. C'est seulement si, comme on l'a vu plus haut, ces deux actions sont simultanément autorisées, qu'une localisation dans la profondeur devient possible.

L'accès à une troisième dimension spatiale nécessite donc ici une action supplémentaire correspondant à une deuxième articulation séparée et liée à la première par un membre. Il faut que le poignet en rotation puisse lui-même se déplacer relativement à la cible. L'accès à la distance de la cible résulte d'une forme d'engagement concret du sujet, un déplacement du point de vue de sa perception (le capteur), c'est-à-dire du lieu spatial à partir duquel sont saisies les informations. Pour que le sujet puisse localiser des objets dans une profondeur, il doit pouvoir se mouvoir dans l'espace objectif (l'espace pour l'observateur extérieur).

Ceci requiert, précisément, une grandeur concrète du bras qui balaie l'espace. C'est bien ce qu'exprime les équations (1) et (2) qui font intervenir la grandeur b du bras. Il ne faudrait pas pour autant en conclure trop rapidement que le sujet calcule la distance de la cible à partir d'une connaissance explicite de la grandeur de son bras. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

2.3.3 Exploration par translation

Dans une troisième expérience on demande au sujet de déplacer sa main en maintenant son doigt toujours dirigé dans une même direction, face à lui (voir figure). Les mouvements des articulations de l'épaule, du coude et de la main sont complexes mais le mouvement de la cellule photosensible reste simple puisqu'elle se déplace par translation sur un plan perpendiculaire à la direction du corps (le champ récepteur étant toujours dirigé vers l'avant). Pratiquement, on peut exécuter des mouvements de translation de l'ensemble du corps le doigt étant fixe toujours dirigé dans une même direction, ou bien utiliser un autre dispositif, le « stylet tactile », que l'on présentera plus loin (chapitre 4).

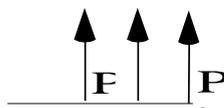


Figure 5 : **Expérience 3** Balayage par translation

- Résultats : comme dans la seconde expérience, il n'y a pas d'évaluation de la distance de la cible, mais le sujet peut donner sa direction et évaluer grossièrement sa largeur et sa hauteur (cependant ici ces grandeurs sont données selon une mesure linéaire).

Le sujet rapporte encore qu'il ne peut concevoir que deux dimensions de l'objet, sa « largeur » et sa « hauteur ». Il n'y a toujours pas de « profondeur », quoique la succession des stimulations soit, là aussi, référée à un objet externe immobile dans cet espace bidimensionnel.

Nous arrêtons ici, momentanément, cette analyse psychophysique de la perception prothésisée. On a en effet caractérisé par une description externe, purement béhavioriste, les capacités de localisation des sujets à partir de leurs actions (les mouvements du capteur), des retours sensoriels (les stimulations tactiles), et des règles de leurs liaisons. Il reste à proposer des hypothèses sur l'activité interne du sujet pour tenter d'expliquer son activité cognitive perceptive. Nous y reviendrons plus loin après un détour par l'analyse phénoménologique de cette activité perceptive et la mise au point d'une méthode permettant d'articuler ces deux perspectives.

2.4 Perspective phénoménologique : en première personne²³

Avant de reprendre la description de la situation expérimentale précédente, en nous plaçant du point de vue du sujet, il est utile de nous familiariser avec une compréhension phénoménologique de la perception spatiale qui nous semble suffisamment proche de notre recherche et que nous avons trouvée chez Maurice Merleau-Ponty. Nous voulons retenir de cette démarche philosophique, le « retour aux choses elles-mêmes », c'est-à-dire l'examen de l'apparaître des choses pour une conscience. Il s'agit donc ici de décrire l'apparaître des phénomènes, indépendamment de l'hypothèse selon laquelle il existerait des choses en soi qui pourraient les causer, et donc indépendamment de toute théorie scientifique qui prétendrait expliquer notre conscience perceptive d'un objet à partir de choses externes à la conscience, puisque ce sont justement ces « choses » qu'il s'agit de constituer à titre seulement d'éléments de l'expérience vécue. La méthode phénoménologique consiste donc à mettre entre parenthèse la thèse de l'existence d'un monde externe pour rediriger notre attention vers ce qui apparaît à la conscience (c'est l'*épokhè* phénoménologique).

2.4.1 Apport de la phénoménologie de la perception

La question de la profondeur est centrale dans le travail de Merleau-Ponty. Elle force la réflexion sur les limites de la description phénoménologique, et elle lui permet de caractériser un « corps propre » doté d'une « spatialité originaire ».

²³ Cette partie, utilise divers extraits d'un article écrit en étroite collaboration avec François-David Sebbah : Lenay C., Sebbah F (2001) La constitution de la perception spatiale. Approches phénoménologique et expérimentale. *Intellectica*, 2001/1, n°32, pp. 45-86.. Elle lui doit beaucoup, en particulier la méthode des répondants dont on va voir la mise ne place. J'ai repris ici diverses idées et formulations dont je ne puis dire si elles viennent plutôt de lui ou de moi, mais bien sûr, j'assume l'entière responsabilité de ce qui est finalement à lire ici.

Conformément à son habitude, Merleau-Ponty entre en matière en renvoyant dos à dos l'empirisme et l'intellectualisme :

« Les conceptions classiques de la perception s'accordent pour nier que la profondeur soit visible. Berkeley montre qu'elle ne saurait être donnée à la vue faute de pouvoir être enregistrée, puisque nos rétines ne reçoivent du spectacle qu'une projection sensiblement plane [.....] Dans l'analyse réflexive, c'est pour une raison de principe que la profondeur n'est pas visible : même si elle pouvait s'inscrire sur nos yeux, l'impression sensorielle n'offrirait qu'une multiplicité en soi à parcourir, et ainsi la distance, comme toutes les autres relations spatiales, n'existe que pour un sujet qui en fasse la synthèse et qui la pense. Si opposées qu'elles soient, les deux doctrines sous-entendent le même refoulement de notre expérience effective. Ici et là, la profondeur est tacitement assimilée à la *largeur considérée de profil*, et c'est ce qui la rend invisible. »²⁴

En effet, d'un point de vue empiriste, la profondeur est invisible en tant que dimension orthogonale au plan des capteurs (la rétine). C'est une dimension considérée comme de même nature que la hauteur et la largeur dans un espace physique euclidien essentiellement isotrope. De même, l'intellectualisme, c'est-à-dire ici une posture idéaliste de type kantien, pose d'emblée l'espace tridimensionnel de la perception. Il n'y a pas de dimension privilégiée et d'ailleurs pas non plus de constitution de l'espace.

« En assimilant d'emblée l'une à l'autre [la profondeur et la largeur considérée de profil] les deux philosophies se donnent comme allant de soi le résultat d'un travail constitutif dont nous avons, au contraire, à retracer les phases. »²⁵

On reconnaît ici le geste phénoménologique par excellence. Il ne faut pas croire pouvoir expliquer ce que l'on perçoit par ce que ce que l'on *sait* (après coup), c'est-à-dire ici, par l'espace isotrope en trois dimensions où effectivement la profondeur est identique à une largeur vue de profil. Il faut plutôt s'attacher à décrire la perception vécue elle-même, dans l'immédiateté de sa donation. L'expérience des choses perçues doit être décrite et comprise comme telle, avant et indépendamment des choses perçues déjà figées dans l'objectivité ordinaire de l'attitude naturelle, objectivité ordinaire qui est plutôt le résultat de l'acte de constitution. Afin d'entreprendre ce travail de description, Merleau-Ponty évoque quelques expériences de la profondeur :

« *Voici* ma table, et *plus loin* le piano, ou le mur, ou encore une voiture arrêtée devant moi est mise en marche et *s'éloigne*. »²⁶

Selon les vues « classiques » - celles que Merleau-Ponty s'attache à critiquer - on considère que le sujet dispose de certains indices : la grandeur apparente, la convergence des yeux. En effet, s'il connaît les grandeurs réelles et apparentes, ou la convergence, un géomètre peut calculer la distance de l'objet. Mais Merleau-Ponty soulève une objection : ces « signes » ne peuvent signifier la profondeur de l'espace que si l'espace est *déjà connu comme tel*. Certes, le psychologue peut faire valoir, de l'extérieur, que l'expérience de la profondeur se produit quand la taille de l'image rétinienne et/ou la convergence des yeux varient. Mais, même en invoquant une « physiologie cérébrale » qui effectuerait ces « calculs », comment des données objectives pourraient être une *cause* de l'expérience elle-même. Il faut rappeler que le sujet n'a rigoureusement aucune expérience de la convergence ; et le cas de la « grandeur apparente » est plus révélateur encore. En effet, il est possible d'avoir une expérience de la variation de la taille de l'image rétinienne ; mais seulement si l'on met en oeuvre une procédure tout à fait inhabituelle.

²⁴ [Merleau-Ponty 1945 : 294]

²⁵ [Merleau-Ponty 1945 : 295]

²⁶ [Merleau-Ponty 1945 : 296]

Prenons un exemple. Assis dans mon bureau, je vois mon manteau pendu au mur de l'autre côté de la pièce. Je regarde maintenant mon index dressé à bout de bras, sur fond du manteau ; le doigt recouvre (en hauteur) la moitié supérieure du manteau. Je rapproche alors le doigt de mon visage ; voici, à présent, qu'il recouvre la totalité du manteau. Je suis bien obligé de reconnaître que la « grandeur apparente » de mon doigt a doublé. Mais il s'agit d'une expérience « pathologique », ou en tout cas expérimentale. Normalement, ce n'est pas du tout comme cela que les choses se présentent à moi dans mon expérience. Quand je regarde mon doigt à bout de bras, puis rapproché de mon visage, ce que je perçois c'est que mon doigt *ne change pas de taille*. Si l'on s'efforce de rester au plus près de l'expérience vécue, plutôt que de dire que la « grandeur apparente » des objets lointains diminue, il serait plus juste de dire avec les psychologues de la Gestalt qu'il y a une « *constance* de la grandeur ». Mais même cette formulation n'est pas exacte : elle laisse entendre que ce que je perçois, c'est une « image psychique » qui, à la différence de l'image physique sur la rétine, demeurerait relativement constante. Mais ma perception ne porte pas sur une « image psychique » : elle porte sur « l'objet lui-même ». Prenant l'exemple du cendrier posé sur son bureau, Merleau-Ponty écrit :

« On parle comme si la constance de la forme ou de la grandeur était une constance réelle, comme s'il y avait, outre l'image physique de l'objet sur la rétine, une " image psychique " du même objet qui demeurerait relativement constante quand la première varie. En réalité, [...] il n'y a pas d'image psychique que l'on puisse comme une chose comparer avec l'image physique, qui ait par rapport à elle une grandeur déterminée et qui fasse écran entre moi et la chose. Ma perception ne porte pas sur un contenu de conscience : elle porte sur le cendrier lui-même. »²⁷

Ainsi, dans une perspective phénoménologique :

« Il faut décrire la grandeur apparente et la convergence, non pas telles que les connaît le savoir scientifique, mais telles que nous les saisissons de l'intérieur. »²⁸

On découvre alors que pour l'expérience immédiate de la grandeur, on ne peut ni dire qu'elle est constante, ni qu'elle varie :

« Pourtant, un homme à deux cents pas n'est-il pas *plus petit* qu'un homme à cinq pas ? - Il le devient si je l'isole du contexte perçu et que je mesure la grandeur apparente. Autrement, il n'est ni plus petit, ni d'ailleurs égal en grandeur : il est en deçà de l'égal et de l'inégal, il est *le même homme vu de plus loin*. »²⁹

Pourtant, si je n'ai pas une conscience claire de la grandeur apparente ou de la convergence oculaire, il faut bien reconnaître qu'elles interviennent d'une façon ou d'une autre dans ma perception de la profondeur. C'est ce que révèlent des dispositifs techniques comme le stéréoscope ou la perspective.

« ... je n'ai pas conscience expresse de la convergence de mes yeux ou de la grandeur apparente lorsque je perçois à distance, elles ne sont pas devant moi comme des faits perçus, - [et] pourtant elles interviennent dans la perception de la distance, comme le montrent assez le stéréoscope et les illusions de la perspective. »³⁰

Faut-il alors admettre que les contenus de conscience doivent s'expliquer par une causalité sous-jacente, externe à la conscience ? On renoncerait alors à l'effort phénoménologique d'une compréhension de l'expérience vécue à partir d'elle-même.

²⁷ [Merleau-Ponty 1945 : 301]

²⁸ [Merleau-Ponty 1945 : 298]

²⁹ [Merleau-Ponty 1945 : 302]

³⁰ [Merleau-Ponty 1945 : 298]

« Peut-on ainsi limiter la description, et, une fois qu'on a reconnu l'ordre phénoménal comme un ordre original, remettre à une alchimie cérébrale dont l'expérience n'enregistrerait que le résultat la production de la profondeur phénoménale ? De deux choses l'une : ou bien, avec le béhaviorisme on refuse tout sens au mot d'expérience, et l'on essaye de construire la perception comme un produit du monde de la science, ou bien on admet que l'expérience, elle aussi, nous donne accès à l'être, et alors on ne peut la traiter comme un sous-produit de l'être. »³¹

En effet, si l'on admet pleinement l'existence d'une expérience vécue, essentiellement antérieure à la causalité mécanique des sciences physiques, on ne peut espérer trouver en cette dernière une explication de la constitution de celle-là.

« Une expérience ne peut donc jamais être rattachée comme à sa cause à certaines conditions de fait et, si la conscience de la distance se produit pour telle valeur de la convergence et pour telle grandeur de l'image rétinienne, **elle ne peut dépendre de ces facteurs qu'autant qu'ils figurent en elle**. Puisque nous n'en avons aucune expérience *expresse*, il faut conclure que nous en avons une expérience **non thétique**. »³²

La seule issue est donc de considérer que convergence et grandeur oculaire peuvent être comprises du point de vue du sujet comme composante de son expérience vécue, bien que de façon « non-thétique ». Même si elles ne sont pas présentes à une conscience claire, elles doivent être présentes de façon sous-jacente dans la sphère de ce qui fait sens pour le sujet, et donc de ce qui peut participer à la constitution de son expérience de choses objectives posées dans l'espace de la perception.

Ce niveau « non-thétique » de l'expérience serait globalement celui du « corps propre », c'est-à-dire, non pas l'organisme tel qu'il peut être donné dans l'objectivité scientifique, mais mon corps, à la première personne, comme pouvoir d'agir et de sentir.

« Ce qui importe pour l'orientation du spectacle, ce n'est pas mon corps tel qu'il est en fait, comme chose dans l'espace objectif, mais mon corps comme système d'actions possibles, un corps virtuel dont le « lieu » phénoménal est défini par sa tâche et par sa situation. Mon corps est là où il y a quelque chose à faire »³³

En effet, c'est par le corps propre que l'on comprend et que l'on participe à un monde.

« Comprendre, c'est éprouver l'accord entre ce que nous visons et ce qui est donné, entre l'intention et l'effectuation – et le corps est notre ancrage dans un monde. »³⁴

Dans l'expérience vécue, la variation de distance d'un objet en profondeur se comprend seulement comme une variation d'un pouvoir de prise sur lui.

« Nous la définissons donc [la distance] comme nous avons plus haut défini le “ droit ” et l’ “ oblique ” : par la situation de l'objet à l'égard de la puissance de prise. »³⁵
 « On peut seulement dire que l'homme à deux cents pas est une figure beaucoup moins articulée, qu'il offre à mon regard des prises moins nombreuses et moins précises, qu'il est moins strictement engrené sur mon pouvoir explorateur. »³⁶

La profondeur n'est pas donné d'un coup, mais constituée, non pas par un calcul ou une synthèse abstraite, mais dans l'action en tant qu'engagement dans le temps et l'espace.

³¹ [Merleau-Ponty 1945 : 298-299]

³² [Merleau-Ponty 1945 : 299] Nous soulignons en caractères gras

³³ [Merleau-Ponty 1945 : 289]

³⁴ [Merleau-Ponty 1945 : 169]

³⁵ [Merleau-Ponty 1945 : 303]

³⁶ [Merleau-Ponty 1945 : 302]

« On ne peut donc parler d'une synthèse de la profondeur puisqu'une synthèse suppose, ou au moins, comme la synthèse kantienne, pose des termes discrets et que la profondeur ne pose pas la multiplicité des apparences perspectives que l'analyse explicitera et ne l'entrevoit que sur le fond de la chose stable. Cette quasi-synthèse s'éclaire si on la comprend comme temporelle. Quand je dis que je vois un objet à distance, je veux dire que je le tiens déjà ou que je le tiens encore, il est dans l'avenir ou dans le passé en même temps que dans l'espace. »³⁷

« Si l'on veut encore parler de synthèse, ce sera, comme dit Husserl, une " synthèse de transition ", qui ne relie pas des perspectives discrètes mais qui effectue le " passage " de l'une à l'autre. »³⁸

Ceci suppose une « spatialité » du corps propre, une possibilité d'engagement dans l'espace vécu. Il faut reconnaître, en amont de l'espace constitué, une spatialité plus originaire, non-thétique mais corporelle qui est celle de notre pouvoir d'agir dans le monde.

« Notre première perception à son tour n'a pu être spatiale qu'en se référant à une orientation qui l'ait précédée. Il faut donc qu'elle nous trouve déjà à l'œuvre dans un monde. »³⁹

« Et puisque cependant il [un premier niveau d'orientation spatiale] ne peut être orienté " en soi ", il faut que ma première perception et ma première prise sur le monde m'apparaissent comme l'exécution d'un pacte plus ancien conclu entre X et le monde en général, que mon histoire soit la suite d'une préhistoire dont elle utilise les résultats acquis, mon existence personnelle la reprise d'une tradition prépersonnelle. Il y a donc un autre sujet au-dessous de moi, pour qui un monde existe avant que je sois là et qui y marquait ma place. Cet esprit captif ou naturel, c'est mon corps, non pas le corps momentané qui est l'instrument de mes choix personnels et se fixe sur tel ou tel monde, mais le système de " fonctions " anonymes qui enveloppent toute fixation particulière dans un projet général. »⁴⁰

Cette spatialité est « originaire » en ce qu'elle n'est pas d'abord pensée comme objective mais bien plutôt comme ce qui sert à la constitution de cette objectivité.

« Et de même que nous avons dû retrouver l'origine de la position spatiale dans la situation ou la localité préobjective du sujet qui se fixe à son milieu, de même nous aurons à redécouvrir sous la pensée objective du mouvement une expérience préobjective à laquelle elle emprunte son sens et où le mouvement, encore lié à celui qui le perçoit, est une variation de la prise du sujet sur son monde. »⁴¹

Ainsi, l'action est vraiment bien comprise quand elle est comprise comme motricité, réalisation d'une intentionnalité originaire, constituante de l'objectivité.

« Ces éclaircissements nous permettent enfin de comprendre sans équivoque la motricité comme intentionnalité originale. La conscience est originairement non pas un " je pense que ", mais un " je peux ". »⁴²

C'est l'action comme motricité qui me donne prise sur le monde.

³⁷ [Merleau-Ponty 1945 : 306]

³⁸ [Merleau-Ponty 1945 : 307]

³⁹ [Merleau-Ponty 1945 : 293]

⁴⁰ [Merleau-Ponty 1945 : 293-294] Et plus loin : « L'espace et en général la perception marquent au cœur du sujet le fait de sa naissance, l'apport perpétuel de sa corporéité, une communication avec le monde plus vieille que la pensée. » [Merleau-Ponty 1945 : 294]

⁴¹ [Merleau-Ponty 1945 : 309] Cette spatialité originaire n'est pas déjà celle d'un espace géométrique de déplacements et positions objectives, mais seulement un pouvoir de prise dans une situation : « ...mon corps m'apparaît comme posture en vue d'une certaine tâche actuelle ou possible. Et en effet sa spatialité n'est pas comme celle des objets extérieurs ou comme celle des " sensations spatiales " une *spatialité de position*, mais une *spatialité de situation*. » [Merleau-Ponty 1945 : 116]

⁴² [Merleau-Ponty 1945 : 160]

« Tout nous renvoie aux relations organiques du sujet et de l'espace, à cette prise du sujet sur son monde qui est l'origine de l'espace. »⁴³

On comprend alors que convergence oculaire ou grandeur apparente ne sont pas des causes de la profondeur, ni même des indices de cette dernière, si l'on entend par là des « signes » renvoyant à un espace déjà constitué pour une conscience qui serait comme hors de l'espace. Convergence oculaire et grandeur apparente sont plutôt les formes cohérentes d'une prise, d'un « engrenage » dans le monde.

« Or tel est bien le rapport qui existe entre l'expérience de la convergence, ou de la grandeur apparente et celle de la profondeur. Elles ne font pas apparaître miraculeusement à titre de "causes" l'organisation en profondeur, mais elles la motivent tacitement en tant qu'elles la renferment déjà dans leur sens et qu'elles sont déjà l'une et l'autre une certaine manière de regarder à distance. »⁴⁴

On ne cherche pas à expliquer la perception de la profondeur par un système de causalité objective mais à montrer que grandeur apparente et convergence – uniquement lorsqu'on les appréhende en tant que composantes de l'expérience vécue – participent du sens même de ce qu'est la profondeur vécue. Quand nous percevons des objets, nous les percevons *directement* « dans la profondeur » et en même temps associé à une grandeur apparente et une convergence oculaire données :

« Convergence, grandeur apparente et distance se lisent l'une dans l'autre, se symbolisent ou se signifient naturellement l'une de l'autre, non que le sujet de la perception pose entre elles des relations objectives, mais au contraire parce qu'il ne les pose pas à part et n'a donc pas besoin de les relier expressément. »⁴⁵

Nous venons, à grands traits, de restituer le traitement merleau-pontien de la question de la profondeur dans la *Phénoménologie de la perception*. Revenons maintenant à une analyse en première personne de nos expériences en tentant d'adopter une méthode phénoménologique de même type.

2.4.2 Analyse en première personne de nos expérimentations.

Une telle étude n'est accessible que par implication directe du chercheur. Je vais donc proposer une description à la première personne qui prétend à une valeur générale et doit pouvoir être reproduite par d'autres premières personnes. Dans le contexte où nous nous inscrivons, « je » c'est « tous » au sens de « chacun » et non de « n'importe qui ».

Il s'agit toujours pour la phénoménologie animée de la radicalité du geste philosophique de remonter en deçà de l'objectivité constituée pour décrire le « comment » de cette constitution, pour décrire l'initiation du rapport au Monde précédant le niveau de l'objectivité constituée. Insistons : parce qu'il veut s'inscrire dans l'exigence d'une « phénoménologie philosophique », notre travail consiste à proposer, à l'occasion d'une étude de psychophysique en troisième personne absolument assumée comme telle, une étude de « phénoménologie philosophique » du vécu du sujet qui se prête à l'expérimentation.

⁴³ [Merleau-Ponty 1945 : 291]

⁴⁴ [Merleau-Ponty 1945 : 300] Il y a une profondeur parce que le corps nous engage déjà dans la profondeur, l'espace est d'une certaine façon toujours déjà constitué :

« [L'espace] Ce n'est ni un objet, ni un acte de liaison du sujet, on ne peut ni l'observer, puisqu'il est supposé dans toute observation, ni le voir sortir d'une opération constituante, puisqu'il lui est essentiel d'être déjà constitué... » [Merleau-Ponty 1945 : 294].

⁴⁵ [Merleau-Ponty 1945 : 302]

J'ai les yeux bandés et l'on m'installe le dispositif (la cellule photoélectrique sur l'index de ma main droite, le stimulateur tactile sous un doigt de la main gauche). L'expérience commence au moment où l'on me dit que tout est prêt, et que je peux mouvoir librement ma main. Au départ, je suis dans ce que la phénoménologie appelle « l'attitude naturelle » : je connais intellectuellement le dispositif et son mode de fonctionnement, et je sais qu'il y a une cible lumineuse quelque part dans l'espace, susceptible de causer les stimulations tactiles que je ressens. Après avoir cherché pendant un certain temps, je finis par trouver la cible et me faire une idée sur sa position.

Mais maintenant, je dois par un effort de réduction, conduire ma description phénoménologique en mettant entre parenthèses ces connaissances sur le monde. Ceci est facilité par le fait que ces connaissances sont maintenant pour ainsi dire abstraites puisque je suis dans le noir et la solitude, entièrement concentré sur l'unique point de stimulation tactile. Je perçois les premières stimulations localisées sur ma peau là où est placé le stimulateur. Quand, lors d'un mouvement, je rencontre une sensation, j'essaie d'inverser mon geste et je finis par retrouver la sensation. Je diminue alors l'ampleur de mon exploration, cherchant d'abord à produire une stimulation continue, puis en variant mes actions je découvre progressivement comment quitter et retrouver à volonté la sensation. Aussitôt que je maîtrise mieux la production des sensations tactiles, leur succession temporelle me semble renvoyer à différents « contacts » avec un unique objet distal. La conscience d'un espace advient, et je ressens la présence d'un objet placé au-delà de moi dans cet espace externe.

Mais il faut que je fasse attention, si j'exécute des actions trop amples, je perds tout à fait la cible, incapable de savoir dans quelle direction elle était, et je dois reprendre mon exploration pratiquement dans les mêmes conditions qu'au début de l'expérience.

Par ailleurs, le vibreur peut être déplacé vers une autre région de ma peau sans que change cette perception. D'ailleurs j'oublie effectivement le lieu sur ma peau où se produisent les sensations (sauf si j'y porte une attention spéciale) pour appréhender l'existence d'un objet à l'extérieur de moi.

Pendant, deux « contacts » avec la cible ne sont pas suffisants pour me donner l'expérience d'un objet distal. Cette perception exige une activité permanente me permettant de faire venir et disparaître constamment la sensation tactile. Si je cesse cette activité, la spatialisation disparaît : la stimulation tactile est soit absente, soit présente, mais rien ne me donne à penser une extériorité et une distalité d'un objet (il ne me reste qu'une mémoire des perceptions passées qui s'évanouit rapidement). Ce n'est que dans une temporalité très courte, dans laquelle se réalise ma maîtrise de la production de mes sensations que je constitue une perception de la cible. Comme on l'a remarqué plus haut, mais en le reprenant ici du point de vue du sujet, on voit que par son extrême simplicité, notre dispositif de couplage sensori-moteur met en évidence une nécessité absolue de l'action pour que la perception soit possible.

Je comprends bien que ma perception de la localisation spatiale d'une cible ne se constitue qu'à travers une succession d'actions. Si je ne peux trouver le savoir-faire nécessaire pour guider mes actions et déterminer mes sensations, il n'y a plus de spatialisation d'une cible. La succession temporelle des sensations est alors pensée comme celle d'un pur changement d'état. C'est d'ailleurs ce qui se produit si l'expérimentateur introduit subrepticement des stimulations tactiles indépendantes de mes actions.

Je dois donc maintenant m'interroger sur ce que sont ces actions dans le cadre de mon expérience vécue. Je ne peux simplement les décrire comme des mouvements. En effet, la caractérisation des actions comme des déplacements dans l'espace objectif appartient à la perspective externe du constitué, de l'objectivité scientifique en troisième personne que nous avons adoptée au chapitre précédent (2.3). Or ici, il s'agit justement de constituer cet espace « externe » dans lequel les actions peuvent être comprises comme des déplacements.

On pourrait alors tenter de résoudre la question en faisant appel à une connaissance intérieure, de type proprioceptif, des positions et mouvements de ses membres dans un espace constitué depuis son enfance et dont on mobiliserait ici la mémoire. L'action dans ce contexte pourrait n'être envisagée que comme une forme particulière de sensation, une information donnée au sujet par les capteurs proprioceptifs. Mais, comme on le verra plus loin, on veut défendre ici une tout autre conception de l'action, qui ne peut se réduire à une simple information. Remarquons seulement dès maintenant que cet espace proprioceptif kinesthésique aurait dû lui-même être constitué, et surtout que l'espace des « positions » que je peux constituer dans les conditions expérimentales est spécifique du dispositif de couplage dont on m'a doté.

Tenir bon dans la posture de la réduction phénoménologique m'est ici facilité par le fait que je ne peux effectivement pas construire la position de la cible de façon déductive, par un calcul explicite, à partir d'une connaissance de la position et des déplacements de mon index. En effet, j'ignore effectivement l'orientation exacte du capteur (fixé de façon assez précaire et soumis aux tractions du fil qui le relie au stimulateur, il n'est jamais exactement orienté dans l'axe du doigt), comme j'ignore aussi l'angle d'ouverture du champ récepteur (qui est assez instable parce que dépendant de la quantité de lumière reçue)⁴⁶. Il me faut donc caractériser mes actions en restant dans le cadre présent de mon expérience vécue qui est celle d'un sujet soumis à cette expérimentation. Pour cela je dois être attentif à la façon dont je « me » situe, c'est-à-dire dont je situe mon point de vue dans l'espace que je constitue.

Au début, dans le noir et la solitude de mon exploration, quand je rencontre une sensation tactile pour la première fois, ni la cible, ni mon point de vue ne sont clairement situés. Mais, quand dans la première expérience je réussis à localiser une cible, en même temps, je perçois ma position relativement à cette cible. Elle est sur le côté à droite, devant, au-dessus, etc. Il n'en est pas de même dans la seconde expérience où sont limitées non seulement mes possibilités de sensation, mais aussi mes possibilités d'action. En effet, on me demande de restreindre mes mouvements à une rotation du bras main tendue, ou une rotation de la main le bras restant immobile (expérience 2 : Balayage angulaire). Dans ce cas, je peux indiquer la direction de la cible, mais je n'accède qu'à deux dimensions de l'espace, la « largeur » et la « hauteur » des directions angulaires. Je ne parviens pas à constituer une « profondeur »⁴⁷. Contrairement à la première expérience, je ne me sens pas immergé dans cet espace. Je peux penser chaque position de mon bras comme une direction *dans* cet espace bidimensionnel (à droite ou à gauche, au dessus ou en dessous de la cible). Mais je reste comme *devant* l'espace bidimensionnel de ma perception de la cible. Néanmoins, une fois que la cible est « accrochée », j'ai bien tendance à renvoyer la succession des sensations à une direction que je constitue comme externe et immobile bien que ce ne soit que dans un espace bidimensionnel de directions sans profondeur définissable.

Dans la troisième expérience (mouvements de translations), là aussi, je peux donner la direction de la cible mais pas définir une distance. Cependant, contrairement à l'expérience précédente, je me sens beaucoup plus impliqué *dans* les dimensions de l'espace bidimensionnel perçu.

⁴⁶ Une nouvelle version de ce dispositif, que nous avons appelé « Gant de Perception Distale », a été développée et est maintenant opérationnelle. Les capteurs sont constitués de quatre micro-caméra CCD. La stimulation tactile est distribuée sur 32 petits picots (4 cellules brailles électroniques dont on contrôle chacun des huit picots indépendamment). On contrôle donc maintenant parfaitement l'angle d'ouverture du champ récepteurs. On peut d'ailleurs multiplier ces champs en les définissant dans les images des différentes caméras. On peut aussi réaliser divers pré-traitement des données pour distribuer la stimulation tactile, non pas en fonction du dépassement d'un seuil absolu d'intensité lumineuse, mais en terme de variations temporelles ou spatiales.

⁴⁷ On retrouve des conditions formellement similaires à celle de [Epstein 1986].

2.5 Conclusion

2.5.1 Perception et action

Il s'agit ici d'examiner plus précisément la façon dont s'est constituée la spatialisation d'un objet que j'ai pu dès lors penser comme la source des sensations. Le problème de la possibilité d'une perception dans l'espace est le problème de pouvoir penser la simultanéité de différentes choses dans un même temps. Or, je n'ai accès qu'à une succession temporelle de sensations. Comment donc le divers des sensations que j'apprends comme successives peut-il être pensé comme référant à un même objet ? Cela nécessite une *activité de synthèse* de cette succession de sensations. En suivant Kant, on pourrait comprendre la règle générale de cette synthèse comme celle de la réversibilité.

« Les choses sont *simultanées* quand dans l'intuition empirique la perception de l'une peut succéder à la perception de l'autre et *réciroquement*... »⁴⁸

Ma conscience de la position d'un objet se constituerait par son exploration réversible, c'est-à-dire par mon pouvoir de retrouver de mêmes sensations en faisant revenir mon « regard » sur une « position » précédente. En effet, je comprends qu'un objet n'est perçu comme extérieur que si la succession temporelle de mes actions me permet de le retrouver ou de le perdre à volonté, comme si je disposais d'un savoir-faire stable de la réversibilité des effets de mes actions en terme de sensations. Et il faut considérer les effets des actions non seulement sur les sensations, mais aussi surtout sur le pouvoir d'action lui-même. Tout déplacement peut changer la sensation reçue, mais il change aussi surtout la *position* à partir de laquelle se produiront les déplacements suivants. La réversibilité signifie que je peux revenir non seulement à de mêmes sensations (ce qui est ici très facile étant donné la pauvreté des données sensorielles) mais aussi que je peux revenir à un même pouvoir d'action c'est-à-dire à une situation où les actions qui pourraient suivre donneraient les mêmes sensations et les mêmes changements du pouvoir d'action⁴⁹.

Dans la situation expérimentale, en dépit de ma faible mémoire de mes actions passées, dès lors que je découvre une réversibilité même dans un domaine d'action restreint, l'expérience d'une extériorité d'un objet s'établit, et suffit à constituer une localisation approximative. La réversibilité, c'est-à-dire la possibilité de réaliser des actions contraires dont les effets se compensent, marque l'indépendance de la règle vis-à-vis des actions particulières qui la révèlent. La règle, en tant que savoir faire, persiste alors que les actions et sensations varient (je reprendrai plus loin cette question). Remarquons ici que l'opération est facilitée dans la mesure où je sais montrer du doigt n'importe quel point de l'espace. C'est ce savoir-faire déjà inscrit dans mon corps que je mobilise ici pour percevoir.

La compréhension de la spatialisation qui se dégage ici s'éloigne sensiblement de celle proposée par Kant. En effet, pour ce dernier la localisation spatiale d'un objet résulte d'une synthèse ne portant que sur des sensations successives (d'ailleurs toujours déjà spatiales, parce que toujours déjà dans les formes de l'intuition sensible). Autrement dit, cette synthèse opère par une règle ne liant que des sensations. L'action n'a pour fonction que de délivrer cette diversité de sensations. Elle ne joue pas un rôle constitutif des contenus perceptifs eux-mêmes. L'objectivité ne résulte que de l'universalité des règles de cette synthèse (universalité qui est celle de l'activité synthétique d'un « sujet transcendantal »).

⁴⁸ Kant 1787 *Critique de la raison pure*, Les analogies de l'expérience, troisième analogie. Principe de la simultanéité [Kant 1976]

⁴⁹ On verra plus loin que c'est ce que l'on peut décrire plus formellement sur le plan mathématique comme un groupe de déplacement [Poincaré 1905, 1907].

Dans le cadre de nos analyses, au contraire, mon expérience de la présence d'une cible est associée à celle de disposer d'un pouvoir d'anticipation des conséquences de mes actions en terme de sensations. On retrouve plutôt là un des résultats de l'analyse de la phénoménologie de la perception qu'a menée Maurice Merleau-Ponty⁵⁰. La perception dépend du « corps propre », c'est-à-dire non pas du corps en tant que chose perçue, mais du corps appréhendé d'un point de vue interne comme ensemble de possibilités d'action.

En effet, comme on l'a vu, l'accès à une troisième dimension nécessite une action supplémentaire, ici les mouvements simultanés de mon bras et de mon poignet. Dans ce cas je me perçois clairement *dans* l'espace de perception que je constitue. Dès lors que l'objet est perçu, ma main se situe en même temps à chaque moment relativement à cet objet (sur le côté à droite, devant au-dessus, etc.). Ce sentiment d'appartenir à l'espace perçu est d'ailleurs renforcé si le corps peut se déplacer dans son ensemble. Remarquons bien que le *point de vue*, c'est-à-dire le lieu où je me perçois percevant est aussi le *point* à partir duquel je produis mes actions suivantes, à partir duquel j'enchaîne mes mouvements qui ne sont ici que des déplacements de ce point de vue. Le « point de vue » est un « point d'action », et il est situé dans l'espace constitué par ses déplacements.

« Ce qui importe pour l'orientation du spectacle, ce n'est pas mon corps tel qu'il est en fait, comme chose dans l'espace objectif, mais mon corps comme système d'actions possibles, un corps virtuel dont le « lieu » phénoménal est défini par sa tâche et par sa situation. Mon corps est là où il y a quelque chose à faire » [Merleau-Ponty 1945 : 289]

Je me perçois là où j'agis, c'est-à-dire là où se meut l'appareil récepteur (et non pas là où est reçue la sensation). Au contraire, dans la seconde expérience – lorsque l'on ne m'autorisait que des mouvements, soit du bras, soit du poignet, mais pas les deux conjointement - je restais comme *devant* l'espace bidimensionnel que je percevais. La profondeur résulte d'une forme d'engagement concret du sujet, ici compris comme un déplacement du point de vue de la perception. L'action qui rend possible la perception de la profondeur est une action qui doit se comprendre comme un mouvement *dans* l'espace constitué par ce mouvement. En effet, cette spatialisation des mouvements du point de vue est elle-même réalisée relativement à la position de la cible. La position de la cible sert autant de repère pour déterminer la position de mon point de vue, que ce point de vue sert à déterminer la position de la cible. Dans mon activité perceptive j'enchaîne les points de vue par des déplacements que je comprends relativement à la position de la cible que pourtant ils constituent (j'essaierai plus loin de donner un principe de modélisation d'une telle perception de l'action). L'originalité de la profondeur semble donc être que l'action qui la rend possible soit celle d'un mouvement du point de vue de la perception *dans* l'espace perçu (la main doit s'avancer *dans* l'espace). La profondeur résulte d'une forme d'engagement du sujet⁵¹.

Mais, ces considérations ne sont en fait pas seulement propre à la profondeur. Il y a déjà, dans la constitution de la largeur (et de la hauteur) un engagement du sujet de même nature. On le comprend bien à l'aide de la troisième expérience où l'exploration est limitée à la translation. Contrairement à la seconde expérience, il y a là clairement un déplacement du point de vue dans l'espace perçu : la main est située relativement à l'objet perçu (à droite ou à gauche, au-dessus ou en dessous). Elle se déplace dans le plan de la perception. Le mouvement est proche de celui d'une exploration haptique de l'environnement par le toucher. On retrouve les caractéristiques d'un mouvement constitutif d'une dimension spatiale: largeur

⁵⁰ « ...mon corps est en prise sur le monde quand ma perception m'offre un spectacle aussi varié et aussi clairement articulé que possible et quand mes intentions motrices en se déployant reçoivent du monde les réponses qu'elles attendent. » [Merleau-Ponty 1945 : 289-290]

⁵¹ « Ainsi la profondeur ne peut être comprise comme pensée d'un sujet acosmique mais comme possibilité d'un sujet engagé. » [Merleau-Ponty 1945 : 309].

et hauteur se constituent par des mouvements dans ces dimensions, c'est-à-dire des actions qui, tout en produisant des changements de sensations, modifient réversiblement la localisation du point de vue.

Ainsi, largeur et hauteur, elles aussi, résultent d'un engagement concret du sujet. Quelle que soit la dimension spatiale, elle surgit du pouvoir de saisir une réversibilité, ce qui nécessite d'aller et revenir, par une action réelle. Largeur et hauteur résultent donc aussi d'un engagement du sujet dans ces dimensions pour pouvoir y saisir une réversibilité. Mais elles sont à la mesure de cet engagement. Le mouvement linéaire (troisième expérience), qui implique un déplacement de la main dans le plan perçu donne accès à une mesure linéaire. Au contraire le mouvement angulaire, sans autre déplacement du point de vue que des changements d'orientation, ne donne accès qu'à des mesures angulaires.

Dans ce cas (mouvements angulaires), quand la direction d'une cible est reconnue, la direction pointée à chaque instant par le doigt pourra être déterminée comme étant au-dessus ou en dessous, à droite ou à gauche de cette cible. Dès lors chaque direction pointée peut être considérée comme une « direction de point de vue » instantanée qui se déplace dans l'espace perçu. C'est la succession temporelle de ces directions de points de vue qui permet de construire un espace de direction et de grandeurs angulaires. Mais, le point d'articulation (O sur la figure 4) ne possède pas de position dans cet espace de directions (c'est un point et non pas une direction). Si l'on tient compte de la longueur du bras, comme on doit le faire du point de vue de l'observateur extérieur, on pourra considérer que la position du point de vue global du sujet est plutôt au niveau de l'articulation de l'épaule, dans un espace différent de celui qu'il constitue, un espace dans lequel on séparera le sujet et un « sous-espace » des directions qui pourra être concrètement réalisé par des cibles positionnées sur un plan devant lui.

Il est à noter que le mouvement demandé dans la troisième expérience est précisément le mouvement qui serait obtenu dans la première expérience quand le sujet perçoit un objet placé à l'infini. En effet, dans ce cas les angles α et β varient de sorte à ce que la droite PS (indiquant la direction du doigt) reste parallèle à Oy (la direction du corps)⁵². Effectivement, nous n'avons pas accès à une perception du volume pour des objets suffisamment éloignés de notre pouvoir d'action. On comprend alors, par exemple, que les anciens aient pu si longtemps regarder le ciel étoilé comme une surface sphérique. Pour voir le ciel comme une disposition de soleils s'étagant dans la profondeur, il faut s'imaginer le vertige d'un déplacement parmi ces astres.

Ces expériences sur la limitation du répertoire d'action en translation ou en rotation sont très importantes pour notre argumentation. Même si je devais reconnaître, au cœur de mon expérience vécue, une conscience déjà-là de l'espace tridimensionnel de mon corps propre et de mes actions, il reste que dans le cadre de l'activité perceptive propre au dispositif expérimental, si je dois maintenir le bras tendu, je ne peux en rien constituer un espace tridimensionnel de positions pour des cibles. Ce n'est pas seulement que face à un espace bidimensionnel de directions, je ne peux dire si la cible est proche ou lointaine, c'est que la distance est proprement *hors* de question parce qu'il n'y a pas alors d'espace de profondeur constituable où la question aurait un sens. Il faut donc bien que les conditions du dispositif de couplage instituent cette possibilité. Même si l'on a réduit le problème à des situations très particulières, on travaille bien ici la question des conditions de la constitution de la profondeur. C'est ainsi que je comprends mes actions constitutives de la profondeur comme des mouvements qui s'avancent dans cette profondeur, des déplacements de mon point de vue par rapport à la cible perçue. Mes actions qui me permettent de constituer la localisation de la cible sont elle-mêmes constituées comme des mouvements par rapport à elle.

⁵² $\lim_{L \rightarrow \infty} \beta(\alpha, L) = 3\pi/2 - \alpha$.

Mais dira-t-on, dans notre solution qui mobilise l'action, on se fonde sur un mouvement du sujet dans la profondeur. On se donnerait donc là déjà ce que l'on cherche à constituer. On reviendra sur cette question. Remarquons ici seulement que, l'action peut être définie de façon plus générale, avant d'être déterminée en termes de déplacements spatiaux. En l'occurrence elle peut être simplement comprise, en termes purement temporels, comme un *pouvoir* de produire des changements de sensation (et de ce pouvoir d'action lui-même). C'est seulement, quand, en dépit de l'ignorance de l'avenir dans laquelle se produit l'action, il semble possible de revenir, par de nouvelles actions, à une même position, c'est-à-dire à une même sensation et un même pouvoir d'agir, qu'il y a alors constitution d'une spatialisation d'un sujet percevant et d'un objet perçu. C'est seulement à travers la découverte de domaines de réversibilité que des dimensions spatiales peuvent être constituées et que les actions peuvent alors être comprises comme des déplacements. Pour comprendre la constitution de l'espace, nous devons donner une explicitation plus complète de cette constitution de l'action comme un mouvement.

A chaque instant mon point de vue est partiel, et nécessite une action (parmi d'autres possibles), un déplacement vers un autre point de vue, enrichissant une perception qui cependant restera toujours partielle. Chaque contact n'est qu'une « esquisse » du positionnement qui doit être confirmé par les contacts suivants. On retrouve ici un résultat important de l'analyse phénoménologique de la perception proposée par E. Husserl⁵³: la perception d'une chose s'inscrit dans un flux temporel où se succèdent des esquisses perceptives. Toute forme spatiale tridimensionnelle ne peut être perçue à chaque instant que suivant une face, un point de vue. Cet inachèvement essentiel oblige à une exploration dynamique. La profondeur ne peut pas se comprendre comme simple règle de liaison entre sensations, mais nécessite d'intégrer les actions en tant que mouvements du point de vue dans l'espace constitué. Les « contacts » avec la cible (supposée immobile) sont comme des esquisses qui en s'enchaînant confirment, sans jamais de certitude absolue, une « règle » d'anticipation. En dégagant des domaines de réversibilité, les actions constituent un espace, mais elles n'abolissent pas le temps de son exploration. La réversibilité se réalise sur le fond d'une irréversibilité plus essentielle, celle de la succession des actions et sensations dans le temps vécu. L'espace des positions est conquis sur le temps par l'action à chaque fois que l'on peut déterminer un retour au même via une règle (de mêmes sensations et un même pouvoir d'action pour la modification de ces sensations). Il se présente donc ici comme jamais achevé, toujours à conquérir par son exploration active.

2.5.2 Spatialité du corps propre et positions du point de vue

Or, ces actions ne sont pas des déplacements neutres que je commanderais comme s'ils devaient être réalisés à l'extérieur de ma conscience. Ce sont plutôt des déplacements de mon pouvoir d'action et de sensation qui m'engage concrètement. On a vu que l'engagement corporel constitutif de la profondeur nécessitait de disposer déjà d'une spatialité du corps propre, c'est-à-dire d'un empan de ma prise sur le monde. Je dois disposer dès l'origine d'une sorte de « grandeur » de mon pouvoir d'action. Ici, dans notre situation expérimentale, cette « grandeur » est essentiellement celle du bras qui me permet d'avancer dans l'espace que je constitue. En effet, au moment même où je discerne une cible dans la profondeur, je peux ressentir la grandeur de mon bras qui, en rotation sur mon épaule (si je garde le reste du corps immobile) déplace mon point de vue sur cette cible (en déplaçant l'articulation du poignet). Dans l'activité perceptive, en même temps que je constitue la distance d'un objet

⁵³ [Husserl 1989].

relativement à mon point de vue, je constitue les dimensions mêmes de mon corps en tant qu'il participe à cette activité. La profondeur se définit autant en fonction de la grandeur de mon bras que cette grandeur se définit en fonction de la distance à la cible.

On peut donner une forme mathématique précise à ces considérations. On a considéré que la longueur b du bras était connue et utilisée par le sujet pour évaluer la distance de la cible, mais les équations précédentes permettent de prendre les choses autrement : il semble plutôt qu'à chaque instant, la distance entre le sujet et la cible est tout autant construite en fonction de la grandeur du corps que cette grandeur est construite en fonction de cette distance. On peut par exemple réécrire l'équation (1) en montrant que c'est la grandeur du bras qui est mesurée par la distance de la cible aussi bien que le contraire :

$$(3) \quad b = (\sin \alpha - \cos \alpha \tan(\alpha + \beta)) / L$$

Le sujet, en tant que corps en mouvement, fait partie de cet espace dans lequel il se situe relativement à la cible. La perception est une activité incarnée dans un corps qui donne prise sur le monde. On n'a pas à situer la perception de la profondeur dans un espace de représentation abstrait du sujet, mais dans la dynamique concrète de son couplage dans le milieu.

2.5.3 Rôle des prothèses

Merleau-Ponty, pour montrer que la spatialité originare n'est pas seulement celle des mouvements mais aussi celle du corps propre, mobilise aussi l'exemple des prothèses qui le modifient. Evoquant les rapports du corps propre avec ces annexes, il écrit :

« Le bâton de l'aveugle a cessé d'être un objet pour lui, il n'est plus perçu pour lui-même, son extrémité s'est transformée en zone sensible, il augmente l'ampleur et le rayon d'action du toucher, il est devenu l'analogue d'un regard. Dans l'exploration des objets, la longueur du bâton n'intervient pas expressément et comme moyen terme : l'aveugle la connaît par la position des objets plutôt que la position des objets par elle. » [Merleau-Ponty 1945 : 167]

Il en est de même avec toutes les « annexes » techniques qui transforment notre pouvoir d'action⁵⁴.

« Si j'ai l'habitude de conduire une voiture, je l'engage dans un chemin et je vois que " je peux passer " sans comparer la largeur du chemin à celle des ailes, comme je franchis une porte sans comparer la largeur de la porte à celle de mon corps. Le chapeau et l'automobile ont cessé d'être des objets dont la grandeur et le volume se détermineraient par comparaison avec les autres objets. Ils sont devenus des puissances volumineuses, l'exigence d'un certain espace libre. » [Merleau-Ponty 1945 : 167]

Les objets accessibles dans l'activité perceptive dépendent du « corps propre » comme pouvoir d'action. Or, dans nos expériences, il s'avère que *des dispositifs techniques peuvent être comme des prothèses qui modifient ce corps propre*. Ils transforment le système des actions possibles et contraignent les liaisons de ces actions avec les sensations⁵⁵. Ainsi, les dispositifs techniques semblent bien pouvoir être constitutifs d'espaces perceptifs nouveaux.

L'analyse de ces systèmes destinés aux handicapés sensoriels permet de reconsidérer la longue histoire des relations entre l'homme et ses productions techniques. Les technologies

⁵⁴ « L'habitude exprime le pouvoir que nous avons de dilater notre être au monde, ou de changer d'existence en nous annexant de nouveaux instruments. » [Merleau-Ponty 1945 : 168]

⁵⁵ [Berthoz 1997 : 108]

cognitives, c'est-à-dire les supports matériels et organisés de la cognition humaine, ne se résument pas aux techniques de mémorisation, de transport, et de traitement de l'information. L'ensemble des techniques qui transforment les modes de couplage entre l'homme et son milieu, tant sur le plan de la sensation que de l'action, affectent la cognition en proposant de nouveaux invariants à la perception (au volant de ma voiture, je sens la chaussée sous « mes » roues et non les vibrations du fauteuil). Ce qui est essentiels, pour qu'un dispositif technique soit le support de nouvelles perceptions, c'est qu'il permette un retour des effets des actions sur les sensations. Dès lors, les techniques ne peuvent plus être simplement appréhendées comme des moyens développés en vue de fins prédéfinies. Au contraire, établissant de nouveaux couplages entre le vivant et la matière, elles enrichissent l'expérience humaine, autant comme source de nouveaux pouvoirs que comme découverte de nouveaux problèmes⁵⁶.

Les dispositifs de substitution sensorielle bouleversent les modes de définition classiques des diverses modalités sensorielles. Si « voir » n'est plus caractérisé par l'utilisation de l'œil, ni par l'activité d'une aire corticale particulière, il faut redéfinir les divers sens par les types de couplages sensori-moteurs qu'ils engagent entre l'organisme et le milieu, que les dispositifs de couplage soient naturels ou artificiels.

Dans nos expériences, la médiation technique fonctionne comme un prisme révélateur des composantes intimes de l'activité perceptive. Par exemple, en contrôlant et limitant les répertoires d'actions et de sensations on retrouve, au niveau bidimensionnel, des caractéristiques de l'activité perceptive que l'on ne reconnaît dans l'expérience ordinaire qu'au niveau tridimensionnel (comme par exemple la perception par esquisses). C'est ainsi que nous avons pu élargir des questions classiquement réservées à la profondeur à la problématique de la spatialité en général. Je reviendrai sur cette caractéristique essentielle de l'instrument technique.

Il est à noter que Merleau-Ponty ne thématise pas ce rôle de la technique dans la perception bien qu'il fonde une grande partie de ses démonstrations sur les effets perceptifs de diverses techniques comme les lunettes prismatiques inversant le champ visuel. Une telle position s'explique en partie par le fait que les dispositifs qu'il a étudiés n'ont que des effets transitoires. L'apprentissage perceptif qui accompagne l'emploi de ces lunettes débouche sur un retour à la vision naturelle. Au contraire, avec nos dispositifs de couplage sensori-moteur, même après apprentissage, on reste dans une modalité perceptive nouvelle.

Remarquons, que nous n'avons dégagé ici que des *conditions* nécessaires à la constitution de l'espace. Mais nous n'avons pas compris par là ce qu'était cet espace, qu'elle était la nature de cette expérience si particulière qu'est l'expérience de l'espace : présence simultanée du divers dans une totalité infinie continue et englobante.

Avant de poursuivre notre analyse de la perception spatiale et de ses modifications prothétiques, nous pouvons déjà utiliser leurs premiers résultats pour définir les conditions d'une articulation opératoire entre les deux perspectives que nous venons de présenter. Ce point méthodologique essentiel aura une fonction importante dans la suite de nos recherches.

⁵⁶ [Leroi-Gourhan 1964]

3 Phénoménologie et science expérimentale

3.1 Médiation technique et corps propre

On peut comprendre l'étude que nous avons menée jusqu'ici comme une tentative pour décrire la façon dont des conditions artificielles, essentiellement l'emploi de dispositifs techniques, affecte l'expérience vécue. Mais, au regard de la conception de la perception spatiale que nous venons de dégager, qu'avons nous fait au juste dans nos expériences ? Dans un premier temps, nous avons disposé dans un espace « objectif » et non discuté, une cible lumineuse et un sujet yeux bandés doté du dispositif de couplage sensori-moteur. Puis, dans un deuxième temps, nous nous sommes placés du point de vue de ce sujet et nous avons activement cherché à oublier toute connaissance préalable de cet espace externe. Nous adoptions là la posture de la réduction phénoménologique en mettant de côté la thèse de l'existence du monde pour nous concentrer sur les modes d'apparition des phénomènes dans l'expérience perceptive. En particulier, on a examiné les conditions de l'apparaître en profondeur de l'objet. Or, simultanément, l'expérimentateur jouait sur les conditions externes, par exemple en déplaçant la cible, pour vérifier que le sujet identifiait bien sa direction et sa distance. Est-ce donc à dire que l'on accepte une solution naïvement représentationnaliste pour laquelle l'espace perçu du sujet se constituerait comme un bon reflet de l'espace « réel » connu de l'expérimentateur extérieur ? Sommes-nous, parce que nous acceptons de nous laisser renseigner par une méthode expérimentale en troisième personne, en contradiction avec tout ce que notre analyse phénoménologique a tenté d'établir ?

Ce serait le cas si l'on utilisait brutalement notre étude empirique (II.3) pour *expliquer* la genèse phénoménologique de la profondeur (II.4). En cherchant à expliquer l'expérience vécue en première personne par l'analyse en troisième personne de l'activité d'un organisme objectivement localisé objectif, on abandonnerait toute prétention fondatrice de la phénoménologie. En effet, comme on l'a déjà dit, c'est l'objectivité spatiale tridimensionnelle dont on veut comprendre la constitution dans l'expérience vécue. Si l'on partait de cette objectivité pour expliquer cette expérience on n'aurait rien expliqué puisque l'on se serait donné ce qu'il fallait comprendre – l'expérience de cette objectivité tridimensionnelle comme telle. L'analyse phénoménologique ne peut se dérouler que dans la sphère du sens pour le sujet, c'est-à-dire de ce qui est significatif pour son vécu et qui donc peut participer à sa constitution.

Est-ce à dire alors que les deux approches de la perception doivent rester étrangères l'une à l'autre, sans que ce qui est décrit dans l'analyse objective de l'activité perceptive ne puisse aider à la description de la constitution phénoménologique – ou sans que le travail de la phénoménologie ne puisse servir à guider l'effort de la recherche empirique ? Les conditions très particulières de notre situation expérimentale nous semblent permettre d'envisager une autre solution. En effet, avec l'idée de « corps propre » modifiable par ses annexes techniques, Merleau-Ponty ouvre une voie originale : tout en refusant d'assimiler le corps propre à l'organisme donné dans l'objectivité, il reconnaît que les dispositifs techniques peuvent modifier ce corps propre. La prothèse n'est pas comme une chose objective dont on intégrerait le fonctionnement à un calcul sur les données sensibles, mais bien une modification du corps propre qui affecte son pouvoir de constitution.

“ On est tenté de dire qu'à travers les sensations produites par la pression du bâton sur la main, l'aveugle construit le bâton et ses différentes positions, puis que celles-ci, à leur tour, médiatisent un objet à la seconde puissance, l'objet externe. La perception serait toujours une lecture des mêmes données sensibles, elle se ferait seulement de plus en plus vite, sur des signes de plus en plus ténus. Mais l'habitude ne *consiste* pas à interpréter les pressions

du bâton sur la main comme des signes d'un objet extérieur, puisqu'elle nous *dispense* de le faire. Les pressions sur la main et le bâton ne sont plus donnés, le bâton n'est plus un objet que l'aveugle percevrait, mais un instrument *avec* lequel il perçoit. » [Merleau-Ponty 1945 : 177-178]

Dans notre situation expérimentale, ceci est évident. Le dispositif technique rend possible un mode perceptif original en donnant un pouvoir d'agir et de sentir nouveau. De façon générale, l'outil semble posséder deux genres d'être. En tant qu'objet fabriqué, transmis, encore devant moi, il appartient au constitué. Mais en tant qu'il est saisi, qu'il modifie ou enrichit les possibilités d'actions et de sensations, il modifie significativement l'expérience vécue. A-t-on alors là une clé pour articuler les perspectives empirique et phénoménologique ? Pour que cette clé fonctionne, il faut d'abord tenter de comprendre un peu mieux les mouvements de la *saisie* ou du *lâché*, le changement d'être de l'outil qui de constitué devient en un sens « constituant », et inversement.

Dès lors qu'il est saisi et devient ainsi un prolongement du corps propre, l'être de l'outil ne peut plus s'épuiser en son être d'objet constitué. En tant que « saisi » par le corps propre, l'outil se trouve investi par son pouvoir constituant, et, du même mouvement, il reconfigure la portée de ce pouvoir en lui ouvrant de nouveaux possibles. C'est très exactement ce que fait notre dispositif de suppléance perceptive. On peut donc distinguer deux mouvements : *L'appropriation* de l'outil comme passage d'un dispositif objectif à son investissement en tant que nouveau possible pour la constitution de l'expérience vécue ; et la *séparation* d'avec lui, qui soustrait une propriété du corps propre pour ne laisser qu'un objet. Reprenons ces mouvements dans nos deux perspectives.

Dans la perspective de l'étude empirique, on remarque que le dispositif ne fonctionne que quand il est *attaché* à l'organisme, se mouvant exactement avec lui. S'il est séparé ou simplement mal lié, distribuant des stimulations tactiles indépendamment des actions, toute possibilité de spatialisation d'une cible lumineuse disparaît. Par ailleurs, au début de l'appropriation, le dispositif est présent pour le sujet, en tant que poids et forme touchée sur le doigt d'une main, et stimulation tactile sur la peau de l'autre main. Mais il devient rapidement invisible pour le sujet : quand il est lâché puisque le sujet est aveugle, mais aussi quand il est saisi, puisque le sujet qui s'en sert oublie rapidement sa présence (sauf à faire un effort d'attention spécial pour en reprendre conscience). Dans cette perspective à la troisième personne, il est clair que c'est le *même* objet qui est soit saisi, soit lâché.

Dans la perspective de l'étude phénoménologique, le dispositif technique, en tant qu'il est saisi et qu'il sert à percevoir, n'est pas lui-même perçu. L'appropriation d'un dispositif de couplage conduit à oublier sa présence : le lieu sur la peau où le dispositif délivre les sensations, et même les mouvements réalisés, disparaissent de la conscience au moment où sont constituées les perceptions qu'il permet. L'apprentissage perceptif consiste en l'oubli des conditions techniques de cette perception⁵⁷. La maîtrise de l'outil le fait disparaître de notre conscience, ou, à tout le moins, le repousse à ses marges. Le dispositif de suppléance perceptive n'est pas thématiqué, objectivé, quand je suis en train de percevoir un objet dans la profondeur. Mais, de la même façon que Merleau-Ponty accède par l'analyse phénoménologique aux composantes non-thétiques de l'expérience, c'est à dire au corps propre en tant que puissance de prise sur le monde, on peut accéder en première personne à l'outil en tant qu'il modifie cette prise sur le monde. Ce n'est pas dire que le sujet accède à l'outil comme tel. Pour prendre un exemple caricatural, je ne peux pas voir mes lunettes quand je les utilise puisqu'elles me servent à voir. Mais je ne peux pas non plus bien les voir quand je les retire puisque sans elles je ne peux plus voir distinctement. Ce que je peux

⁵⁷ Conduisant son vélo on oublie les vibrations du guidon dans ses mains pour percevoir la chaussée sous ses roues ; engagé dans un jeu vidéo, on oublie les manettes pour devenir le vaisseau spatial qui sillonne l'espace virtuel de l'écran...

seulement comprendre en première personne, via cette expérience *réversible*, c'est le rôle constitutif de mes lunettes dans mon expérience d'une vision distincte⁵⁸. Dès lors, est-ce à dire que c'est la *même* chose qui est réversiblement saisie ou lâchée ? L'outil saisi invisible participant à la constitution d'une objectivité peut-il être identifiable à l'outil déposé, constitué dans l'objectivité ?

En tant qu'objet constitué dans l'expérience, l'outil ne peut être constituant de cette expérience qui le contient et l'enveloppe. Pourtant, une fois saisi, l'outil a le pouvoir de reconfigurer l'activité constituante. Et puisque c'est le même outil, il faut donc admettre qu'il était plus que la simple forme constituée dans l'expérience d'une objectivité physique. Il doit aussi participer de la même réalité que celle du corps propre pour être capable d'affecter son pouvoir constituant. On peut alors construire l'hypothèse suivante : c'est seulement parce que l'outil, toujours déjà, ne se réduit pas à ce que l'on sait en objectiver comme forme localisée dans un espace, qu'il peut être effectivement saisi par le corps propre pour reconfigurer la constitution de l'expérience vécue. Dès lors, ce qu'il faut comprendre, c'est comment l'outil *séparé*, objectivé, est justement constitué de tel sorte que les actions de transformation, de reproduction ou de transmission de cette forme objective assurent en même temps la transformation, la reproduction ou la transmission de son pouvoir d'affecter le corps propre s'il est *saisi*. En un sens, on peut dire que l'outil doit rester le même à travers ce passage de constitué à constituant, de séparé à saisi, si l'on veut un accès, via l'objectivité, au pouvoir de reconfigurer cet accès. Le même outil, en tant qu'aperçu dans l'extériorité constituée, ne peut, pour cette raison, qu'être donné comme un objet non investi d'un pouvoir constituant ; mais, en tant que saisi par le corps propre, il est révélé soudain comme partageant le pouvoir constituant du corps propre.

La définition même de l'outil est d'être cet organe d'action et de perception *séparable*, produit de ce que Leroi-Gourhan [1964] appelle un processus d'extériorisation. On aurait alors une sorte d'enveloppement réciproque entre constituant et constitué, si l'on se souvient toujours en même temps de l'asymétrie de cette relation : le constituant enveloppe le constitué, dont des outils qui peuvent être cependant saisis pour reconfigurer le constituant qui enveloppe le constitué... Mais ce de manière à ce que, *toujours déjà*, le constituant enveloppe le constitué (d'où l'asymétrie de l'enveloppement réciproque)⁵⁹.

Et il devrait en être de même pour le corps propre lui-même : l'organisme en tant qu'il est constitué dans l'objectivité ne peut expliquer la constitution de cette objectivité. Mais l'on peut reconnaître que l'organisme est justement constitué comme bon « répondant » d'un corps propre. L'organisme est ce que l'on a objectivé d'un corps propre, ce qui a pu en être constitué dans l'objectivité par un travail qui d'ailleurs n'est jamais achevé. On peut penser que le corps propre est plus que cela, plus que ce que l'on en connaît objectivement, et même en un sens toujours tout autre que sa forme constituée dans l'objectivité. Cependant cette dernière l'accompagne de manière réglée. Ce qui a été constitué dans l'objectivité ne l'a pas été n'importe comment ; cet acte de constitution obéit à une contrainte majeure. L'organisme a été constitué comme un bon « répondant » du corps propre, c'est-à-dire comme un objet tel que les diverses composantes phénoménologiques de la constitution de l'expérience trouvent

⁵⁸ On oublie toujours les conditions de la constitution quand on constitue, on ne perçoit pas l'outil quand on s'en sert. Et l'approche philosophique phénoménologique n'est sans doute pas - malgré Husserl pour qui vont de soi les actes par lesquels la conscience peut se ressaisir elle-même en son travail de constitution - exempte du problème réciproque : peut-on expliciter ce qui appartient aux conditions de possibilité de l'expérience, au constituant, sans pour cela le constituer et le thématiser, au moins dans l'objectivité des termes d'un langage partagé ?

⁵⁹ On supportera peut-être mieux cet apparent paradoxe, en pensant cet enveloppement comme une hiérarchie enchevêtrée, à la façon des dessins de Escher commentés par Douglas Hofstadter [Hofstadter 1979]. Mais, par l'avance du constituant sur le constitué, il ne peut y avoir d'égalité entre eux, même asymptotique.

en lui une « bonne traduction ». Toute la question sera bien sûr : que faut-il entendre ici par « traduction » ?

Examinons plus précisément ce point dans le cas limité et ultra contraint de notre expérimentation. Il faut bien que l'objectivité soit constituée de sorte à ce que puisse s'y jouer la dynamique de la constitution d'une profondeur puisqu'on peut y installer un sujet dans les conditions expérimentales particulières que nous avons utilisées : un sujet aveuglé qui, devant nous, dans le temps et l'espace de notre observation scientifique, acquiert progressivement cette perception.

Rappelons que par le travail de la réduction phénoménologique, on a vu que ce qui était pertinent et pouvait être reconnu de l'outil, c'était sa façon de modifier mon activité en affectant mes possibilités d'agir et de sentir. La constitution de la profondeur passait par mon engagement, un engagement qui finalement devait être compris comme un déplacement dans cette profondeur elle-même. Ce n'était pas admettre que l'on avait déjà tout ce qu'il fallait constituer : l'action est engagement avant d'être déplacement. Ce qui est constitué, c'est un espace objectif, géométrique aux coordonnées cartésiennes qui n'est pas d'emblée présent. Cependant, à travers l'analyse phénoménologique on a découvert que la constitution de la profondeur est précédée et rendue possible par une forme de participation au monde dans la spatialité originaire d'un corps propre. Il n'y aurait donc pas une constitution de toute pièce, une constitution idéaliste qui supposerait une séparation radicale de la conscience constituante et de ses objets. Au contraire, on est toujours déjà immergé dans le monde dont on constitue l'objectivité géométrique. Et la spatialité du corps propre n'est pas d'abord une grandeur, mais seulement un pouvoir de prise dans le monde, ce qui correspond bien à ce que Merleau-Ponty appelle une spatialité de situation et non de position.

Or, en décrivant la genèse phénoménologique de la profondeur on décrivait la constitution d'une composante essentielle de l'objectivité. Objectivité dans laquelle nous avons conduit notre étude empirique de la perception prothésisée. Rappelons que dans cette perspective empirique, le dispositif technique, en rendant possible un lien nouveau entre actions (déplacements du capteur) et sensation (stimulations tactiles), a permis la construction d'une profondeur par le sujet. La description objective de cette activité se déroule dans un espace géométrique déjà constitué, un espace dans lequel on a localisé une cible et dans lequel on peut enregistrer les déplacements du sujet et de ses articulations. Dès lors, est-il légitime de mobiliser ce travail dans l'espace constitué pour y « retrouver » la forme - ou l'écho - de l'activité constituante ? On ne peut sans contradiction interne demander au constitué de rendre compte du constituant. Mais comme c'est le cas pour l'outil, on peut reconnaître que le constitué est justement constitué de telle sorte qu'on puisse y retrouver les « répondants » de l'activité constituante. C'est précisément ce que l'on a observé dans notre étude phénoménologique du vécu du sujet soumis au protocole expérimental. En effet, on a vu que, de l'intérieur même de la genèse phénoménologique, l'action est justement constituée comme un *mouvement*, un déplacement du point de vue dans l'espace en cours de constitution. De même, c'est de l'intérieur même de l'expérience que la *spatialité* du corps propre est constituée comme une *grandeur spatiale* « objective », que le pouvoir de prise sur le monde se détermine comme une accessibilité à des positions déterminées de l'espace. Ainsi les diverses composantes que nous avons vu à l'œuvre dans la constitution phénoménologique de la profondeur sont en même temps constituées dans l'objectivité, dans la profondeur même qu'elles constituent. L'action est constituée comme mouvement articulaire, la spatialité du corps propre est constituée comme dimension spatiale d'un bras liant ces articulations, etc. Et cette constitution se fait de sorte à ce que les relations objectives qu'entretiennent entre eux ces répondants (mouvement, stimulation tactile, dimensions de l'organisme) soient suffisamment « équivalentes » aux relations qu'entretiennent dans l'ordre de la genèse les composantes de l'expérience (action, sensation,

spatialité du corps propre). On « retrouve » ainsi dans l'objectivité la *forme même* de l'activité de la conscience. Cette « ressemblance » entre la structure de l'activité noématique constitutive de la profondeur, et celle de l'activité concrète d'un sujet objectif, s'explique tout simplement parce que l'objectivité a été constituée comme ça et pour ça. Même si le pouvoir constituant lui-même n'est pas dans le constitué, il y a une analogie qui rend possible que l'un renseigne à propos de l'autre tout en respectant absolument l'abîme qui sépare leur deux manières d'être. Il ne s'agit pas de dire que l'organisme dans l'objectivité est une cause de la conscience et de son activité de constitution, mais plutôt que l'organisme doit être constitué dans l'objectivité comme précisément le répondant présent d'un sujet en train de constituer une telle objectivité.

C'est seulement ainsi, me semble-t-il, que l'on peut comprendre comment il est possible de passer d'un point de vue à l'autre, lâcher ou prendre l'outil, devenir observateur scientifique ou sujet phénoménologique. C'est aussi seulement ainsi que des dispositifs techniques peuvent être conçus, fabriqués, justement dans le projet de modification du pouvoir de constitution.

3.2 *La méthode des répondants*

Cette conception de l'enveloppement réciproque asymétrique entre constituant et constitué permet de définir une méthode de recherche, la méthode des répondants. Elle signifie que, sans jamais certainement pouvoir achever une naturalisation de l'intentionnalité constituante, on doit cependant être confiant en ce que l'on pourra toujours retrouver du côté de l'objectivité, les répondants des éléments et processus thématiques du côté de l'expérience vécue. Ceci pour une raison supérieure de cohérence de l'expérience individuelle et collective qui assure la possibilité de comprendre, sans contradiction insurmontable avec la raison, la façon dont l'histoire du savoir et des techniques transforme le monde dans lequel nous vivons et ouvre de nouveaux champs de pouvoirs et de savoirs possibles. La caractéristique générale d'une telle méthode est que ce qui, du point de vue de l'objectivité, explique l'activité constructive ou ses modifications, doit pouvoir être constitué du point de vue de l'analyse phénoménologique. A cette condition, on espère que tout ce qui peut être décrit d'un côté trouvera un répondant de l'autre côté. Le questionnement philosophique inspire les recherches scientifiques ou techniques et réciproquement. Cette approche est différente d'une forme de parallélisme psycho-physiologique pour laquelle on chercherait systématiquement des « corrélats » neuronaux des états mentaux. Il s'agit plutôt de reconnaître que les explications et descriptions puissent se poursuivre, chacune de leur côté, en s'inspirant des résultats obtenus de l'autre côté, et le cas échéant les confirmer ou les critiquer.

On peut admettre que la conscience ait des conditions de possibilité qui lui échappent. Mais par la méthode des répondants on affirme seulement que tout ce que je peux découvrir en première personne sur la *constitution*, la genèse et les contenus de ma conscience devra trouver un répondant en troisième personne sous forme d'une *construction*. Mais par là nous n'affirmons pas que tout ce que l'on découvre en troisième personne doive trouver un répondant en première personne. Si, par exemple, on comprend que l'activité neuronale de telle région du cerveau ou les réactions chimiques liées à telle molécule sont des conditions nécessaires à l'existence d'une conscience, que leur altération produit des altérations simultanées de la conscience, ce n'est pas pour cela que l'on exige que la conscience puisse thématiquer cette activité neuronale ou ces réactions chimiques elles-mêmes. C'est seulement à travers les variations réversibles en première personne que je peux thématiquer différentes conditions de la genèse de ma conscience. Pourquoi donc cette apparente avance de

l'objectivité... alors que l'objectivité est seulement constituée ? On répondra que c'est justement parce qu'elle est en troisième personne, que la science, avec le langage et les dispositifs d'inscriptions partagées, a le pouvoir d'accumuler des connaissances qui dépassent le savoir individuel. Mais cela signifie aussi, que tout ce travail se fonde sur une étude de la conscience chez autrui, c'est-à-dire qu'il est suspendu au préalable de la reconnaissance externe d'une conscience. Il y a là une thématique socio-cognitive de grande importance mais qui dépasse le cadre du présent essai.

Je vois deux conditions épistémologiques générales nécessaires pour que cette méthode soit acceptable. Une condition philosophique et une condition scientifique.

Sur le plan philosophique, il faut se placer dans une perspective de recherche dynamique, bien représentée par le courant phénoménologique, pour lequel la question du transcendantal n'est pas figée en une structure d'aprioricité définitive, mais au contraire, sans cesse creusée et repoussée dans des analyses successives de la genèse de l'expérience vécue. On pense ici en particulier au travail de Maurice Merleau-Ponty et, bien sûr, aux études phénoménologiques et herméneutiques qui mobilisent les situations originales créées par des médiations techniques nouvelles pour dévoiler plus avant l'activité de la conscience.

Sur le plan de la psychologie et des sciences cognitives, la recherche doit, sans rien abandonner de sa prétention explicative, rester sensible à la question du transcendantal, c'est-à-dire aux conditions de possibilité de ces sciences elles-mêmes, non pas pour s'y arrêter, mais pour en faire l'objet d'une recherche, même si elle devait savoir d'avance qu'elle ne sera jamais achevée. Dans les travaux présentés ci-dessous, on verra donc une tentative de faire une science plus « philosophique », et non pas de séparer des domaines spéciaux de compétences, mais ceci sans nier les différences essentielles de méthodologie par rapport à la phénoménologie.

Par la méthode des répondants on voit inversement, que les études empiriques peuvent apporter aux descriptions phénoménologiques une traduction dans un langage clair, possiblement mathématique. On peut ainsi tirer un enseignement des équations (1) et (2) pour décrire, du point de vue phénoménologique, la façon dont la grandeur du bras qui mesure la distance relative de la cible, est en même temps mesurée par cette distance (équation (3)). La longueur du bras n'a pas d'ailleurs à être à proprement parler « calculée », mais cette équation décrit plutôt comment elle participe concrètement à la stabilisation d'une stratégie de saisie de la distance, c'est-à-dire à la constitution de la profondeur. Cette description trouve ainsi une forme précise. Cependant, donner une forme mathématique à la description de la constitution de la profondeur ne signifie pas que l'on réduise la constitution à une opération simplement mécanique et déterministe. C'est seulement reconnaître qu'une description suffisamment thématifiée et articulée du système cohérent qui unit les composantes de l'expérience (action, sensation, stratégie, spatialité du corps propre), peut trouver un écho réglé dans le langage mathématique. Et rappelons qu'à aucun moment il ne s'est agi de produire une naturalisation de la phénoménologie au sens ou une telle naturalisation consisterait à expliquer les contenus de conscience par des systèmes de causalité externes à cette conscience (qui s'appuierait donc sur des éléments du donné qui justement ont d'abord dû être constitués pour une conscience). On a ici maintenu l'ensemble de la description, autant pour les contenus particuliers que pour les opérations qui les unissent, dans la sphère phénoménale de l'expérience vécue, c'est-à-dire de ce qui fait sens pour un sujet.

Dans le cas du travail d'analyse de l'activité perceptive spatiale que nous effectuons ici, on peut être plus précis sur ce que doivent être les hypothèses des théories scientifiques proposant de bons répondants de la description phénoménologique. Paradoxalement, seules

des théories radicalement objectives, qui ne posent pas de prime abord une distinction spatiale entre représentations « intérieures » et objectivité « extérieure » mais qui, au contraire, montrent la genèse d'un point de vue et d'un objet dans l'activité concrète de l'organisme, peuvent être traduites dans des termes qui font sens pour l'expérience vécue. En effet, si une opposition entre représentation et disons, contenu représentationnel, était posée dans l'espace objectif, on serait conduit à une naturalisation de l'intentionnalité qui poserait, dans l'objectivité elle-même, l'existence localisée et physique d'états mentaux et d'une expérience vécue par un sujet, expérience qui serait à expliquer par les relations causales entre le système cognitif, lieu de cette expérience, et son environnement. Et c'est précisément ce qui rebute toute recherche phénoménologique de type philosophique puisque pour elle c'est l'expérience vécue qui est constitutive de l'objectivité et non pas le contraire.

Les usages opposés des deux perspectives d'étude, en première et en troisième personne ne signifie pas qu'il y aurait comme deux espaces différents, un espace « intérieur » des représentations perceptives, et un espace « extérieur » des objets dans la causalité physique. Bien au contraire, il s'agit de montrer qu'il n'y a dans chaque perspective qu'un seul espace. « Intérieur » et « extérieur » se définissent dans ce seul espace – deux fois compris.

D'abord sur le mode phénoménologique, cet espace est *constitué* comme une objectivité dans laquelle s'engage et se déplace un point de vue séparé des objets constitués. Il était exigé de décrire la constitution d'une profondeur et d'une extériorité sans sortir des termes mêmes de l'expérience vécue. En reconnaissant la spatialité originaire d'un corps propre, on a vu que cette constitution impliquait une prise et un engagement de ce corps dans le monde comme monde vécu primordial. L'expérience vécue n'est donc pas une composante particulière et localisée de l'objectivité. Il faut plutôt considérer une co-extensivité de l'expérience vécue et des choses dans l'espace constitué.

Sur le mode des répondants objectifs, l'espace serait *construit* par un organisme articulé, comme une extériorité dans laquelle se déplace son point de vue (position du capteur) indépendamment des objets qui l'entoure. Dans les analyses empiriques précédentes, comme dans les propositions théoriques qui vont suivre, nous avons donc cherché à rendre compte de la construction d'une localisation de la cible par le sujet à partir de ses actions dans cette profondeur elle-même par la grandeur objective de son organisme. La perception se situe dans la dynamique concrète de l'activité et non dans une représentation de cette dynamique. Il y aurait co-extensivité de la perception spatiale et de l'espace des actions et choses perçues. Nous reprendrons et approfondirons cette idée dans les chapitres suivants.

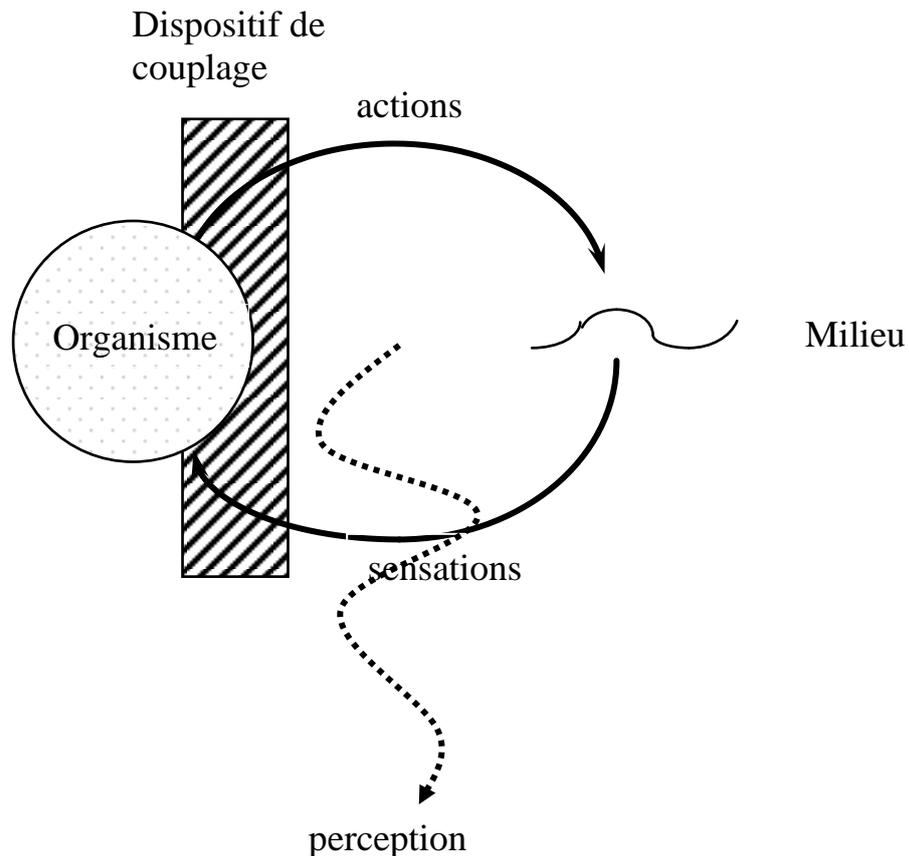
Si ce cadre de recherche est admis, il doit dès lors être possible de reprendre les articulations théoriques entre les éléments d'une perspective pour décrire celle qui unit les éléments de l'autre. L'analyse phénoménologique de la constitution de la profondeur pourra nous guider dans la mise au point d'hypothèses explicatives de l'activité cognitive de localisation que nous n'avons décrite plus haut qu'en nous limitant à un point de vue strictement béhavioriste.

Dans la mesure où nous ne voulons admettre qu'un seul espace, nous sommes obligés d'assumer une perspective non représentationnaliste radicale très proche de celle que proposait Francisco Varela⁶⁰. Si la perception n'est pas dans l'organisme, elle doit alors se définir dans son couplage avec le milieu, et comme on le verra plus précisément dans un prochain chapitre, l'espace même de cette perception doit lui aussi se constituer dans ce couplage. Dès lors l'analyse scientifique de l'activité perceptive doit consister à proposer une explication aussi complète que possible de ce couplage. Pour cela il faut chercher d'une part,

⁶⁰ F. Varela (1989) *Autonomie et connaissance: Essai sur le Vivant*, traduit de l'américain par Paul Bourguine et Paul Dumouchel, Paris, édition du Seuil.

du côté de l'organisme, quelles sont les « stratégies » qui définissent les actions qu'il exécute à partir des sensations qu'il reçoit, et d'autre part, du côté du milieu, quelle est la causalité qui définit les perturbations distribuées à l'organisme en fonction des actions qu'il exécute. Ce faisant, on retrouve certains aspects théoriques de la robotique située [Brooks 99].

Schéma du couplage perceptif



L'explication de la dynamique du couplage se réalise en donnant

- d'une part, du côté de l'organisme, des stratégies « $s \rightarrow a$ » qui indiquent quelles actions seront réalisées pour les différentes sensations possibles,
- et d'autre part, du côté du milieu, des relations causales « $a \rightarrow s$ » qui indiquent les effets de ces actions en terme de sensations pour l'organisme étant donné l'état du milieu.

Rappelons qu'en adoptant le point de vue en première personne, on cherchait, sans sortir de la sphère de l'expérience vécue, à rendre compte de la constitution des divers éléments de cette expérience. Comme on l'a vu, on posait donc que tout ce qui était significatif pour cette constitution devait être potentiellement accessible en première personne, même s'il fallait pour cela reconnaître un niveau « non-thétique » de l'expérience dont les éléments ne pourraient se révéler que par des exercices spéciaux ou l'utilisation de médiations techniques appropriées. Dès lors, les stratégies, en tant qu'elles sont constitutives de l'expérience perceptuelle devraient elles-mêmes pouvoir être descriptibles en première personne, surtout quand des situations techniques nouvelles forcent le sujet adulte à découvrir une façon originale de reconstituer une expérience cohérente. Et en même temps, ces

stratégies devront être constituées dans l'objectivité comme bon répondant de la constitution de cette expérience perceptive. C'est du moins notre pari. On se trouve conforté dans cette démarche si, en repassant au point de vue en troisième personne, on peut réécrire les stratégies suggérées par le sujet dans des termes suffisamment précis pour définir le programme d'action d'automates réels ou virtuels. En couplant ces stratégies avec les lois de causalité physique pertinentes du milieu, on vérifie alors que la dynamique observée converge bien vers un comportement semblable à celui du sujet lors de son activité exploratoire, ce que nous appelons sa « trajectoire perceptive ». On verra plusieurs exemples d'une telle démarche dans le chapitre suivant.⁶¹

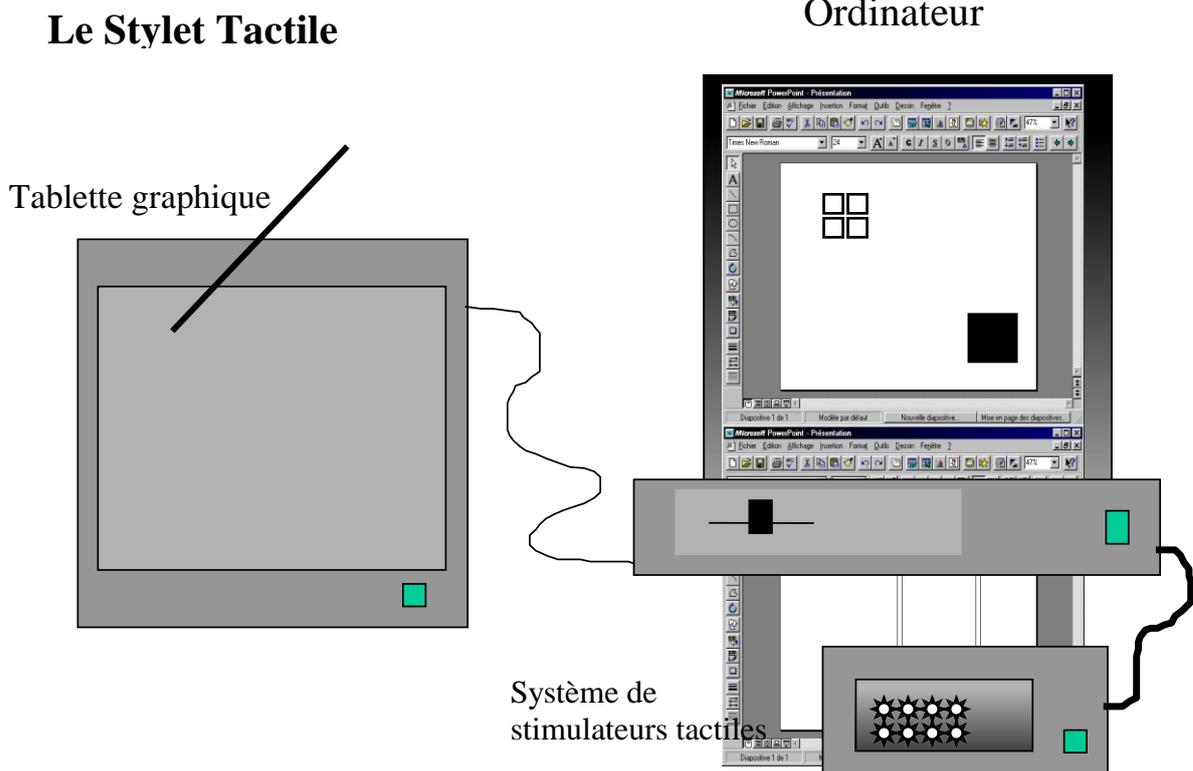
Avant de revenir sur la question de l'espace et de l'ignorance en proposant une modélisation possible de l'activité perceptive de localisation spatiale, nous allons mettre à l'épreuve cette méthode sur la question de la perception de formes simples, ce qui me permettra en même temps de préciser quelque peu l'idée de spatialité du corps propre.

⁶¹ Nous avons reçu un financement pour tester ces algorithmes sur des robots réels : Pôle Régional Picardie DIVA : « Reconnaissance de formes et constitution active de percepts spatiaux » avec le CREA de l'UPJV, 2002-2003.

4 Spatialité du corps propre et perception de formes

4.1 Le dispositif expérimental : le « stylet tactile »

Pour notre étude de la perception de formes bidimensionnelles nous avons développé le « Stylet tactile » (logiciel « Tactos I») [Hanneton 1999, Marque 1999, Lenay 2000a]. Il s'agit là aussi d'un dispositif de couplage minimal. Le stylet d'une tablette graphique pilote un curseur qui permet d'explorer des formes en noir sur fond blanc affichées sur l'écran de l'ordinateur. Dans la version la plus simple, le curseur correspond à un seul champ récepteur (par exemple de 3 x 3 pixels). Quand il croise au moins un pixel noir il déclenche l'activation d'un stimulateur tactile : mouvement en tout ou rien du picot d'une cellule braille électronique. Dans l'état actuel de notre technologie, il s'agit de deux cellules de 8 picots chacune, donc 16 stimulations tactiles simultanées que nous savons commander indépendamment⁶². Le sujet a les yeux bandés et les stimulateurs tactiles sont installés sous l'index de la main libre (l'autre tenant le stylet).



Ce dispositif de suppléance perceptive permet donc l'exploration, sur la tablette graphique, d'une image tactile virtuelle. Il permet aussi d'écrire, ce qui permet en particulier de dessiner les formes perçues dans l'espace même où elles ont été perçues.

⁶² Nous venons de développer une nouvelle version à 32 picots : deux fois deux cellules de 8 picots.



Deux cellules brailles électroniques, soit 2 x 8 picots que l'on peut commander indépendamment

On peut alors modifier et compliquer le système de différentes manières. D'une part, la stimulation sensorielle tactile peut être remplacée par une stimulation sonore (un bip) ou une stimulation visuelle : un carré rouge s'allume au centre de l'écran (on prend soin de rendre invisible la forme à percevoir et le curseur). D'autre part, on peut modifier les dimensions, la répartition et le nombre de champs récepteurs commandant autant de stimulateurs tactiles (picots) indépendants (dans la limite de 16 stimulations tactiles simultanées).

4.2 *Principe méthodologique et hypothèses générales*

Suivant notre méthodologie générale qui consiste à partir d'un dispositif minimal pour le compliquer progressivement, notre étude s'appuie sur une situation de référence « monocapteur » où le dispositif de couplage ne donne à chaque instant qu'une unique information sensorielle pour un seul champ récepteur manipulé par le sujet. Nous avons montré que même dans cette situation limite il y a localisation spatiale et reconnaissance de formes simples. Par sa pauvreté même, le dispositif de couplage force une *externalisation* de l'activité de reconnaissance de formes. Les formes à reconnaître ne sont jamais données d'un coup aux organes récepteurs de la perception comme ce serait le cas pour une forme projetée sur la rétine ou plaquée sur une surface de la peau (ce qui reporterait le processus de reconnaissance à une activité essentiellement interne). Ici, il n'y a qu'une sensation à la fois, en tout ou rien. *L'activité de reconnaissance est donc entièrement déployée dans le temps et l'espace d'une activité externe aisément observable.* Les données (stimuli reçus et actions produites) peuvent être directement contrôlées et mesurées, et la cinématique de ces *trajectoires perceptives* est facilement enregistrable.

Notons que l'on retrouve ici au niveau 2D des questions qui ne sont classiquement abordées qu'au niveau du 3D, en particulier la question de la constitution d'un objet à partir d'esquisses perceptives. On sait qu'on ne peut saisir directement par la vision un objet tridimensionnel. Celui-ci ne peut être constitué que dans la succession de points de vue toujours partiels. De même, dans notre perception prothétisée monocapteur, même une forme

bidimensionnelle aussi simple qu'une ligne ou un bord ne peut être constituée que dans la succession temporelle de son exploration.⁶³

La perception ne peut donc ici se limiter à un calcul sur les entrées sensorielles extéroceptives, calcul qui donnerait lieu à la construction de représentations avant que, le cas échéant, ne soit déclenchée une action. Au moins dans le cadre contraint de la situation de référence, il n'y a pas de perception sans action. Les percepts se constituent dans le couplage sensori-moteur avec le milieu défini par le programme (des formes en noir et blanc sur l'écran). Ils doivent correspondre à des régularités propres aux relations entre actions et sensations, i.e. des lois de contingence sensori-motrices spécifiques. On conçoit que ces invariants seront atteints via des stratégies qui, du côté du sujet, définissent la façon dont il détermine ses actions en fonction des sensations reçues. Le premier et principal résultat de notre recherche a été de confirmer de façon expérimentale cette approche de la perception comme une activité inséparable des mouvements mêmes du sujet dans l'espace des formes perçues. Et nous avons pu proposer diverses modélisations de cette activité pour les confronter aux observations.

Pour cela, par la méthode des répondants on cherche d'abord en première personne à définir ces stratégies, puis on vérifie si leur traduction en troisième personne permet de réaliser des simulations ressemblant aux trajectoires perceptives observées. Et inversement, l'analyse de ces trajectoires permet de suggérer des descriptions dont on vérifie quelles sont bien réappropriables en première personne.

Dans un second temps, à partir de la situation limite monocapteur qui nous sert de référence, nous procédons à une complexification progressive du dispositif pour étudier comment l'activité perceptive s'en trouve modifiée.

4.3 Situation de référence mono-capteur

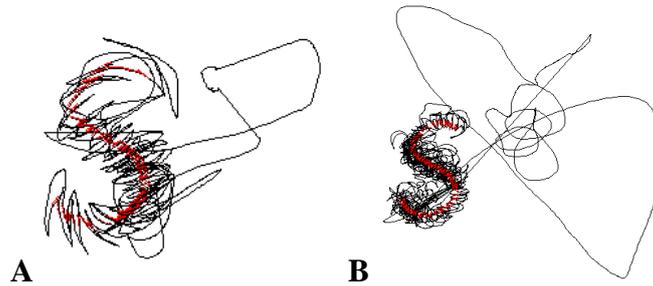
La première phases de notre travail consiste à réaliser des expériences et modélisations dans la situation mono-capteur rendant compte des trajectoires perceptives pour des tâches définies : suivi de contour, localisation, reconnaissance, discrimination, production, apprentissage, interactions, ... On ne présente ici que quelques résultats. Ces expériences sont détaillées dans le document joint « Rapport de fin de recherche COG 145 » et en grande partie publiés dans divers articles ou posters [Lenay 1999, Hanneton 1999, Gapenne 1999].

4.3.1 Premières expériences

Dans une toute première expérience nous avons demandé aux sujets de reconnaître si la forme présentée est un S ou son reflet dans un miroir. Les sujets ont les yeux bandés. Ils commandent avec le stylet d'une tablette graphique, les mouvements d'un champ récepteur de surface 3 x 3 pixels. Quand le champ récepteur passe au dessus d'un trait noir sur fond blanc (épaisseur de 2 pixels), il suffit qu'un de ses pixels soit noir pour que l'on déclenche la stimulation tactile. La stimulation est en tout ou rien. Il n'y a donc qu'un bit d'information à chaque instant. Trois sujets effectuent chacun 20 essais sans limitation du temps d'exploration de la forme. Taux de bonnes réponses : 90%, 100% et 100%. Nous avons ainsi pour la première fois pu découvrir les « trajectoires perceptives », c'est-à-dire la courbe des

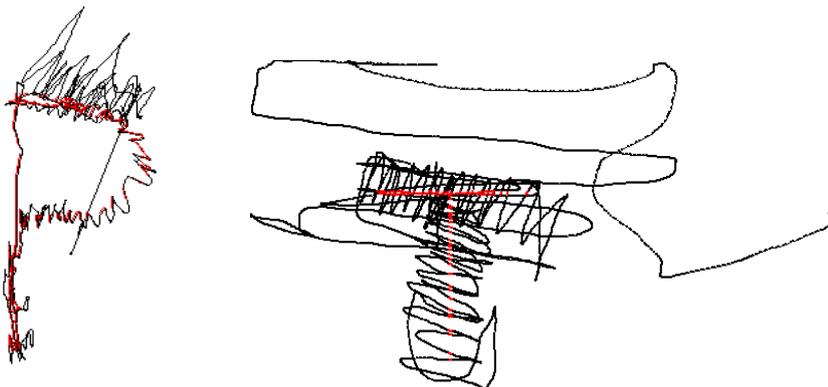
⁶³ On verra que, si, par le contrôle de la médiation technique, on peut reposer sous forme simplifiée les problèmes de 3D et 2D, on peut espérer, inversement, par des dispositifs appropriés, retrouver les avantages caractéristiques de la perception 2D en 3D.

mouvements du champ récepteur au long de l'activité perceptive. Cette trajectoire est enregistrée et nous pouvons en rejouer le film à volonté :

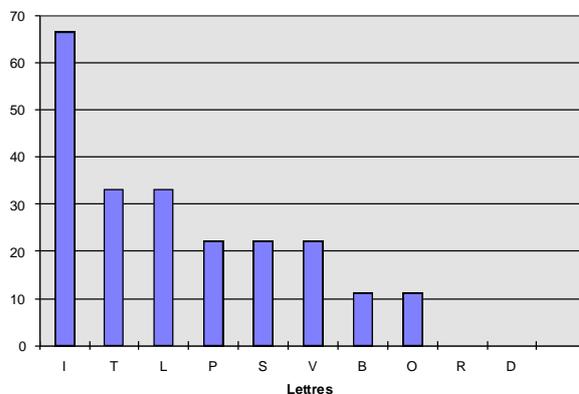


On observe que les sujets peuvent facilement se perdre. S'ils s'éloignent un peu de la forme, on les voit errer comme dans la partie droite de la figure B. En fait si le contact avec la forme est perdu, on ne sait même plus de quel côté, et toute la recherche est à recommencer.

Dans une seconde expérience, il s'agissait de reconnaître des formes simples. Nous avons travaillé avec un répertoire fermé de 10 lettres majuscules : I T L P S V B O R D. Les traits sont larges de 3 pixels au plus. L'expérience est réalisée par 9 sujets naïfs (n'ayant jamais pratiqué le dispositif). Chaque essai est stoppé lorsque le sujet donne une réponse verbale, et aucun retour sur la valeur de la réponse ne lui est fourni. Exemple de trajectoire perceptive :



Le taux de bonnes réponses est supérieur au hasard mais l'efficacité de la reconnaissance dépend fortement de la forme de la lettre explorée.



Pourcentage de sujets ayant donné la bonne réponse pour chaque lettre présentée (les sujets n'étant pas informés du sous-ensemble de lettres choisi, une réponse donnée au hasard n'a qu'une chance sur 26, soit 3,8%, d'être bonne).

L'analyse des « erreurs » de la réponse verbale et de la trajectoire perceptive associée est elle-même fort intéressante. Il y a des erreurs par défaut où seules certaines parties de la lettre ont été explorées (on répond P pour B, I pour L). Il y a des erreurs de confusion entre courbure et ligne droite (on répond O pour D).

Sur la base de premières expériences de ce type et la pratique en première personne du dispositif, nous avons pu construire un ensemble d'hypothèses.

4.3.2 Conclusions et hypothèses sur les expériences préliminaires.

Les trajectoires perceptives (la dynamique des gestes effectués) nous semblent très révélatrices du processus de reconnaissance de formes. Une première analyse purement qualitative permet de dégager une forme de « grammaire gestuelle » isolant les différentes composantes de la dynamique exploratoire [Lenay 1999a, 1999b, Hanneton 1999, Gapenne 1999a]. Cette description préliminaire a servi à guider les expériences et modélisations ultérieures.

Mouvements de balayage –

On peut tout d'abord isoler un geste de balayage. Le sujet commence par des mouvements exploratoires assez amples, mais dès qu'il rencontre un point de la forme, il converge aussitôt vers un « microbalayage » de fréquence relativement stable autour de la source de stimulation. L'expérience présentée dans la première partie, laisse à penser qu'il s'agit là essentiellement d'une opération de localisation : la position du point semble constituée par une anticipation stable de la stimulation tactile en fonction des commandes des mouvements du stylet. Mais un tel type de geste n'est pas suffisant pour produire la reconnaissance de forme. Bien sûr, en admettant une mémoire illimitée et une proprioception précise, on pourrait envisager de réaliser un scanner de l'image, c'est-à-dire une "cartographie" donnant l'ensemble des positions relatives des différents points qui la composent. On calculerait ainsi une "image mentale" de la forme à percevoir. Mais ce serait repousser le problème de la reconnaissance proprement dite. On n'aurait fait que compliquer l'étape préliminaire de la réception de la forme reçue qu'il faudrait encore ensuite catégoriser.

De toute façon, on observe durant les expériences que l'inexactitude de l'information proprioceptive ou la faiblesse de sa mémoire sont telles que si les sujets perdent le "contact" avec un point de stimulation, ils se trouvent perdus, errant à la recherche de leur position de départ. On retrouve ici la finitude rétentive de l'action rencontrée plus haut. Le sujet ne semble avoir jamais accès à une position absolue (dans un repère x, y) du stylet sur la tablette. Il perçoit seulement, et avec une assez grande imprécision, la direction et l'ampleur de ses déplacements, mais en l'absence d'accès à un repère de référence, les erreurs sont si grandes et la mémoire si faible qu'il est impossible (en tout cas sans entraînement particulier) de réaliser une sommation des mouvements effectués pour retrouver la position du point de départ. La situation est semblable à celle de robots réels aux roues qui dérapent sur un sol inconnu et variable. C'est dans de telles conditions que la reconnaissance d'une forme réussit cependant à s'établir.

Suivi de contour -

Il consiste en une combinaison du microbalayage, perpendiculaire au bord de la forme, avec un déplacement longitudinal, tangentiel, suivant des directions élémentaires (portions de droite ou de courbe).

Si le point où se trouve amorcé le mouvement de microbalayage est une partie d'un segment, il se trouve en fait que sa localisation spatiale échoue partiellement à se constituer. En effet, la localisation d'un point n'est complète que s'il peut être réversiblement exploré suivant toutes les dimensions de l'activité (ici les deux dimensions du plan). Or, suivant l'axe du segment, quand par hasard il est suivi, les variations d'action ne déterminent pas de changements de sensations, et d'ailleurs tous les mouvements effectués suivant des directions qui croisent le trait à différents niveaux révèlent l'échec à spatialiser une cible ponctuelle.

En même temps, du fait de la limitation extrême du champ perceptif, il est impossible d'effectuer un suivi exact du segment, suivi qui aurait probablement permis de le spatialiser en position et grandeur par l'ampleur d'un mouvement permettant de le dépasser à chaque extrémité.

La stratégie adoptée est donc une composition de deux gestes élémentaires, d'une part une dynamique rapide d'oscillations perpendiculaires qui permet de vérifier la position du trait, et d'autre part, un mouvement tangentiel qui dans une dynamique plus lente, tente de saisir réversiblement sa direction. Ce déplacement général semble réaliser une anticipation de second ordre qui parie sur la stabilité d'une fréquence temporelle de sensations.

Cette exploration est corrigée progressivement suivant les surprises du contour. Quand le bord est perdu, le stylet ralentit, revient en arrière, tente une nouvelle direction, et dès que le microbalayage redonne une stimulation régulière, reprend son chemin dans une même direction jusqu'au prochain détour. Chacune de ces directions tangentielles est comme la satisfaction ou la déception d'une anticipation sur les stimulations attendues via le microbalayage. Nous proposons de caractériser cette étape comme celle d'une reconnaissance de "traits" composant la forme. Mais, si cette stratégie permet de reconnaître des segments droits ou courbes, ce n'est pas encore la reconnaissance de formes plus complexes, comme des lettres. On pourrait là aussi imaginer que l'enchaînement de ces "traits" permet de construire une "image mentale". On aurait déjà avancé en retraduisant une image comme ensemble de positions de points en une image comme combinaison de traits (l'étape classique d'extraction de contour aurait été externalisée), mais il faudrait encore reconnaître et catégoriser cette image.

En fait, l'imprécision du savoir de l'action et de la mémoire de ses changements ne permet pas une telle stratégie. Le sujet n'a pas accès à une métrique de l'espace exploré qui permettrait de composer mentalement ces traits, mais au mieux une simple topologie (cf. confusion entre le "D" et le "O", entre le "U" et le "V").

Geste d'écriture –

La reconnaissance proprement dite ne semble atteinte qu'au moment où le sujet est capable de combiner au geste de microbalayage, celui d'une séquence dynamique de traits reproduisant le tracé. Dès lors le stylet parcourt en oscillant et sans perdre les bords l'ensemble de la forme (voir Figure 4 B). La reconnaissance d'un caractère serait ainsi la vérification que le geste, qui dans d'autres conditions correspondrait à la production de cette forme, permet effectivement d'anticiper correctement les sensations reçues. Non seulement,

la lecture serait la reconnaissance du geste de l'écriture [PLO 94, 97], mais elle serait ici la réalisation spatiale concrète du geste d'écriture du caractère lui-même.

Dans cette expérience limite, la perception n'est plus la réception (puis la représentation) d'une forme mais sa construction active, et ceci non seulement sur le plan cognitif, mais de façon quasiment concrète par son écriture gestuelle. Le parcours actif est à la fois *reconnaissance* et *constitution* de la forme puisqu'il faut à chaque fois produire les sensations correspondant à ses diverses parties. Comme dans une perspective phénoménologique, la perception est la réussite (ou non) du remplissement d'une visée active⁶⁴.

La perception n'est pas la catégorisation (suivant un mode associationniste) d'une forme passivement reçue. L'anticipation précède la situation qui la confirmera ou non, mais ce n'est pas là non plus un simple mode sélectif où une hypothèse serait conservée ou non suivant les sensations reçues. En effet, cette anticipation ne définit pas une attente passive, mais elle se réalise activement et très concrètement dans une série de mouvements qui déterminent les sensations reçues. Il est d'ailleurs frappant à l'examen du film des trajectoires, de pouvoir lire sans ambiguïté, dans les vitesses et directions des mouvements exploratoires, les intentions suivies par leurs auteurs et les formes qu'ils croient reconnaître. La forme perçue correspond à la tentative réussie de détermination de séquences de sensations par des séquences d'actions, i.e. le remplissement d'une anticipation. Ceci explique d'ailleurs les « erreurs » fréquentes de construction partielle (par exemple entre P, R et B).

Pour développer ces hypothèses, les appuyer sur des observations précises et réaliser de premières simulations, nous avons réalisé (et nous continuons à réaliser) une série d'expériences en commençant par des formes ultra simples comme des segments, des lignes brisées ou des courbes.

4.3.3 Nouvelles expériences

Tout d'abord, nous avons vérifié que l'activité perceptive était bien entièrement déportée du côté de l'action. En effet, si l'activité perceptive consiste d'abord en la reconnaissance d'un invariant sensori-moteur (défini par une loi de contingence sensori-motrice) elle doit être indépendante de la modalité sensorielle particulière des signaux délivrés au sujet. La nature du signal sensoriel ne doit pas être, en soi, porteuse d'une information intrinsèque⁶⁵. Dans une expérience, on vérifie que les performances des sujets et la forme de leurs trajectoires perceptives ne sont pas modifiées quand on fait varier la nature du retour sensoriel binaire, en tout ou rien. Soit :

- un « bip » produit par l'ordinateur pour le retour auditif ;
- un carré fixe (3x3 pixels) au centre de l'écran de l'ordinateur pour le retour visuel ;
- une vibration sur la pulpe de l'index pour le retour tactile.

Les résultats de cette expérience tendent à montrer que l'identification de forme est, au moins dans cette situation, indifférente à la modalité du retour sensoriel. Cela confirme que dans ces conditions la loi de contingences est essentiellement liée aux propriétés de

⁶⁴ « Si je devine ce qu'elle peut être [la forme], c'est en laissant là le corps objet, *partes extra partes*, et en me reportant au corps dont j'ai l'expérience actuelle, par exemple, à la manière dont ma main circonviert l'objet qu'elle touche en avançant les stimuli et en dessinant elle-même la forme que je vais percevoir. » [Merleau-Ponty 1945 : 90]

⁶⁵ [Gapenne 2000a]

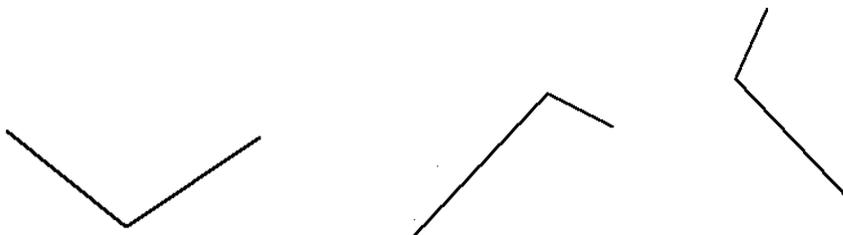
l'action et, plus précisément à la relation qui lie le mouvement et les discontinuités de l'espace exploré. D'autres expériences mobilisant un capteur unique de surface 1 pixel pourront donc être réalisées indifféremment avec un retour sensoriel visuel, tactile ou sonore⁶⁶.

On a aussi voulu mesurer un effet d'habituation au dispositif. Une même expérience est répétée durant trois sessions à une semaine d'intervalle. Le groupe est de cinq sujets. A chaque session, chaque sujet devait reconnaître 10 caractères majuscules (dans un répertoire de 10) une minute un. La réponse est verbale. Les résultats montrent un très net effet d'apprentissage : 9 identifications correctes sur 50 durant la première session à comparer avec 25 sur 50 à la dernière session.

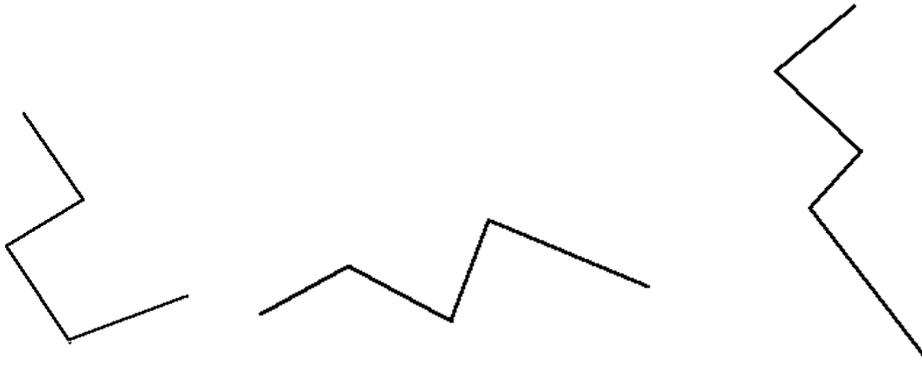
Pour étudier la reconnaissance dans un répertoire ouvert de lignes brisées simples (2, 3 ou 4 segments), on demande au sujet après son exploration de reproduire la forme qu'il croit avoir perçue en la dessinant sur la tablette graphique avec le stylet même qui lui a servi à la percevoir. Les conditions de la perception et de la reproduction sont donc exactement les mêmes.

Mais auparavant, il fallait mesurer la capacité des sujets à reproduire leurs mouvements dans l'espace de la tablette graphique. Pour cela on demande simplement au sujet, les yeux bandés, de tracer sur la tablette graphique 5 fois la même droite. On trouve une erreur sur les longueurs de l'ordre de 30 % ; et une erreur d'orientation de l'ordre de plus ou moins 7 degrés. Dans la mesure où les sujets reproduisent un même segment qu'ils ont librement défini, ces erreurs expriment la limite de la précision que nous pouvons atteindre par notre protocole expérimental. Même si les sujets ont une perception précise d'une forme, ils ne sauront pas la reproduire avec une précision plus grande que celle-ci.

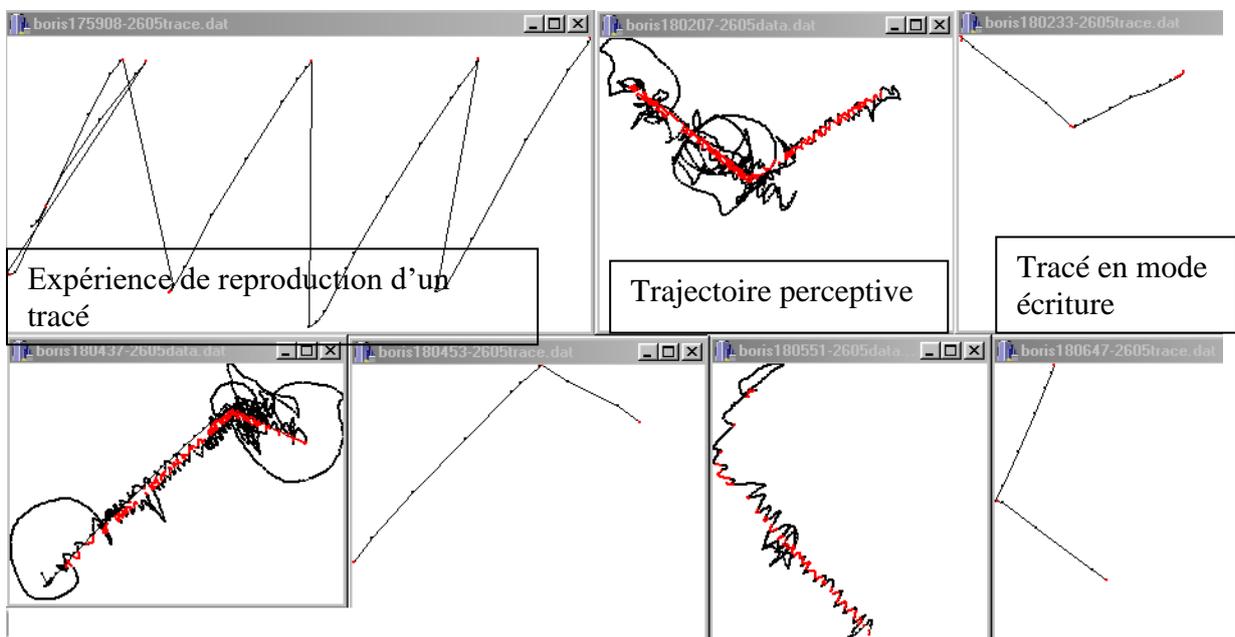
Les lignes brisées sur lesquelles on a travaillé étaient du type suivant :

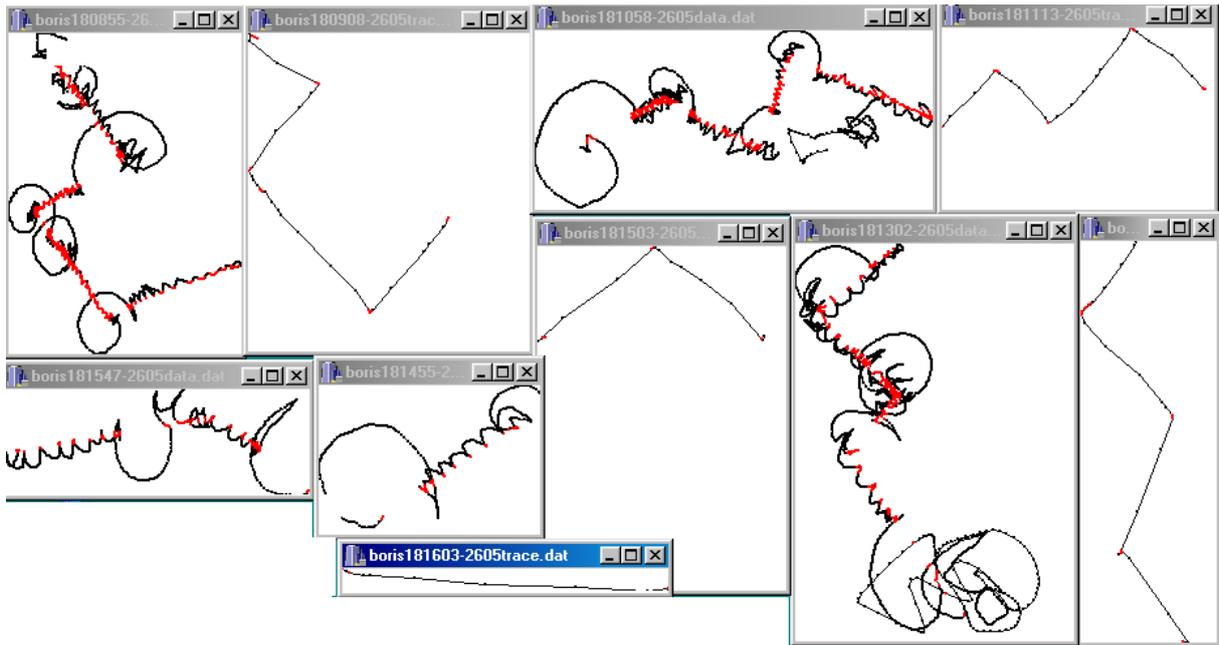


⁶⁶ Cependant, des expériences préliminaires nous ont montré que la substitution d'un signal visuel à un signal tactile était beaucoup plus difficile si l'on passait au cas d'une matrice de stimulations visuelles. En effet, la puissance de l'organisation spatiale visuelle est telle que les sujets cherchent toujours à reconnaître la forme dans l'espace de l'écran où les stimulations visuelles sont émises et non sous le stylet. Il y a projection sur l'espace sensoriel visuel de ce qui devrait être constitué dans l'espace d'exploration par la stylet, ce qui crée de nombreuses erreurs. Si l'on voulait continuer dans cette voie, il faudrait mettre au point un mode de distribution des stimuli visuels qui soit au maximum détaché de tout cadre de référence.



Exemples d'enregistrements des trajectoires perceptives :





Comme on peut directement le voir sur cet exemple, les sujets réussissent à reproduire les formes à percevoir avec une précision non négligeable. Les résultats sont détaillés dans le document joint.

Sur la base de ces expériences on pouvait mener une analyse plus approfondie des trajectoires perceptives.

4.4 Analyses et modélisations

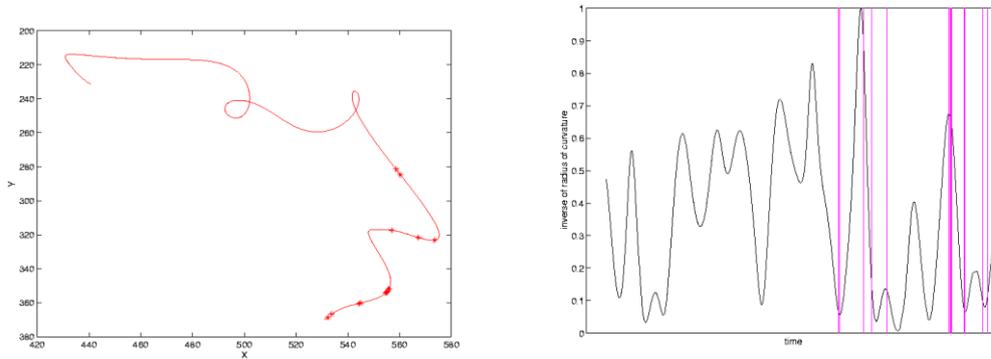
4.4.1 Analyse des trajectoires perceptives

Ce travail est toujours en cours. Je n'indique ici que de premiers résultats, en particulier, ceux obtenus par Sabine Ploux. Dans notre approche du fonctionnement perceptif, la forme élémentaire du couplage est la boucle sensori-motrice telle qu'elle permet la stabilisation de régularités (invariants dynamiques), et l'on suppose qu'il y a composition (accrochages et emboîtements hiérarchiques) entre boucles. L'étude des trajectoires des sujets (dans le cas d'un unique capteur) met en évidence différentes composantes du mouvement : micro-balayage autour de la ligne et suivi de contour. A partir de son exploration le sujet est ou n'est pas capable de nommer ou de reproduire la forme graphique.

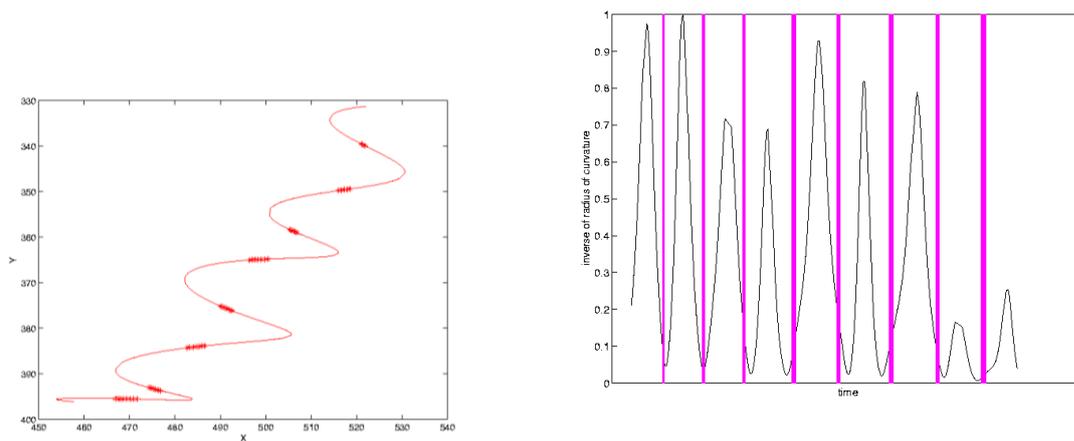
Le micro-balayage est composé d'unités cycliques (boucles sensori-motrices) de fréquence relativement rapide. Chaque unité comporte deux bornes et un centre ; les deux premières se caractérisent par l'annulation de la vitesse de tracé ; le centre constitue au contraire un maximum. Le paramètre retenu pour décrire les dynamiques étudiées est le rayon de courbure. En effet, la loi du 2/3 proposée par Viviani montre que cette variable lie la

reconnaissance de la forme à la vitesse de tracé⁶⁷, et l'analyse a montré que l'accrochage entre la forme graphique et le geste s'exprimait simplement à partir de ce paramètre. Il y a accrochage entre la forme et les mouvements de micro-balayage quand le centre de la boucle sensori-motrice rencontre une réponse. Cette hypothèse a été vérifiée sur les tracés étudiés.

Si l'on observe une trajectoire de ce type, alors c'est que le sujet croise le segment à percevoir par hasard et cela ne donne pas lieu à constitution d'un percept :



Par contre, si la trajectoire est du type ci-dessous, on peut être confiant sur la constitution du percept d'une droite par le sujet.



En effet, on voit bien qu'à chaque instant le sujet anticipe correctement la continuation de la ligne droite puisqu'il la vise de sorte à la croiser au maximum de sa vitesse et au moment où il inversera le rayon de courbure de sa trajectoire.

⁶⁷ [Viviani 1992]

Ce type d'accrochages successifs est la condition d'une perception de continuité. Le sujet perçoit les événements successifs comme appartenant à une même forme globale. Une rupture dans l'accrochage rompt la perception d'un segment.

L'asservissement entre suivi et micro-balayage est fondé d'une part sur ces accrochages successifs et d'autre part sur le maintien de cet accrochage dans l'éventualité d'une variation dans la forme globale (changement de direction, ..). Nous avons donc ici en quelque sorte un *indice objectif sur la perception subjective* de la forme, indice qui est indépendant des verbalisations ou productions graphiques du sujet. On peut dès lors, seulement à partir de la trajectoire perceptive, sélectionner les points de contact qui remplissent les critères objectifs d'une bonne anticipation de la présence de la forme, puis en joignant ces points dessiner ce que l'on prévoit de ce que le sujet aura reconnu.

Ce type d'analyse peut être prolongé pour décrypter les singularités caractéristiques des autres composantes de la forme : bout de ligne, angles, courbes, jonction T et croisements. Par exemple, on peut penser que comme dans la loi de Viviani, la modification du rayon de courbure de la forme graphique se manifeste par une diminution de la vitesse de tracé et donc par un balayage « sur place » avec perte d'asservissement entre balayage et suivi. Un tel travail est en cours.

Avant de proposer un modèle susceptible de rendre compte de la production de telles trajectoires, fidèle à notre méthode des répondants, nous nous interrogeons tout d'abord sur la façon dont, en première personne, le sujet appréhende son activité.

4.4.2 Explicitation des stratégies en première personne

Reprenons donc ici un mode de description en première personne.

Je suis dans le noir, les yeux bandés, la main droite tenant un stylet, la main gauche posée sur un petit système de stimulation tactile. Je commence par balayer l'espace de la tablette à la recherche d'une variation sensorielle. Dès que je l'ai trouvée, j'inverse et diminue mon geste pour converger sur le centre de stimulation par un petit balayage. Il existe ainsi pour moi quelque chose de stable, présent dans l'espace de mes actions. Cependant, je rencontre plusieurs fois la stimulation pour des successions de mouvements décalés, ce qui est contradictoire avec la perception d'un point :



En même temps je commence à concevoir une orientation générale de mes déplacements dans laquelle pourrait se maintenir la stimulation. Mais plutôt que de tenter de saturer mon entrée sensorielle en suivant directement cette direction, je maintiens mon petit balayage en le combinant à un mouvement général plus lent. Cette stratégie présente pour moi deux avantages. Tout d'abord, si je n'ai plus de variations de sensations, que ce soit une stimulation constante ou pas de stimulation du tout, je n'ai plus vraiment d'information et surtout je ne peux plus constituer l'existence d'une chose présente, indépendante de mes actions. Et puis, pratiquement, même si j'avais l'hypothèse intellectuelle d'une ligne que je suivrai continûment et que soudain je perds la stimulation, alors rien ne peut m'indiquer de quel côté je l'ai perdue.

Au contraire, avec mon petit balayage, non seulement je constitue une présence sous-jacente aux stimulations, mais pratiquement, quand je ne retrouve pas la stimulation je peux avoir une idée sur la direction à suivre pour la retrouver. Ce qui cependant n'est jamais gagné d'avance. Je peux être au bout du segment, ou je peux avoir oublié mes derniers gestes et je me retrouve errant, revenu à mon ignorance initiale.

Mais, si je maîtrise bien un savoir-faire qui me permet de maintenir une variation régulière des retours sensoriels, alors je constitue un objet « ligne droite *continue* » présent dans l'espace de mes actions. En effet, j'ai l'impression de pouvoir allonger ou diminuer à volonté le pas de mon oscillation autour de cette ligne que j'ai bien saisie.

Tout ceci n'est qu'un exemple de description. Les stratégies varient suivant les individus. Certains pratiquent des cercles pour se centrer sur la ligne (voir ci-dessous). D'autres tentent de tâtonner le long de la ligne en restant le plus possible du même côté, etc .

Il est remarquable que si l'on examine en troisième personne la trajectoire suivie, on peut sans ambiguïté reconnaître ce que le sujet a reconnu. Et si on lui explique les résultats de l'analyse mathématique de sa trajectoire (la stimulation est atteinte au maximum de la vitesse de balayage et au moment où s'inverse le rayon de courbure) il y reconnaît volontiers une description précise de ce qu'il cherchait à faire de son point de vue, sans avoir su précisément l'explicitier.

4.4.3 Modélisation et simulation pour le cas monocapteur

Pour développer et valider cette approche dynamique de la constitution d'une perception de forme on cherche alors à modéliser le comportement observé. De plus, si le modèle développé est pertinent il devrait aussi s'appliquer à des stratégies « robotiques ».

Pour cela, il faut formaliser la description donnée en première personne en une stratégie complète simulable par un automate fini. Si dans ce travail, il manque des précisions, on propose des hypothèses complémentaires et l'on retourne au point de vue en première personne pour vérifier si elles sont réappropriables dans l'expérience vécue. En suivant systématiquement une telle démarche, John Stewart a écrit un programme où est bien distingué d'un côté les stratégies perceptives, et de l'autre côté, la causalité du milieu (voir le « Rapport de fin de recherche COG 145 » dans les documents joints).

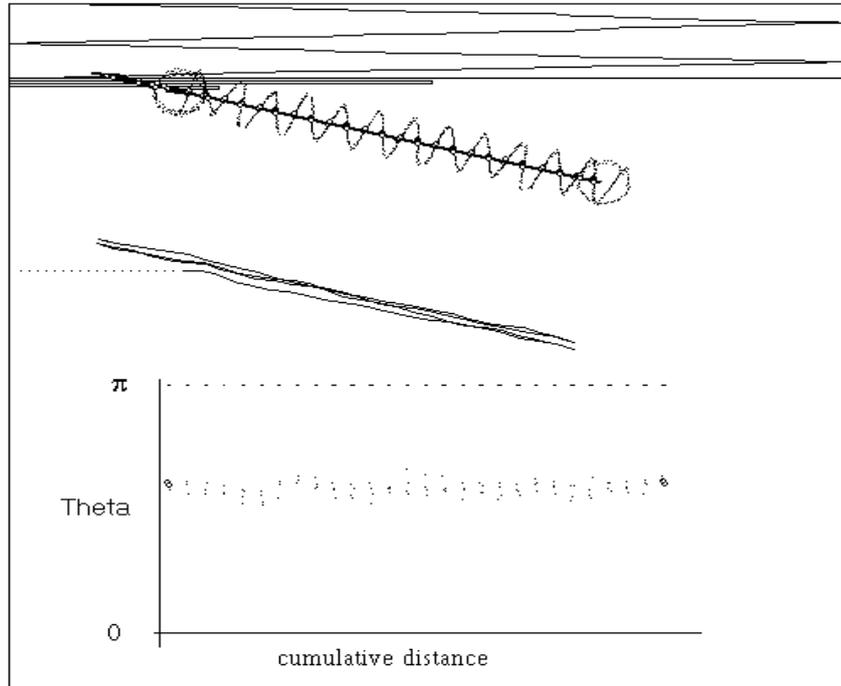
Dans l'écriture de la stratégie, les retours sensoriels sont utilisés pour guider les actions de telle sorte que l'on se rapproche d'une entrée sensorielle « idéale », en l'occurrence une séquence temporelle de stimuli où l'on vise une régularité, rythmique plutôt que directement spatiale⁶⁸.

Nous ne donnons accès, du point de vue de la stratégie, qu'à un savoir faire des actions très limité. En effet, il serait abusif d'utiliser les coordonnées cartésiennes en x et y qui servent à l'ordinateur pour générer les retours tactiles à partir de la position du stylet sur la tablette graphique et la bitmap des pixels occupés par la figure à percevoir. Les sujets humains sont tout à fait incapables de placer volontairement le stylet en un point défini de la tablette, ou de revenir précisément à un point de départ après l'avoir quelque peu quitté. La stratégie perceptive ne peut déterminer que des actions possibles pour les capacités sensori-motrices du sujet. Disons, dans un système de coordonnées « θ » et « d » : l'orientation du mouvement par rapport à l'axe du corps, « θ », et la distance parcourue par ce mouvement, « d ». On a vu que la précision de « θ » mesurée expérimentalement était de l'ordre de $\pm 7^\circ$ et la précision de « d » de l'ordre de 30%.

⁶⁸ Cf. "Perceptual Control Theory" [Powers 1988].

Le programme réussit à trouver et suivre correctement une ligne par un petit balayage. Et si l'on retient, avec leur imprécision, dans ce repère « θ , d », les valeurs des contacts successifs alors que la stratégie fonctionnait correctement, on pourra demander à l'automate de dessiner ce qu'il aura « perçu ».

Trajectoire perceptive produite par l'automate :



En haut le balayage large jusqu'à ce qu'un premier retour sensoriel (petit cercle) soit obtenu ; le centrage sur la ligne ; le cercle ; la procédure de suivi de ligne ; et le cercle de fin de ligne. Le retour sur la ligne n'est pas montré.

La partie centrale de la figure montre le dessin de la figure tel qu'elle est "perçue" par l'algorithme.

La partie en bas de la figure montre les données stockées en mémoire dans un repère « θ , d », .

Trajectoire perceptive par un sujet humain employant une stratégie explicite qualitativement semblable à celle qui sous-tend l'algorithme informatique illustré plus haut.



En haut on retrouve le large balayage, le centrage sur la ligne, le premier cercle, le suivi de ligne et le cercle de fin de ligne. La partie suivante de la figure illustre un suivi en retour ; puis un dessin de la figure telle qu'elle est perçue par le sujet. Et finalement, en bas la « vraie » figure qui était à percevoir.

On peut aussi chercher à mettre au point le programme d'un système adaptatif qui apprend les stratégies en imitant la trajectoire perceptive suivie par un sujet humain. L'architecture que propose Sylvain Hanneton est le résultat d'une synthèse des travaux existants dans la littérature des modèles de contrôle adaptatif qui obéissent à la contrainte de ne disposer que d'une mémoire sensorielle, mais pas de mémoire des actions précédemment effectuées. L'algorithme proposé utilise la notion de « champs mnémoniques »⁶⁹ et s'inscrit aussi dans le cadre des architectures et modèles d'apprentissage probabilistes impliquant l'inférence Bayésienne⁷⁰.

4.5 *Parallélisme des champs récepteurs*

Dans cette deuxième phase nous examinons comment les trajectoires perceptives sont modifiées quand augmente le nombre de champs récepteurs (le parallélisme des capteurs).

En effet, si la perception se constitue au cœur du couplage sensori-moteur, elle doit pouvoir être enrichie (améliorée en vitesse, précision et complexité) aussi bien par un enrichissement de l'entrée sensorielle délivrée à chaque instant, que par un enrichissement du répertoire des actions possibles. Cette recherche s'inscrit donc dans une perspective générale dans laquelle nous visons une étude systématique du rapport entre complexité des entrées sensorielles, complexité des actions (nombres, natures et dimensions des effecteurs : clavier, souris, joystick, stylet,...) et la complexité des percepts constituables (vitesse et précision). Il s'agit donc d'étudier autant les modalités « naturelles » de la perception, que les médiations techniques en tant qu'elles rendent possible la constitution de nouveaux objets et de nouveaux espaces d'action et de perception. On comprend que l'enjeu du travail est indissociablement fondamental et technique. Par conséquent, il trouve aisément des modes de valorisation pratique, non pas tant comme « application » d'un savoir scientifique constitué indépendamment, mais parce que les objets mêmes de notre recherche fondamentale sont les artefacts en tant qu'ils sont saisis, utilisés et appropriés par leurs utilisateurs.

4.5.1 **Effet du parallélisme sur la localisation**

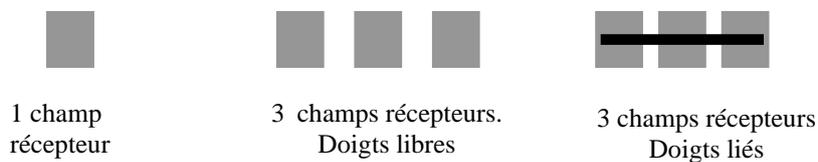
Dans nos premières expérimentations (2.3.1.) nous avons choisi des conditions limites pour lesquelles la constitution d'un espace ne nécessitait pas la réception d'images, mais seulement un unique pixel déterminant l'absence ou la présence d'un stimulus. Comme on l'a vu, un tel dispositif est suffisant pour que soient perçues des cibles spatialement situées. On pourrait alors imaginer que, par juxtaposition et composition de telles perceptions ponctuelles, des formes spatiales seraient accessibles. En fait, les capacités de mémoire, et la vitesse d'exploration limitent fortement la perception de forme. Pour palier cette difficulté on peut progressivement introduire du parallélisme dans notre système.

⁶⁹ « general memory model » [Kolcz 1999].

⁷⁰ [Bessière 1994]

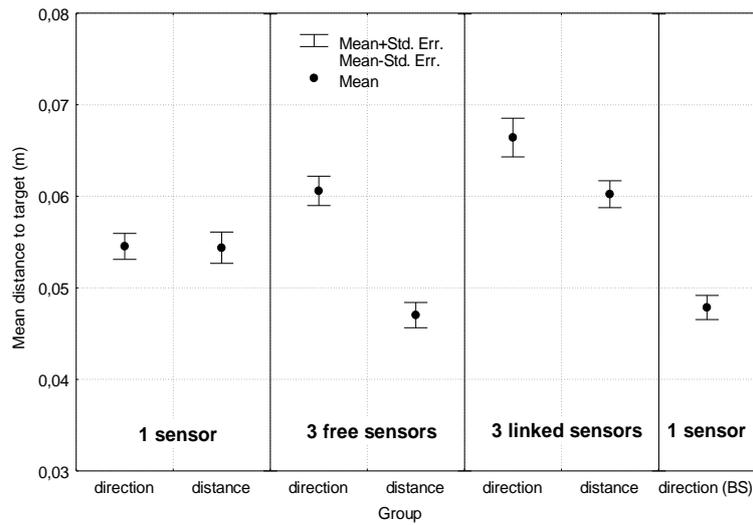
Soit on multiplie les entrées sensorielles en installant sur le même doigt plusieurs photorécepteurs sensibles à des champs parallèles de lumière incidente, chacun d'entre eux étant connecté à un stimulateur tactile différent, soit on multiplie les effecteurs en installant nos stimulateurs sur différents doigts ou autres parties mobiles de l'organisme.

On reprend donc notre première expérience en étudiant la capacité des sujets à localiser une cible en direction et en distance, soit comme précédemment avec un seul champ récepteur, soit avec trois champs récepteurs couplés à trois stimulateurs tactiles. Les trois champs récepteurs (de petites cellules photoélectriques) sont disposés sur l'index, le majeur et l'annulaire. Dans un cas les trois doigts sont libres, dans l'autre cas, ils sont liés par une attache qui solidarise les mouvements des trois doigts[Hardy 2000].



Il y a six groupes de 10 sujets naïfs et un groupe de 10 sujets aveugles (BS)

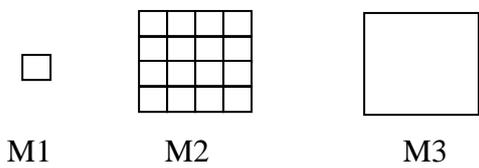
Distance moyenne à la cible :



On voit que les performances sont meilleures (surtout pour l'évaluation de la distance) si les doigts sont libres de se mouvoir séparément. Dans la mesure où la quantité d'information sensorielle reçue à chaque instant est exactement la même que dans le cas des trois doigts liés, il est clair que c'est *l'enrichissement des possibilités d'action qui est l'unique raison de l'amélioration des performances perceptives*. Ici à nouveau le rôle de l'action dans la perception est clair. Cependant, la situation 3 capteurs est en général moins bonne que la situation monocapteur (sauf pour la distance avec les doigts libres), probablement à cause d'un manque d'entraînement ou parce que notre dispositif gêne les mouvements des doigts. Nous sommes en train de reprendre ces expériences.

4.5.2 Effet du parallélisme des champs récepteurs sur le suivi de ligne

Etudier l'enrichissement progressif par la multiplication des entrées sensorielles revenait à étudier le sens et le rôle perceptif d'un aspect essentiel de la spatialité du corps propre : le fait que nous sommes au monde par un pouvoir de sentir multiple et spatialement répandu (peau, rétine, biauralité). Ici, l'étude de la spatialité d'un corps propre prothésisé correspond à l'étude des effets des dimensions, du nombre et de la répartition spatiale des champs récepteurs. Dans la mesure où dans les expériences qui suivent, nos prothèses ne donnent pas accès à des effecteurs indépendants, nous ne prenons en considération que des mouvements d'ensemble des différents champs récepteurs. Nous parlons donc de « parallélisme des capteurs ». Nous passons ainsi progressivement de 1 à 16 champs récepteurs connectés à autant de stimulateurs tactiles indépendants (picot de cellules brailles électroniques que nous savons commander séparément). Types de matrices de champs récepteurs que nous avons le plus souvent utilisés

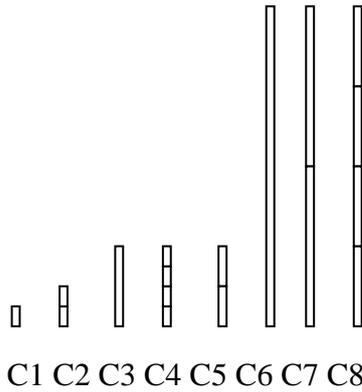


Dans diverses expériences on a montré l'avantage du parallélisme pour la précision et la reconnaissance de forme plus complexes que de simples lignes brisées : angles aigus, croisement, jonction T, discrimination entre courbure et angle.⁷¹

Pour comprendre comment le parallélisme améliore les capacités perceptives nous avons aussi conduit des études systématiques quantitatives de type « loi de Fitts ». Il s'agit de « tâches trajectorielles » consistant à se déplacer le plus rapidement possible d'une extrémité à l'autre d'un segment. On mesure les différences de vitesses et d'amplitudes du balayage pour différents nombres et dimensions des champs récepteurs. Le sujet à les yeux bandés, il déplace un stylet sur une tablette graphique et ne sais pas de quel type est la matrice de champs récepteurs qu'il contrôle.

⁷¹ Les plus importantes expériences sont décrites dans le document joint *Rapport de fin de recherche COG 145*.

Matrices de champs récepteurs utilisés :



On numérote ainsi les 16 picots des deux cellules brailles :

1	5	9	13
2	6	10	14
3	7	11	15
4	8	12	16

Tous les champs récepteurs font un pixel de largeur.

C1 : Unique champ de 2 pixels de hauteur.

C2 : Matrice de deux champs récepteurs de 2 pixels de hauteur.

C3 : Unique champ récepteur de 8 pixels de hauteur.

C4 : Matrice de 4 champs récepteurs de 2 pixels.

C5 : Matrice de 2 champs récepteurs de 4 pixels.

C6 : Unique champ récepteur de 32 pixels de hauteur.

C7 : Matrice de 2 champs récepteurs de 16 pixels.

C8 : Matrice de 4 champs récepteurs de 8 pixels.

Chaque matrice de champs récepteurs est liée aux 16 stimulateurs tactiles de la façon suivante :

C1 active simultanément les 16 picots

C2 active, par le champ récepteur supérieur, les 8 picots (1,2,5,6,9,10,13,14) et par le champ récepteur inférieur, les 8 picots (3,4,7,8,11,12,15,16)

C3 active simultanément les 16 picots

C4 active, par le champ récepteur supérieur, les 4 picots (1,5,9,13) ; par le champ récepteur milieu haut, les picots (2,6,10,14) ; par le champ récepteur milieu bas, les picots (3,7,11,16) ; et par le champ récepteur inférieur, les picots (4,8,12,16).

Etc.

Les analyses des trajectoires perceptives permettent d'évaluer le rôle des facteurs « dimension des champs récepteurs » et « nombre de champs récepteurs » dans le suivi de ligne⁷².

Pour le facteur dimension on trouve que plus le champ récepteur unitaire est grand, plus le suivi est rapide (vitesse tangentielle à la ligne), et moins la trajectoire perceptive est longue (variance plus faible des déplacements perpendiculaires à la ligne). Mais la précision (la distance moyenne du centre de la matrice de champs récepteurs à la ligne) est d'autant moins bonne.

Pour le facteur parallélisme, on trouve aussi que plus le nombre de champs récepteurs est grand, plus le suivi est rapide et moins la trajectoire perceptive est longue. Mais ici la précision est d'autant plus grande.

⁷² De premiers résultats sont présentés dans le *Rapport de fin de recherche COG 145* et des résultats plus aboutis sont publiés in [Sribunruangrit 2002a, 2002b].

4.6 Analyse et modélisation du parallélisme des champs récepteurs

Il est tout à fait possible de demander au sujet de découvrir la forme et l'organisation de son « corps propre », c'est-à-dire de son pouvoir de sentir tel qu'il est défini par le dispositif de couplage. Ici la spatialité du corps propre telle qu'elle est modifiée par le dispositif de couplage dans le cadre de nos tâches perceptives, correspond aux dimensions et dispositions des champs récepteurs.

Le sujet est doté d'une matrice de champs récepteurs dont il ignore la disposition, parmi un répertoire de dispositions connu. Le taux de réussite, supérieur à 90 %, s'explique assez bien. En première personne : tout d'abord je repère une singularité, le bord d'une forme que je localise grossièrement en confondant les retours sensoriels. Je peux alors chercher à évaluer la forme de mon corps propre en mettant en relation mes mouvements et les retours sensoriels. Je découvre par exemple que ma matrice de champs récepteurs est de la forme C8 (et que son orientation ne change pas par rapport aux formes présentes) avec les mouvements de mon corps si, à chaque fois que je rencontre une forme par un déplacement dans une direction, j'ai toujours la même succession ordonnée de sensations, alors que si je me déplace dans une direction orthogonale, j'ai l'une ou l'autre de ces sensations (ou plusieurs simultanément). En combinant ces mouvements, j'arrive rapidement non seulement à évaluer la disposition de mes champs récepteurs, mais aussi à en mesurer les grandeurs. Je découvre par exemple qu'il me faut toujours un mouvement plus important pour obtenir un changement de sensation par un mouvement dans la première direction.

Inversement, la grandeur de mon corps propre me permet une forme de calibrage de mes mouvements. En effet, la répartition spatiale des champs récepteurs qui est stable me sert comme un étalon de mes mouvements. La spatialité du corps propre participe ainsi à la mesure des choses et de mes propres actions par un « empan » de ma prise sur le monde, et l'unité de cette mesure est bien d'abord mon corps comme on compte en « pouces » ou en « pieds »⁷³.

Pour le suivi de contour, l'intérêt d'une spatialité du corps propre se comprend aisément en première personne. Je considère ici le cas où l'on m'a doté d'une matrice de quatre champs récepteurs (C8). Au début de l'expérience je ne sais pas quel type de matrice de champs récepteurs je manipule avec le stylet. Mais rapidement, je découvre que mes sensations s'organisent en une séquence quand je rencontre la ligne en suivant un même mouvement. Dès lors ma stratégie consiste à maintenir la stimulation en rattrapant toute dérive par un mouvement opposé quand je sens un changement de la stimulation tactile. La présence de plusieurs champs récepteurs me permet donc d'éviter le petit balayage perpendiculaire à la ligne qui était nécessaire quand je ne disposais que d'un unique champ récepteur. Je propose dans l'annexe 1 le schéma d'une modélisation où il est clair que la spatialité du corps propre (la répartition spatiale des champs récepteurs) est équivalente à un mouvement déjà réalisé (ou si l'on veut un mouvement « infiniment rapide »). Ceci permet à la fois une économie de mémoire des sensations, et une accélération de l'exploration de la forme.

Cette étude de l'augmentation du nombre de champs récepteurs est cruciale pour assurer la généralité de notre démarche. Si cette activité perceptive peut s'expliquer à partir du cas limite d'un unique champ récepteur en mouvement, on pourra avec plus de confiance, généraliser à la perception en général les principes dégagés dans notre situation prothésisée minimale. Dans nos expériences, en augmentant le nombre de champs récepteurs, bien que

⁷³ « Empan : Mesure de longueur qui représentait l'intervalle compris entre l'extrémité du pouce et celle du petit doigt ; lorsque la main est ouverte le plus possible » *Petit Robert*. L'empan correspond aussi à la portion de texte saisie d'un coup par l'œil (cf. parallélisme).

nous soyons encore loin même des 20 x 20 points de stimulation tactile du dispositif classique de Paul Bach y Rita, nous tendons progressivement à retrouver les systèmes de substitution sensorielle classiques qui donnent à percevoir d'un coup une image complexe. Cependant, la genèse de notre recherche nous place dans une perspective fondamentalement différente. Notre approche prend le contre pied des études de la vision qui partent de l'analyse d'images déjà constituées sur la rétine pour chercher ensuite comment des représentations peuvent être extraites de cette information. On se donnerait là d'emblée au moins deux des dimensions de la perception, et l'on aurait tendance à oublier l'activité constituante du sujet, ce qui amènerait à penser la représentation comme un reflet interne d'un monde externe distinct. Au contraire, dans notre approche, on cherche à comprendre le parallélisme des entrées sensorielles comme permettant un enrichissement des stratégies perceptives pour la constitution de perceptions plus rapides et plus complexes dans le couplage sensori-moteur lui-même. On conserve ainsi pleinement l'implication active du sujet dans la constitution du monde qu'il habite. Cela devrait permettre de mieux comprendre le caractère dynamique de la perception et la façon dont on extrait les composantes pertinentes d'une situation au milieu du flux massif de données sensorielles.

Notre intuition directrice est que le parallélisme des capteurs facilite la perception, non pas parce qu'il donnerait directement accès à chaque instant à des traits significatifs de la forme à reconnaître, mais parce qu'il serait formellement équivalent à un mouvement déjà effectué : le *déplacement instantané* du point de vue d'un champ récepteur à celui d'un autre champ récepteur. De même, la vision binoculaire, qui mobilise parallèlement les deux yeux et extrait de leur convergence la distance de l'objet perçu est formellement équivalente à l'usage d'un seul oeil accompagné d'un léger déplacement de la tête (c'est ce que nous faisons naturellement pour évaluer les positions respectives de deux objets éloignés). Soulageant le travail de la mémoire des actions passées par un mouvement déjà accompli, la présence de différents champs récepteurs répartis spatialement sur l'organisme servirait en même temps d'étalon incarné de ces mouvements.

On comprendra aisément que ce type d'approche de la perception et de ses prothèses appelle un grand nombre d'expériences et de développements théoriques que nous espérons pouvoir développer. Signalons seulement que nous avons engagé deux importantes expériences orientées sur la question de la dimension des champs récepteurs relativement aux mouvements effectués. D'une part, dans la situation monocapteur, nous réaliserons un test d'acuité perceptive (test de Snellen) pour différente grandeur du champ récepteur, ce qui nous permettra une comparaison objective de notre dispositif avec ceux de Paul Bach y Rita [Sampaio 2001] et de [Dobelle 2001]. D'autre part, dans la situation pluri-capteurs, nous avons commencé l'étude des effets du zoom : agrandissement ou diminution coordonnées des surfaces de 16 champs récepteurs. Par ailleurs, nous avons aussi commencé une analyse des effets perceptifs d'autres effecteurs : joystick isométriques, trackball, souris, et boutons du clavier qui, contrairement au stylet de la tablette graphique, ne permettent pas de mobiliser directement une information proprioceptive spatiale des mouvements et positions des champs récepteurs.

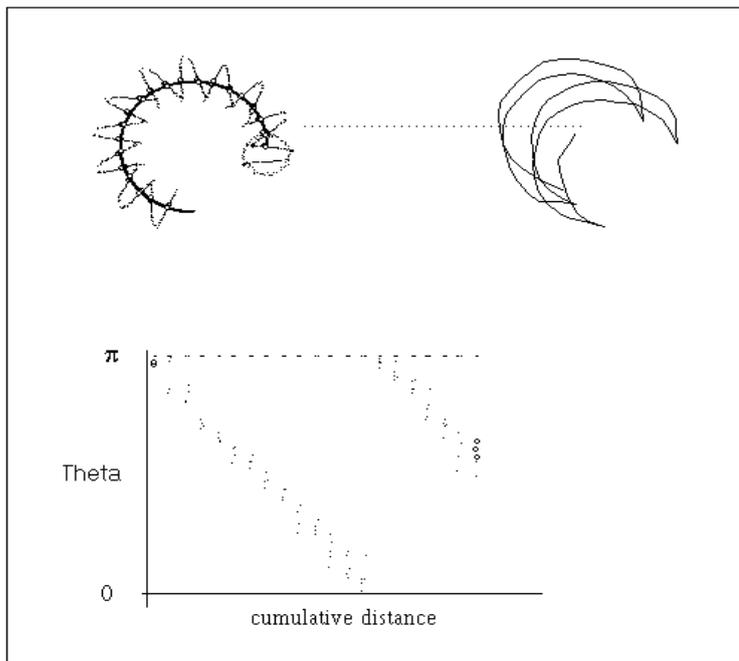
On a vu que par le contrôle de la médiation technique, on pouvait reposer sous forme simplifiée les problèmes typique de la tridimensionnalité (la perception par esquisses) dans un espace bidimensionnel (en n'utilisant qu'un seul champ récepteur). Inversement, on peut espérer, par des dispositifs appropriés, retrouver les avantages caractéristiques de la perception bidimensionnelle (caractère synoptique de la perception simultanée d'un divers grâce au parallélisme de plusieurs champs récepteurs) dans l'espace tridimensionnel. Il faut pour cela un parallélisme de champs récepteurs volumétriques. C'est ce que nous avons développé dans le moteur de réalité virtuelle Tactos II dans lequel les champs récepteur

peuvent être tridimensionnels et qui a l'originalité de ne pas s'arrêter sur les bords des objets explorés : on devrait ainsi pouvoir percevoir différentes faces simultanément, et l'on devrait retrouver un équivalent systématique du parallélisme tridimensionnel naturel que représentent les doigts et en particulier, la pince pouce-index.

4.7 Difficulté principale

L'approche de la question de la perception de formes que nous avons brièvement présentée souffre d'une importante difficulté. Si les modélisations décrites rendent assez bien compte de la reconnaissance de la continuité d'un contour, de la grandeur d'un angle ou d'une courbure, elles ne sont pas suffisantes pour expliquer la *reconnaissance de formes* impliquant une mémoire et une catégorisation. On a considéré que la capacité de reproduire la forme perçue était le meilleur signe de sa perception. Mais où et comment est inscrite cette forme ?

Les stratégies que nous avons proposées sont suffisamment robustes pour suivre des tracés courbes quasi-quelconques. Par exemple la stratégie de suivi de ligne présentée plus haut est tout à fait capable de suivre un arc de cercle :



Trajectoire produite par l'automate quand il est appliqué, sans modification à un arc de cercle. La "dérive" que l'on observe dans le dessin produit par l'ordinateur est due au fait que l'algorithme ne travaille pas avec les coordonnées (x,y) absolues.

Mais, si la même stratégie permet de percevoir des formes différentes, la reconnaissance de ces formes n'est en rien inscrite dans cette stratégie. On a donc considéré que la perception d'une forme correspondait à la mémorisation de la séquence d'actions élémentaires enregistrées au long de son exploration (après avoir éliminé les actions de microbalayage), séquence qui permettait effectivement la reproduction de la forme.

Or ceci présente plusieurs difficultés importantes. Tout d'abord, on sait la faiblesse de notre mémoire des actions passées. Nous avons vu, dès nos premières expériences, que les sujets avaient la plus grande difficulté à savoir au juste ce qu'ils faisaient. Dans le cas de la localisation de cibles dans la profondeur, comme dans le cas du suivi de contour de formes

bidimensionnelles, dès que le sujet s'est trop éloigné de la forme à percevoir, il se trouve tout à fait perdu, sans la moindre idée même sur la direction à suivre pour retrouver la dernière position où il avait rencontré un retour sensoriel.

D'ailleurs, si toute la perception de la forme se trouvait reportée du côté d'une mémoire des actions, on n'aurait encore rien résolu du problème de la catégorisation de ces formes : pourquoi des formes de diverses dimensions seraient-elles perçues comme semblables alors que les séquences d'actions de leur suivi seraient différentes ? Toute l'activité de reconnaissance de forme se trouve reportée du côté d'une analyse des actions effectuées. Il faut renvoyer à une instance de calcul interne pour catégoriser et reconnaître les « formes des successions d'actions ».

De plus, si en suivant notre méthode des répondants, nous revenons à une perspective en première personne, nous découvrons que les sujets ne conçoivent pas leur activité perceptive comme une simple mémorisation d'une série d'actions effectuées. Quand je perçois telle ou telle forme, par exemple un arc de cercle, c'est que je réussis à suivre son contour par un *geste* d'ensemble. Si je ne dispose que d'un champ récepteur, je combine ce geste au petit balayage sur le contour. Le geste anticipe une forme à percevoir et se trouve satisfait ou déçu s'il me permet ou non de conserver un rythme stable de variations sensorielles. La perception consiste en le remplissage d'une visée perceptive, la vérification que le geste d'écriture est bien celui qui assure la lecture. Ici, au sens littéral, « lire c'est écrire ». ⁷⁴ C'est d'ailleurs ce que l'on valide concrètement en demandant au sujet de dessiner ce qu'il a perçu, c'est-à-dire en fait, de re-produire le geste qui dirigeait son exploration. La reconnaissance d'une forme est la reconnaissance d'un geste. Je reconnais le geste que j'exécute et c'est lui qui me servira à reproduire la forme dans la phase d'écriture. Une forme doit être un invariant relativement aux changements de position, de grandeur et d'orientation. Or, justement, un geste peut être défini comme le même en des lieux différents avec des amplitudes et des orientations différentes. On doit donc définir les formes reconnaissables comme étant les formes dessinables par ces gestes globaux.

Cet accès en première personne aux gestes effectués, est pour nous un double problème.

D'une part, il faut comprendre les conditions d'une intégration des successions d'actions en des gestes d'ensemble, c'est-à-dire en des actions globales de second ordre dont la dynamique est suffisamment découplée de celles du balayage de suivi de ligne. Les stratégies que nous avons données ne rendent compte, au mieux, que d'un « état perceptif ». C'est seulement en comprenant la nature des gestes qui permettent sa mémorisation et sa catégorisation que l'on pourra parler de perception et de connaissance.

D'autre part, quel est le mode d'inscription et de détermination des gestes pour qu'ils puissent fonctionner comme des structures d'anticipation et être exécutés en l'absence de formes dans le milieu ?

Avant de mobiliser des actions ou des gestes pour constituer des formes, nous devons d'abord rendre compte de la constitution de ces actions et gestes comme des mouvements dans l'espace.

⁷⁴ [Stiegler 1994, Ecco 1988]

5 Espace d'action et proprioception

5.1 La question d'une constitution de l'espace

Notre étude présentée plus haut sur la constitution de la profondeur spatiale ne dégagait que des *conditions* nécessaires à la constitution des dimensions de l'espace mais ne nous donnait pas une description de sa constitution elle-même avec ses propriétés spécifiques : englobement du point de vue, simultanété des possibles, totalité infinie et continue... Elle nous a cependant permis de mettre au point une méthode dont nous avons commencé à vérifier l'efficacité sur la question de la perception de formes bidimensionnelles. Maintenant, armés de cette méthode, il nous faut reprendre la tâche principale de compréhension de la constitution même de l'espace et de ses liens avec la cognition de l'ignorance.

Travailler sur la constitution de l'espace, c'est travailler sur la constitution de l'objectivité elle-même. Il s'agit de constituer les conditions mêmes de la détermination objective. On ne pourra donc, sans faute logique s'appuyer sur de telles déterminations pour l'expliquer. Cependant, par la méthode des répondants, il nous semble possible d'avancer quelque peu en contournant cette profonde difficulté épistémologique.

Une des choses les plus frappantes à propos de l'espace, c'est que nous en avons l'expérience alors que nous ne pouvons pas percevoir autrement quelque chose donnée, ce qui est particulièrement problématique, si l'on prétend en comprendre la constitution. Il faut dire « expérience de l'espace », plutôt que « perception » puisque l'espace n'est pas un donné parmi d'autres, comme si l'on percevait un espace plutôt qu'autre chose. L'espace qui nous intéresse ici est bien celui de la condition de possibilité d'une perception de donnés particuliers, et en tant que telle il ne peut être lui-même « perçu », même si, et c'est le fond de notre problème ici, on en a bien une expérience. Notre question n'est donc pas celle de la géométrie particulière d'un espace, comme sa dimensionnalité ou sa structure euclidienne ou non. Ce qui nous intéresse c'est de comprendre les caractéristiques toujours vraies de cette expérience de l'espace : la simultanété de positions différentes, infinies, continues dans une totalité englobante. Comment donc comprendre que je puisse constituer quelque chose qui en même temps m'échappe, qui en même temps se trouve posé comme une question pour moi ? Comment l'espace peut-il être défini comme un domaine à explorer, qui contient toujours un « ailleurs » que là où nous sommes, un « plus loin », « plus grand » ou « plus petit » que ce que nous faisons, et qui de plus reste à déterminer par le travail conceptuel mathématique toujours inachevé ?

Tout d'abord nous allons essayer de comprendre comment l'espace pourrait être constitué par le sujet en tant qu'il englobe et dépasse ce dernier. Ce qui est bien une des formes du problème de la constitution de l'espace comme question, et en même temps le problème de tout savoir de l'ignorance.

On a vu le rôle de l'action dans la constitution des percepts. Mais, c'est là la difficulté : si le donné est constitué par l'action pourquoi le pose-t-on comme donné et non comme un pur produit de la conscience ? Si, en troisième personne, on dit que la position de l'objet est activement construite, pourquoi estimer que c'est un donné contingent, qu'elle aurait pu être autre ? Il faut bien avoir aussi constitué l'expérience d'un champ d'autres possibles simultanés dans lequel se dégage le possible présent, c'est-à-dire un espace dans lequel se découpe l'objet.

En première personne, il est clair que nous savons qu'il y a des choses qui nous sont données, qui nous arrivent alors que nous ne les avons pas déterminées. Nous savons que nous ignorons si telle ou telle chose se produira ici ou là, maintenant, plus tard ou jamais. Comme nous l'annoncions en introduction, notre hypothèse générale est que c'est par ce savoir de notre ignorance que nous sommes capables de savoir du nouveau, de savoir que le nouveau est nouveau et non pas seulement construit. Sans savoir de l'ignorance, il n'y aurait que pure clôture de l'esprit sur lui-même. Mais inversement, et c'est la difficulté classique, si le donné était simplement hors de notre esprit comment pourrait-il être connu ? Il faut bien qu'il soit construit... mais construit comme étant un donné.

Tenons-nous en au cadre restreint de notre première expérience où il était clair que la position de la cible était constituée par les actions du sujet. Puisque la position est pourtant un donné, c'est donc que l'action, au moins au départ, est suffisamment indépendante de ce qu'elle constitue, et réciproquement, que ce qui est constitué est suffisamment indépendant des actions qui le constituent. Je dois agir dans l'ignorance de ce que j'ai à connaître pour que ce soit un donné. En effet, si l'action exploratoire était immédiatement déterminée par la position de la cible celle-ci ne serait pas une découverte contingente. Pour qu'il y ait du donné, il est nécessaire de ne pas être déterminé par ce qu'il s'agit de déterminer. L'action doit être ignorante de ce qu'elle donnera à connaître. D'ailleurs, à la limite, sans ignorance, il n'y aurait ni espace, ni action à proprement parler (voir plus haut notre rappel de la discussion de l'omniscience par Schelling).

Nous pouvons, certainement, admettre que nous agissions dans l'ignorance de ce que donneront nos actions. Mais, même si ainsi on peut montrer qu'il y aura un espace *par* notre ignorance, on n'aura pas encore compris notre expérience de l'espace. Il faut encore *savoir* cette ignorance. Il faut constituer le savoir de l'ignorance de notre action pour comprendre comment un espace est constitué dans notre expérience, comment peut être présent pour nous l'inconnu comme tel, le fond des possibles co-présents sur lequel se détache l'objet ou l'événement perçu. Il ne s'agit pas ici de fonder l'ignorance. On admet sans discussion, toujours déjà présente une ignorance originaire, la finitude humaine ou de tout être vivant. Nous cherchons seulement à comprendre comment se constitue le savoir de cette ignorance. Pour cela, nous allons d'abord étudier ensemble la constitution de l'espace et de l'action en étant particulièrement attentif à la finitude de l'accès actuel et local, du temps de l'exploration, des déplacements comme découvertes, avancées dans l'inconnu. Il faut comprendre comment le point de vue, c'est-à-dire le point à partir duquel on agit est situé et immergé dans un espace englobant qui le dépasse... et que pourtant il constitue. Nous verrons que l'analyse de la constitution de l'action dans un espace englobant et du rôle de la proprioception, nous permettra aussi de proposer une fonction pour l'imagination dans la détermination des formes et finalement de retrouver une interprétation possible du schématisme kantien. Nous serons alors en position d'aborder les questions de l'ignorance de l'action et d'un espace de possibles actuellement infini.

5.2 *Espace de la perception et espace de l'action*

Si l'on se place dans une perspective représentationnaliste, la perception spatiale est le plus souvent entendue comme la capture par les organes sensoriels, pour leur représentation, de structures spatiales déjà là. Pour des raisons épistémologiques et méthodologiques que nous avons largement exposées plus haut, il ne s'agit pas ici de suivre ce chemin. Cependant, quelques remarques permettront de mieux caractériser notre propre démarche. Dans la mesure où le représentationnalisme du cognitivisme classique vise la naturalisation de l'esprit (son explication dans le cadre des lois physiques objectives), il n'est pas question d'admettre

un espace de la perception transcendantal, *a priori*. En même temps, quelque soit le cadre explicatif particulier de l'activité cognitive⁷⁵ on pose que l'espace de la perception est un espace de représentation distinct de l'espace « externe » de l'objectivité physique qu'il s'agit de se représenter. Il doit alors être représenté en liaison causale avec cet espace physique⁷⁶. Si l'on admet une forme d'accès direct à l'espace physique via les données sensorielles en leur accordant un contenu spatial intrinsèque, on ne se pose plus la question de la nature de l'espace, mais seulement de déterminer les mécanismes internes de sa représentation. Par exemple, on cherchera à rendre compte de la construction interne d'un espace tridimensionnel à partir d'entrées sensorielles bidimensionnelles et l'on tentera, en particulier, de résoudre le problème de la mise en cohérence de modalités perceptives hétérogènes. Mais si l'on admet l'existence d'une information spatiale dans les entrées sensorielles, disons à minima un étiquetage spatial de ces entrées, alors il me semble que cette information sur l'espace sera elle même spatiale. En effet, les entrées sensorielles devront être simultanées et distinctes dans une structure organisée, disons bidimensionnelle comme celle que l'on trouve dans les cartes sensorielles des aires visuelles. On retrouverait là une identité de type entre état mental et état cérébral qui poserait certainement problème pour une approche computo-représentationnaliste qui doit alors reconstituer la séparation fonctionnaliste entre les représentations symboliques formelles d'un langage de la pensée et leur contenu sémantique large.

On peut donc plutôt chercher à construire l'espace de la perception en admettant ne pouvoir accéder directement à aucun contenu spatial sensoriel [Pacherie 1997]. Dans une conception de la perception comme un traitement de l'information basé sur les données sensorielles, même si celles-ci avaient à l'origine un contenu proprement spatial, il devrait être réduit par les capteurs et transducteurs du système de calcul à une pure information, « bits informatiques » ou « potentiels d'action neuronaux », qui n'ont plus aucune valeur spatiale intrinsèque. L'espace de la perception serait un espace de représentation interne qu'il faudrait alors entièrement reconstruire. Il serait forcément distinct de l'espace physique qui, lui, n'est connu que par le détour des sciences physiques. L'intérêt d'une telle approche est qu'en reconstruisant l'espace on doit redéfinir ses diverses propriétés. Il n'y a plus de transfert direct de propriétés de l'espace physique vers l'espace des représentations. On n'est même plus obligé de présupposer leur ressemblance. La seule chose qui compte en définitive, c'est que l'espace perceptif assure des comportements viables et des prédictions efficaces qui le valideront.

L'approche qui nous semble la plus intéressante et la plus proche de nos observations est celle qui accorde une place centrale à l'action. Dans cette hypothèse, l'espace serait construit sur la base des conséquences sensorielles de nos actions par association entre informations extéroceptives et proprioceptives ainsi que, possiblement, les informations de copies efférentes renseignant directement le système central sur les commandes motrices effectuées. On peut trouver un modèle de cette reconstruction interne de l'espace dans les réflexions de Henri Poincaré [Poincaré 1905, 1907]. En effet, pour ce dernier, localiser un objet c'est essentiellement avoir la représentation des déplacements nécessaires pour l'atteindre.

⁷⁵ En général son modèle est un calcul effectué par une machine informationnelle sur des symboles formels interprétables (représentations symboliques), ou une modélisation de ces calculs par des réseaux de neurones formels qui pourront viser à se rapprocher d'une description de l'activité neuronale.

⁷⁶ [Proust 1997 ; 2002] [Eilan 1993]

« Quand on dit [...] que nous « localisons » tel objet en tel point de l'espace, qu'est-ce que cela veut dire ?

Cela signifie simplement que nous nous représentons les mouvements qu'il faut faire pour atteindre cet objet ; ... »⁷⁷

L'espace de la perception (qu'il appelle « espace représentatif ») peut être construit par le sujet à partir de sa reconnaissance de la différence entre les changements issus de ses mouvements et les changements qu'il ne contrôle pas, mais qu'il peut compenser par d'autres mouvements. C'est donc, comme on l'a vu plus haut, la réversibilité, la possibilité de revenir à une même position qui rend possible la construction d'un espace. Dès lors l'espace n'est que le groupe des transformations, au sens de la théorie des ensembles, qui comme des « déplacements », peuvent s'ajouter ou se soustraire sans déformation des figures⁷⁸. Poincaré prend bien la précaution d'éviter le cercle vicieux qui consisterait à se donner d'abord l'espace pour définir les mouvements :

« Quand je dis que nous nous représentons ces mouvements, je veux dire seulement que nous nous représentons les sensations musculaires qui les accompagnent et qui n'ont aucun caractère géométrique, qui par conséquent n'impliquent nullement la préexistence de la notion d'espace. »⁷⁹

Cependant, pour Poincaré, en expliquant la construction de l'espace représentatif, il s'agit seulement d'explicitier les conditions de la sélection d'une géométrie plutôt qu'une autre qui aurait tout aussi bien été possible (c'est son conventionnalisme). Par l'espace représentatif, on comprend pourquoi la géométrie euclidienne que nous adoptons naturellement est plus « commode » pour nous (c'est un groupe de déplacements tridimensionnels qui conserve les mesures des solides). Ce choix ne serait qu'une forme d'adaptation de l'entendement aux conditions extérieures. Mais les géométries tirent leur nécessité et universalité intrinsèques de l'aprioricité de la notion de groupe. Si l'espace n'est plus une forme *a priori* de notre sensibilité (comme pour Kant), il reste qu'il procède des formes *a priori* de notre entendement. Le choix d'une géométrie est libre mais pas quelconque. C'est ce que Poincaré appelle une convention non arbitraire. Si la notion d'espace, ou du moins de géométrie, n'est plus *a priori*, elle n'est pas non plus empirique.

On a cependant pu radicaliser le point de vue de Poincaré pour construire un espace de la perception, induit par association entre les diverses entrées sensorielles extéroceptives et les données sensorielles proprioceptives (ou bien les copies efférentes) qui informent le système central sur les actions effectuées. La structure de l'espace comme groupe de déplacements serait alors la meilleure façon d'organiser ces sensations en fonction des actions que le sujet commande. Dans le cadre de notre protocole expérimental, on peut imaginer que, par association entre les sensations extéroceptives (les stimulations tactiles) et les sensations proprioceptives des mouvements effectués, le sujet puisse finalement construire un espace comme l'ensemble continu de toutes les lois de contingence sensori-motrices de pointages possibles liant commandes d'actions et sensations reçues. Bien sûr, cette interprétation des régularités sensori-motrices comme correspondant aux « pointages » vers des positions différentes ne pourrait être que secondaire sur la base de l'espace ainsi construit.

⁷⁷ [Poincaré H. 1907 : 82] Souligné dans le texte.

⁷⁸ Un groupe se caractérise par une *loi de composition* * qui a tout couple (x,y) d'éléments d'un ensemble G fait correspondre un autre élément z de cet ensemble : $x * y = z$.

Et tel que cette loi soit *associative* : $(x * y) * z = x * (y * z)$,

qu'il existe un *élément identité* e, tel que $e * x = x * e = x$

et qu'il existe pour tout élément x de G un *inverse* ou *symétrique* x' tel que : $x * x' = e$

⁷⁹ [Poincaré 1907 : 82]

Remarquons que dans cette démarche « constructiviste » on reste cependant dans un cadre représentationnaliste dans la mesure où l'on a posé que l'espace de la perception devait être seulement construit de façon interne sur la base de *sensations* nous informant sur nos propres actions. L'espace de la perception est un espace des représentations construit à partir de ces sensations proprioceptives ou de copies efférentes, un « espace représentatif ».

« Nos représentations ne sont que la reproduction de nos sensations, elles ne peuvent donc se ranger que dans le même cadre qu'elles, c'est-à-dire dans l'espace représentatif. »
[Poincaré 1907 : 82]

L'espace représentatif est distinct de l'espace de l'effectuation concrète des actions. Même si l'on n'a plus de raisons de présupposer que l'espace « externe » objectif se reflète dans l'espace représentatif, on pose au moins son existence *hors* de l'espace de perception⁸⁰. D'une certaine façon, le rôle de l'action dans la constitution de l'espace est réduit à présenter des variations de *sensations* proprioceptives concomitantes à des variations de *sensations* extéroceptives. L'espace n'est pas construit par l'action, mais à l'occasion d'actions commandées par le sujet.

Remarquons cependant, que ce n'est que statistiquement et imparfaitement que les sensations proprioceptives peuvent être associées à des sensations extéroceptives pour vérifier la réversibilité et la composition des mouvements suivant la logique d'un groupe de déplacement. Ce n'est que « localement » dans le domaine d'action correspondant aux sensations proprioceptives mémorisables que l'on peut prétendre avoir reconnu une pertinence de leur organisation suivant une structure spatiale. L'espace total, infini, est une extrapolation qui demande de mobiliser au moins l'idée générale de groupe. Mais, puisqu'il ne s'agit ici que de décrire la construction d'un espace perceptif, on peut facilement admettre que cet espace se distingue à la fois de l'espace idéal des mathématiciens, et de l'espace objectif des déplacements réels.

Au contraire, suivant la méthode des répondants que nous nous sommes donnée plus haut, il faut tenir ferme sur le fait qu'il n'y a qu'un seul espace, c'est-à-dire que l'espace de la perception doit être construit comme l'espace même des actions effectuées (et non pas seulement des sensations d'action).

Si l'on se place en première personne, l'unique espace de la perception et de l'action est l'espace de l'objectivité telle qu'elle est constituée par un pouvoir de prise sur le monde dont on a montré, suivant en cela Merleau-Ponty, qu'il était ancré sur le corps propre et sa « spatialité originaire ». La perception ne serait pas l'élaboration d'une représentation dans un espace mental interne au sujet connaissant qui reflèterait un supposé espace « externe » indépendant. L'espace serait concrètement constitué et non pas représenté. J'appelle ici « concret » ce qui est de nature à m'affecter, c'est-à-dire par excellence ce qui est de même nature que la spatialité de mon corps propre, ce qui peut le toucher ou transformer son pouvoir d'agir et de sentir. Et j'appelle « représentation », ce qui suppose une chose différente existant précédemment et indépendamment à sa représentation.⁸¹

L'hypothèse dont nous voulons ici explorer la possibilité est donc que l'espace n'est ni dans le milieu, ni dans l'organisme mais dans le système de leurs relations. L'espace serait

⁸⁰ C'est, je crois, l'approche de la perception de l'espace que propose Matteo Mossio dans son très intéressant DEA [Mossio 2002]

⁸¹ Il y a d'autres emplois possibles, du terme représentation qui seraient compatible avec l'approche que je défends ici [Havelange 2002]. D'ailleurs l'emploi du terme représentation dans la philosophie kantienne serait lui aussi compatible avec notre approche dans la mesure où les phénomènes dans l'espace ne sont eux-mêmes toujours que des représentations en tant qu'ils sont pensés, rendus présents à une conscience, et ceci sans présupposer en aucune façon l'existence d'un autre espace externe puisque, bien au contraire, pour Kant il s'agit de penser que l'espace est une forme nécessaire et *a priori* de l'objectivité.

constitué dans ce couplage en même temps qu'il permettrait que se constituent et se séparent des objets indépendants d'un point de vue, et ce point de vue en déplacement par rapport à ces objets. Les actions sont des déplacements dans l'espace du corps propre et non pas dans l'espace calculé d'un corps propre calculé. C'est aussi ce que l'on a bien vu avec l'étude du parallélisme des champs récepteurs. En effet, si l'on montre que la spatialité du corps propre est bien équivalente à une action déjà effectuée, alors cette action doit être définie dans les termes mêmes de cette spatialité, ici la répartition spatiale des champs récepteurs, et non comme une commande détachée de son effectuation. De même que le savoir de la grandeur du corps est à constituer en même temps que l'espace et non pas être déjà donné, ce savoir de l'action doit être constitué comme celui d'un mouvement dans cet espace. Ce qui ne veut pas dire que l'espace doive être constitué avant l'action comme sa condition de possibilité, mais plutôt une co-constitution de l'objet et des déplacements du point de vue.

Si l'on se place du point de vue de l'objectivité, en troisième personne, dans la mesure où l'espace des actions concrètes est bien alors l'espace de l'objectivité physique, il nous faut assumer que c'est dans cet espace objectif, par ses mouvements, que le sujet construit l'espace de sa perception qui n'est autre que l'espace objectif lui-même où il agit et se déplace.

Cependant, il ne s'agit pas, même en troisième personne, d'adopter un réalisme naïf pour lequel l'espace objectif existerait réellement, préalablement et indépendamment d'un sujet connaissant. Rappelons que « l'enveloppement réciproque » entre construction objective et constitution phénoménologique est « asymétrique », c'est-à-dire que toujours déjà l'objectivité est constituée ne serait-ce que dans le regard de l'observateur.⁸² Il s'agit donc plutôt pour nous de montrer qu'il n'y a pas d'espace en dehors de l'action perceptive, et donc que l'espace dans lequel je perçois et m'avance est bien constitué, mais de façon concrète, par l'engagement et la spatialité originaire du corps propre. Remarquons bien qu'un scepticisme sur une existence indépendante de l'espace n'implique en aucune façon un scepticisme sur l'existence des objets et organismes, ne serait-ce que par leur capacité à affecter mon pouvoir même de constitution au point de toujours le menacer dans sa propre existence.

Sur le plan de l'objectivité, on adopte donc une posture constructiviste radicale pour laquelle l'espace perceptif est construit dans le couplage entre l'organisme et son milieu. Mais est-ce à dire alors que chacun reconstruit le monde objectif entier ! C'est bien ce qu'il nous faut assumer avec la seule restriction que chaque sujet ne devrait construire le monde que de son point de vue limité et en mouvement ; et donc qu'il ne construirait les positions des objets seulement aussi loin qu'il peut agir pour faire varier ses sensations, c'est-à-dire aussi loin que les étoiles. Si, par les mouvements de ses yeux et de tout instrument d'observation dont il dispose, il est capable de faire apparaître et disparaître l'image d'une galaxie lointaine, il construira par là une perception de sa direction. Si, par les mouvements du corps et des yeux je peux constituer les positions relatives de collines pas trop éloignées, c'est que ces mouvements m'auront effectivement permis de me déplacer suffisamment autour de ces objets.

Quand on parle d'un « espace intérieur » de la perception opposé à une « espace extérieur », on effectue clairement un abus de langage puisque « intérieur » et « extérieur » doivent eux même se définir dans un espace. Mais si comme, nous le proposons, il n'y a qu'un seul espace qui nous englobe, on pourra parler sans abus d'un « intérieur » et d'un « extérieur » du sujet dans cet espace. L'intérieur du sujet, est défini comme tout ce qui se déplace avec son point de vue (son point d'action). Et son extérieur est défini comme tout ce

⁸² Comme nous l'avons suggéré en introduction et comme on le verra plus loin l'espace peut être conçu comme seulement celui de notre ignorance. Il n'y a un espace et l'on ne s'y déplace que parce qu'on l'ignore ce que l'on fait.

par rapport à quoi il se déplace. Bien sûr cette limite entre intérieur et extérieur se renégocie sans cesse dans le cours de l'activité suivant l'endroit où s'applique l'action.

Avant de proposer quelques éléments dans ce sens, nous devons revenir sur un risque qu'encourt l'approche représentationnaliste et que nous allons quelque peu détailler pour expliquer les précautions que nous prendrons plus loin.

5.3 *Le problème de l'immersion*

Si l'on accepte de distinguer un espace des actions objectif et un espace représentatif, on peut utiliser les catégories spatiales pour dire que l'espace représentatif est construit *dans* la tête du sujet. Bien que cet espace soit construit par lui comme une extériorité *dans* laquelle il situe son corps qui marche au milieu des objets, il faut reconnaître en même temps qu'il n'est qu'un espace représentatif construit *dans* son cerveau : il marche dans sa tête ! Bien sûr, on dira que chacun, en première personne, ne peut penser ainsi puisque c'est dans cet espace représentatif qu'il aura constitué ses propres mouvements. Cet emboîtement conceptuel est cependant très sensible à une difficulté liée aux conditions de réalisation du sentiment d'immersion dans l'espace construit, c'est-à-dire la compréhension par le sujet de ses actions comme étant des mouvements dans un espace englobant.

L'immersion dans l'espace nous semble dépendre essentiellement de la façon dont le sujet constitue ses propres actions : les actions en tant qu'elles participent à la constitution de cet espace ne doivent pas elles-mêmes être définies et reconnues avant, et indépendamment de cette constitution, mais seulement comme des mouvements dans cet espace qu'elles constituent. C'est ce que révèlent bien les situations perceptives nouvelles créées par des dispositifs de couplage artificiels.

Le problème du savoir de l'action dans des situations prothétisées est que, même si l'on admet savoir quelle action est commandée parmi un ensemble fini de possibles, on ne sait pas d'avance ce que l'on fait effectivement, surtout que, justement, le dispositif transforme ce que l'on fait. Entre disons, les commandes des mouvements de mes doigts sur un volant et les mouvements qu'effectue la voiture, tout dépend de cette nouvelle médiation technique. On ne sait vraiment ce que l'on fait que plus ou moins médiatement, par les sensations qui en sont les conséquences, soit via le corps par des sensations intéroceptives spécifiques, soit via l'environnement par des changements réguliers de sensations extéroceptives. D'ailleurs, de façon très générale notre système nerveux doit sans cesse réaliser un apprentissage adaptatif aux variations de nos possibilités d'agir et de sentir, naturelles (lors de la croissance, du vieillissement, ou de traumatismes) ou artificielles (lors de la saisie d'un outil ou d'une prothèse).

Dans les expériences que nous avons présentées ci-dessus, les déplacements du champ récepteur dans l'espace des formes à percevoir étaient commandés par les mouvements du stylet d'une tablette graphique. On comprenait que la proprioception très riche des mouvements de la main compensait la faiblesse de l'information extéroceptive. Mais dans d'autres expériences où les déplacements du champ récepteur étaient commandés par les touches du clavier ou une souris, les tâches perceptives se sont révélées très difficiles, du moins dans les limites d'un court apprentissage. Il n'y avait pas *d'appropriation* de la médiation technique en ce qu'elle ne devenait pas le moyen transparent de la perception d'objets externes. Les sujets ne parvenaient pas à comprendre leurs actions comme des

déplacements dans un espace. Ce qu'on appelle classiquement *l'immersion* dans un espace virtuel semblait devoir échouer⁸³.

En première personne, je sais bien ce que je « fais » en ce sens que je sais sur quelle touche du clavier j'appuie. Mais je ne comprends pas ce que « ça fait » effectivement puisque je ne comprends pas les relations entre ces actions et les retours sensoriels. Au contraire, si soudain je comprends, par exemple, que telle touche commande une rotation dans un sens, telle touche une rotation inverse, et telle autre une translation vers l'avant, alors ce que je « fais » n'est plus pour moi « j'appuie sur telle touche » mais bien plutôt « je tourne », « j'avance ». Il n'y a une immersion minimale dans l'espace que rend possible cette médiation technique, que si je cesse de constituer mes actions indépendamment de l'espace constitué (appuyer sur telle touche) pour plutôt les constituer comme mouvements dans cet espace (se déplacer de telle façon).

Les conditions de l'immersion dans l'espace modifié par une prothèse sont précisément celles de *l'appropriation* de cette prothèse, c'est-à-dire son passage du côté du corps *propre*. Comme on l'a vu dans nos premières expériences, dès que le dispositif technique s'intègre comme prolongement du corps propre, il devient transparent, moyen de percevoir et non plus objet perçu, et les sensations tactiles disparaissent de la conscience au profit de la constitution d'objets distaux.

La question est importante parce que dans le domaine des interfaces de nombreuses situations peuvent conduire à un découplage entre action et connaissance des effets spatiaux du geste : réalité virtuelle, réalité augmentée ou téléprésence (pilotage à distance avec introduction de délai).⁸⁴ La condition de la réussite de l'immersion dans un système de réalité virtuelle est qu'il offre suffisamment de moyens pour comprendre ce que l'on y fait. Plutôt que de s'appuyer sur un savoir proprioceptif préalable de nos actions, savoir qu'il s'agit précisément de troubler, le système doit nous forcer à constituer un savoir original de nos actions dans cet espace virtuel et ceci seulement par la dynamique propre de son utilisation. Dans une situation aussi banale que l'utilisation d'une souris d'ordinateur, je dois penser que j'agis du point de vue du curseur et non de la souris. S'il s'arrête au bord de l'écran et que ma souris continue en dehors de son petit tapis sur mon bureau, je dois penser que « je » suis au bord de l'écran et non là où est ma main qui tient la souris. Si-non, en utilisateur novice, je chercherai à contrôler le curseur en supposant par exemple un isomorphisme point à point entre la surface du tapis et celle de l'écran. Dès lors, je serai tout à fait séparé de l'écran devant moi.

Sur le plan théorique de la constitution de l'espace, le problème de la perception de l'action se pose de façon encore plus radicale : si l'on admet trop vite que les actions sont connues dans un domaine de possibles déjà là, il n'y aura plus immersion dans l'espace qu'elles serviront à construire, il n'y aura plus un espace englobant tel que je me déplace en lui et non lui avec moi. En effet, si pour repérer des domaines de réversibilité, on admet avoir individué des actions, que ce soit par des sensations proprioceptives ou des copies efférentes, pour pouvoir les combiner et les enchaîner indépendamment de leur exécution, on réalise en fait une forme de « déplacement » dans ce qui dès lors est nécessairement un « espace » des commandes d'action.⁸⁵ Par exemple, si l'on admet que les multiples degrés de liberté de nos

⁸³ [Auvray 2001]

⁸⁴ C'est d'ailleurs tout l'intérêt pour l'analyse, que ces situations particulières où l'on dote le sujet d'une nouvelle prothèse qui justement transforme les effets de ses actions en terme de sensations, ce qui lui permet de découvrir un décalage entre ce qu'il veut faire et ce qu'il fait effectivement. C'est seulement grâce à ces variations de situation que l'on peut clairement constituer une distinction entre commande d'action et action.

⁸⁵ On accordera volontiers à Poincaré que les « sensations musculaires » n'ont aucun contenu spatial intrinsèque (voir citation précédente). Mais cela n'exclut pas que le divers de ces sensations non spatiales s'inscrive dans un

mouvements définissent un espace préliminaire, avec sa géométrie particulière et son très grand nombre de dimensions, on se donne ainsi d'avance un « espace des commandes d'action » que l'on ne cherchera secondairement qu'à réduire, à l'aide des sensations extéroceptives, pour retrouver les 3 dimensions d'une géométrie euclidienne⁸⁶. Pour notre expérience sur la localisation spatiale, cet espace des commandes d'actions pourrait être l'espace α, β qui a servi à représenter la courbe de la loi de contingence sensori-motrice. Ce serait dans cet espace préalable que seraient individuées et mémorisées les actions pour réaliser les diverses opérations de constitution de l'espace perceptif distal. Mais si l'on accepte de réduire ainsi l'ambition de la construction d'un espace perceptif, il devient très difficile de comprendre l'expérience d'une *immersion* dans cet espace. Il me semble plutôt qu'il resterait comme « devant » le sujet qui le construit. En effet, c'est *dans* cet espace des commandes d'action, où elles peuvent être ajoutées, retranchées, et combinées pour définir les sensations attendues et les comparer aux sensations reçues, que le sujet pourra construire un espace de représentations d'objets et de mouvements. Il y aura dissociation entre temps de la construction de l'espace perceptif, et temps de l'exécution concrète des actions exploratoires. La position et les mouvements du sujet peuvent être déterminés dans cet espace perceptif, mais cette position et ces mouvements ne seront que délégués, abstraits, dans la mesure où les commandes d'action sont préalables et indépendantes de cet espace quelles servent à construire. L'espace perceptif serait *contenu* dans l'espace des commandes d'actions, comme la courbe de pointage vers une position est contenue dans l'espace α, β . La position du sujet dans cet espace ne pourra pas s'imposer comme le lieu unique à partir duquel il perçoit et se déplace. Nous pourrions employer la distinction terminologique suivante pour dire que le sujet sera seulement « dedans » cet espace perceptif, si « dedans » exprime que l'ensemble est connu et défini avant l'inclusion (le contenant précède le contenu). Nous voudrions plutôt montrer que le sujet est « en » l'espace, si « en » exprime que l'ensemble se définit par cette inclusion (le contenant n'existe que par le contenu). Je suis « en » l'espace parce que l'espace est en jeu dans mon action qui m'en-gage comme mouvement spatial de mon point de vue.

Prenons une fiction classique qui illustrera bien cette difficulté, en la caricaturant quelque peu. Imaginons que nous soyons dans un sous-marin dont un malin génie aurait mélangé tous les systèmes de capteurs et de commandes. Au départ, nous sommes dans la confusion, comme un enfant qui vient de naître et qui n'aurait pas encore organisé sa perception. Nous ne disposons que de multiples signaux variables sur un tableau de bord ainsi que diverses manettes. L'idée est que, par la recherche de domaines de réversibilité pour lesquels les effets de différentes commandes s'annulent le plus souvent, on puisse progressivement reconstruire un espace de déplacements réversibles dans les trois dimensions d'un milieu où seront localisés des objets en tant que régularités sensori-motrices. Admettons ici que ce soit possible, et appelons cet espace ainsi construit, l'espace représentatif. Il reste que cet espace serait bien différent de l'espace de notre expérience perceptive. En particulier il ne serait pas englobant, mais resterait comme devant nous, disons dans le sous-marin, sur l'écran d'un ordinateur que nous aurions réussi à reprogrammer. Ce serait une représentation

espace. Dès lors que l'on s'accorde la faculté de distinguer une *pluralité* de ces sensations *simultanément possibles*, leur combinaison, leur succession et leur mémorisation indépendantes, pour reconnaître l'existence de réversibilités, on a au moins présupposé un espace pour ces opérations, même si bien sûr sa géométrie reste tout à fait indéfinie.

⁸⁶ Cet « espace des commandes d'action » peut être assimilé à un « espace proprioceptif » si on est périphéraliste, c'est-à-dire si l'on pense que la connaissance de nos actions passe par le retour (réafférence) de sensations proprioceptives ; ou à un « espace de représentation » si on est plutôt centraliste, c'est-à-dire si l'on admet que le cerveau est directement informé de ses commandes motrices via des copies des efférences par décharge corollaire.

de l'espace, et non cet espace lui-même. En effet, pour construire cet espace de représentatif, nous avons accès aux commandes effectuées parce que nous savions bien quelle manette nous actionnions. Cela supposait la constitution préalable de nos actions comme des mouvements dans l'espace propre du sous-marin. L'espace représentatif que l'on pourra alors calculer restera contenu dans cet espace de nos commandes d'action, dans le sous-marin, là où l'on fait les diverses opérations de synthèse sur les sensations et commandes.

Bien sûr, si nos calculateurs ont réussi à constituer une représentation du monde extérieur, ils ont en même temps nécessairement su y indiquer la position de notre sous-marin lui-même, et comprendre l'effet de nos commandes d'action comme des déplacements de cette position. C'est même par cette compréhension qu'ils ont pu définir des objets dans le milieu qui entoure le sous-marin. Mais, que nos calculateurs aient construit une représentation allocentrée (le sous-marin est un point particulier au milieu des objets) ou égocentrée (les objets sont présentés en fonction de la position du sous-marin), cette position et ses déplacements resteraient *devant* nous sur l'écran de l'espace représentatif. Rien n'empêcherait de sauter d'un point à un autre pour en considérer tel ou tel aspect, comme c'est aussi le cas pour les espaces abstraits de la géométrie ou de la physique mathématique.⁸⁷ On a là une représentation de l'espace et non pas l'espace englobant de notre expérience vécue où il n'y a de déplacement qu'à partir de notre point de vue, de façon finie et continue. L'espace de représentation construit est dans le sous-marin, et non pas le sous-marin dans cet espace. Il n'y a pas d'immersion du sous-marin !

Faut-il alors revenir à un objectivisme pur et simple qui admet que l'espace n'est pas constitué mais donné comme réalité préexistante à nos mouvements ? Nous voulons défendre ici plutôt une voie alternative pour laquelle l'espace est constitué *en même temps* que nos actions. Si la construction de l'espace, en tant que groupe de déplacements, se réalise dans le couplage et non à l'intérieur du sujet, il n'a pas besoin d'accéder préalablement à un savoir de ses actions qui ne serait pas spatial, mais seulement besoin de savoir *produire* ces actions. Même s'il faut constituer l'espace *par* l'action, cela n'impose pas qu'on le constitue à partir de la connaissance préalable de l'action. Au contraire, cette connaissance vient en même temps que l'espace par la perception de l'action comme mouvement. En effet, si dans notre petite fiction, on veille à ce que ne soit pas effectué un calcul sur des actions perçues de façon préalable, la constitution d'un espace englobant devrait redevenir possible : le commandant s'empare résolument des manettes de commande, sans plus laisser le moindre jeu entre son corps et le sous-marin. Alors, découvrant progressivement des stratégies susceptibles de stabiliser les retours sensoriels, il pourra constituer des invariants sensori-moteurs correspondant à ses mouvements et des objets stables dans l'environnement. Le sous-marin deviendra une extension de son corps propre, en fait transparente relativement aux percepts qu'elle permet de construire, et il sera enfin immergé dans l'espace constitué.

En conclusion, il nous semble que la condition générale du sentiment d'immersion dans l'espace est que l'on n'accède à ses actions qu'en tant qu'elles sont constituées comme mouvements dans cet espace. Inversement, on reste *devant* un espace quand on peut constituer ses actions indépendamment de ses mouvements dans cet espace.

⁸⁷ C'est d'ailleurs cette possibilité de se déplacer librement dans ces représentations géométriques qui en forme toute l'utilité. D'où aussi le fait que quel que soit le nombre de dimensions, le mathématicien préférera travailler sur des projections bidimensionnelles. Nous y reviendrons.

5.4 Proprioception et saisie de l'outil

L'intérêt de raisonner avec des situations perceptives techniquement prothésisées est aussi de distinguer la question du savoir de l'action et la question de la proprioception. Savoir ce qu'on fait ne peut se réduire à récupérer une information proprioceptive soit via des capteurs de mouvement et de position des membres disposés dans les muscles, tendons ou articulations (périphéralisme), soit via des liaisons neuronales centrales assurant une information directe du cerveau sur les actions qu'il commande par copie efférente ou décharge corollaire (centralisme).⁸⁸ Pour ne pas confondre la perception proprioceptive proprement dite et les sensations qui la rendent possible, nous préférons distinguer les « sensations intéroceptives » (si) qui désignent les sensations délivrées par les capteurs internes de nos mouvements, et les « sensations extéroceptives » (se) qui désignent les sensations délivrées par des capteurs sensibles aux variations de l'environnement. Nous admettons ici qu'il existe un répertoire de sensations intéroceptives différentes correspondant exactement à l'ensemble des positions et déplacements de chaque articulation : des capteurs assurent bien pour toute action différente un retour sensoriel différent ($a_i \rightarrow si(a_i)$).

En tant qu'elles sont bijectivement liées aux actions, les données intéroceptives ne peuvent à elles seules permettre de construire une spatialité parce que l'on ne peut catégoriser ces sensations suivant des « positions » et des « mouvements ». En effet, le propre d'un espace est que pour de mêmes actions on puisse avoir des sensations différentes suivant la *position* où l'on se trouve, ou que pour des actions différentes on puisse avoir de mêmes sensations si l'on revient à une même *position*. Une position spatiale devrait se caractériser par le fait qu'elle puisse être atteinte par différents mouvements, différentes séquences de sensations intéroceptives, et d'autre part, que de mêmes mouvements, de mêmes séquences de sensations intéroceptives, puissent être réalisés en des positions différentes.

Pour assurer l'unité de notre démarche, il faut maintenir qu'entre action et retour sensoriel, la causalité passe par un milieu. Pour les entrées sensorielles intéroceptives, ce milieu est l'organisme. Contrairement au milieu « extérieur » constitué comme un environnement spatial des déplacements et visées vers des objets distaux, le milieu corporel attaché est normalement constant. Les actions ne changent pas les conditions des sensations et des actions ultérieures : il n'y a pas de *déplacement*, et donc pas d'espace constituable. La loi de contingence sensori-motrice constante qui définit les sensations intéroceptives en fonction des actions est propre à ce milieu attaché. Il n'y a pas d'événement qui puisse arriver et qui se distinguerait dans un espace puisqu'il faudrait pour cela des lois de contingence sensori-motrices qui changeraient. Le milieu attaché est donc essentiellement *transparent*. Cependant, si un outil est *saisi*, si une prothèse modifie le corps propre, cette loi générale peut être modifiée (par exemple par le poids et l'inertie du marteau). Les actions donnent d'autres sensations intéroceptives. Mais si l'outil est bien *attaché* au corps, il y aura encore une loi systématique et constante liant actions et sensations intéroceptives. Si l'outil peut réversiblement être saisi ou déposé, attaché ou détaché, on peut comprendre que ce changement de loi permettra la constitution d'un percept proprement proprioceptif. C'est ce qu'on peut généraliser à toute transformation du corps propre, changements réversibles de posture, de positions relatives de ses parties qui, par interaction avec disons les forces gravitationnelles ou inertielles nous rendra perceptible en première personne telle ou telle

⁸⁸ Il ne s'agit pas ici de discuter le rôle et l'existence de cette dernière forme de retour sur les actions commandées. Mais, dans la mesure où le contenu de signification de ces informations nécessite d'abord que les actions aient été constituées (sauf à admettre un précablage inné) nous n'aurons pas l'occasion de les mobiliser dans les limites de ce travail. Nous nous en tiendrons ici à une discussion de la faculté proprioceptive.

partie de notre organisme. L'outil parfaitement saisi est d'abord un milieu invariant qui modifie les règles proprioceptives. Leur apprentissage sera un préalable essentiel à l'appropriation du nouvel outil pour pouvoir le mobiliser dans d'autres tâches.

Remarquons bien, et ce sera important plus loin, que la cohérence de notre démarche impose que, du point de vue de l'objectivité en troisième personne, le milieu attaché formé par l'organisme et ses prothèses est dans le même espace que les objets et mouvements perçus. Comme elle impose que, du point de vue de l'expérience vécue en première personne, le corps propre à travers sa « spatialité originaire » participe du même espace qu'il constitue.

Nous verrons plus loin le rôle essentiel que nous accordons à ce type de sensibilité intéroceptive, mais remarquons qu'elle est ici sans grande utilité. D'une part, comme nous venons de le voir, ce type d'information ne possède aucun contenu spatial intrinsèque. D'autre part, même si l'on réussit sur la base des seules informations proprioceptives, la constitution d'actions bien individuées, avant, et indépendamment de la constitution d'un espace externe, on sera renvoyé au problème de l'absence d'immersion que nous venons de décrire.

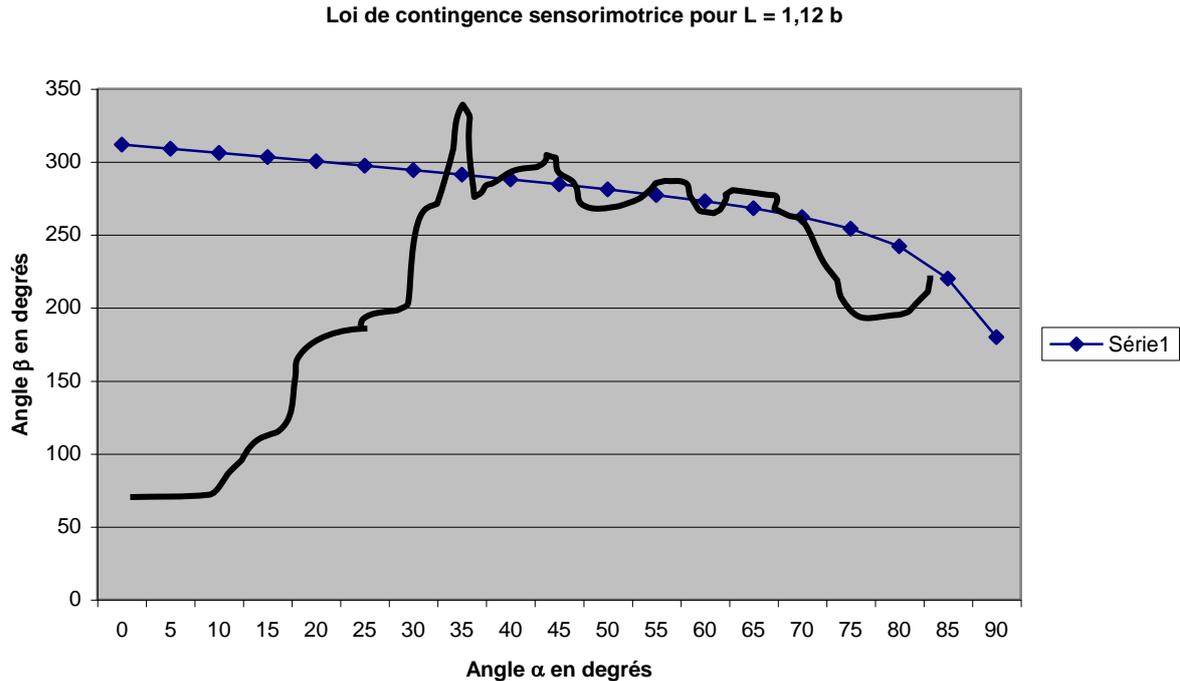
Nous chercherons donc, d'abord, à constituer, au moins de façon minimale, l'action comme mouvement spatial dans le couplage perceptif avec le milieu, avant de mobiliser des sensations internes proprioceptives. On pourra ainsi transférer à ces informations proprioceptives la signification spatiale qui aura été préalablement constituée.

Un des problèmes que nous avons à résoudre est donc de définir les conditions d'une constitution de l'action en même temps et non avant la constitution de l'espace à laquelle elle participe. Pour vérifier si une telle démarche est possible, reprenons d'abord, notre étude préliminaire de la localisation spatiale.

5.5 Localisation spatiale

Nous avons plus haut proposé une description du comportement du sujet lors de la localisation d'une cible, mais nous n'avons pas proposé d'explication de cette activité perceptive. Pour cela, il faudrait idéalement des données empiriques plus complètes, en particulier un enregistrement précis des trajectoires des différents mouvements effectués par le sujet durant sa perception, ce que nous avons appelé sa « trajectoire perceptive ». Comme on l'a vu, c'est une chose que nous n'avons encore pu réaliser que pour des déplacements dans un espace bidimensionnel. Pour la localisation de cibles dans l'espace tridimensionnel, nous sommes en train de monter deux dispositifs expérimentaux. D'une part, à l'aide de capteurs de type « Flock of Birds » placés sur le doigt et le bras, nous allons effectuer un enregistrement des mouvements du sujet dans les six degrés de liberté de l'espace pour des expériences semblables à celles présentées ci-dessus. D'autre part, nous avons développé un moteur de réalité virtuelle pour les aveugles (« Tactos II »). Il permet de simuler ces mêmes expériences (en commandant numériquement les stimulations tactiles distribuées en fonction des mouvements effectués) et là encore d'enregistrer précisément le film des déplacements du capteur et les stimulations distribuées.

Cependant, pour définir des hypothèses explicatives qui dirigeront cette recherche, et pour les besoins de la discussion épistémologique qui fait la trame générale de ce travail, je propose de figurer ainsi ce que devrait donner un enregistrement des déplacements du capteur. La trajectoire est donnée dans l'espace α, β des articulations (angles de l'épaule et du poignet) qui nous a servi à décrire la loi de contingence sensorimotrice :



La courbe fine représente la loi de contingence sensori-motrice pour une cible disposée à une distance de 1,12 m devant le sujet (en admettant que le bras mesure un mètre).

La courbe épaisse représenterait la « trajectoire perceptive », c'est-à-dire les mouvements du capteur lors de la perception de cette cible.

Ceci est une description de l'activité. Mais, maintenant, il nous faut proposer une explication de ce comportement. On a dit que percevoir la position de la cible consistait à « identifier » ou « extraire » une loi de contingence sensori-motrice (ici pour $L = 1,12$ b). Mais qu'est-ce que cela signifie ici ?

La loi de contingence sensorimotrice peut être simplement comprise comme la description de la dynamique objective qui, étant donné le dispositif de couplage et les lois du milieu physique, définit les sensations qui sont délivrées au sujet en fonction des angles α et β de son bras et de sa main. Cette loi serait fondamentalement inscrite dans la réalité physique du couplage et serait seulement exprimée en termes mathématiques par l'observateur. Mais dira-t-on, si cette loi ne décrit que la causalité physique du couplage quand une cible est présente à une distance donnée, elle ne décrit pas la perception de cette cible. Ce qui nous amène à la seconde interprétation.

Cette loi serait plutôt comprise comme une connaissance interne du sujet. Elle lui permettrait de donner un contenu précis à la *représentation* de la position d'une cible. Sachant les actions qu'il commande, elle lui indiquerait les sensations qu'il doit attendre si effectivement il y a une cible en telle position. Ce premier type d'explication de la perception est représentationnaliste. La perception consiste à construire une bonne représentation de la loi de contingence sensori-motrice qui lie les actions du sujet à ses sensations. On doit alors pouvoir expliquer le comportement du sujet comme une méthode de sélection et de confirmation d'une loi de contingence sensorimotrice adéquate. A chaque retour sensoriel (chaque croisement avec la courbe fine) le sujet précise cette loi. En faisant largement varier les positions du bras (α) il se donne les moyens d'augmenter cette précision et de s'assurer de la stabilité de la loi (la cible est bien un point, celui-ci est bien immobile, etc.). Le comportement observé s'explique à partir des calculs effectués par le sujet dans sa tâche

perceptive, calculs qui sous une forme $(s, a) \rightarrow s$ lui permettent de définir les sensations attendues en fonction des sensations passées et des actions effectuées.

Cependant, un tel type d'explication, aussi séduisant qu'il puisse paraître, ne peut s'accorder avec la méthode des répondants que nous nous sommes donnée plus haut. En effet, comme nous avons tenté de le montrer, cette explication revient à construire un espace des représentations « internes » dans lequel serait la représentation des actions, la représentation des sensations reçues et des sensations attendues, ainsi que la représentation des dimensions du corps (ici la longueur b du bras) et finalement, la représentation de la loi de contingence sensori-motrice recherchée, espace « interne » qui serait distinct de l'espace physique « externe » dans lequel se déroule l'activité réelle. Contrairement à la précaution que nous nous sommes imposée, on prend ici les actions dans les entrées du calcul.

Si l'on admet que la perception consiste en l'activité concrète de l'organisme, on voudrait que ce soit dans le couplage lui-même et non pas dans sa représentation que siège la perception. Aussi, comme nous nous le sommes proposé, nous devons décrire la dynamique du couplage en nous restreignant du côté de l'organisme à des stratégies $s \rightarrow a$ liant simplement les sensations aux actions et en laissant le soin au milieu de réaliser le retour $a \rightarrow s$. On vise ici seulement la défense d'une méthodologie en proposant le schéma de telles stratégies dans le cas de la localisation de cibles.

Comme c'est d'ailleurs fort probable, on observe en troisième personne une trajectoire perceptive en forme d'oscillation de la main du sujet autour de la cible associée à de lents mouvements du bras, ce qui dans l'espace α, β se représentera comme une oscillation sinusoïdale autour de la courbe de la loi de contingence sensori-motrice. Si maintenant, on se place du point de vue du sujet, la stratégie la plus simple qu'il puisse proposer pour expliquer son comportement sera du genre suivant : « Tout d'abord, je fais de grands mouvements de balayage du bras avec la main tendue. Dès que j'ai une stimulation tactile j'inverse mon mouvement et je le diminue. Puis, si j'ai réussi à osciller régulièrement autour de cette stimulation, je commence un lent mouvement du bras en cherchant à retrouver la stimulation par de petites oscillations de la main. »

Traduit en termes algorithmiques pour une simulation en troisième personne, cela devient une « stratégie de pointage » dont on peut donner le principe qui ne serait pas difficile à formaliser plus avant pour une simulation. Une telle stratégie s'écrit en définissant, pour toutes les différentes suites de sensations possibles (pour une profondeur de mémoire finie, ici il suffit de considérer s_{t-1}, s_t) les différentes actions qui devront être réalisées. Etant dans le cas d'un seul capteur à deux états, s_0 et s_1 , il suffit de 4 règles pour définir une stratégie avec une profondeur de mémoire de deux sensations. Les actions sont définies en terme de rotation du bras ou de la main, $\Delta\alpha$ ou $\Delta\beta$. Elles sont commandées par la stratégie mais n'interviennent pas dans ses prémisses, ce qui risquerait de signifier un accès préalable aux actions, que nous voulons éviter. La stratégie définit un savoir-faire qui n'a pas besoin du savoir des actions. On admet aussi qu'une action commandée par une stratégie peut avoir pour effet de changer cette stratégie.

Il est alors possible d'écrire des « stratégies de pointages » de ce type telles que, si une cible est bien présente devant le sujet, la dynamique du couplage aboutira à un état stable cyclique qui se caractérisera par une trajectoire avançant en oscillant autour de la cible avec une suite de sensations : 0,1,0,1,0,... (Voir annexe 3.1).

Il ne s'agit ici que de donner une forme générale d'explication. Bien sûr, ce type de stratégie peut être compliqué à loisir, surtout si l'on prend en compte une mémoire des sensations passées plus grande sur les n dernières sensations). Ce qui est important ici, c'est seulement de montrer par un exemple que l'on peut reproduire la trajectoire observée en

n'utilisant que des stratégies directes qui ne mobilisent pas un accès aux actions précédemment effectuées dans leurs prémisses.

Mais cette approche semble receler une difficulté majeure, semblable à celle que nous avons reconnue à propos de la reconnaissance de formes. Même si par de telles stratégies on a obtenu une bonne description du comportement du sujet c'est-à-dire le fait concret d'un pointage vers la cible, comment admettre qu'il s'agisse d'une localisation pour ce sujet ? La stratégie et son résultat sont les mêmes quelles que soient la direction et la distance de la cible. On ne peut les distinguer, ni par des différences de sensations (on n'a que s_0 ou s_1 et leurs séquences à l'attracteur sont les mêmes), ni par des différences de stratégie (c'est la même quelle que soit la position de la cible), ni par des différences d'action (on ne considère ici que des variations $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$). La seule distinction entre les mouvements de pointage est, dans l'espace concret des actions du sujet, celle qui résulte des différentes positions de la cible elle-même. Comment prétendre décrire là un état perceptif psychologique ? Il faudrait admettre que l'espace de pointage concret est l'espace même de la perception ! C'est pourtant bien cette hypothèse que nous nous sommes engagés à explorer lorsque nous avons affirmé qu'il n'y a qu'un seul espace. On reviendra encore sur les divers problèmes épistémologiques sous-jacents.

Mais auparavant, notons les avantages de cette approche. Tout d'abord, dans la mesure où il n'y a pas « d'espace intérieur » de la perception, mais un seul espace, on a là un bon répondant de l'approche phénoménologique que nous avons présentée plus haut.

Le cerveau n'est qu'une partie du cercle sensori-moteur, condition et non pas lieu de la perception. On attribue à l'organisme un pouvoir de « calcul » défini, la réalisation de stratégies multiples, combinant des suites de sensations pour commander des actions ou changer de stratégie. Le cerveau est ainsi un intégrateur, calculateur indispensable à l'établissement d'invariant de couplage et non pas le lieu contenant cet invariant.

On retrouve ici une conception de la perception très proche de celle de James J. Gibson (1904-1979). En effet, dans sa théorie écologique de la perception, il défend le rôle du mouvement dans une activité perceptive basée sur l'existence d'invariants structurels objectifs des stimuli.⁸⁹ Pour lui l'important, par exemple dans la perception visuelle, n'est pas l'entrée sensorielle sur la rétine et tout le traitement qui est effectué derrière, mais l'organisation spatiale de la lumière, la « rangée optique » (« optic array ») dans laquelle se déplace le sujet et qui se déforme au cours de ce déplacement tout en conservant invariantes différentes relations structurelles. L'exemple le plus connu est l'organisation du flux optique à partir d'un point d'expansion indiquant directement la direction de déplacement de la tête. Gibson montre ainsi la richesse intrinsèque de l'information lumineuse et défend l'idée que la perception consiste en une capture *directe* de cette information : « direct pick-up of information ». La perception n'est pas le résultat d'un calcul complexe interne d'extraction des invariants contenus dans des informations sensorielles, mais directement la participation de l'activité du système perceptif à une structure invariante du milieu. Les invariants objectifs de la rangée optique sont directement *saisis* par le sujet quand celui-ci s'y déplace. Non pas parce qu'ils seraient représentés, mais parce qu'ils deviennent des structures actuelles pertinentes pour son activité générale. Notons que les propriétés structurelles invariantes activement détectées sont propres aux stimuli accessibles par des mouvements exécutables. Ils sont dépendants du « système perceptif » et donc, dirons nous, de la dynamique de couplage qu'il autorise. Dès lors, on peut comprendre la perception *directe*, non pas construite à « l'intérieur » du sujet, mais directement liée à « l'état perceptif », structure invariante du couplage. Il peut être étonnant de voir ainsi que notre démarche qui part de la

⁸⁹ [Gibson 1966, 1986].

phénoménologie de l'expérience vécue, pour en proposer un répondant sous forme d'une explication de la perception dans le couplage entre l'organisme et son milieu, retrouve finalement cette approche radicalement objectiviste qui définit la perception comme la capture directe des invariants naturels. Cependant, cette convergence est la conséquence normale de notre méthode des répondants en ce qu'elle nous oblige à n'admettre qu'un seul espace. D'ailleurs une caractéristique essentielle de la démarche de Gibson est de refuser toute forme de représentationnalisme. L'idée d'une distinction entre espace de la représentation et espace objectif se trouve donc attaquée des deux cotés. Du point de vue du sujet, par la phénoménologie qui refuse d'admettre un espace objectif indépendant et antérieur à la constitution de l'espace de l'expérience vécue. Du point de vue de l'objectivité, par la théorie de la perception directe, qui refuse que la perception ait besoin d'une répétition interne des invariants objectifs.

Il n'est cependant pas question ici de reprendre simplement le travail de Gibson. Nous devons plutôt continuer notre recherche sur la question de l'espace dans la perception prothésisée minimale. En particulier, il nous faut reconnaître que le mode d'explication que nous avons donné ci-dessus est très insuffisant. Nous ne pouvons prétendre avoir caractérisé ainsi qu'un « état perceptif », un comportement régulier du sujet en présence de la cible. Pour que se constitue une perception proprement dite qui deviendra une connaissance permettant au sujet de raisonner, ou simplement d'indiquer une position de la cible en son absence, il faut rendre compte de sa mémorisation et du savoir, par le sujet, des mouvements qu'il a exécutés. Pour cela, comme nous l'avons indiqué, il faut d'abord que les actions soient constituées comme étant des mouvements spatiaux.

5.6 Constitution de l'action en présence de l'objet

Comme on l'a observé au chapitre 2, la localisation d'une cible par rapport à un point de vue, et la localisation de ce point de vue par rapport à cette cible adviennent simultanément, et ceci justement via la compréhension des déplacements de ce point de vue. Soyons plus précis et commençons par examiner le cas où comme dans notre expérience de localisation spatiale, l'on ne dispose que d'un unique champ récepteur. Si par des stratégies du type de celle que je viens de présenter on accède à un invariant cyclique de la dynamique du couplage, disons une oscillation régulière plus ou moins grande autour de la cible, et si je reconnais, via les entrées sensorielles que la dynamique est effectivement stable (écarts temporels constants entre les variations sensorielles), alors à l'aide des dernières sensations reçues je pourrai définir des déplacements de mon point de vue relativement à cette cible. Pour une stratégie donnée et une singularité du milieu, si cette stratégie détermine une dynamique de couplage cyclique, je peux sur la base de mes sensations dire où j'en suis de ce cycle, ce qui est une façon de définir ce que je fais uniquement relativement à la singularité sur laquelle est accrochée ce cycle. Voici comment. Dans la mesure où le comportement est bien cyclique, c'est qu'un domaine de *réversibilité* a été découvert. Au long du cycle, il y a des changements de sensations réversibles (ici les transitions $s_0 - s_1$ et $s_1 - s_0$). Dans la mesure où l'on suppose un milieu constant et immobile (ce qui est statistiquement le plus fréquent), les transitions réversibles de sensations doivent correspondre à des transitions réversibles de *positions* du point de vue, et l'on définit la *position* relative de la singularité par l'ensemble de ces transitions. Dès lors, les différentes places sur le cycle, caractérisées par les différentes séquences de sensations qui le composent, peuvent servir à définir différentes positions du point de vue relativement à ces transitions (une même position pouvant être définie par différentes séquences de sensations suivant le « sens » dans lequel elle est abordée). Le cycle peut donc être traduit en une séquence de positions relatives à la

singularité (la cible) et les passages entre ces positions définissent des *déplacements* relatifs à cette cible. Remarquons que dans ce cadre, par construction, tout déplacement relatif possèdera un changement inverse qui ramène le cycle à l'état précédent (je propose un exemple très simple d'analyse de ce type dans l'annexe 4.1). Ce raisonnement pour des cycles de changements discontinus de sensation doit certainement pouvoir être étendu à des variations continues.

La diversité des positions et déplacements ainsi définie est limitée par la longueur et la complexité des stratégies et des cycles qu'elles permettent en fonction du milieu. Cependant, il y a là un embryon de co-définition des actions et de la position de la cible qui permet d'espérer constituer ensemble espace et action comme mouvement spatial.

Il est une autre façon, plus simple et plus directe d'accéder à un savoir des actions via des sensations seulement extéroceptives. Elle consiste à mobiliser la spatialité du corps propre, c'est-à-dire dans nos dispositifs une répartition spatiale des champs récepteurs. Par exemple, pour la matrice de champs récepteurs ci-dessous (M4), telle action de déplacement (disons un pas vers la droite) causera toujours telle séquence de sensations (si le champ récepteur 2 était activé, alors il y aura nécessairement activation du champ récepteur 1).

1	2
3	4

M4

La perception des actions s'appuie sur ce qui, dans la relation $a \rightarrow s$ est constant pour un dispositif de couplage donné, indépendamment de tout état possible du milieu. Au-delà des variations imprévisibles du milieu, le dispositif de couplage définit des lois de contingence sensori-motrices générales et toujours vraies (pour un environnement qui ne change pas trop vite) qui lient les actions à des séquences de sensations associées aux différents champs récepteurs. C'est la loi de contingence sensori-motrice générale attachée au dispositif de couplage en tant qu'elle englobe des lois de contingence sensori-motrices particulières attachées à chaque perception permise par ce dispositif. La première tâche du sujet (ou de l'algorithme modélisant son comportement) est de découvrir ces régularités attachées à un dispositif de couplage donné. Comme on l'a vu plus haut, en même temps qu'on localise un contour on mesure ses propres mouvements à l'aune⁹⁰ de l'écart entre ses champs récepteurs, comme on mesure cet écart par la régularité des écarts sensoriels pour de mêmes actions. On pourra cependant reprocher à cette façon d'accéder à ses propres actions de mobiliser une spatialité déjà constituée. Mais on pourrait répondre que c'est au contraire, simultanément, que le sujet constitue l'organisation spatiale de ses champs récepteurs par des actions exploratoires spécifiques, et qu'il constitue ces actions par les variations sensorielles qu'elles produisent toujours.

Ces façons de définir les actions effectuées sont très limitées par la complexité des stratégies ou de la grandeur du corps propre, mais surtout, elles ne valent que si l'environnement est suffisamment riche. Dans le vide, comme dans le plein, en l'absence de singularités décelables de façon extéroceptive, il n'y a plus, en même temps, de connaissance de ses propres actions. Non seulement, en première personne, il n'y a plus de constitution de l'action comme mouvement, mais aussi, en troisième personne, il n'y a plus de mouvement objectif. Si tout mouvement est relatif, quand il n'y a plus de repère, il n'y a plus de mouvement.

⁹⁰ Aune : mesure longueur (1,2 m) vient de *alina* « avant-bras ».

Si l'on veut pouvoir agir dans le vide d'un milieu uniforme, par exemple, justement pour y inscrire des gestes et des formes, il faut donc introduire une autre source de variations sensorielles, cette fois intéroceptives. Voyons comment en revenant d'abord à notre exemple directeur de la localisation d'une cible.

5.7 Constitution de l'action en absence d'objet

Pour expliquer comment l'attracteur correspondant à un état perceptif peut être mémorisé et utilisé comme une perception qui guidera de nouvelles actions (pour qu'il puisse être mobilisé dans la constitution des futures stratégies) il faut considérer que l'organisme possède les conditions suffisantes de *reproduction* de cet attracteur en l'absence de la chose perçue. Ne pouvant plus compter sur des variations de sensations extéroceptives, il faut mobiliser des variations sensorielles intéroceptives (si) pour écrire maintenant des stratégies de type : si(a) → a'

Il nous semble ainsi qu'une forme de capacité proprioceptive est indispensable dès lors que l'on veut pouvoir déterminer un geste en l'absence d'une forme qui le guiderait. On va donc voir un lien logique s'établir entre proprioception, mémoire et détermination de formes.

Même si par une stratégie de la forme très simple que nous avons donnée plus haut (stratégie de pointage) on pouvait rendre compte de la trajectoire perceptive en présence de la cible, on n'aurait pas expliqué la capacité observée des sujets à reproduire ce pointage en l'absence de la cible pour indiquer sa position passée.

En première personne, au cours de mon exploration, j'ai le sentiment de posséder un savoir-faire de pointage vers la cible avec ma main quelle que soit la position de mon bras, savoir-faire qui va en se renforçant fur et à mesure que progresse mon exploration et ma maîtrise de la situation. On a admis une mémoire des sensations justes passées pour définir les actions suivantes. Mais ce type de mémoire caractériserait seulement une « rétention primaire », c'est-à-dire ce qui, dans le tout juste passé appartient encore au présent vécu. On peut considérer que cette saisie du divers d'une succession de sensations constitue le présent étendu de la synthèse temporelle longitudinale dont parle Husserl [1907]⁹¹. Mais, la rétention primaire est toute différente de la rétention secondaire (souvenir) par laquelle on reproduit un événement passé en tant que passé, c'est-à-dire en son absence présente.

Or, dans nos expériences on observe bien la capacité des sujets à pointer la cible en son absence. C'est même seulement ainsi que l'on valide, en troisième personne, l'existence de cette perception. Les stratégies proposées plus haut et les invariants de la dynamique qu'elles produisent ne correspondent au mieux qu'à des « états perceptifs », de simples asservissements du sujet à la position de la cible, mais pas à sa perception à proprement parler. Même si l'on veut considérer un *savoir* perceptif dans le présent de l'activité concrète, il n'y a *connaissance* que s'il y a mémorisation permettant la catégorisation et la ressaisie de ce savoir pour d'autres raisonnements et actions.

Au-delà de la simple mémoire des sensations, il faut donc admettre ici une forme de mémoire des contraintes coordonnant les actions α et β du pointage vers la cible. C'est une troisième interprétation de la loi de contingence sensori-motrice. Elle serait la description

⁹¹ La rétention primaire est symétrique d'une protention qui, elle, engage le sujet dans l'avenir. Ici la rétention primaire correspond à la profondeur de mémoire des sensations nécessaires pour définir la stratégie d'action présente. Et cette protention est réalisée par les actions engagées et le délai de leurs effets sur les sensations.

d'un savoir-faire, une façon de lier les mouvements α et β pour un pointage donné. Fondamentalement inscrite dans le corps, elle correspondrait à une posture, une manière d'agir pour laquelle telle ou telle valeur de β force telle ou telle valeur de α et inversement. J'appelle « loi d'action », cette façon d'entendre la loi de contingence sensori-motrice comme une forme de savoir-faire.

Dans la mesure où, dans la mise en œuvre de la loi d'action, les mouvements effectués dépendent maintenant des positions α du bras et β de la main, il faut admettre des liens entre ces positions et ces actions, liens qui peuvent être réalisés par le biais de capteurs proprioceptifs⁹². Admettons ici un répertoire de sensations intéroceptives $si(\alpha_i)$, $si(\beta_i)$ qui correspondent aux positions de chaque articulation α_i et β_i . On peut alors définir une « stratégie de discernement » qui plutôt que la « stratégie de pointage » simple présentée plus haut, réalise l'évaluation d'une loi d'action de plus en plus précise. Contrairement à la simple stratégie de pointage proposée plus haut, maintenant les actions sont guidées par une loi d'action supposée, c'est-à-dire une anticipation concrète des sensations à venir. Suivant les décalages avec l'état stable de couplage espéré, la stratégie de discernement corrige la loi d'action jusqu'à ce qu'enfin elle se stabilise aussi (pour un objet immobile). Ainsi, pour une direction et une distance données de la cible par rapport au sujet, on aboutit progressivement à un attracteur de la dynamique du couplage caractérisé par la séquence de sensations extéroceptives (... 0, 1, 0, 1,...) avec une loi d'action stable. On aura ainsi une loi d'action différente pour chaque position de la cible.

La loi d'action appartient à une stratégie et définit une structure d'anticipation qui guide la trajectoire perceptive. Cependant, ce n'est pas une forme de prévision, ou de prédiction, au sens où on ne définit pas des sensations attendues qui seraient, du point de vue du sujet, à comparer aux sensations actuelles pour *sélectionner* progressivement une valeur de la distance adéquate. La loi d'action n'est pas non plus *induite* à partir des sensations reçues puisque ces sensations et leurs variations sont directement le résultat des actions. La loi d'action est seulement construite comme une stratégie possible, parmi une infinité d'autres qui auraient pu être tentées. Cette anticipation est satisfaite quand elle détermine les actions de sorte que la stratégie reste stable. En effet, on peut définir dans les stratégies des conditions de sa déception. Dans notre exemple, si l'on rencontre une suite de sensations « 0,1,1 », ou « 0,0,0 » on peut dire que la stratégie est déçue, mais pas qu'elle est fautive. Tant que l'on maintient cette stratégie, la recherche continue et elle sera peut-être plus tard satisfaite, ce qui se caractérisera par la suite de sensations « 0,1,0,1,... ». Dans ce tertium entre inductionnisme et sélectionnisme⁹³, on ne peut percevoir que ce que l'on peut chercher à percevoir. Ce qui, bien sûr, ne signifie pas que ce qui est connu soit entièrement construit par le sujet, mais seulement que les conditions de la possible déception sont construites en même temps que celles de la possible satisfaction. Il faut pouvoir définir ce que l'on ignore pour pouvoir connaître.

⁹² Dans une situation aussi simple que celle qui nous sert d'exemple, dans la mesure où le choix de $\Delta\beta$ ne dépend que de la valeur de α présente, on pourrait imaginer que la loi d'action soit directement réalisée par des contraintes incarnées dans les structures du corps : position du bras, limites articulaires, etc.

⁹³ Ce « tertium » a des affinités avec celui que recherchait Piaget. C'est bien une forme de constructivisme, et on pourrait y retrouver des équivalents des notions d'assimilation et d'accommodation. Cependant, notre objectif n'est pas ici de donner un contenu opératoire précis à ces notions qui, par l'idée de « ré-équilibration », visent à décrire la construction des connaissances dans l'ontogenèse individuelle, comme dans l'histoire des sciences, suivant une progression déterminée. [Piaget 1967]. Comme on l'a dit en introduction, notre objectif principal est à l'opposé de comprendre comment se construit la possibilité de l'indétermination historique et de l'étonnement individuel.

Les actions, qui sont d'abord des mouvements définis relativement à la cible en fonction des sensations extéroceptives, peuvent être systématiquement associées, à des variations de sensations intéroceptives. Le sujet apprend ainsi progressivement le sens spatial de ses sensations intéroceptives, c'est-à-dire le lien systématique entre un mouvement réalisé dans l'espace de la cible et ses conséquences intéroceptives et extéroceptives. Nous y reviendrons. Il pourra alors reconnaître et désigner, en l'absence de toute singularité dans le milieu, une position relative à sa position actuelle.

Nous allons plus loin préciser les formes de ce passage entre extéroception et intéroception, ce qui nous fera revenir à la question générale de la constitution de l'espace perceptif. Auparavant il faut examiner le rôle de la proprioception dans la production et la perception de gestes plus complexes qu'un simple pointage.

5.8 Constitution de gestes et reconnaissance de formes

Pour la reconnaissance d'une forme, ce qu'il faut pouvoir re-produire via les entrées sensorielles intéroceptives, ce doit être le *geste* de sa production. En effet, l'observation des trajectoires et les explications des sujets qui les ont produites, ont montré que la reconnaissance d'une forme passait, au-delà de l'exploration de ses contours, par la reconnaissance du geste même de son écriture. Mais comment rendre compte de la production de gestes en l'absence de singularités dans le milieu ?

Dans la démarche que nous avons suivie jusqu'ici, on ne doit pas se donner un accès préalable aux actions pour définir ces gestes perceptifs. Cela nécessiterait une grande mémoire des séquences d'actions, cela rendrait difficilement compte de la souplesse et de la généralité des gestes (adaptation au milieu et reproduction du même geste dans différentes situations), et, comme on l'a vu, cela rendrait difficile la compréhension du sentiment d'immersion. Et puis, surtout, la question de la reconnaissance de forme se trouverait reportée du côté d'une reconnaissance des actions commandées.

Notre approche d'une constitution de l'action comme mouvement dans l'espace même de perception de l'objet se révèle ici utile. En effet, si l'on définit le mouvement dans le couplage entre l'organisme et son milieu, on peut utiliser des stratégies (c'est-à-dire des ensembles de règles $s \rightarrow a$) pour définir des gestes.

Pour cela, il faut tout d'abord disposer d'une fonction proprioceptive stable telle que les actions effectuées aient des conséquences régulières en termes de sensations. Ceci peut être réalisé de deux façons.

D'une part, par une causalité qui passe par le milieu extérieur, et telle que les mouvements effectués aient toujours les mêmes conséquences sur les sensations extéroceptives. Par exemple, sur un milieu texturé (répartition de variations sans singularité particulière), si les champs récepteurs sont répartis dans l'espace, leurs activations successives définiront les actions effectuées (voir dans 5.6.).

Ou d'autre part, par une causalité qui passe par le milieu intérieur (le corps) telle que les actions aient des conséquences régulières sur les sensations intéroceptives. Mais ici, il faut que l'action provoque une variation dans le milieu intérieur qui soit sensibles pour les capteurs intéroceptifs. D'une façon très générale nous appellerons cet effet sensible de l'action une « trace ».

Dès lors, en s'appuyant sur ces régularités, il est facile de définir un geste, comme on définit une trajectoire dans l'espace de perception, par une stratégie spécifique, que nous appellerons "stratégie gestuelle". Dans la mesure où, dans le champ de la fonction proprioceptive, telle action détermine de façon invariable telle changement de sensation, un

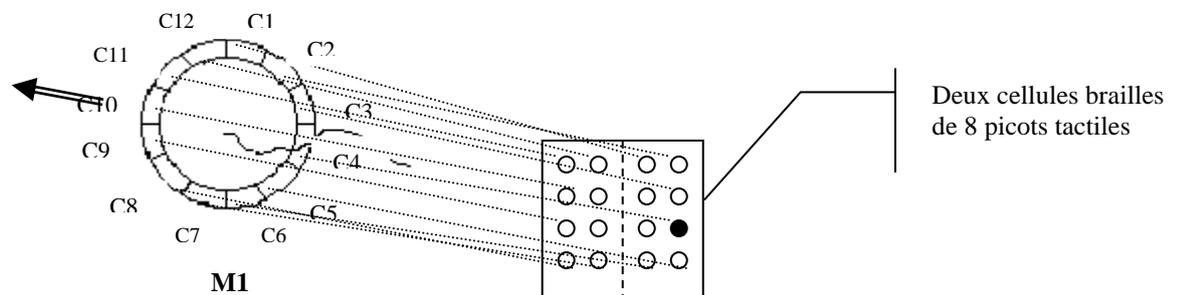
geste pourra être défini par une « stratégie gestuelle », c'est-à-dire un ensemble de règles déterminant les actions à effectuer en fonction des changements de sensations qu'elles provoquent. Le geste produit est ainsi déterminé sans faire appel à un programme interne commandant des séries d'actions prédéterminées.

On peut alors articuler *fonction proprioceptives*, capacités de *production*, de *reconnaissance* et d'*apprentissage* de formes.

Pour bien le comprendre nous adopterons notre méthode qui consiste à passer par le biais d'une modification technique de cette faculté. Cela donnera en même temps des conditions originales pour une recherche expérimentale. Cette recherche est en cours.⁹⁴ Nous n'avons pas de résultats empiriques à présenter ici. Nous voulons seulement, en décrivant le principe général de ces dispositifs, nous donner un cadre clair et explicite pour définir et discuter nos hypothèses théoriques sur le geste et la reconnaissance de forme. Nous nous proposons donc de réaliser une forme de "proprioception prothésisée" à l'aide de nos dispositifs techniques de suppléance perceptive. Cette forme de prothésisation de la proprioception ne réalise, bien sûr, qu'une suppléance, une augmentation ou une déformation artificielle de la fonction proprioceptive naturelle. Sur le plan expérimental, nous travaillerons en mobilisant d'abord les médiations techniques pour faire disparaître toute référence spatiale proprioceptive naturelle avant de chercher à la reconstituer de façon artificielle.⁹⁵

Nous comptons employer le même type de dispositif général que celui que nous avons utilisé pour la perception de formes bidimensionnelles (logiciels tactos 1 et tactos 2). Pour créer cette proprioception prothésisée, il suffit de concevoir des champs récepteurs spécifiques pour les mouvements effectués, couplés à des stimulateurs sensoriels dédiés à cette tâche. De plus, entre l'action et le retour sensoriel intéroceptif, il faut un lien causal semblable à celui qui passe par le milieu attaché de l'organisme dans le cas de la proprioception naturelle. C'est ce que nous nous proposons de concrétiser par une trace générée à partir du point d'action.

On prendra, par exemple, une matrice de 12 champs récepteurs (d'une surface de 16 pixels chacun) qui se déplacent ensemble et sont organisés en un cercle (M1). Ces déplacements génèrent une trace à partir du centre du cercle, trace dont la rencontre avec un des champs récepteurs commande une stimulation sensorielle spécifique (un des 12 picots périphériques d'une matrice de 16 stimulateurs tactiles) :



⁹⁴ Projet « Apprentissage proprioceptif dans la perception prothésisée » (2002-2003), financé par le Programme Interdisciplinaire du CNRS Cognition et Traitement de l'Information.

⁹⁵ Par exemple, si les déplacements des champs récepteurs sont commandés par les touches du clavier, on sait bien quelle action est commandée (quel bouton est appuyé), mais comme on l'a dit plus haut, on ne sait pas d'avance " ce que cette action fait ", quelle loi associe cette commande d'action aux changements de sensations reçus.

La trace est produite à partir du point d'action, ici le centre du cercle de champs récepteurs spécifiquement sensibles à cette trace. Ainsi nous avons bien un lien contant entre action et retour sensoriel. Par exemple, une action de déplacement vers le haut à gauche devra activer le champ récepteur C5 en bas à droite de notre matrice.

Par ailleurs, la trace produite par les mouvements des champs récepteurs s'évanouit progressivement à partir de son extrémité (à une vitesse qu'il faudra déterminer) ce qui permet de représenter la dégradation rapide de la mémoire proprioceptive. Le délai entre la production de la trace et le retour sensoriel permet de rendre compte de la dérive proprioceptive, c'est-à-dire ici l'absence de perception de mouvements trop lents. On a prothétisé ici un accès très grossier à la direction du geste effectué, mais bien sûr, on peut aussi imaginer des dispositifs plutôt sensibles soit à l'accélération (la force pour un muscle), soit à la position (pour une articulation).

Pour étudier l'effet de cette proprioception artificielle sur les capacités perceptives de formes disposées dans l'espace bidimensionnel exploré, il faudra aussi ajouter d'autres champs récepteurs, cette fois "extéroceptifs", sensibles à ces formes et commandant des stimulateurs sensoriels différents. Par exemple un champ récepteur central, ou bien 12 champs extéroceptifs disposés en cercle, dans les mêmes positions que les champs intéroceptifs que nous avons définis ci-dessus, mais seulement sensibles aux formes extérieures.

Dans un premier temps on pourra chercher à vérifier que les sujets apprennent bien la loi de contingence sensori-motrice générale correspondant à ce dispositif. Mais, dans la mesure où cette loi générale est une fonction proprioceptive toujours vraie (pour ce dispositif de couplage), elle ne permet pas la spatialisation d'un quelconque objet (nous y reviendrons plus loin). Remarquons cependant dès maintenant que l'apprentissage du dispositif est plutôt un processus d'*appropriation* consistant justement à oublier ce dispositif (à le faire passer du côté de son corps *propre*) au profit d'autres opérations et perceptions, en particulier, ici, la production de gestes.

En effet, ce dispositif est le moyen de produire et contrôler des gestes par des « stratégies gestuelles ». Par exemple, avec le champ récepteur présenté ci-dessus, une stratégie du type suivant donnera le geste d'écriture d'une forme approximativement carrée :

$$\left\{ \begin{array}{l} C1 \rightarrow \text{déplacement à droite} \\ C10 \rightarrow \text{déplacement vers le haut} \\ C7 \rightarrow \text{déplacement vers la gauche} \\ C4 \rightarrow \text{déplacement vers le bas} \end{array} \right.$$

Bien sûr, la définition de cette stratégie est exagérément simple. L'examen des gestes naturels conduirait plutôt à considérer que les sensations intéroceptives pertinentes sont des vitesses et que les actions correspondent plutôt à des forces⁹⁶. Cependant, cette définition suffira pour montrer l'intérêt d'une telle approche de la caractérisation des gestes. Son avantage n'est pas seulement une économie de mémoire des actions ou des sensations intéroceptives, c'est surtout qu'elle permet d'expliquer la reconnaissance de forme et l'apprentissage de gestes nouveaux.

⁹⁶ Si nous définissons la stratégie gestuelle en fonction de sensations correspondant à des vitesses, les actions à réaliser en terme de changements de forces (en intensité et en direction) alors, en faisant varier la masse impliquée, la même stratégie gestuelle donnera un même geste mais de dimension plus ou moins grande.

Si l'on définit, ici, la connaissance d'une forme comme la capacité de la produire, reconnaître une forme donnée sera être capable de la reproduire en son absence, c'est-à-dire posséder la stratégie gestuelle de sa production. Or, on a vu que des stratégies très simples (se \rightarrow a) ne faisant pas intervenir la proprioception, permettaient un asservissement de la trajectoire perceptive à un suivi de ligne ou de contour.⁹⁷ Or, au cours de ce suivi, les actions effectuées enchaînent *de facto* sur des sensations intéroceptives. Le sujet qui se déplace se comporte comme s'il suivait une stratégie gestuelle (si \rightarrow a) définissant la production de ce déplacement. On pourrait alors simplement dire qu'il suffit de mémoriser cette stratégie gestuelle « passive » pour dans un second temps reproduire la forme.⁹⁸

Mais, au cours de son exploration, le sujet ne fait pas que suivre localement et mécaniquement le contour. Au contraire, il est toujours dans la recherche d'un pouvoir plus grand de contrôle et d'anticipation de ses sensations. Quand il suit une ligne, il anticipe une continuation de sa présence suivant une direction, une courbure ... sa trajectoire exploratoire est guidée par des gestes d'ensemble. Ainsi, les stratégies gestuelles sont des structures d'anticipation permettant de guider et faciliter le suivi de contour lui-même, ce que l'on pourra vérifier par la résistance de l'activité perceptive face à des perturbations de la forme à reconnaître. Il n'empêche qu'en même temps, il doit vérifier que ces anticipations générales réalisent bien l'asservissement de base au contour et donc des retours sensoriels extéroceptifs réguliers. S'il s'éloigne du contour qu'il prétend suivre, le sujet peut corriger sa trajectoire et par là corriger sa stratégie gestuelle.

On a donc une relation circulaire où le geste sert à percevoir, guidant la trajectoire perceptive, et où ce qui est perçu guide et corrige le geste. On voit là les conditions d'un apprentissage actif dans lequel la compréhension d'un nouveau geste passe par un engagement d'abord incertain qui ira en se précisant. Comme plus haut pour la localisation, cette approche de la perception et de l'apprentissage n'est ni sélectionniste, ni inductionniste. Il ne s'agit pas seulement de tester des gestes déjà connus puisque les formes dans le milieu peuvent servir de modèle à l'élaboration de nouveaux gestes. Mais il ne s'agit pas non plus seulement de reconnaître statistiquement des enchaînements de données sensorielles puisque la perception ne se constitue que par l'action qui est toujours déjà un pari sur les retours sensoriels qu'elle pourra déterminer.

Remarquons, qu'une même stratégie gestuelle peut donner lieu à la production de gestes semblables mais de dimensions et d'orientations différentes suivant des variables externes du couplage comme l'orientation du corps, les grandeurs articulaires mobilisées ou la masse inertielle impliquée. Le geste, en tant qu'il peut être re-produit en dépit des variations des situations particulières (position, orientation, dimensions) et des perturbations des formes dues à des changements du milieu, des altérations diverses, ou des actions intempestives, permet la généralisation et la catégorisation des formes qu'il sert à percevoir. Toutes les formes qui peuvent être « saisies » par le même geste de suivi de contour seront rangées dans la même catégorie.

C'est bien parce que le geste est défini par une stratégie, et non par une séquence d'actions, que cet apprentissage actif est possible. L'espace de production des formes est le même que celui des formes à percevoir. L'espace des actions est le même que celui des objets constitués. Ceci est une contrainte forte sur la façon dont on devra construire l'espace perceptif.

⁹⁷ Rappelons qu'avec un parallélisme des champs récepteurs le balayage autour de la ligne devient inutile.

⁹⁸ On peut envisager différentes méthodes pour cette reconnaissance, par exemple dans une perspective connexionniste, par renforcement hebbien des co-occurrences entre les enchaînements $s_{ext} \rightarrow a$ actuellement effectués et les enchaînements $s_{int} \rightarrow a$ des stratégies gestuelles progressivement apprises.

Avant de proposer une méthode pour cette construction, remarquons qu'en travaillant sur la faculté de produire des formes, on travaille en fait sur l'imagination au sens propre, la faculté de produire des images. En effet, on peut considérer que l'imagination est d'abord la faculté de produire des gestes et des formes indépendamment des variations du milieu extérieur.

5.9 *Imagination et perception*

Ici, comme pour Kant, l'imagination participe autant à la reproduction de formes pour la mémoire qu'à la perception des formes présentes.

« L'imagination (*facultas imaginandi*), comme faculté des intuitions hors de la présence de l'objet, est ou bien *productive*, c'est-à-dire faculté de présentation originaire de l'objet (*exhibitio originaria*) qui précède par conséquent l'expérience ; ou bien *reproductive*, c'est-à-dire faculté de présentation dérivée (*exhibitio derivativa*) qui ramène dans l'esprit une intuition empirique qu'on a eue auparavant. »⁹⁹

Il faut pouvoir produire (imagination) pour pouvoir reproduire (mémoire secondaire, c'est-à-dire souvenir) et pour pouvoir catégoriser et re-connaître une même forme. En traitant, au-delà de la localisation spatiale, de la forme des choses perçues, on franchit une étape supplémentaire dans la détermination de l'objet. Cette activité qui consiste à subsumer des objets sous des catégories de l'entendement est la difficulté centrale à partir de laquelle se construit la philosophie kantienne. Comment, si concepts et phénomènes sont radicalement hétérogènes, si les uns sont *a priori* et les autres essentiellement donnés *a posteriori*, comment donc comprendre que les premiers puissent s'appliquer aux seconds, que le monde perçu accepte si bien de se plier à une détermination conceptuelle. On sait que Kant répond à ce problème en expliquant que le concept n'est pas une idée statique, une boîte dans laquelle on glisserait le phénomène, mais plutôt une règle de construction, une façon de rassembler le divers.

« Ainsi nous concevons un triangle comme un objet lorsque nous avons conscience de l'assemblage de trois lignes droites suivant une règle d'après laquelle une telle intuition peut toujours être représentée. »¹⁰⁰

Cette opération, qu'il appelle le schématisme se déroulerait dans le temps qui est la forme partagée de l'entendement et de l'intuition sensible et définirait une faculté intermédiaire : l'imagination. Or c'est précisément ce rôle que de notre côté, nous proposons de donner à l'imagination. Sur la base de stratégies gestuelles et de traces proprioceptives, cette faculté serait capable de lier les sensations pour produire et reconnaître des formes présentes, ou reproduire des formes passées. Le geste général d'écriture d'un triangle est une règle qui toujours et nécessairement servira à rassembler le divers correspondant à un triangle.

« Mais, puisque tout phénomène renferme un divers, que, par conséquent, il y a dans l'esprit diverses perceptions disséminées et isolées en soi, il doit y avoir entre elles une liaison qu'elles ne peuvent avoir dans les sens mêmes. Il y a donc en nous un pouvoir actif qui fait

⁹⁹ [Kant 1988 : 47]

¹⁰⁰ [Kant 1976 : 647] CRP première édition, 1781

la synthèse de ce divers ; nous le nommons l'imagination, et son action qui s'exerce immédiatement dans les perceptions, je l'appelle appréhension. »¹⁰¹

Cette idée que la perception est intimement liée à l'imagination rencontre exactement nos hypothèses précédentes, puisque la capacité de production de formes dans l'imagination (par des stratégies gestuelles) est la condition de production de gestes capables de rassembler le divers des données sensorielles en une forme intelligible. Ce lien, bien loin de signifier que les percepts sont imaginaires, purement construits, montre au contraire comment se constitue la possibilité de formes reçues. En même temps, ceci donne une lecture qui nous semble très éclairante d'un moment difficile de la première édition de la Critique de la Raison Pure : les trois synthèses qui sont au fondement de toute représentation et de toute détermination conceptuelle des objets.

« Si donc j'attribue au sens une *synopsis*, parce qu'il y a de la diversité dans son intuition, une synthèse correspond toujours à cette synopsis, et la *réceptivité* ne peut rendre possible des connaissances qu'en s'unissant à la *spontanéité*. Or celle-ci est le principe d'une triple synthèse, qui se présente nécessairement dans toute connaissance : à savoir la synthèse de l'*appréhension* des représentations comme modifications de l'esprit dans l'intuition, celle de la *reproduction* de ces représentations dans l'imagination, et celle de leur *reconnaissance* dans le concept. »¹⁰²

La première synthèse est « la synthèse de l'appréhension dans l'intuition », c'est-à-dire dans la sensibilité. Pour que le divers donné puisse entrer dans la conscience (l'appréhension), c'est-à-dire dans le vocabulaire de Kant, devenir une représentation, il faut cette première synthèse. Elle correspond pour nous à la saisie du divers de la succession des sensations reçues pour participer à la détermination des actions à travers une stratégie.¹⁰³ Comme le remarque Bernard Stiegler [Stiegler 2002] en lien avec les analyses de Husserl sur le temps, il s'agit dans cette première synthèse d'une rétention primaire, le pouvoir de retenir le tout juste passé. Pour nous il s'agit précisément de la rétention de sensations qui sont bien reconnues comme différentes et successives dans la mesure où, par les stratégies, leurs différentes successions peuvent déterminer différentes actions. Mais rappelons que nous avons tenté de montrer une équivalence entre cette rétention primaire et la spatialité originaire du corps propre. Les stratégies peuvent aussi bien se définir par un divers de sensations simultanées que par leur séquences successives. La mémoire primaire, comme la spatialité originaire, est une épaisseur de la présence. D'ailleurs, comme on l'a vu, la spatialité du corps propre peut ainsi être entendue comme une mémoire.

Si on se place dans la condition limite, sans spatialité du corps propre, sans rétention primaire magique interne, on n'a de mémoire que par inscription. Or, on sait via la machine de Turing, que pour un répertoire fixe de stratégies (inscription et déplacement en fonction de sensation), toute opération et mémorisation est en droit possible (dans les limites du calculable). Et l'on peut ajouter une accélération par multiplication des têtes de lectures (parallélisme), des hiérarchisations du calcul (chaîne articulatoire). Le seul problème est que c'est là seulement une preuve métamathématique d'existence de solution et non pas une solution¹⁰⁴.

La première synthèse correspond à la prolongation effective de la ligne, le sillage du geste. Tracer, la ligne est le moyen de la rétention primaire.

¹⁰¹ [Kant 1980 : 134] CRP première édition, 1787

¹⁰² [Kant 1976 : 643] CRP première édition, 1781

¹⁰³ « ; acte que je nomme la *synthèse de l'appréhension*, parce qu'il a directement pour objet l'intuition, laquelle, sans doute, présente un divers, bien qu'elle ne puisse jamais, sans une synthèse préliminaire, produire ce divers comme tel et aussi comme contenu *dans une représentation*. » [Kant 1980 : 112] CRP première édition, 1787.

¹⁰⁴ Il y a peut-être une relation entre le problème de l'arrêt de la machine et le problème de l'espace.

La capacité de reproduction dans l'imagination du même geste, via des stratégies gestuelles définies, est la seconde synthèse, celle du souvenir.

L'unité de la lecture et de l'écriture est la troisième synthèse.

La seconde synthèse est « la synthèse de la reproduction des représentations dans l'imagination ». Elle correspond pour nous précisément à la faculté de re-production du rassemblement du divers par une stratégie.

« Mais puisque, si des représentations se reproduisent les unes les autres, sans distinction, exactement comme elles se sont produites ensemble par hasard, il ne pourrait jamais en résulter un enchaînement déterminé, [...] il faut que leur reproduction ait une règle par laquelle une représentation entre en liaison avec une plutôt qu'avec une autre dans l'imagination. »¹⁰⁵

La forme construite est en tant que telle reproductible. C'est ce qui rend possible une mémoire secondaire : la re-production d'une image passée.

« Or, il est manifeste que, si je tire une ligne par la pensée ou que je veuille penser le temps d'un midi à l'autre, ou même seulement me représenter un certain nombre, il faut d'abord nécessairement que je saisisse une à une dans ma pensée ces diverses représentations. »

[et plus loin]

« Si je laissais toujours échapper de ma pensée les représentations précédentes (les premières parties de la ligne, les parties antérieures du temps, ou les unités représentées successivement) et si je ne les reproduisais pas à mesure que j'arrive aux suivantes, aucune représentation entière, aucune des pensées susdites, pas même les représentations fondamentales les plus pures et toutes premières, de l'espace et du temps, ne pourraient jamais se produire »¹⁰⁶

La rétention primaire de la synthèse de l'appréhension est d'abord nécessaire pour « que je retienne dans la pensée ces diverses représentations », mais pour la détermination de l'objet, il faut aussi que je les reproduise fur et à mesure. Pour que je puisse reproduire une forme (reconstruire un souvenir, c'est-à-dire une rétention secondaire), je dois, à chaque instant, pouvoir reproduire ce qui a été perçu. Nous avons l'impression de suivre exactement Kant, quand nous posons le rôle nécessaire d'une trace produite dans la constitution du geste. Le geste n'est geste que parce qu'il s'écrit lui-même au fur et à mesure de sa réalisation. Le pouvoir de produire une trace est le moyen de la rétention secondaire. C'est la condition pour que le geste de saisie assure la reconnaissance d'une forme, non comme sélection, non comme induction, mais comme construction.

La troisième synthèse est « la synthèse de la reconnaissance dans le concept ». Elle correspond à la reconnaissance des propriétés de l'objet par l'entendement. Pour nous, ce serait reconnaître les stratégies, les règles qu'elles appliquent pour réaliser la synthèse du divers qui détermine un objet. Ayant constitué le geste, je le reconnais comme anticipation motrice dans l'espace et le temps, anticipation qui détermine bien un objet.

Nous ne discuterons pas ici la visée principale de Kant dans ce passage qui est de montrer la nécessité et le caractère *a priori* de ces règles de synthèse, et surtout, avec la troisième synthèse, de montrer la nécessité de poser une unité synthétique du sujet transcendantal pour assurer l'unité de l'objet déterminé. On pourrait approfondir le rapport entre cette unité transcendantale et l'unité de l'action mais, comme plus haut, cela nous éloignerait radicalement de Kant pour nous rapprocher plutôt de Bergson ou de la phénoménologie, en particulier de Merleau-Ponty¹⁰⁷.

¹⁰⁵ [Kant 1980 : 135] CRP première édition, 1787.

¹⁰⁶ [Kant 1980 : 114-115] CRP première édition, 1787. Souligné par moi.

¹⁰⁷ [Bergson 1929] [Merleau-Ponty 1945]

L'approche que nous proposons ici nous semble permettre de comprendre comment peut se constituer ce que Bernard Stiegler appelle une rétention tertiaire.¹⁰⁸ En effet, à côté des rétentions primaires et secondaires, on doit considérer, surtout dans l'environnement humain, des rétentions tertiaires, correspondant aux traces laissées dans le milieu extérieur par soi-même ou les autres, traces que l'on peut transmettre, ou ressaisir plus tard pour nous aider à reconstruire un savoir passé.

D'une part, on a vu comment une forme donnée pouvait servir de modèle pour façonner le geste de sa saisie.

D'autre part si, toujours déjà dans l'imagination, que ce soit pour le souvenir ou pour la perception actuelle, il faut produire une trace pour produire le geste qui rassemble le divers, une trace dans l'espace unique des actions et des formes perçues, on comprend que cette trace peut être plus ou moins persistante suivant le milieu dans lequel le geste s'inscrit.

Dès le départ, nous avons considéré un écart, un jeu possible entre le point d'action et les champs récepteurs. Même au cours d'un geste dans le vide, je suis en train de suivre une trace, déjà de risquer, attendre la sensation. Si je veux pouvoir savoir mon geste, être conscient de la forme qu'il permet de saisir, je dois l'avoir suffisamment inscrit pour mesurer ses conséquences en terme de sensations. Si les inscriptions produites par le geste sont un peu plus persistantes, c'est-à-dire si je peux revenir sur elle, elles seront alors spatialisables et deviendront l'objet d'une perception, ... et si le milieu d'inscription est adéquat elles pourront être partagées et transmises.

L'imagination devient ainsi le lieu où peuvent se développer des raisonnements suffisamment détachés de la situation. On raisonne en construisant et interprétant ce qu'on construit. Nous disons que l'espace de production des formes et gestes est le même que celui des objets perçus. Et effectivement, on peut penser en mimant, en jouant la situation, c'est-à-dire en la reconstruisant, dans un cercle protégé. Mais bien sûr, on peut conserver la même approche en considérant que les gestes sont produits de façon plus intime, dans le corps, soit via des commandes musculaires réprimées mais suffisantes pour assurer un retour intéroceptif, soit directement dans le système nerveux central. Ceci est au-delà de nos compétences. Ce qui est important pour nous, c'est qu'une telle approche rend naturellement compréhensibles les processus d'extériorisation / intériorisation qui caractérisent la technique et en particulier les technologies cognitives. Le travail cognitif, n'est-il pas essentiellement fondé sur la capacité d'écrire pour réfléchir en se lisant et en écrivant à nouveau...

L'imagination, en tant que faculté de produire des images et des états perceptifs passés ou n'ayant jamais existés permet de donner une définition de la représentation qui convienne à notre approche. La représentation ne serait pas le représentant interne d'un état de chose externe, mais la capacité de *production* de quelque chose au même titre qu'une forme présente est produite par le geste perceptif. La représentation (présentation), c'est, en troisième personne, la capacité de *construction* (et re-construction) de contenu perceptif ou, en première personne la capacité de *constitution* (et re-constitution ou re-stitution) d'une visée perceptive. On peut ainsi parler de représentation, même en troisième personne, dans la mesure où elle est définie comme un « état intérieur falsifiable ». C'est ici, sans abus de langage que l'on dit « intérieur » parce qu'il s'agit effectivement de constituer ces représentations dans le même espace que celui des choses perçues. Et ces représentations sont bien falsifiables en tant qu'elles peuvent être évoquées indépendamment des conditions extérieures, et être soumises au test de leur « vérité » au sens où la stratégie gestuelle permettra ou non le suivi d'une forme (la visée perceptive sera ou non remplie).

¹⁰⁸ [Stiegler 1994] [Derrida 1968]

Insistons encore, tout ceci est possible, non pas parce que la représentation appartiendrait à un niveau de causalité différent de celui de sa signification, mais au contraire parce que c'est dans le même espace que l'on a posé les relations « a → si » proprioceptives et « a → se » extéroceptives. Toute notre conceptualisation de l'activité perceptive et de l'imagination reste suspendue à une conception de l'espace particulière. Il faut que ce soit un espace d'action tel que l'espace des formes produites soit le même que celui des formes à percevoir. Un espace tel que la distinction entre le sujet et l'objet, le point de vue et la forme perçue, ne préexiste pas à sa constitution, mais en soit plutôt la conséquence. Nous devons donc en proposer une approche, ce qui nous ramènera finalement à la question du savoir de l'ignorance.

5.10 Vers la constitution de l'espace

On a vu plus haut comment les positions et déplacements relatifs à une cible présente pouvaient être définis dans le cours de l'activité perceptive. Or, ces positions et déplacements, définis dans l'espace de la cible, purement relatifs à elle, étaient indépendants de la position de cette cible par rapport au sujet percevant (cette définition était purement allocentrique). Si cette démarche avait l'intérêt de constituer l'action d'emblée comme un mouvement spatial (et non comme une commande d'action), elle restait très limitée.

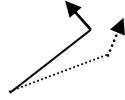
Pour ouvrir un espace il faut un levier permettant de s'arracher à l'attracteur de l'état perceptif (et s'avancer dans le vide). Il faut un passage par une perception du même geste indépendamment de la position. Le savoir de l'action ne peut se limiter aux données extéroceptives de ces actions. Solution : classes d'équivalence proprioceptive, permettant la définition de nouvelles stratégies d'action.

Maintenant, nous nous sommes donné un enrichissement considérable des données sensorielles en admettant l'existence de capteurs intéroceptifs spécialement dédiés à la sensibilité aux mouvements et positions des articulations. Pour lier sensations intéroceptives et sensations extéroceptives dans la construction d'un espace, trois démarches nous semblent envisageables.

Soit simplement, on utiliserait les sensations intéroceptives pour enregistrer les positions des membres au cours d'un « état perceptif » particulier (attracteur de la dynamique par une loi de pointage simple) correspondant à une position de la cible par rapport à l'organisme. On admettrait donc directement une traduction spatiale des sensations intéroceptives comme sensations de position des membres et organes sensoriels directement associées à des positions des objets. Sur cette base on aurait un espace représentatif construit à partir de ces « sensations de positions », espace qui tirerait sa validité d'un lien direct avec l'espace objectif qu'il s'agirait de représenter. Dans ce cas, notre détour par une constitution des déplacements relatifs dans l'espace de la cible aurait été inutile et l'on admettrait une conception représentationnaliste et objectiviste pour laquelle l'espace préexisterait à sa représentation.

Soit on catégorise les sensations intéroceptives sur la base des mouvements relatifs définis dans l'espace de la cible. Dans la mesure où de mêmes mouvements relatifs, déterminés par une stratégie de pointage simple, qui ne prend en compte que les sensations extéroceptives, correspondent à des positions de la cible, différentes par rapport à l'organisme, les sensations intéroceptives associées seront différentes suivant ces positions. Mais, on peut imaginer qu'elles puissent être rassemblées en classes d'équivalences suivant

les mouvements relatifs auxquels elles sont associées.¹⁰⁹ Dans le cadre de notre dispositif expérimental, il pourrait s'agir d'un mouvement régulièrement déterminé par une stratégie de pointage correspondant à une rotation du poignet suivant un angle constant $\Delta\beta_0$ accompagné d'une translation suivant l'arc de cercle formé par le bras $\Delta\alpha_0$:



Ce déplacement, identique du point de vue de la stratégie pour des positions différentes de la cible donnera nécessairement des sensations intéroceptives différentes :



La convergence de la dynamique de pointage vers ce type d'action régulier permettra de ranger ces sensations intéroceptives dans de mêmes classes. Bien sûr de telles classes de sensation intéroceptives que l'on peut penser apprises progressivement durant les premiers temps de l'enfance sont extrêmement complexes. Elles impliquent l'intégration de toutes les sensations associées au système articulaire complet pour définir de mêmes déplacements spatiaux, soit d'une extrémité, soit d'une partie de l'organisme par rapport à une autre. Ces classes définissent les déplacements effectués. Dès lors, dans une perspective très proche de celle de Poincaré, par association avec les sensations extéroceptives variables, on pourra vérifier que ces classes permettent de construire un « groupe de déplacements ». On aura les éléments empiriques permettant de construire un « espace représentatif ». Même si la façon d'employer les sensations intéroceptives héritait en quelque sorte de la spatialité des mouvements construite auprès des objets dans l'activité perceptive, il reste que l'espace construit n'est encore qu'un « espace intérieur », un espace des sensations distinct de l'espace de l'effectuation des actions.

La troisième démarche, celle que nous préférons défendre, consiste à l'inverse, à mobiliser les sensations intéroceptives pour enrichir les possibilités d'action. En effet, les classes de sensations intéroceptives, construites comme précédemment sur la base des mouvements concrètement effectués, permettent de définir des stratégies de pointage *partout* en présence comme en absence d'objet.

En restant bien à l'intérieur de la dynamique du couplage sensori-moteur, on doit pouvoir montrer que ces états stables possibles, et les transitions entre ces états, s'organisent suivant un groupe de déplacements, mais ici de déplacements concrets et non pas simplement de représentations de ces déplacements. Nous allons essayer de montrer comment.

¹⁰⁹ On raisonne ici avec des gestes de pointage, c'est-à-dire des mouvements articulaires, l'ensemble du corps restant dans une même position relativement à la cible. Mais notre raisonnement est généralisable sans problème à des mouvements de déplacements d'ensemble du corps. En effet, on ne travaille que sur des déplacement du point de vue, assimilé au point d'action, qui suivant les cas peuvent être produits soit par des changements d'attitude, soit par des déplacements de l'axe corporel lui-même. Dans tous les cas, des sensations intéroceptives existent, au moins pour les actions élémentaires. Les déplacements de l'ensemble du corps sont toujours dérivés de déplacements relatifs de ses parties (par exemple les mouvements des jambes) avec le soutien du sol et des frottements. On devrait d'ailleurs admettre que le sol et la gravité font partie du corps propre en tant qu'ils participent à son pouvoir d'agir. Dans le vide ou la microgravité, les changements de posture n'enchaînent pas sur des déplacements d'ensemble du corps. On ne marche pas qu'avec ses jambes mais aussi avec la Terre [Karlson 1998].

Auparavant il nous semble nécessaire de bien reconnaître l'ambition extraordinaire de notre propos : rendre compte de la construction de l'espace et non de sa représentation. Notre seule excuse est qu'il s'agit seulement d'une conséquence de la méthode des répondants. Puisqu'en première personne on pose que c'est l'objectivité elle-même qui est constituée dans l'expérience vécue, en troisième personne ce doit donc être l'espace des actions lui-même qui soit construit. Il était relativement aisé, si l'on admettait ne travailler que sur la construction d'une représentation, de justifier l'écart entre cette représentation et l'idéalité de l'espace géométrique ou de la totalité infinie de l'espace physique. Mais, ici, nous nous devons de rendre compte de la *nécessité* de cet espace objectif.

Si l'espace est construit, il doit l'être nécessairement, et non comme une construction contingente. On ne voit pas, rencontrant une contradiction, disons une absence de réversibilité parce que, revenant sur nos pas, le monde ne serait pas le même, que nous en venions, ne serait-ce qu'à évoquer, une remise en question de l'organisation spatiale de nos mouvements. Nous poserons plutôt que le monde a changé, ou que notre déplacement a été perturbé à notre insu. Il ne peut y avoir de donné qui ne soit spatialement donné. C'est ce que nous justifions en remarquant qu'il ne peut y avoir d'action perceptive qui ne soit pas un mouvement spatial. La construction de l'espace doit donc se fonder sur des caractéristiques universelles de l'action comme mouvement.

Que l'ensemble des états perceptifs, comme ensemble des invariants sensori-moteurs constructibles, s'organise comme un groupe de déplacements ne doit donc pas être un fait empirique, mais une nécessité, c'est-à-dire qu'il nous faut montrer que c'est bien un groupe de déplacements, et ceci seulement *par construction*.

Tout d'abord nous admettons, comme condition générale de toute stratégie perceptive que le sujet possède le savoir-faire de mêmes actions. Rappelons que savoir-faire la même action ne signifie pas pour nous savoir cette action, sauf à revenir à une perspective représentationnaliste. En première personne je reconnais seulement un pouvoir d'engagement que je peux maintenir ou reproduire de façon identique, au moins pour moi. Au contraire, savoir l'action n'advient que si elle est constituée. En troisième personne, nous admettons que le sujet est capable de reproduire un nombre d'actions élémentaires identiques fini et constant. Et le savoir de ces actions ne peut advenir que si elles sont spatialement construites. En première personne nous avons proposé de rendre compte de la constitution des actions comme des mouvements dans l'espace de l'objet : je sais ce que je fais en même temps que je localise l'objet par rapport auquel je me situe. En troisième personne, nous avons tenté d'expliquer la construction de l'action comme un déplacement dans l'espace de la cible. Nous nous sommes appuyés sur les invariants sensori-moteurs de l'activité perceptive extéroceptive pour définir les déplacements à partir des oscillations autour de l'objet perçu. Cela nous a donné un ensemble de déplacements élémentaires finis, limité par la complexité des stratégies réalisables et la mémoire des sensations extéroceptives : $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$

Or, par construction, tous ces déplacements élémentaires a_i admettaient un déplacement inverse puisqu'ils étaient des composantes d'un cycle (nous noterons ces déplacements inverses : $-a_i$). Leur succession était associative et il existait un déplacement identité N correspondant à l'absence de changement de sensations et de pouvoir d'action :

$$a_i * -a_i = N$$

Maintenant, on construit des classes de sensations intéroceptives correspondant à ces déplacements élémentaires : $\{si(a_1), si(a_2), \dots, si(a_n)\}$.

Et l'on mobilise ces classes pour construire de nouvelles stratégies qui détermineront des actions indépendamment de singularités dans le milieu extérieur. Stratégies de la forme :

$$si(a_i) \rightarrow a_j$$

Plutôt que des déplacements relatifs à un objet, on pourra alors parler de mouvements, c'est-à-dire des déplacements identiques pour des positions différentes.

Les mouvements qui peuvent être produits appartiennent à l'ensemble infini des compositions de déplacements élémentaires. Puisque, par construction ces déplacements élémentaires possèdent tous un déplacement inverse, toute composition de déplacements élémentaires possèdera un élément inverse. Par exemple la composition $a_1 * a_2 * a_3$ admettra pour déplacement inverse la composition $-a_3 * -a_2 * -a_1$. Il nous semble que ces compositions formeront bien un groupe de déplacements.

L'espace est ainsi construit *dans* le couplage entre l'organisme et le milieu. Il n'est pas constitué à partir d'un point de vue de surplomb mais, en quelque sorte, *l'espace est constitué de l'intérieur*. Nous verrons que c'est la condition pour que l'on puisse comprendre que la finitude de l'action exploratoire puisse définir un espace qui l'englobe.

Cet espace est purement un espace d'action. C'est secondairement que des singularités extérieures viendront se localiser dans cet espace. Mais elles *devront* s'y localiser pour être perçues. L'espace des actions est une condition de possibilité de la perception et non pas une chose perçue contingente. Ceci ne peut se justifier que parce que nous avons construit l'espace des actions comme le même espace que celui des perceptions d'objets et non pas dans un « espace intérieur » des sensations musculaires.

Espace et perception sont expliqués dans la dynamique du couplage qui effectivement, du point de vue de l'observateur extérieur, se déroule dans l'espace de l'objectivité. Et l'espace ainsi constitué par le sujet devra être pour lui le même que pour l'observateur parce que dans son couplage concret avec le milieu, il aura justement constitué ses mouvements et son organisme qui réalisent ce couplage comme étant dans cet espace qu'ils constituent.

On remarquera que dans notre démarche pour rendre compte de la constitution de l'action comme mouvement, on a été conduit à une définition des actions d'abord allocentrée (déplacements relatifs à l'objet), avant de les définir de façon égocentrée (mouvements relatifs à soi). Pour reprendre notre exemple directeur, c'est seulement quand j'ai constitué mes actions comme déplacements autour de la cible, que je peux savoir la loi d'action à laquelle j'obéis : je peux alors savoir comment dans ma perception de la cible je coordonne mes mouvements du bras et de la main. Ce savoir devient à proprement parler une *connaissance* parce que, reproductible en l'absence de la cible, il devient thématizable, mémorisable et potentiellement transmissible.

Dans l'espace formé par le groupe de déplacements, on peut définir des positions relatives de singularités différentes. Mais pour cela, il faut pouvoir *compter* les mouvements qui les séparent. Dès lors, deux conceptions de ce comptage sont possibles.

On peut d'abord poser que c'est le sujet qui compte et mémorise les déplacements de son point de vue. Il mesure ainsi une distance dans l'espace. Mais ce n'est pas par cette opération qu'il constitue l'espace. Si tel était le cas, on reviendrait à l'idée que l'espace est une géométrie que l'on applique à nos données sensorielles pour les ordonner.

Au contraire, toute notre démarche a été de tenter de montrer que l'espace est concrètement constitué par l'engagement du sujet dans le monde, ou si l'on préfère, à la troisième personne, que l'espace est construit dans le couplage entre l'organisme et son milieu. Si la distance d'un objet correspond à la somme de mouvements pour l'atteindre, c'est que les mouvements s'ajoutent concrètement. **Mon expérience de l'espace est bien que ça compte, même quand je ne compte pas. C'est pourquoi je peux être perdu. Je ne sais pas toujours ce que je fais.** C'est une autre façon de dire que l'espace est constitué comme objectivité.

Si donc, constituer l'espace n'est pas seulement vérifier que le système de nos sensations extéroceptives et intéroceptives s'organise bien dans l'idéal d'une géométrie, il faut plutôt renverser les termes de la comparaison. L'espace de l'objectivité dont nous tentons ici de décrire la genèse, est plutôt ce qui pose question aux mathématiciens. C'est l'espace pour lequel toutes les constructions conceptuelles géométriques ne sont que des tentatives qui n'épuisent pas leur objet.

Mais ne sommes nous pas allés trop vite en admettant avoir décrit la constitution de l'espace perceptif ? N'est-il pas encore abusif de parler ici de savoir des actions, si celles-ci sont simplement déterminées par une stratégie ? N'est-il pas abusif de parler même de perception alors que tout ce que nous avons décrit en troisième personne peut s'inscrire dans le flux d'une causalité unique et mécanique ? Il ne faut pas confondre la convergence vers un attracteur qui correspond à l'établissement d'un état perceptif, et le savoir de la perception, l'aperception, état réflexif qui permet un éloignement de cet attracteur. Dans notre exemple directeur, on n'a pour le moment, qu'un simple asservissement de l'organisme à la position de la cible. **La mémorisation et la ressaisie indépendante de la loi de contingence sensori-motrice suppose que ce qui n'est encore qu'un « état perceptif » soit individué, séparé du reste de l'activité de l'organisme dans son milieu. Il faudrait au moins une liberté d'action relativement à la position perçue. Il est à la fois essentiel que l'action soit déterminée par la stratégie (ou la loi d'action) puisque c'est la mémorisation de cette stratégie (ou de cette loi d'action) qui réalise la perception... et essentiel que l'action se déroule indépendamment de la cible pour que soit reconnue la réversibilité et posée l'extériorité de l'objet.** Le problème est donc ici celui de la constitution d'une liberté de l'action, ou du moins de son indépendance relativement à l'objet et à la loi de contingence sensori-motrice.

Nous avons peut-être avancé dans la constitution de l'espace, au moins en tant qu'il est englobant et nécessaire, mais la compréhension de la perception spatiale est loin d'être achevée. Il manque surtout, la liberté de l'action et la simultanéité des possibles dans une totalité infinie. Nous avons la cible, le point de vue, la grandeur du corps propre, et ses actions comme mouvements, mais pas l'espace qui les entoure et les englobe. Nous avons l'état perceptif, mais pas le fond sur lequel il se détache. Nous n'avons pas compris quel accès le sujet peut avoir à l'espace que nous avons construit. Nous n'avons pas montré comment peut se constituer l'expérience de l'espace lui-même comme fond des perceptions présentes, comme l'expérience d'un entre-deux qui sépare ces états perceptifs.

« Si l'on se replonge exactement dans le phénomène de l'intuition de l'espace, on ne parvient pas, avec un peu de sincérité (qui assurément n'est pas facile à acquérir), à se débarrasser de [l'idée] que l'on voit l'entre-deux et l'espace tout entier. Si je dirige mon regard sur tel ou tel bord d'une cavité vue, ou d'un espace creux formé par des livres, des tables, etc., et que je vais de ceux-ci aux [bords] opposés, je « vois l'air », l'entre-deux. Je peux faire porter mon attention sur tels ou tels points ou emplacements intermédiaires, sans m'intéresser en aucune façon à la forme et à l'espèce de ce qui en forme le pourtour... »¹¹⁰

Il nous semble que cette expérience de l'espace lui-même, et non d'objets localisés dans l'espace, correspond à l'expérience présente que ces positions vides *auraient pu* être remplies, que par des mouvements je *pourrais* y aller. L'espace vide serait l'expérience du *possible* lui-même. En première personne ceci se comprend comme ma liberté d'action et de

¹¹⁰ [Husserl 1989 : 418] Appendice VII. Ce texte vient en appendice d'un paragraphe sur la perception du vide : « Nous aurions donc ici l'entre-deux comme un espace vide, mais remplissable de façon continue, comme simple possibilité de médiations réales de caractère déterminé, bien que nous ne puissions pas dire que l'espace vide soit vu. Ce sont les corps qui sont vus, et avec ce qui est vu on saisit l'entre-deux, que l'imagination ensuite peut combler corporellement de telle ou telle façon. L'espace est donc plutôt co-vu. » [Husserl 1989 : 308]

penser. Je peux toujours, au moins m'imaginer, des objets et déplacements dans cet entre-deux. Mais comment, en troisième personne, sur le plan de l'objectivité, rendre compte de l'accès au possible alors qu'il semble que cette objectivité soit justement constituée comme le domaine d'une causalité mécanique dans un temps unique ? Il nous semble pourtant possible d'ébaucher une réponse en mobilisant notre méthode des répondants.

Nous procéderons en deux étapes. Tout d'abord, nous proposerons un répondant objectif de l'ignorance de l'action. Puis nous verrons comment il permet de définir objectivement des possibles.

6 L'espace de l'ignorance

6.1 L'action ignorante

On a déjà remarqué que pour qu'il y ait expérience de la réception d'un donné, il fallait que l'action se déroule dans l'ignorance de ce qu'elle devait servir à constituer. Nous sommes maintenant un peu mieux armés pour tenter de préciser cette idée. Reprenons notre expérience directrice, d'abord en première personne.

Il est clair que j'agis d'abord indépendamment de la position de la cible puisque je l'ignore. J'explore l'espace sans savoir *où* et *quand* je rencontrerai la cible, ni même si je rencontrerai une cible. Mon engagement initial est immédiatement pensé comme spatial et temporel, même si c'est sous une forme encore très indéfinie. D'ailleurs, cette avancée *dans* l'inconnu n'est pas dénuée d'émotion. Je suis dans le noir, je pourrais fort bien heurter un obstacle qui me blesserait. Mais dès que je rencontre la cible, les choses vont mieux, et je commence à déterminer sa position en même temps que les dimensions de mes déplacements. Alors que je vérifie la réversibilité de mes actions, je les constitue comme des déplacements relatifs à la cible. Je ne ressens pas la loi de contingence sensori-motrice que je découvre comme un asservissement. Non seulement, je vais à la rencontre de la cible mais je sais m'en éloigner. Ce sentiment de pouvoir agir librement par rapport à la cible est la confirmation progressive de son existence objective en même temps que de son extériorité. D'ailleurs, non seulement j'ai le pouvoir d'agir indépendamment de la cible, mais je le dois.

Si je m'attache trop servilement à la cible, sa perception risque de disparaître parce que la sensation restant constante, ou variant trop régulièrement, perd son sens spatial de contacts avec une extériorité (ma conscience revient sur la sensation elle-même). Il faut toujours des différences d'actions et de sensations, des différences qui confirment la stabilité de la loi d'action. Mais, même si je perçois bien la position de la cible, il ne faut pas que je m'en sépare trop. Je ne suis à l'aise que quand je me sers de la cible pour contrôler mes actions qui servent à la percevoir.

Pourtant, exactement en même temps que je m'assure de la présence de la cible, j'ai le désir de me libérer, de vérifier ma puissance de contrôle et d'anticipation en augmentant mon champ d'action, en prenant le risque de m'éloigner un peu plus avant de revenir. J'approfondis mon discernement en vérifiant la robustesse de mon pouvoir de viser la cible. Et en même temps j'augmente ce pouvoir d'agir puisque, mieux je perçois la cible, mieux je sais ce que je fais.

Au contraire, en l'absence de la cible, au début de mon exploration, ou si je la perds, ce que j'ignore ce n'est pas seulement où est la cible, mais aussi où je suis et quels sont au juste mes mouvements. L'action dans l'ignorance de la position de l'objet est aussi une action ignorante d'elle-même. D'abord j'ignore ce que je fais, je ne le saurai qu'après, à travers ses conséquences sensorielles.¹¹¹ C'est ce que nous appelons ici *l'action ignorante*.

Mais l'action n'est pas ignorante qu'au début de l'exploration. Au moment même où je perçois la cible, je dois pouvoir m'en éloigner avant d'y revenir. Pour vérifier la réversibilité de mes actions, il faut que je puisse agir dans l'ignorance de cette position que je constitue. Pour maintenir le processus perceptif, il faut que l'action puisse rester ignorante, suffisamment indéterminée par l'objet perçu.

¹¹¹ Même pour la proprioception, il y a l'écart du passage de la causalité par le corps, ce que nous avons modélisé plus haut comme un écart entre le point d'action et les champs récepteurs dédiés.

Mais si l'ignorance de l'action sert à la constitution de la perception, comment est constitué le savoir de cette ignorance ?

Je sais que je ne sais pas ce que je fais parce que je sais que mon action n'est pas contrainte par l'objet qui pourtant me sert à la connaître. Constituer le savoir de l'ignorance de mon action, revient à constituer une *séparation*, un *écart*, entre mes actions perceptives et les positions des objets, c'est-à-dire précisément à constituer un espace.

Si j'étais attaché à l'objet, si je ne pouvais agir indépendamment de lui, je ne pourrai plus le constituer comme objet, ni constituer d'écart entre lui et mon point d'action. Il ne pourrait plus me servir à savoir les mouvements que je fais. Je ne pourrais plus ni l'ignorer, ni le connaître. Je ne pourrai l'ignorer, parce que je ne pourrai plus agir indépendamment de lui, ni le connaître puisque pour être constitué l'objet doit se présenter comme une régularité des conséquences sensorielles d'actions indépendantes. L'objet attaché n'est plus à proprement parlé un objet. Il est transparent et, le cas échéant, pourra servir de médiation pour la perception d'autres objets. Nous y reviendrons.

Au contraire, si je constitue l'objet comme séparé, il est pour moi à la fois un lien régulier entre mes actions et mes sensations, et un repère qui me permet de comprendre mes actions comme des mouvements. Dans la mesure où je constitue un écart entre la position de mon point de vue en déplacement et la position de cet objet, je constitue la possibilité d'agir indépendamment de lui. Même si l'on pense à une modalité perceptive comme le toucher, il n'y a perception au contact de l'objet que si je constitue un écart qui me permet d'aller et venir librement à sa surface. Etre séparé de l'objet signifie à la fois, que je peux l'ignorer et que je peux le connaître : je peux l'ignorer parce que je le connais comme spatialement séparé et, je peux le connaître parce que je peux m'en séparer.

Ainsi, savoir l'ignorance de l'action, c'est savoir que l'action est séparée des objets, c'est-à-dire savoir que l'action est un mouvement dans l'espace. Chercher à rendre compte de la constitution du savoir de notre ignorance, est donc en même temps chercher à rendre compte de la constitution du savoir de l'espace.

On a tenté de faire en sorte que la constitution même de l'espace passe par la constitution de l'action comme mouvement, c'est-à-dire une action qui est ignorée tant qu'elle n'est pas constituée comme mouvement auprès des objets qu'elle constitue. Il est alors clair que ce qui est constitué avec l'espace c'est justement la connaissance de la finitude de l'action : le mouvement est fini en ce qu'il part toujours d'un point d'action situé dans l'espace que ces mouvements constituent. On ne peut sauter d'un lieu à un autre. Nous sommes immergés dans cet espace, et sa connaissance passe par son exploration. Il faut y aller pour le connaître. En effet, la constitution de l'espace par réversibilité des actions définit en même temps la méthode pour le connaître : aller et revenir. Nous entendons « aller en un lieu » au sens large de se rendre sensible aux différences en ce lieu. Mais « aller », c'est toujours aller dans l'inconnu si cette action précède la constitution des repères qui permettront de la savoir comme un mouvement spatialement déterminé. Je sais que j'ignore les changements qui pourront se produire. Cependant, je pourrais les connaître et les déterminer si je peux revenir et inverser le changement. D'abord, j'ignore si mon ignorance est absolue, nécessaire (il n'y aurait pas de cible, je n'aurai pas de sensibilité possible à sa présence) et donc ce serait un *inconnaisable* ; ou si mon ignorance est relative, contingente (je n'ai pas encore trouvé la cible) et donc ce ne serait qu'un *non encore connu*. J'ignore l'avenir, c'est-à-dire que j'agis dans le temps. En tant qu'il correspond à tout ce qui reste irréversible en dépit de ma recherche, le temps désigne la forme la plus radicale de l'ignorance, le fond absolu d'inconnu sur lequel se détachent toutes connaissances. Mais contrairement au temps, l'espace est un inconnu en droit toujours connaissable parce qu'il a une forme générale, la réversibilité qui donne une méthode pour lever localement cette

ignorance. Il « suffit » d'aller *et revenir*. Dans son célèbre discours de 1961 J.F. Kennedy lançait ainsi le programme d'exploration lunaire :

« I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth. »¹¹²

La dernière précision peut paraître étonnante : « et de le faire revenir sain et sauf sur la Terre. » Encore heureux ! Serait-on tenté de dire. Mais cette précision nous semble très significative. C'est bien seulement si l'on peut *revenir* qu'il y a détermination spatiale, prise réelle de l'objet.

L'espace et le temps sont les formes du savoir de notre ignorance : le temps comme *ignorance de l'aller*, une ignorance irréductible et irrépessible puisqu'il faut bien agir ; l'espace comme une *ignorance du retour*, une ignorance de possibles en droit connaissables.

Avant d'examiner la question de l'accès à ces possibles, voyons ce que l'on peut reprendre de ces considérations pour proposer une interprétation en troisième personne de l'ignorance dans les termes de l'objectivité.

6.2 Stratégies d'indifférences

Nous ne devons exiger de notre explication sur le plan de l'objectivité que d'assurer un bon répondant de la constitution subjective. Or, un bon répondant possible de l'ignorance est l'*indifférence* en tant que capacité de produire des actions semblables en dépit des différences négligées. En effet, d'une part, en première personne, l'ignorance est bien constituée dans l'objectivité comme une indifférence. D'autre part, toute modification technique de la capacité du sujet à faire des différences (en étant aveuglé, mis dans le flou ou au contraire doté d'instruments d'amplification) aura bien sûr immédiatement pour effet, en première personne, une modification de l'ignorance.

Du point de vue de l'objectivité, on peut sans difficulté admettre que le sujet puisse agir dans l'indifférence à de multiples variations du milieu, ne serait-ce que par la clôture de la dynamique de l'organisme¹¹³. Mais notre question est plutôt celle du savoir de cette indifférence de l'action. Sa construction par le sujet.

Nous avons vu plus haut comment nous proposons d'expliquer la construction du savoir de l'action comme détermination d'un déplacement relatif à l'objet. Pour l'indifférence, la description en première personne suggère qu'elle soit comprise comme la séparation spatiale entre le mouvement et l'objet. Savoir l'indifférence de l'action vis-à-vis de la position de l'objet, c'est savoir la séparation, savoir l'espace.

Mais pour reconnaître cette séparation, c'est-à-dire spatialiser l'objet, on ne doit pas se donner directement accès à cette extériorité qu'il s'agit de constituer. Donc, suivant la méthode que nous nous sommes donnée, nous n'en chercherons pas l'explication dans la connaissance de sensations ou d'actions déjà dotées d'une valeur spatiale (ce qui d'ailleurs remettrait en cause le sentiment d'immersion). La séparation de l'objet doit plutôt être expliquée, dans le couplage, par les *stratégies* perceptives qui lient les sensations aux actions.

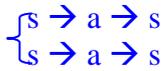
Rappelons qu'une stratégie, telle que nous l'avons définie, peut contenir une définition des critères de sa déception en termes de successions de sensations. Ce sont les successions de sensations qui ne devraient pas se produire si la dynamique qu'elle détermine

¹¹² Joint session of Congress, May 25, 1961.

¹¹³ Par exemple, en suivant Francisco Varela, la clôture de l'organisation auto-poïétique caractérise tout être vivant et définit des domaines de perturbations indifféremment à la diversité des causes extérieures qui pourront les produire. [Varela 1979]

est bien celle attendue. Une stratégie est stable si en fonctionnant elle ne rencontre pas de déception.

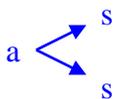
Nous dirons que le milieu est attaché, parfaitement saisi, s'il est possible de définir une stratégie complète stable. Une stratégie est complète si toute sensation différente détermine une action différente.



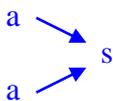
Comme on l'a vu pour la fonction proprioceptive la loi de contingence sensori-motrice est alors telle que toute action différente possible cause une sensation différente. Pour une stratégie complète, tout changement de sensation non déterminé par un changement d'action est nécessairement une déception. Dès lors, le pouvoir d'action (les conséquences des actions en termes de sensation) ne peut pas être changé par les actions qui se produisent. Il n'y a pas de situation où des actions différentes pourraient aboutir à une même position (même sensation et même pouvoir d'action). Il n'est pas besoin de mémoire pour connaître les actions effectuées et anticiper leurs conséquences sensorielles. Il n'y a pas d'épaisseur temporelle. Il n'y a pas non plus de réversibilité puisque la réversibilité, c'est que des actions différentes redonnent une même sensation (et un même pouvoir d'action). Il y a ni temps, ni espace, ni point de vue, ni objet. Nous disons donc « attaché » parce qu'il n'y a pas d'espace pour ce milieu, ou si l'on préfère, parce que le milieu ne change pas quand par ailleurs le sujet se déplace. Ce milieu est invisible, transparent (mais peut servir à percevoir). C'est ainsi qu'est l'outil quand il est saisi.

On peut toujours rechercher des stratégies qui vérifient de telles lois de contingence sensori-motrice systématiques. Les trouver, c'est s'attacher à un objet, le « saisir » parfaitement. Mais dès lors qu'une même action donne lieu à deux sensations différentes, la définition de la stratégie complète a échoué.

Si l'échec de la construction de stratégie stable est total, il reste seulement le temps comme pure réceptivité des sensations, sans détermination ou anticipation. L'indifférence est passive, ce n'est pas une indifférence de l'action.



Mais, si l'échec est seulement partiel, c'est qu'on a trouvé des stratégies stables qui réalisent des séquences d'actions donnant des cycles de sensations réguliers et que l'on peut donc anticiper les sensations à venir (au moins localement).



Pour être définies, de telles stratégies nécessitent une mémoire des sensations passées pour déterminer les actions à venir¹¹⁴. Et surtout, elles doivent déterminer de mêmes actions pour des successions de sensations différentes : elles définissent des différences de sensation qu'elles négligent en déterminant la même action. Ce sont des « stratégies d'indifférences ». C'est la caractéristique de toutes les stratégies que nous avons rencontrées jusque-là (voir annexe). Cette indifférence de la stratégie est la condition pour qu'un cycle d'actions et de sensations se forme, c'est-à-dire pour qu'il y ait une réversibilité. L'indifférence rend

¹¹⁴ $s_{t-n}, s_{t-(n-1)}, \dots, s_t \rightarrow a$ Comme nous l'avons vu cette mémoire est celle de la rétention primaire pouvant d'ailleurs être rendue équivalente à une spatialité du corps propre.

possible la construction de la réversibilité puisque, sans indifférence on ne retrouverait jamais une stabilité de la dynamique, un retour au « même » d'une position ou d'une action. Et, inversement, la réversibilité implique l'indifférence parce qu'elle signifie une indépendance au passé : dès lors que l'on revient au même point de la dynamique, les chemins passés pour l'atteindre sont oubliés.

On peut alors définir de mêmes déplacements relativement à cette position et reconnaître leur réversibilité, et donc leur indépendance relativement à une cible posée comme séparée. Puis, par composition de ces déplacements de mêmes mouvements peuvent être réalisés en différentes positions. C'est bien par son indifférence (stratégies d'indifférence) qu'il y a des positions d'objets et un espace pour le sujet.

Revenons maintenant à la question de la perception de l'espace lui même.

6.3 *La perception des possibles*

Nous avons remarqué qu'on ne pouvait savoir que l'on ignore sans être porté à définir aussitôt un champ pour des possibles connaissables. Or, de façon générale, par définition, une diversité de possibles se déploie dans la simultanéité, c'est-à-dire déjà dans un espace. Dans le cas de la question de l'action ignorante, les possibles se définissent comme les mouvements qui pourront être connus. Le mouvement actuel se dégage parmi d'autres qui auraient été possibles. De proche en proche, ce champ de possibles devrait ouvrir tout l'espace de l'expérience. On agit *dans* l'ignorance, parmi le fond de possibles des autres actions et autres positions que l'on aurait pu faire et atteindre.

Voyons maintenant ce qu'il en est sur le plan de l'objectivité, bien qu'il y ait une limitation intrinsèque à l'approche en troisième personne. L'ignorance y est toujours définie relativement à un ensemble de possibles déjà connus, et non pas productrice de ces possibles. Toute la difficulté est de montrer comment, pour le sujet, les possibles sont construits à partir de son ignorance et non le contraire. Il faut donc comprendre comment une stratégie d'indifférence permet de construire un champ de possibles qui ne lui préexiste pas.

On a vu comment, par une stratégie d'indifférence, le sujet construit des états perceptifs, des relations stabilisées avec le milieu qui correspondent à la position de l'objet. Et comment c'est par cet état perceptif qu'il construit le savoir de ses actions comme des déplacements relatifs à l'objet mais séparés de lui. Par là on peut dire que le sujet construit son ignorance de ses déplacements. Il ignore ce qu'il fait et il sait qu'il l'ignore.

D'une part, il ignore ses déplacements dans la mesure où il est séparé de la cible. En effet, plus il en est éloigné, moins il sait précisément ce que sont ses déplacements. Rappelons que le sujet n'accède à ses propres actions comme mouvements dans l'espace que via les retours sensoriels extéroceptifs qui en sont les conséquences. Dans la situation où une stratégie perceptive assure une stabilité de la dynamique du couplage, sachant cette stratégie, les sensations qui viennent de se produire permettent, dans une certaine mesure, de connaître les mouvements effectués. Mais plus le cycle de couplage sera long (plus le sujet sera éloigné de la cible), plus la stratégie qui le détermine devra mobiliser une mémoire profonde des sensations précédentes et, par conséquent, moins les retours sensoriels seront informatifs sur les actions effectuées (voir un exemple dans l'annexe 4).

D'autre part, le sujet sait qu'il ignore dans la mesure où il a localisé l'objet séparé de ses mouvements. Et d'une certaine façon, il sait aussi *ce* qu'il ignore puisque la stratégie qu'il suit définit les positions et déplacements relatifs *possibles* que peut avoir son point de vue sur l'objet. Cet ensemble de positions et déplacements possibles correspond à l'ensemble des successions de sensations possibles pour cette stratégie quand elle détermine bien un attracteur stable de la dynamique du couplage. Si l'on admet que le sujet accède à la co-

présence simultanée de ces sensations possibles, on comprend que le savoir de la position de l'objet est aussi en même temps le savoir de l'ensemble de déplacements et positions possibles du point de vue autour de cette position. La forme perçue définit en même temps l'ensemble des actions possibles qui servent à sa perception. C'est le fond de possibles sur lequel se détache l'objet.

Nous avons admis un accès par le sujet au possible de ses sensations. Cela est peut-être trop demander pour une explication en troisième personne qui doit se maintenir dans les strictes limites de l'objectivité. On peut prendre les choses autrement et seulement faire remarquer que pour une stratégie stable donnée, certains changements d'action qui ne seraient pas déterminés par cette stratégie (des actions libres ou les effets d'une autre causalité) ne seraient pourtant pas discernables (ne perturberaient pas la dynamique). En effet, puisque la stratégie est une stratégie d'indifférence (plusieurs successions de sensations différentes déterminent une même action), des actions intempestives ne déstabiliseront pas forcément le cycle de la dynamique de couplage. Les stratégies définissent un niveau de causalité qui laisse libre de multiples variations sous-jacentes *possibles*. Au contraire, si l'on avait une stratégie « complète » correspondant à un milieu attaché, tout changement d'action serait discernable en termes de changement de sensation.

Cependant, nous n'avons là décrit qu'un « halo » d'espace de possibles autour des formes perçues. Si l'on considère des mouvements en composant ces déplacements élémentaires, on pourra peut-être définir un espace infini en un sens faible : un espace dont on n'atteint jamais la fin (un espace en fait seulement « indéfini »). Il nous semble qu'il serait possible de comprendre la constitution d'un espace comme totalité *infinie actuelle* en approfondissant encore la question de l'ignorance. En effet, le savoir de l'infini actuel peut être conçu à partir du savoir actuel d'un inconnaissable absolu. Nous explorerons cette piste dans un travail ultérieur.

6.4 Conclusion

Si l'espace constitué par l'action ignorante permet en même temps de définir et reconnaître cette ignorance de l'action comme une séparation de l'objet et du point de vue en mouvement, avoir l'expérience de l'espace, c'est savoir que ce que je fais n'est pas tout à fait déterminé : l'espace est le signe de ma liberté et de mon ignorance. Il n'y a d'espace que par l'ignorance : je ne reconnais un même que par des différences que j'ignore. Quand je perçois, je suis dans une ignorance particulière, mon incapacité à faire la différence entre les différents mouvements qui pour moi sont les mêmes (sauf par leur contexte temporel).

Sans action dans l'ignorance, pas d'espace : est-ce à dire alors que toutes choses, par exemple la distance qui nous sépare, ou la Lune dans le ciel, ne sont que dans l'espace de notre ignorance ? Oui, si l'on comprend que l'ignorance dont nous avons traité est bien concrète, c'est-à-dire toujours en même temps une impuissance pratique. Une interprétation naïvement objectiviste de cette dernière affirmation pourrait être de remarquer simplement que notre impuissance, comme notre ignorance, sont les *conséquences* du fait que nous soyons dans un espace réel déjà là. Nous répondrons, d'abord en première personne, que l'espace s'explique plutôt par mon ignorance puisqu'il n'y aurait pas d'espace pour l'omniscience qui serait d'ailleurs aussitôt aussi une omnipotence (une toute-puissance) ; et à la troisième personne, qu'il n'y a d'espace pour le sujet que parce qu'il ne peut jamais réussir à saisir complètement l'objet, qu'il lui échappe toujours encore.

La conception de l'espace qui se dégage de nos expériences et considérations phénoménologiques est donc bien différente, à la fois

- de l'idée d'un espace des représentations interne au sujet connaissant, distinct d'un supposé « espace externe » qu'il chercherait à refléter,
- mais aussi de l'idée d'un espace comme forme *a priori* de l'intuition sensible donnée toute entière avec le sujet transcendantal, et déterminant la synthèse du divers indépendamment de tout engagement corporel.

On aimerait plutôt dire que l'espace est le produit d'une synthèse « transductive », c'est-à-dire d'une relation qui constitue les termes qu'elle relie (les positions respectives de l'observateur et de l'objet), synthèse réalisée par les actions d'un corps vivant. L'espace dans lequel les perceptions sont données, est en même temps l'espace *en* lequel le sujet se déplace. Le sujet *habite* le monde qu'il perçoit. Ainsi l'espace bien qu'activement construit, exprime notre finitude. Il dépasse le sujet qui l'habite et est toujours potentiellement porteur de risques réels puisque les changements qui s'y déroulent peuvent affecter le lieu du sujet qui le perçoit. On comprend donc que l'action n'est pas un déplacement neutre qui se produirait à l'extérieur du sujet connaissant. C'est toujours d'abord un déplacement du pouvoir d'action et de sensation qui engage concrètement le sujet. On peut dire à la fois que l'espace est constitué par les actions du sujet et qu'il dépasse ce sujet. A chaque instant mon point de vue est partiel, et nécessite une action (parmi d'autres possibles), un déplacement vers un autre point de vue, enrichissant une perception qui cependant restera toujours partielle. Les actions se déroulent dans le temps qui est la forme ultime de notre finitude. En dégageant des domaines de réversibilité, elles constituent un espace, mais n'abolissent pas le temps de son exploration. La réversibilité (connaissance) se réalise sur le fond d'une irréversibilité plus essentielle, celle de la succession des actions et sensations dans le temps vécu, et celle du changement toujours possible des formes perçues.

Avant de conclure, pour montrer comment ces analyses peuvent apporter un cadre conceptuel utile pour comprendre les technologies cognitives, nous allons présenter quelques réflexions plus pratiques dans le prochain chapitre.

7 Technologies Cognitives et expérience humaine

L'objet général de ce chapitre est de mobiliser les analyses précédentes pour proposer quelques analyses sur la nature et le fonctionnement des technologies cognitives qui forment l'environnement du travailleur intellectuel¹¹⁵. Ce qui est présenté ici est une recherche toujours en cours, une tentative d'intelligibilité qui demandera à être travaillée plus avant via diverses recherches empiriques. Par nos travaux, nous avons eu le sentiment de préparer une forme d'ergonomie cognitive théorique qui devrait donner les lois des interfaces et environnements suscités par chaque activité définie.

7.1 Métaphysique de l'information

Le développement contemporain des technologies de l'information a été inauguré, en même temps que les sciences cognitives, sur la base d'une articulation nouvelle entre l'esprit et le corps, la forme et la matière, sur le modèle général de la relation entre l'information (symboles formels ou états computationnels) et son support (états physiques du cerveau ou de l'ordinateur). Mais il faut distinguer entre les théories scientifiques ou savoirs techniques qui permettent le développement accéléré d'outils opérationnels, et les situations concrètes de leur usage ou de leur appropriation par des opérateurs humains.

En effet, la prétention à libérer les sciences de l'esprit des contraintes biologiques et matérielles a pu, en même temps, être associée à une nouvelle métaphysique, de plus en plus partagée dans la société actuelle. Pour cette métaphysique tout ce qui est, ne serait que de l'information. Cette métaphysique trouve son répondant et son support dans deux idéalités technologiques directrices, toujours jugées possibles même si jamais véritablement réalisées : la Réalité Virtuelle pour laquelle la nature n'est que traitement de l'information et l'Intelligence Artificielle pour laquelle la pensée n'est que traitement de l'information. Dans ce cadre, la question de l'usage des technologies de l'information ne serait à décider qu'en fonction de leur efficacité calculatoire et de la pertinence de modélisations qui se *substituent* à des opérations précédemment réalisées par l'homme. Mais alors, on ne comprendrait plus pourquoi ces technologies sont autant porteuses de nouveaux pouvoirs que de problèmes inattendus ; pourquoi, en même temps qu'elle offre de nouvelles possibilités d'agir et de penser, l'innovation technique impose des processus d'acculturation et déclenche diverses formes de résistances. Par exemple, dans les bureaux, les travailleurs intellectuels, en même temps qu'ils découvrent la puissance des outils informatiques et des réseaux, se plaignent d'être saturés d'information et incapables d'une production réelle (on parle d'un « syndrome de saturation cognitive »). Si l'on admet la conception commune de l'homme et de son travail comme des « systèmes de traitement de l'information », on ne peut que constater réduction, fragmentation du sens, et désorientation. Bien loin de se *substituer* à notre activité cognitive, ces technologies semblent plutôt à penser comme des dispositifs de *suppléances* (au sens de supplément ou de « *supplémentation* ») qui constituent de nouvelles façons humaines de percevoir, de nous émouvoir, de raisonner et d'agir.

¹¹⁵ Ces réflexions ont été inspirées à la suite de nombreuses discussions développées au cours des séminaires interdisciplinaire Phiteco-Costech. Elles doivent beaucoup à divers membres de l'UTC (B.Bachimont, O.Gapenne, F.Ghitalla, V.Havelange, F.Sebbah, J.Stewart, B.Stiegler, J.Theureau,...) ainsi qu'à de nombreux participants extérieurs ayant assidûment fréquenté ce séminaire, comme C.Brassac, S.Lahlou, Y.-M.Visetti, et bien d'autres que je remercie ici.

Cette confusion entre substitution et suppléance tient peut-être à ce que, comme toute métaphysique, la métaphysique de l'information se caractérise par un oubli de la finitude (finitude des connaissances humaines, finitude du corps de chaque être humain, finitude de sa mémoire et de toutes ses prothèses), et ne comprend les contraintes de la matière que comme des obstacles momentanés à dépasser.

Dès lors que l'on admet que des dispositifs techniques changent notre façon de penser, de connaître autant que celle de percevoir, d'agir et d'interagir, il faut abandonner l'idée naïve que la compréhension d'une cognition humaine « naturelle » devrait servir de modèle pour le développement technique ou les choix organisationnels. Une nouvelle technologie ne se substitue jamais à une activité cognitive « naturelle ». Au contraire, ce qu'il faut connaître, c'est comment l'adoption d'une technique transforme nos facultés cognitives ou en constitue de nouvelles.

Autrement dit, il faut prendre de front la question de la technique, son rôle constitutif dans le développement des connaissances et de la pensée humaine, et non pas considérer la technique comme seulement le champ d'une science appliquée. Reconnaître un rôle constitutif à la technique dans la perception et la production de nouvelles connaissances, c'est aussi reconnaître souvent son avance sur les sciences qu'elle rend possible (l'écriture précède la linguistique, la lunette astronomique précède la dioptrique,...).

C'est certainement pour n'avoir pas thématiqué cette constitutivité technique de la cognition humaine que les sciences cognitives actuelles rencontrent des difficultés à définir leurs interventions pratiques dans la société, et que les secteurs d'emploi pour les ingénieurs ou conseiller en technologies cognitives sont encore peu explicites. Les corps de savoir actuels n'ont pas d'opérationnalité directe et les pratiques observées résultent plus d'intuitions pragmatiques et de savoirs empiriques cumulés que de la mobilisation de concepts et méthodes pouvant être définis, critiqués et progressivement enrichis.

Alors que la métaphore technique, à travers l'exemple directeur de l'ordinateur, joue un rôle central dans la formation du paradigme classique des sciences cognitives (computo-représentationnaliste), sa capacité à transformer la cognition elle-même n'est nulle part étudiée. La technique est le « point aveugle » des sciences cognitives : ce qui en est proprement au centre. Ce qui sert à voir, est justement ce qui n'est pas vu. Il suffit pourtant de revenir aux sources et de lire par exemple les articles de Turing pour voir que c'est grâce à des techniques tout à fait concrètes d'écriture et de lecture de symboles pratiquées par les mathématiciens et logiciens qu'il conçoit sa fameuse « machine abstraite ».¹¹⁶

Le développement d'une pertinence sociale et industrielle des sciences cognitives passe donc par un renversement épistémologique consistant à faire de la technique un objet de recherche fondamentale, et non pas simplement un produit maîtrisé de connaissances anciennes. Et les sciences cognitives paraissent particulièrement bien placées pour assumer cette tâche nouvelle de développer une science de la constitution technique, science qui mobiliserait et donnerait sens à de nombreux travaux déjà existants aussi bien en Neurosciences qu'en Intelligence Artificielle, en Psychologie comme en Linguistique.

Dire que des dispositifs techniques sont « constitutifs » de l'activité cognitive, n'est pas dire qu'ils sont « déterminants ». Ils fonctionnent essentiellement comme conditions de possibilité et non comme causalité déterminante. Par exemple, les techniques comme celles de Suppléance perceptive ou de Téléprésence rendent possibles des expériences vécues nouvelles. Elles ouvrent de nouveaux espaces, mais bien sûr n'en déterminent pas le contenu particulier. Depuis l'anthropologie qui pose la question du rôle des outils dans l'évolution de l'homme moderne et la formation de son cortex, jusqu'à l'ergonomie cognitive qui doit

¹¹⁶ [Turing 1950]

comprendre les systèmes d'information non pas comme des machines qui pensent mais comme des outils qui donnent à penser¹¹⁷, en prenant la technique comme constitutive de la cognition humaine on fait surgir de nouveaux objets pour la recherche comme pour l'intervention pratique.

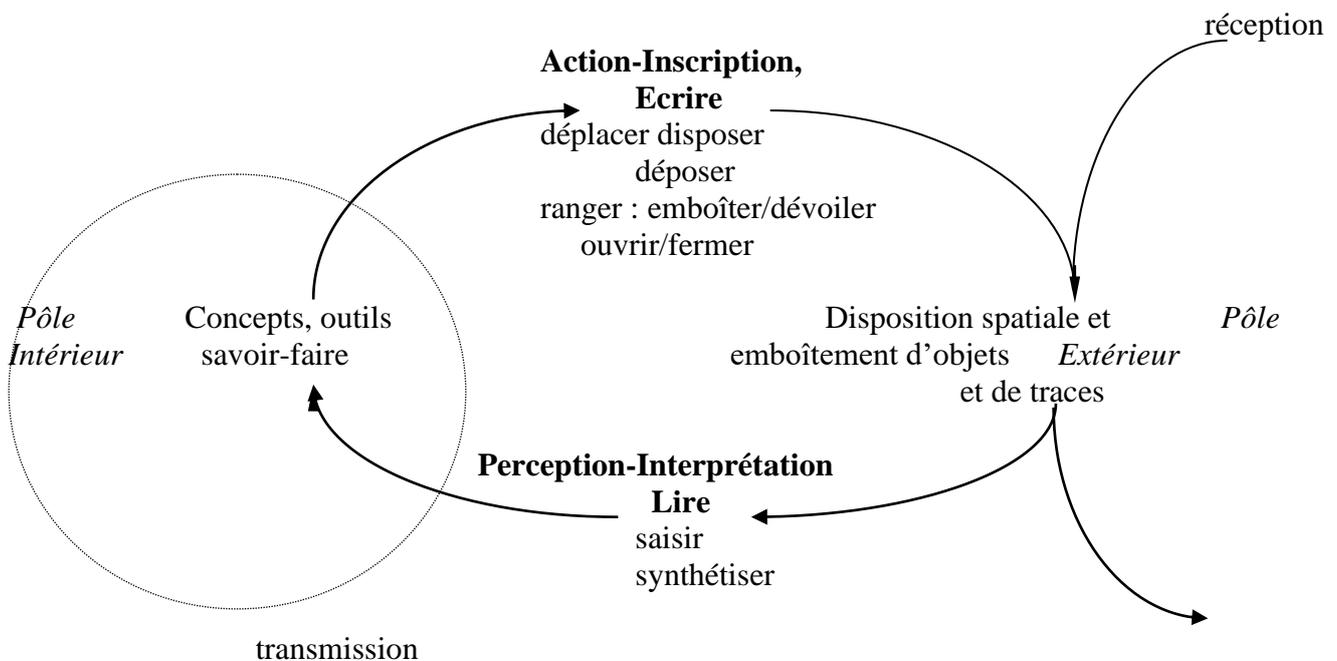
7.2 Constitutivité technique de l'expérience humaine

Les technologies cognitives, c'est-à-dire les supports matériels et organisés de la cognition humaine [Stiegler 1996], ne se résument donc pas aux techniques de mémorisation, de transport, et de traitement d'inscriptions matérielles ou informationnelles.

Si la technique doit être comprise comme constitutive de capacités cognitives et perceptives nouvelles, son étude ne peut être dissociée de celle des fonctions qu'elle modifie ou rend possibles. C'est la version forte d'un programme de recherche en technologie cognitive.

Par « technologie cognitive » nous entendons non pas des systèmes se substituant à certaines activités de connaissance, mais des dispositifs qui modifient nos capacités de raisonnement, et de synthèse. Comment l'organisation spatiale et matérielle des objets et signes autour de nous peut-elle participer à (aider, guider, augmenter ou constituer) notre activité cognitive ? Comment concevoir que des objets – dossiers, tiroirs, piles, schémas, feuilles, écrans, clavier – disposés dans l'espace du bureau puissent nous rendre accessibles de nouvelles connaissances ?

Nous considérons que l'activité cognitive du travail de bureau est une activité perceptive, manuelle et matérielle. Elle se caractérise comme un parcours interprétatif selon un cycle de lecture et d'écriture que l'on peut tenter de définir ainsi :



Ecrire au sens large : action de modifier l'environnement :

¹¹⁷ [Bachimont 1996, 1999]

Disposer dans l'espace des objets et traces (signes)

- Ecrire au sens restreint : texte, annotations, titre, ...
- Arranger des piles, déplacer des dossiers, disposer des textes.
- Déplacer son propre corps, c'est-à-dire à la fois changer son point de vue sur le travail et modifier l'environnement des autres personnes présentes.
- Déclencher ou programmer des séquences sonores ou visuelles

Emboîter ou ouvrir des objets et traces (signes)

- Mettre un texte dans un dossier, ranger un dossier dans un autre
- Remplir un tiroir
- Faire une pile
- Jeter, effacer

Lire au sens large : perception en tant qu'interprétation de l'environnement :

Perception spatiale d'un divers d'objets et de traces (de signes) : reconnaissance de formes.

- Synthèse spatiale (forme globale) qui constitue un sens et débouche sur une action (écriture ou modification de l'activité perceptive).
- Synthèse cognitive : com-prendre c'est prendre ensemble, synthétiser un divers dans un concept par un schème de saisie temporelle.

Enchaînement temporel de perceptions

- Synthèse temporelle dans un ordre de lecture (écriture linéaire, chaîne de traitement des dossiers, ordre de dépilement) qui constitue des anticipations et débouche sur une action (écriture ou déplacement dans la lecture).

Intérieur et extérieur

Ils sont à entendre comme des pôles et dans un sens dynamique. La limite entre intérieur et extérieur est sans cesse renégociée dans la saisie ou le dépôt d'outil, et l'on peut même admettre des inscriptions dans le corps, posées comme en extériorité relativement à la partie agissante du flux intentionnel.

Il semble que toute activité de travail intellectuel s'inscrive dans des situations où la perception d'une forme, d'un signe conduit à de nouvelles actions de lecture (déplacement spatial de la perception) ou d'écriture (inscription, modification de la perception). Notre question ici est celle du rôle de l'espace d'inscription dans ce processus : comment l'espace d'inscription à un moment donné aide à l'orientation. Comment l'activité cognitive est-elle marquée par le type de support matériel des actions d'écriture. Ici, on voudrait aussi comparer, du point de vue de l'espace, l'inscription sur un support numérique et l'inscription sur des supports directement matériels. Nous examinerons successivement trois types de situations et de dispositifs techniques.

7.3. *L'espace d'inscription bidimensionnel et le problème de la désorientation*

7.4. *L'espace d'inscription tridimensionnel et le problème de l'encombrement*

7.5. *Le rangement multidimensionnel et le problème de la désarticulation*

7.3 L'espace d'inscription bidimensionnel et le problème de la désorientation

On sait l'importance de la technique de l'écriture dans l'histoire de la pensée. Voir les travaux de [Leroi-Gourhan 1964, Derrida 1968, Stiegler 1994, 1996, Auroux 1994, Bachimont 1999]. Je ne rappellerai ici que les travaux de Jack Goody [Goody 1979] sur les techniques graphiques de la liste et du tableau. Il y montre que ce ne sont pas simplement des modes de représentation des connaissances, mais que par leurs structures, les inscriptions graphiques participent à la production de nouveaux contenus.

« ... je m'efforce de définir plus exactement par quelles voies l'utilisation de l'écriture semble avoir influencé les structures cognitives. » [Goody 1979 : 58]

Ces nouvelles catégories conceptuelles rendues possibles par la technique d'écriture définissent ce qu'on appelle la « raison graphique ». Par exemple, dessiner un tableau nous force à remplir les cases vides qu'il définit.

	?

Mais d'où vient cette nécessité ? Si l'existence d'une case vide résultait simplement d'une structure de l'espace indépendante, pourquoi devrait-elle s'imposer à la pensée comme un manque à remplir ? Si l'on distingue d'un côté l'entendement, domaine des concepts où s'effectuent les raisonnements et la détermination des objets, et d'un autre côté l'intuition sensible, domaine de la perception des phénomènes et événements où s'effectue leur détermination spatiale, il s'agit ici de comprendre comment des contraintes perceptives (esthétiques) peuvent porter des contraintes cognitives. Notre piste est de reconnaître que les formes et relations spatiales sont produites par une activité synthétique commune avec celle qui réalise la détermination conceptuelle des objets.

Une inscription, dans sa plus grande généralité, est une modification de la situation perceptive. Elle résulte d'une action qui modifie non seulement la sensation, mais aussi la façon dont les actions suivantes détermineront les sensations. Nous ne nous intéresserons ici qu'à des inscriptions externes, c'est-à-dire les inscriptions dans l'environnement, sur un support spatial par rapport auquel le point de vue de la perception se déplace, et qui persiste en dehors de sa perception¹¹⁸.

Définissons un vocabulaire qui nous sera utile :

Le « *point d'action* » est le lieu à partir duquel sont réalisées les actions suivantes (qui généralement produisent un déplacement de ce point). Quand il s'agit d'action de déplacement des champs récepteurs sensoriels (yeux, mains, oreilles), le point d'action est un « *point de vue* ». Quand, il s'agit du déplacement d'un dispositif de marquage du milieu, le point d'action est un « *point d'inscription* ». Par la spatialité du corps propre il est possible

¹¹⁸ On peut aussi considérer des inscriptions internes, dans le corps, c'est-à-dire des inscriptions qui se déplacent avec le point de vue de la synthèse perceptive. Elles correspondent, par exemple, à la mémoire de perceptions antérieures ou à l'apprentissage de formes.

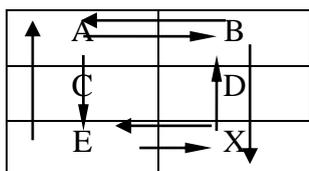
de mettre en oeuvre simultanément différents points d'action (même si dans le flux de la conscience, il faudra à chaque instant adopter un point de vue unique).

7.3.1 Conséquences cognitives

Pour rendre compte des principales caractéristiques de la raison graphique, il suffit de remarquer l'immense utilité pour la pensée des inscriptions sur des surfaces bidimensionnelles. On a vu que dans la constitution d'un espace bidimensionnel, le point de vue de la synthèse perceptive se pensait *devant* l'espace perçu (pas de déplacement du point de vue dans cet espace). Les inscriptions dans un espace bidimensionnel - écriture, dessin, schéma - se réalisent par le déplacement d'un point d'action (en général la pointe du stylo ou le curseur) dans l'espace perçu. Mais le point d'inscription est distinct du point de vue, et ces inscriptions ne provoquent aucun empêchement pour les déplacements suivants. Il n'y a aucune obstruction aux actions de perception ou d'inscription (contrairement au cas des inscriptions tridimensionnelles que nous allons examiner dans le chapitre suivant). Les inscriptions, mises à distance, ne bloquent pas les actions du travail intellectuel (lecture, synthèse, re-disposition, et nouvelles inscriptions).

La seule limite à cette activité d'inscription est l'opacité des surfaces inscrites qui peuvent saturer le support, rendant de nouvelles inscriptions imperceptibles. Si la perception se réalise par la découverte d'invariants dans la relation entre actions (mouvements des capteurs) et sensations (changements d'activité de ces capteurs), l'*opacité* d'une surface correspond à des actions perceptives sans effet sur les sensations, des mouvements des champs récepteurs sans changements de sensation. L'opacité d'une forme empêche la perception d'autres différences possibles dans cette région de l'espace, mais n'empêche pas l'action en tant que mouvement du point de vue ou du point d'inscription (contrairement à l'*obstruction*) quoique ces actions doivent être constituées via une proprioception spécifique.

Dès lors, la co-présence des signes (réversibilité de leurs perceptions successives) rend possible la comparaison (critique) et la synthèse (synoptique) que ce soit pour des images ou des textes. Dans le cas du tableau les contraintes cognitives sont l'expression directe des contraintes constitutives de la réversibilité spatiale, c'est-à-dire la possibilité d'aller et de revenir dans le groupe de déplacements du point d'action :



La case manquante manque spatialement *et* cognitivement parce qu'elle signifie une absence de réversibilité dans ma lecture (comme activité interprétative, à la fois perceptive et conceptuelle). Je dois pouvoir aller de E à D en passant aussi bien par C ou par X. Au contraire, si la case est accessible et remplie, une synthèse spatiale et cognitive devient possible. On pourra par exemple produire des déterminations sur les relations entre les deux variables correspondant aux deux dimensions du tableau. L'organisation spatiale du tableau est bien ce qui nous sert à définir une ignorance, poser une question suffisamment déterminée.

L'écriture, en spatialisant la pensée, la force à satisfaire aux contraintes de la constitution de cet espace. Mais cela n'est compréhensible et acceptable que parce que, suivant en cela Kant, on voit que les catégories qui servent à la synthèse intellectuelle, c'est-à-dire les jugements par lesquels l'entendement lie différents concepts, sont celles-là mêmes

qui servent aux synthèses liant diverses impressions sensibles pour la constitution d'objets dans la perception. Dans les deux cas, cette synthèse n'est pas une réception passive de sensations ou de faits, mais le résultat d'une activité.

Comme on le voit avec nos dispositifs de suppléance perceptive, des dispositifs techniques peuvent transformer le corps propre, rendant possible une activité perceptive nouvelle. De même, l'organisation de la pensée (du cognitif) et l'organisation de la perception (de l'esthétique) trouvent leurs sources dans une activité commune de détermination des phénomènes, activité qui peut être modifiée par les outils saisis comme par les traces laissées dans le milieu.

7.3.2 Inscription numérique

Les inscriptions numériques ne sont accessibles que via le calcul d'une projection matérielle sur un écran ou des feuilles de papier (sauf les complications de la réalité virtuelle que nous examinerons plus loin)¹¹⁹. Les actions de l'utilisateur sont traduites sous forme numérique, et par-là interviennent dans le traitement des données. Ainsi, la projection matérielle de l'information numérique sert aux interactions avec l'utilisateur.

Tout ce que l'on vient de dire des inscriptions bidimensionnelles est simulable numériquement¹²⁰. Seulement, dans l'inscription numérique, il n'y a aucune contrainte proprement spatiale. Les éléments peuvent être liés les uns aux autres de façon quelconque et multiple suivant n'importe quel nombre de dimensions¹²¹. On peut ainsi créer les liens de parcours multidimensionnels (hypertexte ou hypermédia). Or, l'orientation se réalise via la localisation des objets (repères) et du point de vue sur ces objets. *L'orientation nécessite qu'une synthèse spatiale soit possible*. Mais si, dans le jeu de ses interactions avec le programme, l'utilisateur ne peut réaliser une synthèse spatiale (de une deux ou trois dimensions), la désorientation est inévitable. Fragmentation du sens et fragmentation de l'espace vont ensemble dans la perte d'une continuité spatio-temporelle des actions et perceptions¹²².

¹¹⁹ L'accès aux informations numériques passe lui-même par un calcul qui va commander (grâce à son inscription matérielle dans la machine) une projection spatiale, en général l'écran d'ordinateur, ou un texte papier produit par une imprimante. C'est la matérialisation de formes calculées dans l'espace vécu de la perception de l'utilisateur. L'accès au monde numérique n'est jamais numérique. C'est une idéologie spéciale que de penser nos affections sensibles ou nos mouvements corporels comme identifiables à de l'information. Notre pouvoir d'action corporel, avec ses organes est en amont de l'espace qu'il constitue et des systèmes de discrétisation qu'il construit.

¹²⁰ L'inscription est numérique (même si ses accès ne le sont pas). Elle possède donc toutes les propriétés des programmes, en particulier l'universalité (de réalisation des fonctions calculables). Un tel espace numérique possède des avantages bien connus :

- Mémorisation exacte (reproduction immédiate et infinie)
- Manipulation infinie (tri, rangement,...) et multimédia
- Transmission instantanée
- Simulation dynamique

¹²¹ Il y a une forme de spatialité des inscriptions numériques au sens de leur co-présence dans la mémoire de la machine, l'accès est pratiquement identique à chacune d'entre elles, par exemple les objets temporels comme les films, et enregistrement audio. Toutes les relations sont possibles et réversibles entre les mémoires.

¹²² [Ghitalla 2001]

7.4 *L'espace d'inscription tridimensionnel et le problème de l'encombrement*

Jusqu'ici, la seule matérialité considérée pour les technologies cognitives correspondait à leur spatialité (tableaux et inscriptions), et leur persistance en dehors de notre perception (mémoire externe des inscriptions sous forme de modèle réappropriables). Mais, il est une caractéristique tout aussi importante de la matière : la capacité des choses matérielles à s'opposer à l'action : faire obstruction, bloquer, empêcher les gestes. Ceci ne se révèle habituellement que dans le cas des inscriptions tridimensionnelles.

Dans la perception tridimensionnelle, pour chaque point de vue, l'objet perçu est en même temps un obstacle à la perception. C'est l'*opacité* et l'*épaisseur* des objets. Aucun point de vue n'est englobant, totalisant. Au contraire, *la notion même de point de vue marque la finitude constitutive de la perception spatiale* (pour un être omniscient il n'y aurait pas de point de vue particulier, et donc pas d'espace au sens de ce qui englobe). Chaque position d'un point de vue se définit par l'absence des perceptions qui seraient potentiellement accessibles à partir d'autres points de vue. L'opacité et l'épaisseur des objets tridimensionnels signifient qu'ils sont à chaque instant constitués comme des obstacles à l'activité perceptive.

De plus, la spatialité originaire du corps propre signifie non pas que le corps propre soit dès le départ posé comme un objet déjà constitué occupant un volume dans un espace préexistant, mais plutôt que le corps propre est un ensemble de pouvoirs d'action articulés saisissant *simultanément* un divers de sensations. C'est à travers cette spatialité originaire qu'il interagit avec le monde et constitue un espace pour lui. L'extension spatiale de l'image du corps (le corps donné dans la perception) se constitue secondairement par la coordination des points d'action correspondants aux divers segments et articulations du corps propre.

La spatialité du corps propre explique en même temps que le sujet risque toujours son existence dans l'espace qu'il constitue. S'il n'était qu'un point dans cet espace (zéro dimension), rien ne pourrait l'affecter, ... et il ne pourrait rien faire.

Une *obstruction* (un obstacle) correspond à un empêchement de déplacement du point d'action (des commandes d'action ne produisent pas de mouvement) : appuyer plus ou moins fort sur la table, serrer un stylo. On a défini l'*opacité* de la matière comme l'absence de changement de sensation pour des actions perceptives (changements de point de vue). L'*épaisseur* de la matière correspond à son pouvoir d'empêcher certaines actions, de faire obstruction à des déplacements du point de vue vers son intérieur (obstacle matériel).¹²³ L'obstruction est plus à penser comme une modification du corps propre, un changement de son pouvoir d'agir (qui peut être obstacle mais aussi soutien), et non comme une opacité perçue.

Cet aspect essentiel de la matérialité des objets dans l'espace vécu se comprend par l'irréductible spatialité du corps propre. En effet, sans un effecteur qui me permette d'avancer, de pénétrer un milieu, une matière, mon action est arrêtée (*épaisseur, intériorité* de la matière des objets perçus). Mais si l'on agit toujours *contre* la matière, les empêchements inertiels et les obstacles, on agit aussi toujours *avec* la matière, le corps et les outils qui permettent de forcer ces obstacles, de pénétrer le milieu. Ce qui me permet d'agir (me déplacer, ordonner, inscrire, ranger), c'est-à-dire mon pouvoir d'être à ce monde matériel, c'est la matérialité (spatialité) de mon corps et de ses prothèses. Il faudrait réaliser, pour la matière, le même type d'analyse que nous avons menés pour l'espace. Il s'agirait de chercher à comprendre comment se constitue le savoir de la matière, entendue ici comme ce qui résiste à l'action, donc ce qui se refuse à la perception et la détermination conceptuelle. Si

¹²³ Bien sûr, l'objet comme obstacle peut être perçu par son exploration haptique, si le déplacement du point de vue est possible dans des directions tangentielles à sa surface.

l'on suit nos analyse précédentes, dès que l'on peut agir, il ne s'agit plus de matière, mais de forme. Nous entendons donc « matière » dans un sens strictement opposé à « physique » si physique renvoie aux déterminations *formelles*, idéalement mathématiques, des sciences physiques. La matière est ce qui n'est pas encore déterminé. C'est une autre forme du savoir de l'ignorance.

7.4.1 Conséquences cognitives des inscriptions tridimensionnelles

Les inscriptions tridimensionnelles sont les inscriptions en volume : déplacement de feuilles, constitution de piles, de dossiers, déplacement de la table, du stylo, du corps, attachement de trombones, rangement de dossiers, etc.¹²⁴

Toute action d'inscription se réalise par un changement du point d'action. Mais, du fait de la spatialité corporelle du point de vue, les objets perçus peuvent aussi être des *obstructions à l'action* (aussi bien de perception que d'inscription).

Contrairement aux inscriptions bidimensionnelles, les actions d'inscription tridimensionnelles modifient donc non seulement la façon dont les actions perceptives déterminent des changements de sensation, mais aussi les *possibilités d'action elles-mêmes*, que ce soit pour la perception ou l'inscription.

La spatialité du corps propre est à la fois, danger, puisqu'il peut être affecté, et force puisqu'elle permet d'affecter, modifier le milieu. Les inscriptions sont donc à la fois :

- *Menace* sur l'action (d'inscrire et de percevoir). C'est l'*encombrement*. Les choses perçues peuvent m'empêcher d'agir (d'inscrire ou de percevoir). Cette limitation de l'activité perceptive, est à la limite une menace pour cette activité.
- *Soutien* et pouvoir (d'inscrire et de percevoir). La matérialité est en même temps soutien de l'activité. C'est le génie de l'outil : la pierre impénétrable pour mes mains nues, une fois saisie, devient un moyen de pénétrer la pierre, inscrire des traces, percevoir sa matière interne dans les effets de mes actions parce que, patiemment, je pourrai conquérir la reproductibilité des effets (et donc une catégorisation des matières). De même un bâton solide, saisi, me permettra de toucher et percevoir des formes qui autrement seraient hors d'atteinte. Dans les deux cas, l'outil donne accès à de nouveaux points de vue et d'action (se placer dans la pierre, se placer au bout du bâton).

Comme on l'a répété, quand l'outil sert à percevoir, il n'est pas lui-même perçu. L'outil ne participe pas à l'activité perceptive en tant que forme perçue, mais en tant qu'il transforme les conditions de l'action, et donc le champ perceptif accessible.

Poids - Force – Gravité – Profondeur – Perspective : ce qu'on voudrait montrer, c'est que le double sens de ces mots n'est pas accidentel : poids d'une idée, force d'un argument, gravité d'une situation, profondeur d'un problème, nouvelle perspective sur une question, ...

7.4.1.1 *Épaisseur, continu*

La matérialité, c'est-à-dire ici l'épaisseur irréductible du continu (intérieurité inépuisable de la matière) ne peut s'éliminer, se résorber dans du discret. La conquête de l'infiniment petit se fait en développant des techniques d'action sur la matière toujours plus puissantes (accélérateur de particules). Il y a toujours plus à découvrir sur un objet que ce que l'on y a intentionnellement mis. Ceci assure la possibilité d'une archéologie du support (par

¹²⁴ Nous excluons ici toute construction, assemblage ou modelage plus complexe pour nous limiter à l'espace du bureau des travailleurs du tertiaire.

exemple l'authentification d'un document ancien par son analyse chimique ou radioactive) [Bachimont 1999].

7.4.1.2 *Variation des points de vue*

Pour pouvoir varier les points de vue, les perspectives, sur une scène, il faut qu'elle soit en trois dimensions. En deux dimensions, la scène ne change pas alors même que je déplace mon point de vue puisqu'il reste devant l'espace perçu. Au contraire, dans l'espace tridimensionnel de mon bureau, je me déplace, variant les points de vue sur les multiples objets qui l'encombrent, piles de papier, écran, téléphone, dossier, etc. Passant d'une perspective à une autre, je découvre l'épaisseur des piles, j'aperçois la tranche de dossiers cachés ou je la fais disparaître. Ce faisant, je cherche le point de vue le plus approprié pour organiser mes actions futures, celui qui permet une synthèse perceptive d'ensemble donnant un sens pour les actions d'inscription et de rangement à effectuer.

7.4.1.3 *Lieux et mouvements*

L'espace d'action vécu est marqué de la finitude de mon accès (finitude spatiale, équivalente à la finitude temporelle) : résistance, lenteur, fatigue, vitesse, oubli. Pour comprendre comment les inscriptions dans l'espace tridimensionnel matériel peuvent être chargées de sens, il faut passer à la limite de l'obstruction à l'action :

- espace marqué du risque de sa disparition par encombrement ;
- espace marqué du danger ultime de ma disparition

A la limite, l'inscription spatiale menace l'espace lui-même, l'écriture tridimensionnelle menace la lecture, parce qu'il faut agir pour percevoir, parce que les résultats matériels de l'action menacent l'action. Toute inscription brille de cette menace. Elle est proche ou lointaine, et cela veut dire quelque chose :

- ce qui est plus proche de mes organes récepteurs représente une menace plus grande et doit être traité en premier ; ou bien saisi pour passer du côté du corps propre, ou bien éloigné, rangé ou détruit.
- ce qui menace mes actions doit être maîtrisé : on dégage (on gagne) du terrain ou bien on le remplit, on l'organise sous contrainte.

Cette finitude donne une signification aux *lieux* qui composent l'espace égocentré. On peut facilement définir un espace de sens relativement à la menace sur l'activité perceptive : le proche est plus important que le lointain, le haut plus que le bas, la droite plus que la gauche (pour un droitier), le dessus plus que le dessous, etc.

7.4.1.4 *Encombrement*

On comprend pourquoi chercher à comprendre, c'est-à-dire ranger, sélectionner, résumer, synthétiser, contrôler. Il s'agit de ne pas être étouffé, immobilisé (par les choses et événements externes comme par mes propres inscriptions).

Dans l'espace vécu, les choses sont épaisses, leur emboîtement est limité : on doit sélectionner et jeter. On ne peut simplement emboîter indéfiniment des dossiers dans des dossiers, différer sans limite (voir prochain chapitre). Les inscriptions tridimensionnelles forcent la synthèse, le rangement. Le but est d'obtenir de l'espace libre et déterminé, un bureau ni vide, ni surchargé, mais maîtrisé.

7.4.1.5 Orientation

Une inscription utile pour l'activité cognitive (parcours interprétatif) est une inscription qui oriente les actions suivantes. La matière comme encombrement est en même temps soutien, repère pour l'action. Ce qui est à saisir en premier contraint matériellement ce qu'il faudra ensuite saisir ou écrire. Les piles imposent un sens de lecture : le dessus en premier, le plus proche en premier, etc. Ainsi une inscription (comme construire une pile) affecte *concrètement* les actions suivantes. Les traces matérielles jouent le rôle de repère pour mes actions futures dans la mesure ou elles sont tridimensionnelles (au contraire, les inscriptions sur la surface du papier ne peuvent pas bloquer mes actions suivantes). En effet, seules des inscriptions installées dans une cohérence tridimensionnelle peuvent contraindre concrètement mes actions futures : programmation matérielle de séquences d'actions de perception ou d'inscription. Par exemple, contrairement au *volumen* la forme en rouleau contraint un mode de lecture linéaire ; un cahier impose un ordre d'écriture ; un système de dossiers suspendus impose une dimension des documents qui pourront y être rangés, etc.

Le déplacement du point de vue est à la fois, la mémoire de *où j'en suis*, et la condition de la constitution de cet espace où je suis. Marcher le long de sa bibliothèque, s'accroupir et se relever, c'est penser, parce que c'est mesurer, arpenter un espace privé, riche de repères.

7.4.1.6 Inscriptions partagées

On devrait aussi examiner la question du travail collectif, du rôle des objets matériels (et de l'architecture) dans la coordination des actions d'écriture (inscription) et de lecture (interprétation). Par exemple ma position et ma posture comme inscription tridimensionnelle pour orienter les actions des personnes qui partagent mon espace. Il faudrait aussi traiter des avantages du présentiel, pourquoi se déplace-t-on pour un colloque : pas pour le son et le langage gestuel (on pourrait y suppléer par film ou dispositif numérique d'interaction). Mais parce que l'on comprend mieux quand on est devant quelqu'un qui produit à nouveau le sens de son exposé, qui est le premier support d'inscription de ces signes, qui s'engage et risque là sa personne.

Maintenant, examinons si les inscriptions numériques peuvent réaliser ces propriétés tridimensionnelles.

7.4.2 Inscription numérique

Il faut bien marquer les différences entre les choses matérielles de l'espace vécu et les inscriptions numériques (dans une époque tellement marquée par la métaphysique de l'information, il ne s'agit plus de dire en quoi le numérique n'est pas matériel, mais en quoi le matériel n'est pas numérique). Considérons tout d'abord les inscriptions sur la surface d'un écran (qui peuvent être produites comme simulation de la projection d'un espace à plus de deux dimensions).

7.4.2.1 Inscription sur écran

Certaines propriétés caractéristiques de la troisième dimension sont souvent simulées dans la projection bidimensionnelle de l'écran : superposition de dossiers, ombrés, épaisseurs apparentes des boutons, etc., mais le plus important est l'introduction possible de contraintes sur les actions de l'utilisateur.

La projection bidimensionnelle de l'espace numérique sur l'écran est *devant* l'utilisateur (mouvements angulaires du regard). Celui-ci n'est impliqué dans cet espace que par une marque de son pouvoir d'action (l'*avatar*), en général la flèche ou le curseur qu'il commande via le clavier ou la souris (et leurs diverses variantes).

Le programme peut alors définir des contraintes sur les déplacements du curseur (par exemple l'arrêt au bord d'une fenêtre). Par la médiation technique de l'ordinateur, on peut ainsi définir dans un espace bidimensionnel une des caractéristiques classiquement réservées à l'espace tridimensionnel : l'obstruction à l'action. La possibilité de blocage du curseur, c'est-à-dire du point d'inscription est porteur de importantes conséquences cognitives. Il permet d'orienter les actions suivantes : *le programme de l'ordinateur programme des séquences d'actions de l'utilisateur* (ordre d'ouverture de différentes fenêtres et dossier, mots de passe, chemins,...). Ici, un empêchement de l'action numérique est possible puisqu'il concerne d'abord un curseur (un avatar) purement numérique. Les effets cognitifs de cette possibilité technique sont considérables - depuis le programme pour remplir un formulaire, jusque tous les types d'écriture multimédia et hypertextuel, en passant par les jeux ou la consultation de base de données ou de sites sur le réseau - l'essentiel du sens est contenu dans la structure des passages accessibles. Les actions d'inscription à un moment peuvent bloquer les inscriptions suivantes et ceci, soit par l'utilisateur qui organise ainsi son travail futur, soit à distance dans le temps ou l'espace des relations multiples entre programmeurs et utilisateurs.

Il y a cependant une différence importante avec un blocage matériel. Le blocage concerne le point d'inscription dans le champ du numérique, et non pas le point de vue. Pour le comprendre, il faut examiner précisément le rapport entre point de vue et point d'inscription.

Tant que le curseur obéit à mes actions je suis impliqué dans l'espace de l'écran. Nous avons admis que le sujet est là où il agit. Mais, il n'y est que pour ce qu'il peut y faire. Or, le curseur est un point d'inscription et non pas, en général, un point de vue (de perception). En effet, il n'y a de spatialisation d'un point de vue relativement à des objets que si les déplacements de ce point de vue servent à la perception de ces objets. Or, en général, le curseur est comme une main agissante, et non pas comme une main percevante. Les choses sont plus claires si l'on est attentif à la différence entre deux modes différents d'utilisation des effecteurs : le mode *stylet* et le mode *souris*.

Dans le cas d'un stylet qui, via une tablette graphique, commande les déplacements du curseur, la relation entre mouvements de la main et mouvements du curseur est directe et bijective : à toute position différente sur l'espace bidimensionnel de la tablette correspond une position différente du curseur sur l'écran. Dans ce cas, tant que le curseur obéit précisément à mes mouvements, je peux oublier la position de ma main et me projeter au point d'inscription dans l'espace numérique. Je peux dire que « je » suis en tel ou tel point sur l'écran. D'ailleurs, il est possible de faire du curseur non seulement un point d'inscription, mais aussi un point de vue. En effet, on peut utiliser les mouvements du curseur pour constituer une perception comme nous l'avons vu avec les expériences sur le « Stylet tactile ». Dès lors, à chaque instant, le sujet aveugle situe son « point de vue » relativement à la forme qu'il explore.

Mais, si le programme définit une limite aux déplacements du curseur, s'il s'arrête alors que la main continue, je me désolidarise aussitôt de ce qui était un prolongement direct de mon activité. Si mon action est empêchée sur l'écran bien qu'elle reste possible pour ma main qui tient le stylet, il y a dissociation entre mon corps propre et le curseur : *je ne suis plus là où je ne peux plus agir*. Le prix à payer de l'association directe entre espace d'action corporel et espace d'inscription numérique, c'est l'impossibilité de programmer des empêchements de l'action qui puissent être significatifs. Un obstacle numérique dans le cas

d'un stylet ne peut être compris que comme une forme de panne qui immédiatement sépare ce qui pouvait être confondu.

En fait, au début des recherches sur un mode de liaison efficace entre l'utilisateur et le monde numérique, ce n'est pas cette solution qui a été retenue, mais, comme on sait, plutôt le souris électromécanique (voir les travaux de Douglas C. Engelbart au Stanford Research Institute¹²⁵). Dans le cas d'une souris mécanique, on admet dès le départ une dissociation entre l'espace des mouvements de la main et celui du curseur, entre le point d'action et le point d'inscription. Le mouvement du curseur est commandé par des gestes répétés de balayage avec la souris, et il est guidé par le regard qui surveille le curseur. L'avantage est qu'à chaque instant, les actions d'inscription suivantes partent du point où a été laissé le curseur. Dans le mode stylet, si l'on s'éloigne de la tablette, le curseur disparaît et réapparaît en un autre point déterminé par le nouveau contact du stylet avec la tablette. Si ma main a dépassé dans sa course le point où le curseur est bloqué par un obstacle numérique, quand elle revient dans une région de déplacements admissibles, le curseur saute soudainement à son point d'entrée.

Au contraire, dans le mode souris, espace d'action et espace d'inscription sont bien distincts. C'est le point d'inscription (la position du curseur) qui indique le lieu à partir duquel il sera déplacé. Il y a des sauts de la main pour replacer la souris sur son tapis, mais pas de sauts du curseur, ce qui permet un accès beaucoup plus rapide et intuitif à la commande de ses mouvements. Il devient possible et utile de définir des obstacles à l'action : je suis encore là où je ne peux plus agir : je suis face à un obstacle qui peut faire sens... pour autant que j'aie besoin d'inscrire dans cet espace. J'y suis engagé dans la mesure de l'investissement que j'y ai fait, et de ma dépendance aux résultats qui s'y trouvent. Mais je n'y suis pas directement engagé comme point de vue constituant : cet espace est donné par ailleurs par mon regard. Le prix à payer de cette dissociation est que si le point d'inscription est bien le point d'action à partir duquel j'agis, ce n'est pas pourtant un point de vue où je suis. Il est d'ailleurs impossible de réaliser les mêmes expériences que pour le « stylet tactile » avec une souris. On ne peut plus se servir du curseur pour percevoir. Le point de vue de la synthèse perceptive n'est pas localisé dans l'espace d'inscription, mais devant lui. On reste ici dans le cas de l'espace bidimensionnel d'un écran devant soi : je perçois les choses au-delà du point d'arrêt de mon effecteur. Les contraintes limitant les actions de l'avatar suivant les inscriptions précédentes, ne pourront concerner que cet avatar et non le point de vue de la synthèse perceptive. Le point d'inscription, en tant qu'il est localisé dans l'espace perçu de l'écran, est bloqué, mais pas le point de vue en tant qu'il constitue cette perception. Il y a empêchement de l'action constituée et non de l'action constituante. En cela, le curseur n'est pas comme un prolongement de mon corps propre.

Ici, le système technique incarne une conception dualiste de l'action. Il y a une distinction entre commande d'action (les mouvements de la main) et action effectivement réalisée (les mouvements du curseur). Ceci est plus clair dans le cas de la « réalité virtuelle » tridimensionnelle.

¹²⁵ Dans les années 60, Douglas Engelbart à son "Augmentation Research Center", avait compris que l'ordinateur pouvait offrir une forme d'augmentation de l'intellect humain : « computer as an extension of human communication capabilities, and resource for the augmentation of human intellect. ». On sait que dans ce contexte, il inventa la souris d'ordinateur, la représentation graphique des connaissances sur écran, la téléconférence et le travail collaboratif à distance. <http://sloan.stanford.edu/MouseSite/>

7.4.2.2 Incriptions tridimensionnelles dans une « réalité virtuelle »

Un système dit de « réalité virtuelle » offre à l'utilisateur les moyens de constituer un espace. En effet, par la médiation numérique d'un calcul des effets de ses actions en terme de sensations, l'espace de la réalité virtuelle est activement constitué par le sujet. Dans sa forme la plus simple, on constitue une troisième dimension en calculant un déplacement vers l'avant commandé par l'utilisateur (via le clavier, la souris ou un joystick). C'est le principe de nombreux jeux. Dans le cas d'une « réalité virtuelle » plus élaborée, ce sont les actions de la tête et des mains qui sont numérisées et qui commandent les entrées sensorielles. L'intérêt principal est qu'il y a immersion dans cet espace. Je suis là où j'agis. Et dans le cas de la réalité virtuelle, j'y suis en tant que point de vue puisque mon activité est constituante (et j'y suis aussi comme point d'inscription dans la mesure où le programme me permet de le modifier en changeant la situation virtuelle). Comme pour l'espace tridimensionnel matériel, on peut ainsi varier les points de vues sur la situation définie par le programme. Mais il y a, comme plus haut, un problème pour l'inscription numérique de l'empêchement de l'action. Considérons tout d'abord le cas des systèmes de la réalité virtuelle qui n'intègrent pas de dispositifs de retour d'effort.

(i) Sans retour d'effort

La médiation numérique, entre action de l'utilisateur et stimulations sensorielles de sa vue ou de son audition, lui donne les conditions de la constitution de toutes les perceptions visuelles ou sonores possibles. On peut aussi, dans une certaine mesure, constituer des perceptions de toucher à l'aide de stimulateurs tactiles insérés dans les gants (variations de pression intensive au contact d'un objet virtuel). On peut même imaginer la détermination d'une forme de perceptions kinesthésiques (perception des mouvements musculaires) par des vibreurs s'adressant directement aux capteurs sensoriels proprioceptifs des muscles et tendons des articulations. On aura ainsi l'illusion d'exécuter des mouvements [Roll 1996]. Mais il n'y a pas de programmation possible d'un empêchement de l'action. En effet, l'empêchement de l'action n'est pas une perception qui pourrait être constituée comme un retour des actions sur les sensations (en tant que limitation de mon pouvoir d'action, c'est plutôt une limitation de mon pouvoir de constitution perceptive).

Au niveau de l'avatar, disons une représentation tridimensionnelle d'une main dans l'espace virtuel, il est bien sûr possible de programmer des empêchements de l'action. L'avatar numérique peut rencontrer des obstacles numériques, et même risquer sa disparition (c'est bien souvent l'objet du jeu). L'avatar s'arrête devant un obstacle virtuel, un mur ou un objet à saisir. Mais en l'absence de retour d'effort, la main réelle de l'utilisateur continue sa course. La dissociation est alors immédiate. Je n'adhère à l'avatar que si mes actions enchaînent sur des changements de sensations (et de point d'action). Je suis là où je suis une puissance d'action. Si je n'ai plus de retour en sensations de mes actions, je n'ai plus de position dans cet espace : il y a dissociation.

Il sera d'ailleurs difficile de retrouver la commande de l'avatar. En ramenant ma main dans la région des déplacements autorisés de l'avatar, celui-ci sautera directement au point d'entrée, au mépris de tout réalisme sur la causalité et la continuité de l'objet. On retrouve le problème décrit plus haut pour le « mode stylet » d'inscription dans le numérique¹²⁶.

¹²⁶ Dans la réalité virtuelle, la médiation numérique hérite de l'universalité de la machine de Turing : universalité des fonctions calculables, ici les fonctions liant action et sensation, et donc des perceptions constructibles. Cependant, il est impossible d'y réaliser de véritables inscriptions tridimensionnelles en tant que limitations des actions. On ne peut constituer un retour d'effort, le poids, l'inertie, on ne peut pas s'asseoir dans la réalité virtuelle (et encore moins manger). Il n'y a donc pas d'universalité, ou plutôt trop d'universalité pour pouvoir réaliser le vécu humain. Il n'y a pas là de possibilité de saisir la finitude, parce que c'est une

L'impossibilité de définir un obstacle aux actions de l'utilisateur est un problème dans la mesure où, on l'a vu, c'est une des caractéristiques les plus cognitivement pertinentes de l'espace tridimensionnel. Elle permet à l'utilisateur de se guider, de programmer l'avenir de ses actions, soit par ses propres actions passées, soit par des programmes produits par d'autres personnes.

L'espace de la réalité virtuelle, bien qu'effectivement constitué par l'activité corporelle reste donc sans épaisseur, sans obstruction à l'action, et donc aussi sans outils modifiant le corps propre. Le sujet n'y est présent que pour ce qu'il y risque, c'est-à-dire souvent pas grand chose. Il n'y a pas de dimension nécessaire de son corps, et pas de résistance des objets. Sans résistance et sans poids, l'espace numériquement construit est *un espace sans gravité*, c'est-à-dire sans le sens qui découle de la présence des objets matériels, obstacles et soutiens.

Pour pallier cette difficulté on peut introduire des systèmes de retour d'effort.

(ii) *Avec retour d'effort*

Un retour d'effort peut être contrôlé numériquement, mais il n'est pas numérique. Seule est numérique la relation entre action et sensation. Ni les actions en tant que pouvoir du corps propre, possiblement modifiable par des outils matériels, ni les sensations elles-mêmes, en tant qu'affection de ce corps, ne sont simplement informationnelles. Le retour d'effort en tant que tel n'est pas activement constitué par le sujet, mais directement donné, réalisé par des moteurs et des éléments solides.

En instrumentant toujours plus les sorties et entrées (en se donnant là ce que l'on ne peut réaliser numériquement), il n'y a pas de limite assignable au pouvoir de la simulation, mais ce n'est pas une numérisation (virtuel). Si je veux m'asseoir, la chaise dans la réalité virtuelle aura toutes les couleurs possibles, mais il faudra tout de même une sorte de chaise réelle pour me supporter. De même, si je dois recevoir un coup qui me bouscule, il faut que réellement je reçoive ce coup. C'est là un problème que l'on trouve dans tous les films de science-fiction qui déploient l'idéologie moderne de l'information (*Total Recall*, *Matrix*, *Existenz*, *Passé virtuel*, etc.) : que faire d'une blessure dans le virtuel ? La blessure doit-elle être ressentie ? Et dès lors, le « vrai » corps doit-il être affecté ?

En tant qu'opposition au mouvement, le retour d'effort nécessite un ancrage sur le milieu. Si le sujet reste en place, assis ou debout, on peut imaginer des systèmes partageant cet ancrage. Un dispositif fixé au sol, formé d'éléments articulés, commandés par des moteurs peut bloquer ma main réelle là où l'avatar doit s'arrêter. Si le sujet se déplace, on peut imaginer d'installer sur son corps un système d'éléments solides externes qui doublent ses articulations (exosquelette) et peuvent les bloquer suivant les commandes du programme numérique. Cependant, un tel dispositif serait insuffisant pour assurer un soutien contre la chute. Il faudrait imaginer un système robotique d'ancrage poursuivant le sujet dans son déplacement, lui fournissant à chaque instant les appuis nécessaires. Les complications techniques deviennent absurdes. Pour exploiter utilement le retour d'effort, il faut nécessairement limiter les mouvements possibles de l'utilisateur, le confiner dans un domaine d'action aux bords réels. La réalité virtuelle doit se plier à la réalité matérielle, ce qui est sa négation même.

Conclusion : Soit l'espace numérique permet de constituer une variété de points de vue sur une scène, mais sans contraintes utiles sur l'action. Dans ce cas, c'est un espace sans

métaphysique au sens Kantien. Ici, on pose que le réel est en droit réductible au numérique. L'universalité de Turing est une universalité d'inscription et de perception où il y aurait une mémoire indéfiniment extensible et où il n'y aurait aucune contrainte sur l'action (de fatigue, de vitesse, ou de résistance, etc.).

gravité. Soit l'espace numérique permet de contraindre l'action, mais sans donner accès à une diversité de points de vues. Dans ce cas, c'est un espace sans profondeur.

Si l'on veut que des inscriptions organisent l'action (en offrant de varier les points de vue et en contraignant les actions futures), il faut s'appuyer sur la résistance de la matière.

7.5 Rangement multidimensionnel et problème de la désarticulation

Suivant la méthode que nous avons suivie jusqu'ici, il s'agit de faire correspondre opération pratique, opération perceptive et opération cognitive. Ici, on cherche quelles opérations cognitives sont portées par l'opération pratique de ranger (emboîter, mettre dans un dossier, dans un tiroir, dans une pile) qui correspond à l'opération perceptive de cacher (rendre inaccessible au regard).

7.5.1 Perception du rangement

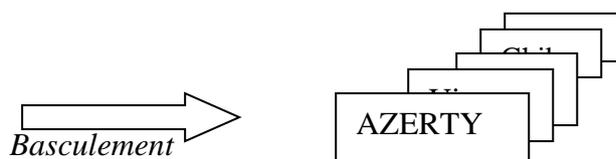
Cacher implique nécessairement une troisième dimension pour recouvrir ou emboîter. Or, comme on l'a vu, la constitution d'un espace tridimensionnel permet de bien comprendre l'engagement d'un sujet et la spatialité de son corps propre. En effet, elle nécessite le changement de point de vue. Il manque toujours quelque chose d'un point de vue, manque qui pour être comblé amènera de nouveaux manques (esquisses perceptives). Dans la perception tridimensionnelle, tout objet en cache d'autres qui seraient accessibles à partir d'autres points de vue.

C'est aussi ce que l'on trouve dans toute action de ranger, de cacher : recouvrir une feuille par une autre, fermer un livre, un dossier ou un tiroir. Ces actions spatiales et réversibles sont bien déterminées. A un moment donné (tel dossier fermé), d'un point de vue donné, certaines choses sont visibles d'autres sont cachées (inaccessibles pour les mouvements angulaires de l'œil). A un autre moment (le dossier ouvert), d'un autre point de vue, ce qui était caché est devenu visible, mais maintenant d'autres choses sont cachées. Fermer ou ouvrir est équivalent à un changement de point de vue (changer sa « position » dans les possibles de la situation sans forcément changer sa position tridimensionnelle).

Percevoir un cache, une couverture d'un dossier, c'est percevoir un obstacle à la perception, c'est déterminer, spatialiser, un empêchement de la détermination (tout en réservant sa possibilité future), c'est donc percevoir la position d'un point de vue et d'articulation.....

Dans l'opération bidimensionnelle de la liste, il s'agit de ranger un ensemble d'éléments sous un titre. L'opération tridimensionnelle de l'empilement ou du dossier qu'on ferme, consiste à cacher la liste sous son titre. C'est en quelque sorte un *basculement* de la liste vers l'arrière.

AZERTY
Uiop
Qsdf
Ghjk
Lmwx



Chaque dossier, chaque couverture, fonctionne comme une articulation, un point de vue / d'action qui permet le déplacement groupé du divers qu'il contient (qu'il perçoit et qu'il manipule). En effet, comme une articulation, la couverture (l'enveloppe du dossier) représente un point de vue à partir duquel se déploie un divers. En fermant le dossier on bloque cette

articulation. En ouvrant le dossier, l'articulation débloquée permet de contourner l'obstacle pour agir et percevoir (entrer dans le dossier).

Dès lors, l'intérêt du dossier est que l'on peut le déplacer comme tel du point de vue d'une autre articulation hiérarchiquement supérieure (en ignorant le divers qu'il contient). Et inversement, le dossier peut contenir d'autres articulations, d'autres sous-dossiers.

7.5.1.1 Conséquences cognitives

Le but général du rangement est d'organiser la situation de sorte à permettre une synthèse perceptive qui puisse déboucher sur de nouvelles actions significatives. C'est chercher un bon point de vue. Idéalement, il faut réussir à simplifier la situation pour permettre une bonne synthèse *bidimensionnelle*. En rangeant dans des dossiers et des piles, donc en cachant un divers complexe, on cherche un point de vue qui bénéficie des avantages de la perception et de l'inscription en deux dimensions, avantages dont on a vu plus haut qu'ils tenaient à l'extériorité du point de vue relativement à l'espace perçu. C'est bien là savoir « prendre de la hauteur » ou « sortir d'un problème » dans lequel on était « empêtré jusqu'au cou ».

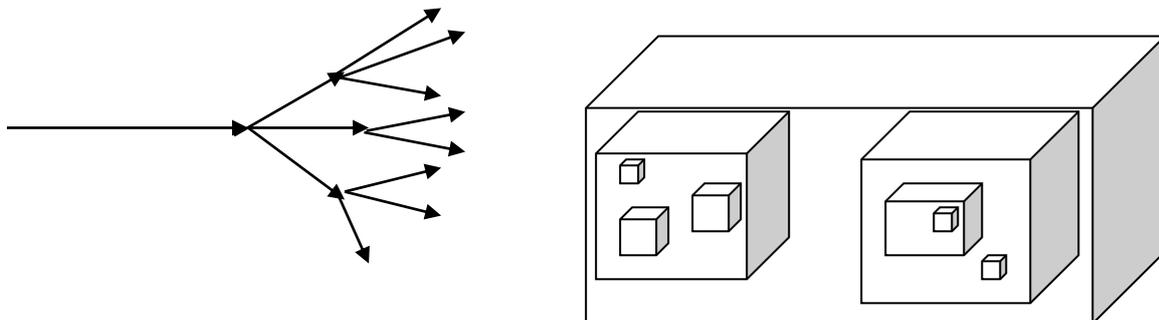
L'opération cognitive associée à l'opération du rangement des éléments sous le titre d'une liste est la subsomption d'un divers sous un concept. La ressaisie de la catégorie pour d'autres opérations dans lesquelles elle interviendra en tant qu'objet manipulé nécessite la possibilité de manipuler ce divers comme un tout. Pour cela, le divers spatio-temporel des choses qui s'inscrivent dans la catégorie doit être ignoré, mais conservé (persistance de la trace).

C'est précisément ce que réalise l'opération de basculement de la liste. En l'inscrivant dans la troisième dimension, on la *détache* de son support, et l'on rend possible sa saisie pour d'autres manipulations. En cachant le divers de son contenu, on permet des opérations sur la liste qui se font indépendamment des différences des éléments qu'elle contient. C'est peut-être là l'essentiel des opérations de classement.

Il est important de noter les contraintes cognitives portées par cette contrainte pratique et esthétique de raisonner en trois dimensions avec des structures matérielles. En particulier, elle détermine une organisation hiérarchique arborescente de l'information. Il n'y a pas d'intersection entre des dossiers ou des boîtes solides tridimensionnelles : un élément ne peut appartenir à deux ensembles différents qui ne seraient pas inclus l'un dans l'autre :

Si $e \in A$, $e \in B$ et $A \neq B$ alors $A \subset B$ ou $B \subset A$

Avec 4 dimensions on pourrait facilement imaginer des intersections entre boîtes de trois dimensions. Au contraire, dans l'espace tridimensionnel matériel, la seule organisation possible du divers est une organisation hiérarchique arborescente :



On sait que cet ordre d'emboîtement est un des grands schèmes organisateurs de notre connaissance de la nature (par opposition au réseau). Linné range les espèces dans des genres, des familles et des règnes comme il range leurs descriptions papiers (et les fleurs séchées) dans des dossiers, des tiroirs et des armoires (ou dans les paragraphes, des chapitres et des livres). Il en est de même pour Lamarck ou Darwin bien que le principe temporel du transformisme, en ajoutant une dimension, eut permis de penser une évolution réticulaire, par exemple par hybridation ou combinaison de caractères spécifiques (comme on le trouve chez les naturalistes qui spéculaient sur l'introduction d'un temps mais sans l'orientation d'une évolution progressive).

De même, on pourrait examiner le développement du calcul des probabilités à partir de l'analogie omniprésente de l'Urne. La possibilité pratique de fermer et d'ouvrir une urne, donc de la manipulation d'une boîte indépendamment de son contenu (par exemple pour la secouer), puis de l'ouvrir pour prendre un élément qu'elle contient (prendre une boule soit noire soit blanche) est la métaphore directrice de tous les calculs de probabilité. Il serait alors intéressant d'examiner avec cette perspective la définition originelle, probabiliste, de l'information de Shannon.

7.5.1.2 Inscriptions numériques

Les images numériques bidimensionnelles ou tridimensionnelles permettent la synthèse, mais ne nous y forcent pas. On peut toujours tout ranger mais d'un faux rangement parce qu'un rangement sans incitation à résumer ou sélectionner. Tout est superposable et emboîtable à l'infini. La perspective et les représentations de dossier (ou autres « boîtes » pouvant contenir, s'ouvrir ou se fermer), ne réalisent qu'une fausse épaisseur (profondeur) parce qu'une profondeur sans limites (un trou sans fond) : les dossiers peuvent s'emboîter les uns dans les autres indéfiniment, sans aucune contrainte de volume (tant que l'on ne rencontre pas les limites physiques du système¹²⁷). C'est une profondeur sans épaisseur, non pas parce que l'espace de l'écran est matériellement bidimensionnel, mais parce que les objets qu'il contient peuvent se contenir les uns les autres sans limite ou presque. On peut, bien sûr introduire des contraintes artificielles, mais elles paraîtraient certainement arbitraires et frustrantes parce qu'elles iraient contre ce qui fait justement un des intérêts essentiels du numérique.

Dans le calcul, toute chose ignorée l'est artificiellement : il n'y a pas cette continuité infinie de l'épaisseur réelle : je peux ouvrir, zoomer (et finir au pixel, à l'état discret du calcul qui ne recèle plus aucun autre mystère). Le calcul me dépasse, mais il reste dénombrable. Au contraire, la vraie épaisseur, c'est que ma perception empêchée, porte en réserve des actions encore impossibles (jusqu'à trouver un nouvel outil qui nous fera entrer dans la chose, et rencontrer de nouveaux obstacles).

Dans le numérique la relation d'appartenance n'est en fait que la qualification d'un lien entre symboles. Dès lors, deux ensembles différents (définis par différentes propriétés) peuvent « contenir » un même élément sans être contenu l'un dans l'autre. Dans un espace numérique abstrait, il y a intersection possible entre ensembles quelles que soient leurs dimensions. Il n'y a pas de réduction nécessaire des dimensions à un espace tridimensionnel. Un même objet peut être contenu dans des dossiers différents qui ne se contiennent pas entre eux : *c'est la logique du réseau*. On risque alors la *désarticulation* : une articulation inférieure peut être commandée par des articulations supérieures différentes qui ne seraient

¹²⁷ Dans l'état actuel du progrès technique continu des vitesses et mémoires numériques, il est impossible de s'appuyer sur de telles contraintes.

pas articulées entre elles ! Typiquement, on manipule ou modifie involontairement un dossier croyant travailler sur un autre.

Dans le numérique, du simple fait de la dématérialisation de l'objet (reproduction parfaite), on comprend qu'une même chose peut être à plusieurs endroits (et réciproquement on peut croire qu'il s'agit d'une même chose alors qu'elle est différente : mêmes noms de dossier pour des contenus différents). Au contraire, la matérialité, c'est l'unicité de la chose, sa localisation unique (bien que les formes reproductibles du langage et de l'écriture puissent aussi créer une telle confusion).

7.6 Conclusion. Oubli de la technique

Ces quelques esquisses d'analyse des technologies cognitives sont encore très spéculatives. Elles ne visent qu'à donner des exemples pour une recherche fondamentale sur la constitutivité technique de la cognition et elles devraient devenir plus systématiques et empiriques.

Les résultats et méthodes employés dans nos recherches sur la suppléance perceptive permettent d'espérer la mise au point d'une approche scientifique systématique des effets cognitifs de l'organisation spatiale des graphiques et des textes (sémantique typo-dispositionnelle)¹²⁸. En travaillant dans le cas limite de champs récepteurs réduits, l'ensemble de l'activité perceptive est observable comme une trajectoire dans l'espace de la page à explorer. Ces trajectoires (beaucoup plus significatives que celles de tracking oculaire) devraient permettre de comprendre, par exemple, la signification de l'organisation spatiale des textes (titres centrés, alinéa, justification, liste, puces,...). Par couplage avec un système de synthèse vocale, on peut envisager un dispositif qui donnerait ainsi aux aveugles un accès directe et intuitif à l'organisation spatiale des textes (ce type de dispositif est en cours de développement).

On a vu que l'apprentissage d'un dispositif de couplage conduit à oublier sa présence (le lieu où le dispositif délivre les sensations disparaît de la conscience au moment où sont saisies les perceptions qu'il permet). Les lunettes disparaissent de notre perception au moment où nous nous en servons. Conduisant son vélo on oublie les vibrations du guidon dans ses mains pour percevoir la chaussée sous *ses* roues ; engagé dans un jeu vidéo, on oublie les manettes pour devenir le vaisseau spatial qui sillonne l'espace virtuel de l'écran... La maîtrise de l'outil le fait disparaître de notre conscience. *L'apprentissage perceptif consiste en l'oubli de la constitution technique de cette perception.*

Les dispositifs techniques de médiation modifient le corps propre et son mode de couplage avec le milieu. On peut ainsi créer des nouvelles modalités perceptives qui ouvrent des espaces inédits. Mais il serait faux de croire que des dispositifs comme ceux présentés dans les premiers chapitres donnent aux aveugles un véritable accès à la vision. On comprend l'attrait, en terme de communication, de l'emploi des termes de « substitution sensorielle » pour désigner les dispositifs mis au point par Bach y Rita : le dispositif fait voir aux aveugles. Est-ce l'accomplissement technique d'un miracle divin ? Cette expression paraît cependant maladroite.

L'avertissement est venu des handicapés eux-mêmes qui se sont déclarés déçus et déprimés alors qu'ils commençaient à découvrir cet accès particulier à des objets situés à distance dans l'espace. Bien sûr, de tels dispositifs permettent effectivement à des aveugles de réaliser des tâches particulières qui, sinon, leur auraient été impossibles. Mais tel n'est pas le désir fondamental de l'aveugle qui se prête à une telle expérience. Son épanouissement personnel peut fort bien se faire en dehors de ces tâches pour lesquelles la vision serait indispensable. Ce que cherche l'aveugle qui accepte de se plier à l'apprentissage du dispositif de couplage, c'est davantage la connaissance de ce dont les voyants lui parlent tant: les merveilles du monde visible. Ce qu'il espère, c'est la jouissance de cette dimension d'existence qui lui est inconnue.

¹²⁸ Nous renvoyons ici au travail de Jacques Virbel sur l'analyse typo-dispositionnelle dans l'Equipe Modèles de Communication Ecrite à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse.

Or, ce n'est pas ce que donnent ces dispositifs. Il y a, de fait, de nombreuses différences entre le couplage artificiel et notre couplage visuel: il n'y a pas de couleur, peu de points, une caméra dont les mouvements sont difficiles et limités, ce qui donne une grande lenteur à la reconnaissance de la situation. Ce couplage sensori-moteur ressemble bien par certains aspects à celui de notre vision, mais l'expérience qu'il permet est toute différente, comme peuvent d'ailleurs bien le comprendre les voyants qui se prêtent à son apprentissage. Le dispositif de Bach y Rita ne réalise pas une substitution sensorielle, mais une addition, l'ouverture d'un nouvel espace de couplage de l'homme avec le monde.

Il serait vain de croire avoir soulagé l'aveugle dès lors qu'on lui donne accès à de nouvelles informations. Ce qui est toujours en jeu, c'est l'insertion de la personne dans un monde de significations partagées qui sont fonctions d'une histoire personnelle dont la cohérence globale ne doit pas être brutalement perturbée. Or, ce qui manque le plus cruellement dans cette modalité perceptive, c'est ce que Bach y Rita appelle les qualia, c'est-à-dire les qualités, les valeurs des choses perçues¹²⁹. On montre à un aveugle de naissance l'image de sa femme, on montre à des étudiants aveugles des photos de femmes dénudées, dans tous les cas la déception est totale, la perception n'est porteuse d'aucune émotion. Mais c'est le contraire qui aurait été étonnant. Le sens ou la signification émotionnelle ne sont pas déjà là, dans le monde, seulement à saisir, comme une information qui ne serait qu'à capter. Là encore, par l'échec de sa première ambition, le dispositif de Bach y Rita donne une preuve empirique cruciale: un sujet isolé ne peut attribuer, dans le présent d'un mode de perception nouveau, une signification existentielle aux objets et événements qu'il perçoit. Une liaison inférentielle entre une forme perçue et une sensation de plaisir ou de peine dans une autre modalité sensorielle ne semblent pas immédiatement suffisante pour donner une valeur émotionnelle à cette forme. Faut-il alors poser qu'il manque quelque chose d'essentiel dans ces dispositifs ? Incapables de donner une « matière » à la perception (couleur, valeur), ils mettraient en évidence ce qui distingue la perception naturelle d'une simple capacité de discrimination et de catégorisation. La similitude de ce constat avec les observations rapportées sur l'absence d'émotion et de signification ressenties par les personnes aveugles de naissance recouvrant la vue (par abatement de la cataracte) est d'ailleurs frappante et laisse penser que ce n'est pas le principe de la substitution sensorielle proprement dit qui est la cause de l'impossibilité d'accéder aux qualia [Gregory, 1990].

Il est remarquable que toutes les observations rapportées dans la littérature ne fassent état que de l'emploi individuel des dispositifs. L'utilisateur se trouve entouré de voyants, mais isolé dans son mode perceptif particulier. Or, on peut faire l'hypothèse que les valeurs perceptives sont liées à l'existence d'une histoire et d'une mémoire collective, mémoire qui doit pouvoir émerger du jeu des interactions de plusieurs sujets dans un même milieu. On doit donc chercher les conditions pour que soit constitué, de concert, un monde de valeurs partagées. La constitution de valeurs émotionnelles devrait être liée aux retours des effets des actions sur les sensations, mais cette fois, dans un jeu collectif d'interactions entre plusieurs personnes qui permette la construction d'une objectivité commune et d'une mémoire collective. La signification devrait alors surgir de l'inscription de modifications dans un espace où les actions des uns peuvent faire sens au regard des autres. C'est ce que nous explorons en mettant en réseau notre « Stylet tactile ».

Les dispositifs techniques de couplage sensori-moteur donnent ainsi accès à une recherche expérimentale concernant le formidable problème, classiquement réservé à la philosophie et à la psychologie, de l'origine et de la nature de la valeur attachée aux choses.

¹²⁹ [Bach y Rita 1997]

Ceci pose le problème de la liaison entre perceptions et affects. Il y a là divers champs de recherche que nous ne voulons pas séparer : la perception comme acquisition et composition d'invariants sensori-moteurs de niveaux de plus en plus élevés, et la constitution d'un système de valeurs attaché à ces invariants. En termes kantien, il s'agirait de faire le lien entre l'esthétique de la sensibilité (Critique de la raison pure) et l'esthétique du jugement (Critique de la faculté de juger).

En tout cas, il nous semble que le terme de « suppléance perceptive » est plus approprié que celui de substitution. Il laisse entendre que ces dispositifs ne comblent jamais exactement un déficit, mais qu'ils introduisent plutôt à des modalités perceptives à chaque fois originales. C'est là que les leçons tirées du monde des handicapés et des innovations technologiques qu'ils suscitent, sont essentielles. Elles rappellent ou révèlent le rôle constitutif possible de la technique dans l'expérience humaine.

Si l'on admet ce rôle, les techniques ne peuvent plus être simplement conçues comme le développement appliqué des résultats de la recherche physique et biologique. Au contraire, établissant de nouveaux couplages entre le vivant et la matière [Leroi-Gourhan 1964], elles sont porteuses de conséquences existentielles et sociales inattendues, autant sources de nouveaux pouvoirs que découvertes de nouveaux problèmes. Ainsi, les techniques ne peuvent simplement se comprendre par les objectifs qui précédaient leur développement. Elles devraient plutôt faire l'objet d'une recherche *fondamentale* visant à comprendre les mécanismes par lesquels elles transforment l'expérience humaine.

Nous croyons que cette recherche à tout intérêt à commencer par creuser les concepts qui la guideront, et pour cela mobiliser aussi bien la recherche empirique, le développement technologique, et la réflexion philosophique. Nous avons bien conscience des limites multiples des suggestions proposées dans cet essai, mais nous espérons qu'en montrant comment les questions de l'ignorance et de l'espace sont liées à travers leur constitutivité technique, nous aurons aussi contribué à cette tâche.

L'espace constitué par l'action ignorante définit l'ensemble des possibles qu'on ignore. On trouve là, la figure de la cognition de l'ignorance que nous recherchions en introduction : constituer le savoir d'une ignorance en constituant un ensemble de possibles que l'on sait ignorer. Et inversement, constituer une ignorance, penser une question, c'est la spatialiser.

Une grande partie de la raison graphique est là : *poser* un problème, c'est définir un espace de réponses possibles. L'espace, le temps et la matière seront les figures générales du savoir de cette ignorance. Le temps, c'est que l'on n'est pas encore allé en un point de cet espace. L'espace c'est la détermination possible de ce point si l'on peut revenir et retourner suivant une règle. Et la matière, c'est le moyen et l'obstruction possible à ce mouvement vers et autour du point.

Par notre action ignorante nous constituons une extériorité qui nous englobe, comme nous pouvons constituer des questions dont nous ignorons la réponse. Et les connaissances que nous pouvons constituer dans cet espace appartiendront aux possibles d'abord constitués par notre ignorance. C'est le savoir *de* l'ignorance

Si l'espace et le temps sont les formes du savoir de notre ignorance, au-delà nous ignorons aussi certainement, mais nous ne le savons pas parce que nous ne savons pas comment nous ignorons. Dans l'espace et le temps, la finitude elle-même semble se trouver traduite en une simple délimitation, une situation locale déterminée. Mais tout notre travail s'accorde avec la critique philosophique pour montrer que, puisque le temps et l'espace sont

d'abord constitués *par* notre finitude, celle-ci excède nécessairement ce que l'on prétend en déterminer.

Il faut définir deux façons de ne pas cogiter, « d'in-cogiter », c'est-à-dire « d'ignorer », soit parce que l'objet est trop loin, ailleurs ; soit parce qu'il est trop près, attaché.

Soit on *peut* savoir l'objet. Il est spatialisable au moins dans l'imagination. L'objet est potentiellement connaissable. Mais, de fait, il est absent de la perception présente. Il est donc « *in-connu* ».

Soit, on *ne peut pas* savoir l'objet parce que, comme l'outil saisi, il est attaché. Il n'est plus spatialisable et plus objectivable. Il est donc « *in-su* ». Cependant, il est encore possible de le reconnaître si l'on peut réversiblement le lâcher et le ressaisir, s'en séparer et s'y rattacher. Mais du moment qu'il est saisi, il n'est plus constituable. S'il participe à notre activité perceptive, c'est à notre *insu*¹³⁰.

C'est bien le destin de l'homme que de vivre avec des outils qui participent à son expérience à son insu, transformant alors les conditions de son action, de sa connaissance et de son ignorance. Si, par la connaissance de l'outil, le savoir-faire de sa séparation et de sa saisie, de sa transmission et de sa réception, il peut reconnaître comment, à son insu, des outils transforment son ignorance, il devra penser que d'autres choses participent à son expérience à son insu et se posera alors la question du transcendantal.

Tout comme aux premiers pas de ce travail, nous savons que nous ignorons ce qu'est le savoir de l'ignorance, même si nous espérons avoir contribué à une meilleure définition de cette question.

Tels sont les chemins de l'ignorance. Je m'avance dans l'inconnu, si je peux revenir, apparaît un chemin dans un espace : je trace le chemin qui me guide et j'ouvre l'espace où il se place.

¹³⁰ Ne pas oublier « Ignare » et « ignarerie ».

Annexe

1 Parallélisme des champs récepteurs

Pour caractériser le rôle du parallélisme des champs récepteurs dans le suivi de bord, je n'utiliserai ici que des stratégies simplifiées à l'extrême. Des modélisations plus réalistes sont en cours. Considérons tout d'abord une stratégie de suivi de bord avec un champ récepteur unique.

Je considère que je ne dispose que de 6 actions discrètes :

- α et $-\alpha$ deux actions opposées (α = un pas vers la droite, $-\alpha$ = un pas vers la gauche)
- β et $-\beta$ deux actions opposées non co-linéaires aux première (β = un pas vers le haut, $-\beta$ = un pas vers le bas. Je considère que α et β sont de même grandeur (*isotropie*).
- θ et $-\theta$ deux actions opposées de changement de direction ($+\theta$ = rotation du repère d'action de $+\pi/4$; $-\theta$ = rotation du repère d'action de $-\pi/4$). Ces actions changent le repère qui définit les actions suivantes.

Je considère que le champ récepteur est carré de dimensions α , β .

On admet une mémoire des trois (*derniers temps de sensation*) dernières sensations pour définir l'action à réaliser :

$$s(t-2), s(t-1), s(t) \rightarrow a$$

La stratégie suivante permet alors de suivre les contours d'une forme pleine (forme s1 sur fond s0)

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0,0,0 \rightarrow \alpha \square & r0 \\ 0,0,1 \rightarrow -\alpha -\beta & r1 \\ 0,1,0 \rightarrow \alpha -\beta & r2 \\ 0,1,1 \rightarrow -\alpha +\beta -\theta & r3 \\ 1,0,0 \rightarrow \alpha +\beta +\theta & r4 \\ 1,0,1 \rightarrow -\alpha -\beta & r5 \\ 1,1,0 \rightarrow \alpha -\beta & r6 \\ 1,1,1 \rightarrow -\alpha & r7 \end{array} \right.$$

La règle r0 signifie que je cherche une forme du côté α (sur la droite). La stratégie ne fonctionnera que si une telle forme se présente. On peut décider de considérer cette séquence de sensation comme une déception de la stratégie.

Les règles r1 et r5 signifient que dès que j'ai rencontré un bord s1, je reviens sur mes pas par $-\alpha$ (vers la gauche) tout en descendant par $-\beta$.

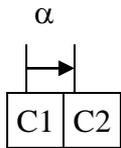
Les règles r2 et r6 signifient que je descends aussi au moment où je reviens vers la forme.

La règle r3 signifie que je ne suis pas sorti de la forme alors que je me déplaçais par $-\alpha$ vers la gauche : pour corriger ma trajectoire, je continue vers la gauche et remonte par $+\beta$ tout en me tournant vers la droite ($-\pi/4$).

La règle r4 signifie que je n'ai pas retrouvé la forme alors que je me déplaçais par $+\alpha$ vers la droite : pour corriger ma trajectoire, je continue vers la droite et remonte par $+\beta$ tout en me tournant vers la gauche ($+\pi/4$).

John Stewart a implémenté cette stratégie et montré qu'elle réalisait effectivement un suivi de contour. Cependant, ces règles ne me permettent pas de suivre les contours d'une forme dont les angles sont trop aigus. Ceci est plutôt réaliste : la capacité de perception d'angles plus ou moins aigus dépend de l'amplitude du micro-balayage et de la précision des changements d'orientation. Cependant, cette stratégie qui suppose une rotation illimitée du point d'action est en cela peu réaliste (du moins pour les mouvements de la main lors de la lecture et l'écriture bidimensionnelle). Il faudrait prendre en considération un angle de rotation maximum, et arrivé à ce seuil, renverser d'un coup l'orientation et donc le sens de déplacement relatif.

Cette stratégie très simple est cependant suffisante pour décrire l'effet du passage à deux champs récepteurs, en tant qu'il consiste à substituer la spatialité du corps propre à un mouvement. Ici il est facile de montrer comment la présence simultanée de ces deux champs récepteurs en deux positions différentes est équivalente à l'exploration successive de ces deux positions par un seul champ récepteur. Pour cela, on raisonne avec des champs récepteurs contigus de largeur α , β , c'est-à-dire de mêmes dimensions que les actions.



Dès lors la stratégie à suivre est exactement la même que dans le cas d'un seul capteur, sauf qu'on élimine les battements du balayage du contour¹³¹. J'indique entre crochet les paires de sensations correspondant aux champs [C1, C2] :

$$\left\{ \begin{array}{l} [*], [0], [0,0] \rightarrow \alpha \\ [*], [0], [0,1] \rightarrow -\beta \\ [*], [0], [1,0] \rightarrow -\beta \\ [*], [0], [1,1] \rightarrow +\beta - \theta \\ [*], [1], [0,0] \rightarrow +\beta + \theta \\ [*], [1], [0,1] \rightarrow -\beta \\ [*], [1], [1,0] \rightarrow -\beta \\ [*], [1], [1,1] \rightarrow -\alpha \end{array} \right.$$

Je n'ai pas ici besoin de définir le premier terme de la première paire de sensation¹³².

¹³¹ Si les champs récepteurs avait été ponctuels et séparé par la distance α , le balayage d'une position à une autre dans le cas d'un unique champ récepteur serait revenu à explorer tout l'espace qui les sépare, tandis que le parallélisme n'aurait donné accès qu'aux deux positions extrêmes.

¹³² En fait, si l'on a pu donner ici une solution si simple, c'est grâce à la symétrie parfaite de la stratégie St103. La sensation présente en C1 est la mémoire de celle qui était en C2 si elle y avait provoqué un déplacement vers la droite α (c'est-à-dire s'il y a un 0 en seconde colonne). Et C2 est la mémoire de C1 si la sensation y avait provoqué un déplacement vers la gauche $-\alpha$ (c'est-à-dire s'il y a un 1 en seconde colonne). Et il se trouve que

On voit qu'en passant de 1 à 2 capteurs, on a pu passer de 3 à 2 niveaux de mémoire des sensations.

2 Détermination de la position de la cible

On a proposé une explication de la localisation de la cible avec des mouvements du sujets très simplifiés, réduits aux mouvements du bras autour de l'articulation de l'épaule, et des mouvements de la main autour de l'articulation du poignet (le coude est bloqué, et le bras reste tendu ; les articulations des doigts et de la main sont immobilisées ; et la position du sujet est fixe, le buste toujours tourné dans la même direction). Dans les figures suivantes, nous ne considérons que les mouvements dans un plan horizontal (on retrouvera un espace tridimensionnel en intégrant aussi des mouvements de bas en haut). Dans la Figure 1, la situation est représentée en coordonnées (x,y) . Le sujet est placé à l'origine $(0,0)$, que nous désignons comme le point O. La cible est une source ponctuelle, S, située à une distance L du sujet avec les coordonnées $(0,L)$. Le point P désigne le poignet du sujet ; ses coordonnées sont $(b.\cos\alpha, b.\sin\alpha)$, où b est la longueur du bras, et l'angle $\alpha = (Ox, OP)$ indique l'orientation du bras. L'angle au poignet, entre le bras et la main, est désigné par $\beta = (PO, PS)$.

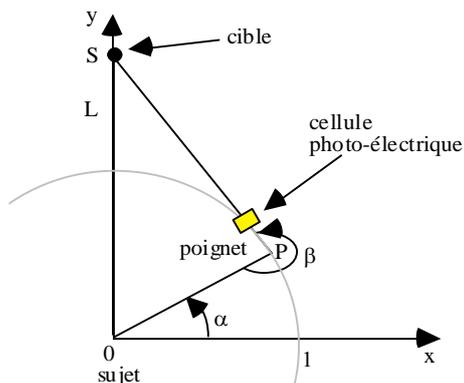


Figure 1 : Le bras (avec l'avant bras) a une longueur b.

La distance de la cible L (OS) est alors atteinte par triangulation suivant la formule :

$$(2) \quad L = b(\sin \alpha - \cos \alpha \tan(\alpha + \beta))$$

On suppose que la longueur du bras, b, est connue.

Pour $\alpha = \pi/2$, β est nécessairement π et la distance L est encore indéterminée. Cette position fixe l'orientation générale du buste.

Une seule autre paire de valeurs (α, β) suffit pour déterminer la distance L.

On observe cependant expérimentalement qu'un ou deux "contacts" avec la cible ne sont pas suffisants pour que les sujets réussissent les tâches de localisation. Au contraire, ils réalisent des battements réguliers autour de la cible : petites oscillations de la main avec changements de la position du poignet de sorte à ce que la stimulation apparaisse et disparaisse sans cesse.

Ces variations exploratoires de l'angle β du poignet semblent servir à déterminer, pour une valeur donnée de α , la valeur précise de β qui est nécessaire pour obtenir le retour

les règles sont les mêmes que l'on prenne C1,C2 ou C2,C1 c'est-à-dire 0,1 ou 1,0 pour les deux dernières colonnes.

sensoriel. Les sujets répètent souvent cette procédure, en faisant varier lentement l'orientation du bras α . Tout se passe comme si les sujets cherchent à identifier la relation fonctionnelle entre α et β qui doit être respectée pour obtenir un retour sensoriel, c'est-à-dire à identifier la loi de contingence sensorimotrice attachée à une position donnée de la cible¹³³. En effet, il est possible de ré-écrire Equation (1) pour exprimer β comme une fonction déterminée de α :

$$(2) \quad \beta = 2\pi - \alpha + \text{Atan} \left(\frac{(b \sin\alpha - L)}{b \cos\alpha} \right)$$

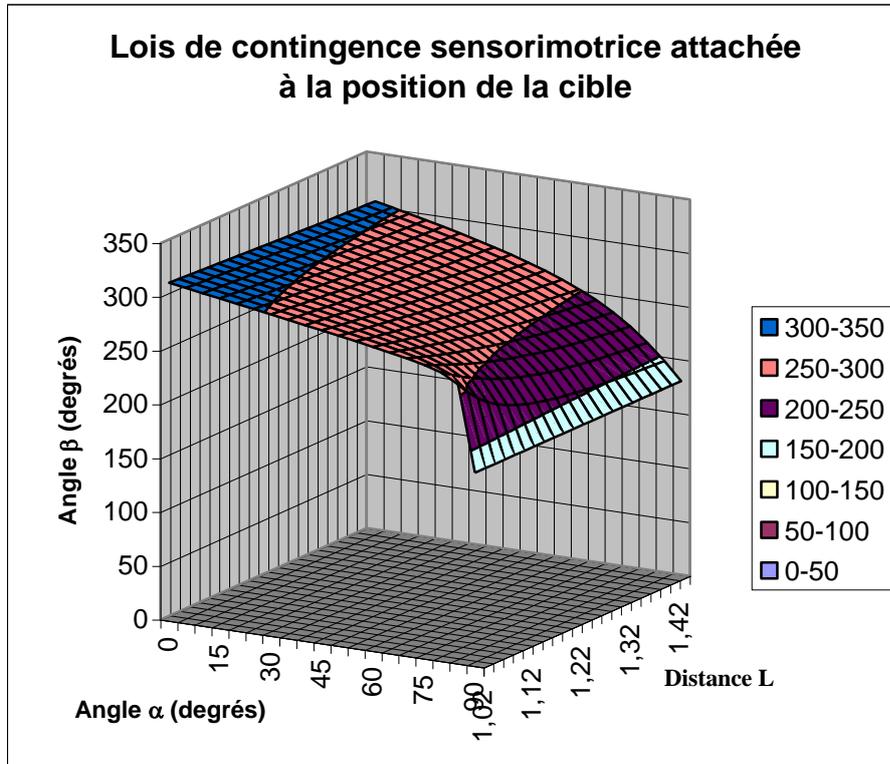


Figure 2 : Courbe représentant l'angle β en fonction de l'angle α (exprimés en radians) pour différentes valeurs de L.

α varie entre 0 et $\pi/2$. La longueur du bras b est prise égale à 1, si l'on considère qu'elle est de un mètre, les courbes représentées ici correspondent à la perception d'une cible située entre 2 cm et 42 cm devant le poignet.

La figure 2 montre comment la relation entre α et β change de façon caractéristique pour différentes valeurs de L. En particulier, pour de petites valeurs de L, β augmente très rapidement quand α diminue de sa valeur limite de $\pi/2$; quand L augmente, la courbe s'aplatit. Autrement dit, la proximité de la cible est liée à la rapidité avec laquelle β doit être augmenté afin de compenser une diminution donnée de α .

¹³³ J. K. O'Regan et A. Noe, "A sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness", *Behavioral and Brain Sciences* (2001) 24:5, Cambridge University Press, p. 35 <http://www.bbsonline.org/Preprints/ORegan/>

3 Détermination de l'activité perceptive

On admet que le comportement du sujet (sa trajectoire perceptive) peut être simplifiée comme une oscillation avançant autour de la loi de contingence sensori-motrice. Il s'agit d'en proposer une explication par une stratégie perceptive ne faisant pas intervenir les actions dans ses prémisses.

3.1 Stratégie de pointage

On admet que le sujet peut commander des actions $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ de variation des angles α et β (rotation du bras et rotation du poignet), avec leurs inverses $-\Delta\alpha$ et $-\Delta\beta$, et qu'il peut diminuer ces variations jusqu'aux seuils $\square\Delta\alpha_0$ et $\Delta\beta_0$.

$\Delta\alpha$: déplacement angulaire du bras vers la droite.

$\Delta\beta$: déplacement angulaire de la main vers la droite.

N : immobilisation du bras et de la main

On n'admet que deux sensations : s_0 et s_1 . Il y a une cible qui détermine la sensation s_1 quand le capteur est pointé dans sa direction. Sinon le capteur donne s_0 (on a une cible s_1 sur un fond s_0 continu). La « stratégie de pointage » serait alors décomposable ainsi :

- (1) Une stratégie de pointage de direction (oscillation du bras autour de la direction de la cible avec le poignet β fixe) qui se compose de deux stratégies $Std\alpha$ et $Stg\alpha$:

$Std\alpha$ (stratégie des actions en α pour une cible à droite) :

$$\begin{cases} s_0 \rightarrow \Delta\alpha \\ s_1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie } Stg\alpha + \text{diminution de } \Delta\alpha \end{cases}$$

$Stg\alpha$ (stratégie des actions en α pour une cible à gauche):

$$\begin{cases} s_0 \rightarrow -\Delta\alpha \\ s_1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie } Std\alpha + \text{diminution de } \Delta\alpha \end{cases}$$

Si la cible était au départ sur la droite et que la recherche commence en s_0 par la stratégie $Std\alpha$, on aboutira à l'attracteur caractérisé par une suite de sensations : $0,1,0,1,0,\dots$ ¹³⁴ Dès que cet attracteur a été suffisamment stabilisé et que les actions $\Delta\alpha$ ont atteint un seuil $\Delta\alpha_0$; on applique une nouvelle stratégie :

- (2) Stratégie de pointage de distance permettant un balayage du bras (en α) avec de petites oscillations de la main ($\Delta\beta$) autour de la direction de la cible : $Std\alpha\beta$ et $Stg\alpha\beta$. On tient compte des deux dernières sensations pour déterminer l'action : $s(t-1), s(t) \rightarrow a$.

$Std\alpha\beta$ (stratégie des actions α et β pour une cible à droite) :

$$\begin{cases} 0,0 \rightarrow \Delta\alpha + \Delta\beta \\ 0,1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie } Stg\alpha\beta \\ 1,0 \rightarrow \Delta\alpha + \Delta\beta \\ 1,1 \rightarrow \Delta\alpha - \Delta\beta \end{cases}$$

¹³⁴ Si la cible est assez petite et le champ récepteur assez étroit pour que l'on ne puisse pas s'arrêter sur elle. Si non on peut atteindre l'état stable 1,1,1,1,1

Stg $\alpha\beta$ (stratégie des actions α et β pour une cible à gauche):

$$\begin{cases} 0,0 \rightarrow -\Delta\alpha - \Delta\beta \\ 0,1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie Std}\alpha\beta \\ 1,0 \rightarrow \Delta\alpha - \Delta\beta \\ 1,1 \rightarrow \Delta\alpha + \Delta\beta \end{cases}$$

On commence en substituant la stratégie Std $\alpha\beta$ à la stratégie Std α . Et l'on devra voir la dynamique se stabiliser sur une trajectoire avançant en oscillant autour de la cible avec une suite de sensations : 0,1,0,1,0,... Ici $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ sont des constante $\Delta\alpha_0$ et $\Delta\beta_0$.

On pourrait soupçonner que le fait d'utiliser à chaque fois une paire de stratégies serait une façon détournée de se donner un accès préalable interne à ses propres actions. Mais ce n'est pas le cas dans la mesure où une même stratégie définit le comportement pour une diversité d'entrées sensorielles. On ne peut donc inférer l'action passée par la simple connaissance de la stratégie en cours. Il faudrait aussi connaître la suite des sensations qui se sont produites. Dans la mesure où différentes suites de sensations donnent une même action, et qu'une action ne donne à chaque fois qu'une sensation, on a structurellement un oubli progressif des sensations et actions passées.

3.2 Stratégie de discernement

On admet toujours que les sensations extéroceptives s_0 ou s_1 , et les actions par des variations $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ et N = immobilisation.

On procède en deux étapes.

D'abord on reprend d'abord la stratégie (1) de pointage de direction (oscillation du bras autour de la direction de la cible avec le poignet β fixe).

Puis pour l'évaluation de la distance on prend les nouvelles stratégies Stdisd et Stdig

- (1) Une stratégie de pointage de direction (oscillation du bras autour de la direction de la cible avec le poignet β fixe) qui se compose de deux stratégies Std α et Stg α :

Std α (stratégie des actions en α pour une cible à droite) :

$$\begin{cases} s_0 \rightarrow \Delta\alpha \\ s_1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie Stg}\alpha + \text{diminution de } \Delta\alpha \end{cases}$$

Stg α (stratégie des actions en α pour une cible à gauche):

$$\begin{cases} s_0 \rightarrow -\Delta\alpha \\ s_1 \rightarrow N + \text{passage à la stratégie Std}\alpha + \text{diminution de } \Delta\alpha \end{cases}$$

Si la cible était au départ sur la droite et que la recherche commence en s_0 par la stratégie Std α , on aboutira à l'attracteur caractérisé par une suite de sensations : 0,1,0,1,0,...¹³⁵ Dès que cet attracteur a été suffisamment stabilisé et que les actions $\Delta\alpha$ ont atteint un seuil $\Delta\alpha_0$; on applique une nouvelle stratégie pour l'évaluation de la distance qui se compose de deux stratégies Stdisd et Stdig :

¹³⁵ Si la cible est assez petite et le champ récepteur assez étroit pour que l'on ne puisse pas s'arrêter sur elle. Si non on peut atteindre l'état stable 1,1,1,1,1

Stdisd (pour une cible à droite) :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,0 \rightarrow \delta\alpha + \delta\beta + \tau \quad (1) \\ 0,1 \rightarrow N + \text{Stdisg} \quad (2) \\ 1,0 \rightarrow \delta\alpha + \delta\beta \quad (3) \\ 1,1 \rightarrow \delta'\alpha - \delta'\beta \quad (4) \end{array} \right.$$

Stdisg (pour une cible à gauche)

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,0 \rightarrow \delta\alpha - \delta\beta - \tau \\ 0,1 \rightarrow N + \text{Stdisd} \\ 1,0 \rightarrow \delta\alpha - \delta\beta \\ 1,1 \rightarrow \delta'\alpha + \delta'\beta \end{array} \right.$$

$\delta\alpha$ et $\delta\beta$ sont définis en fonction d'une loi d'action supposée (correspondant à une distance L supposée de la cible), de sorte à ce que se réalise un déplacement progressif du bras accompagné d'un petit battement de la main autour de la direction de la cible.

$$\delta\alpha = \text{constante} = \Delta\alpha_0$$

$$\delta\beta = f(L, \beta)$$

Pour α et β donnés (position actuelle) on définit $\delta\beta$ pour que la trajectoire perceptive traverse la courbe au milieu d'un segment constant.

Sachant que sur la courbe $\beta = 2\pi - \alpha + \text{Atan} \left(\frac{b \sin\alpha - L}{b \cos\alpha} \right)$. on trouve que :

$$\delta\beta = 2 \left(-\delta\alpha/2 + \text{Atan} \left(\frac{b \sin(\alpha + \delta\alpha) - L}{b \cos(\alpha + \delta\alpha)} \right) - \text{Atan} \left(\frac{b \sin(\alpha + \delta\alpha/2) - L}{b \cos(\alpha + \delta\alpha/2)} \right) \right)$$

τ est une action interne consistant à modifier légèrement la loi d'action :

$$+ \tau = \text{augmenter } L \text{ d'une valeur constante } \Delta L$$

$$- \tau = \text{diminuer } L \text{ d'une valeur constante } \Delta L$$

- (1) : étant en stratégie Stdisd, j'étais au-dessous de la courbe et je ne suis pas assez remonté pour la rencontrer : j'ai visé une cible trop proche, donc je prolonge mon geste ($\delta\alpha + \delta\beta$) et je modifie légèrement la loi d'action par τ . Dès lors, soit je ne rencontre pas la cible et maintient de la règle (1), soit je rencontre la cible (2)
- (2) : je viens d'atteindre la cible en remontant vers la droite. Je considère que je suis passé de l'autre côté. Je m'arrête (N) et passe en stratégie Stdisg.
- (3) : je viens de quitter la cible. Si tout est normal je me déplaçais auparavant vers la gauche. Je retourne vers la cible avec $\delta\alpha + \delta\beta$
- (4) : je venais d'atteindre la cible en descendant vers la gauche et je suis resté dessus. Je fais un petit déplacement dans le même sens avec $\delta'\alpha - \delta'\beta$. ($\delta'\alpha = \delta\alpha / \text{constante}$; $\delta'\beta = \delta\beta / \text{constante}$).

Progressivement la loi d'action se précise, et l'on aboutit à un attracteur caractérisé par la séquence de sensation 0, 1, 0, 1, ... On aura une loi d'action différente pour chaque distance de la cible.

Puisqu'à chaque instant, les actions en $\Delta\alpha$ ou $\Delta\beta$ effectuées dépendaient des positions articulaires en α et β , une écriture complète de la stratégie devait être de la forme :

$$se_{t-1}, [si_t(\alpha), si_t(\beta), se_t] \rightarrow \Delta\alpha \text{ et } \Delta\beta$$

4 Déplacements relatifs

4.1 Petits déplacements

Il s'agit de définir des déplacements relativement à une cible.

Pour cette présentation très intuitive, je propose de reprendre le raisonnement donné dans le texte sur un exemple très simple dans une dimension.

Soit deux actions élémentaires inverses :

α (déplacement d'un pas vers la droite) et $-\alpha$ (déplacement d'un pas vers la gauche).

Soit la stratégie :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0, 0 \rightarrow \alpha \\ 0, 1 \rightarrow \alpha \\ 1, 0 \rightarrow -\alpha \\ 1, 1 \rightarrow -\alpha \end{array} \right.$$

Le calcul externe de la relation $\alpha \rightarrow s$ est déterminé par la situation. Admettons que le bord d'une forme pleine $s1$ soit sur la droite de l'agent.



Cette stratégie provoque la recherche, puis la stabilisation sur un bord gauche d'une forme $s1$, ... si ce bord existe et ne bouge pas.

A l'état stable, on aura le cycle de sensations : ... $0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0...$

On définit les places sur le cycle, caractérisées par les différentes séquences de sensations qui le composent : P1, P2, P3, P4, P5 et P6 :

0,0,0	0,0,1	0,1,1	1,1,1	1,1,0	1,0,0
P1	P2	P3	P4	P5	P6

Pour passer des places sur le cycle à des positions par rapport à la cible, on pose que les transitions réversibles de sensations $0 \rightarrow 1$ et $1 \rightarrow 0$ correspondent à la même position de la singularité (le bord) croisé dans des sens différents. Dès lors les changements de places sur le cycle correspondent à des changements réversibles de *positions* de l'agent par rapport à la singularité.

Donc $P1 \rightarrow P2 = -(P4 \rightarrow P5)$ avec $P1 = P5$ et $P2 = P4$

Il n'y a donc que 4 positions relatives à la singularité sur le cycle :

po1 = P1 = P5

po2 = P3

po3 = P4 = P2

po4 = P6

Avec les changements cycliques de positions relatives :

...-> po1 -> po2 -> po3 -> po2 -> po1 -> po4 -> po1->...

Correspondant aux déplacements élémentaires :

a -> b -> -b -> -a -> c -> -c -> a

On voit bien que tout déplacement admet un déplacement inverse. Si l'on admet que toutes les actions élémentaires sont égales on retrouve en fait deux déplacements α et $-\alpha$

Autrement dit, sachant la stratégie en cours, et si le cycle est stable alors, à partir des sensations reçues, on peut déterminer la position relative et le dernier déplacement du point de vue. Par exemple, si les sensations sont 0,0,1 on sait que l'on vient d'aborder la singularité par un mouvement α et que l'on est positionné juste du côté droit (le côté $+\alpha$) de la singularité.

4.2 Déplacements plus grands

Si l'on veut une stratégie qui permette à l'agent de s'éloigner un peu plus de la cible, il faudra une mémoire des sensations plus importante pour définir la stratégie. Prenons par exemple :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,0,0 \rightarrow \alpha \\ 0,0,1 \rightarrow \alpha \\ 0,1,0 \rightarrow \text{déception} \\ 0,1,1 \rightarrow \alpha \\ 1,0,0 \rightarrow -\alpha \\ 1,0,1 \rightarrow \text{déception} \\ 1,1,0 \rightarrow -\alpha \\ 1,1,1 \rightarrow -\alpha \end{array} \right.$$

Si l'on considère un bord sur le côté droit comme ci-dessus, la dynamique devra se stabiliser sur un cycle de sensations :

... ,0,0,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0,1,1,1,1,...

Qui correspondra à un cycle de positions relatives :

Po1 <-> Po2 <-> Po3 <-> Po4 <-> Po5 <-> Po6

Pour savoir ce que j'ai fait à partir de la connaissance des sensations, il faudra une mémoire des sensations d'autant plus importante que le cycle est long. Si ma mémoire des sensations est limitée au trois dernières, il y aura encore beaucoup d'indétermination sur la position relative actuelle et sur les actions effectuées :

$0,0,0 \rightarrow$ je ne sais pas si je suis en Po1, Po2, ou Po3, et je ne sais pas si je viens de faire α ou $-\alpha$.
 $0,0,1 \rightarrow$ je sais que je suis en Po4 et que je viens de faire α .
 $0,1,0 \rightarrow$ déception : je ne suis pas dans un état stable attendu, je ne peux rien dire.
 $0,1,1 \rightarrow$ je sais que je suis en Po5 et que je viens de faire α .
 $1,0,0 \rightarrow$ je sais que je suis en Po2 et que je viens de faire $-\alpha$.
 $1,0,1 \rightarrow$ déception : je ne suis pas dans un état stable attendu, je ne peux rien dire.
 $1,1,0 \rightarrow$ je sais que je suis en Po2 et que je viens de faire $-\alpha$.
 $1,1,1 \rightarrow$ je ne sais pas si je suis en Po4, Po5, ou Po6, et je ne sais pas si je viens de faire α ou $-\alpha$.

Si l'on veut pouvoir déterminer toutes les positions relatives, il faut 5 niveaux de mémoire.

5 Références

- Aloimonos Y. (1993) *Active Perception*, L.E. Hillsdale, NJ.
- Ali Ammar A., Gapenne O., Lenay C. and Stewart J. (2002) Effect of Bimodality on the Perception of 2D Forms by means of a Specific Assistive Technology for Blind Persons, *CVHI'2002 – EURO-ASSIST-VHI-2 Conference on Assistive Technologies for Vision and Hearing Impairment*, 6-9 august, Granada, Spain, pp.45-52
- Auroux S. (1994) *La révolution technologique de la grammatisation*, Philosophie et langage, Mardaga.
- Auvray M. (2001) Atelier sur la genèse de la perception et de la notion d'espace chez le robot et l'homme, Ecole Normale Supérieure, Paris. 27 Octobre 2001 ; Journées du RESCIF, Atelier Perception et Constitution de l'Espace, Ecole Normale Supérieure, Paris. Présentation de logiciels permettant de créer des expériences de substitution sensorielle en environnement simulé. Malika Auvray, David Philippona, J. Kevin O'Regan.
- Bach y Rita P. (1972) *Brain mechanisms in sensory substitution*. New York : Academic Press.
- Bach-y-Rita P., (1982) Sensory substitution in rehabilitation. In *Rehabilitation of the Neurological Patient*, L. Illis, M. Sedgwick & H. Granville (eds.); Oxford, Blackwell Scientific Publications, p. 361-383.
- Bach y Rita, P. (1987). Brain plasticity as a basis of sensory substitution. *Journal of Neurological Rehabilitation*, 2, 67-71.
- Bach y Rita, P. (1994), Sensory substitution, volume transmission and rehabilitation: emerging concepts. In L. S. Illis (Ed.), *Neurological Rehabilitation*, Oxford: Blackwell, 2nd ed., pp. 457-468.
- Bach y Rita P. (1997) Substitution sensorielle et qualia. In J. Proust (Ed.), *Perception et intermodalité. Approches actuelles de la questions de Molyneux* Paris, PUF, pp. 81-100.
- Bachimont B. (1996) *Herméneutique matérielle et artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser* Thèse de doctorat de l'Ecole polytechnique en épistémologie.
- Bachimont B., (1999) Du texte à l' hypotexte : les parcours de la mémoire documentaire. In *Mémoire de la technique et techniques de la mémoire, TIP*, érès, pp. 195-225.
- Barfield W. & Furness T.A. (1995). *Virtual environments and advanced interface design*. Oxford : Oxford University Press.
- Bergson H. (1929) *Matière et mémoire. Essai sur la relation du corps à l'esprit*, Paris, Felix Alcan.
- Berthoz A. (1991) Reference frames for the perception and control of movement. In J. Paillard (Ed.), *Brain and space* (pp.81-111). Oxford : Oxford University Press.
- Berthoz, A. (1997) *Le sens du mouvement*, Paris: Odile Jacob.

- Bessière P, Lebeltel O, Dedieu E and Mazer E. (1994) Representing Robot/Environment interactions using probabilities: the "Beam in the Bin" experiment; Conférence invitée à *PerAc'94* (From Perception to Action); Lausanne, Suisse.
- Blake A. & Yuille A. (1992) *Active Vision*, MIT Press.
- Brindley G.S. (1973) Sensory effects of electrical stimulation of the visual and paraviscual cortex. *The Journal of Physiology*, 196, 479-493.
- Brooks R., (1999) *Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI*, MIT Press.
- Callon M., Lascoumes P. et Barthe Y. (2001) *Agir dans un monde incertain*, Seuil., coll. La couleur des idées.
- Cassirer E. (1983) *Individu et Cosmos dans la philosophie de la renaissance* (1927), Paris, Le sens Commun, Ed. de Minuit.
- Canto-Sperber M. (Ed.) (1991) *Les Paradoxes de la connaissance. Essais sur le Ménon de Platon*, recueillis et présentés par Monique Canto-Sperber, Odile Jacob.
- Chanter C. & Summers, I. (1998). The Exeter fingertip stimulator array for virtual touch : a preliminary investigation (<http://newton.ex.ac.uk/medphys/index.html>)
- Collins C.C. and Bach y Rita, P. (1973), Transmission of Pictorial Information Through the Skin, *Advances in Biological Medecine and physiology*, 14, 285-315.
- Coello Y. et Honoré J. (Ed) (2002) *Percevoir, s'orienter et agir dans l'espace. Approche pluridisciplinaire des relations perception-action*, Solal, coll. Neurosciences cognitives.
- Derrida J. (1968) *De la grammatologie*, Editions de minuit
- Ditchburn R.W., (1973) *Eye-movements and visual perception*. Oxford: Clarendon Press.
- Dobelle W.H. & Mladejovsky M.G. (1974) Artificial vision for the blind : electrical stimulation of visual cortex offers hope for a functional prosthesis. *Science*, 183, 440-444.
- Dobelle W.H., Mladejovsky M.G., Evans J.R., Roberts T.S. & Girvin J.P. (1976) « Braille » reading by a blind volunteer by visual cortex stimulation. *Nature*, 259, 111-112.
- Drestke F. (1988) *Explaining Behavior, Reasons in a World of Causes*, Cambridge, MIT press.
- Dupuy J.P. (2002) *Pour un catastrophisme éclairé*, Coll. La couleur des idées, Seuil.
- Ecco U. (1988) *Le signe*, Labor, Bruxelles.
- Eilan N., McCarthy R., Brewer B. (1993) *Spatial Representation*, Oxford, Blackwell.
- Epstein W., Hughes B., Schneider S. & Bach y Rita P. (1986) Is there anything out there? : a study of distal attribution in response to vibrotactile stimulation. *Perception*, 15, 275-284.
- Ghitalla F., Lenay C. (2001) Largeur et profondeur des espaces de compréhension dans l'exploration des réseaux numériques. *VIIIe Colloque de L'Association pour la Recherche Cognitive ARC'01*, Lyon.
- Gibson J.J., (1966) *The senses considered as perceptual systems*, Boston: Houghton Mifflin.

- Gibson J.J. (1986) *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, Nj: Erlbaum.
- Goody J. (1977) *La raison graphique*, Editions de minuit 1979.
- Grant D., Hayward V. (1997). Variable Structure Control of Shape Memory Alloy Actuators. *IEEE Systems and Control Magazine* 17(3), 80-88.
- Gregory R.L (1990) Recovery from blindness. In *Eye and brain : the psychology of seeing* (quatrième édition), Oxford University Press. Chapitre 11, 191-200.
- Hanneton S., Lenay C., Gapenne O., Vermandel S., et Marque C., (1998) Dynamique de la reconnaissance de caractères via une interface Haptique», *VIIIe Colloque de L'Association pour la Recherche Cognitive ARC'98*, Kayser D., Nguyen-Xuan A., & Holley A. (Eds.), Université Paris 8, Paris 13, ARC, 1998, pp. 343-347.
- Hanneton S., Gapenne O., Genouel C., Lenay C., Marque C., (1999) Dynamics of Shape Recognition Through a Minimal Visuo-Tactile Sensory Substitution Interface, Third Int. Conf. On Cognitive and Neural Systems, Mai 1999, Boston, p. 26-29.
- Hardy B., Ramanantsoa M., Hanneton S., Lenay C., Gapenne O., Marque C. (2000) Cognitive processes involved in the utilisation of a simple visuo-tactile sensory prosthesis, in *Proceedings of the Sixth International Conference on Tactile Aids, Hearing Aids and Cochlear Implants (ISAC'00)*, Exeter, Angleterre, pp. 52-55.
- Hatwell Y. (1986) *Toucher l'espace*. Lille : Presses Universitaire de Lille.
- Havelange V., Lenay C. et Stewart J. (2002) Les représentations : mémoire externe et objets techniques. *Intellectica* (à paraître)
- Heuer and Keele (Eds.), *Handbook of perception and action*, Academic Press.
- Hofstadter D (1979) *Gödel Escher Bach : an Eternal Golden Braid*, New York, Basic Books, Inc., Publishers, 1979, traduction française par Henry J. et French R., *Gödel Escher Bach, Les Brins d'une Guirlande Eternelle*, Paris, InterEditions, 1985.
- Husserl E. (1989) *Chose et espace. Leçons de 1907*, Paris, PUF
- Jeannerod M. (ed.) (1990) *Attention and performance, Motor representation and control*, vol.13, Hillsdale, LEA.
- Kaczmarek K.A. & Bach y Rita P. (1995) Tactile displays. In W. Barfield & T.A. Furness, (Eds.), *Virtual environments and advanced interface design* (pp. 349-414). Oxford : Oxford University Press.
- Kant E. (1976) *Critique de la raison pure*, 1781 et 1787, trad. J.Barni, Garnier-Flammarion
- Kant E. (1980) *Critique de la raison pure*, 1781 et 1787, trad. A.Tremesaygues et B.Pacaud, Garnier-Flammarion
- Kant E. (1988) *Anthropologie du point de vue pragmatique*, Paris, Vrin.
- Karlson M. Aristotle's Woolen Axe: Some Thoughts about the Embodiment of Mind and Perception, *Technique et Cognition. Finitude, Situation et Inscription corporelle*, Séminaire Interdisciplinaire Costech – Phiteco, UTC, 19 - 23 janvier 1998
- Kolcz A. and Allinson N. (1999) The general memory neural network and its relationship with basis function architectures. *Neurocomputing* 29:57-84.

- Laplace P-S (1986) *Essai philosophique sur la théorie des probabilités*, 1814; 5e ed. 1825; réimprimé chez Ch. Bourgeois ed..
- Lenay C. (1989) Le hasard chez Buffon: une probabilité « anthropologique », *Colloque Buffon 88*.
- Lenay C. et al. (1997a) Technology and Perception : the Contribution of Sensory Substitution Systems. In *Second International Conference on Cognitive Technology, Aizu, Japan*, Los Alamitos: IEEE, 1997, pp. 44-53.
- Lenay C., (1997b) Mouvement et perception : médiation technique et constitution de la spatialisation in *Le mouvement. Des boucles sensori-motrices aux représentations cognitives et langagières*, actes de la Sixième école d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive, p. 69-80.
- Lenay C., Gapenne, O., Hanneton, S., Stewart, J., (1999a) Perception et couplage sensori-moteur : expériences et discussion épistémologique, *Intelligence Artificielle Située 99*, A.Drogoul et J.A.Meyer (Eds.) Hermès, pp. 71-86.
- Lenay C., Havelange, V. (Eds.), (1999b) *Mémoire des Techniques et Techniques de la mémoire*, érès, Technologie, Idéologies, Pratiques, volume XIII, n°2.
- Lenay C., Gapenne O., Hanneton S., Marque C. & Genouel C. (2000) La substitution sensorielle. Limites et perspectives. In Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (Eds). *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris, PUF.
- Leroi-Gourhan A. (1964), *Le Geste et la Parole*, Paris, A. Michel.
- Luciani A. (1996). Ordinateur, geste réel et matière simulée. In M. Borillo & A. Sauvageot (Eds.), *Les cinq sens de la création* (pp. 79-89). Seyssel : Editions Champ Vallon.
- Meijer P.L.B. (1992). An Experimental System for Auditory Image Representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39 (2), 112-121.
- Merleau-Ponty M. (1945) *Phénoménologie de la perception*, Gallimard, Paris.
- Mossio M. (2002) Constitution d'invariants spatiaux, DEA de sciences cognitives 2001-2002, Longo G. et Casati R. (co-directeurs), CREA, Ecole Polytechnique, Paris
- O.F.T.A. (1996). *Nouvelles interfaces homme-machine*. Série Arago, Vol.18. Paris : OFTA Editeur.
- O'Regan J.K., et Noe A. (2001) A sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness, *Behavioral and Brain Sciences* 24:5, Cambridge University Press, p. 35 <http://www.bbsonline.org/Preprints/ORegan/>
- Pacherie E. (1997) Du problème de Molyneux au problème de Bach Y Rita, in *Perception et intermodalité. Approches actuelles de la question de Molyneux*, J. Proust, (Eds), Paris, PUF, pp. 255-293.
- Paillard J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace. *Cahiers de Psychologie*, 14, 261-316.
- Pascal B. (1963) *Oeuvres complètes*, Collection l'Intégrale présenté par Louis Lafuma, Paris, Seuil.
- Piaget J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant*, Paris, PUF.

- Piaget J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchatel et Paris, Delachaux et Niestlé.
- Piaget J. (1967). *Biologie et connaissance, Essai sur les régulations organiques et les processus cognitifs*, Paris, Gallimard, coll. Idées.
- Platon (1967) *Ménon*, trad. E. Chambry, Paris, Garnier-Flammarion.
- Ploux S., (1994) An example of perception and action coupling :handwriting recognition. in C. Faure, P. Keuss, G. Lorette, A. Vinter (eds). *Advances in handwriting and drawing. A multidisciplinary approach*. Europaia.
- Ploux S., (1997) Une étude pour un modèle morphogénétique de la structuration cognitive : la construction des fonctions de saisie et d'imitation in *Le mouvement. Des boucles sensori-motrices aux représentations cognitives et langagières*, actes de la Sixième école d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive.
- Poincaré H. (1905) *La valeur de la science*, Paris, Flammarion.
- Poincaré H. (1907) *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion.
- Port R.F. & Van Gelder, T. (Eds.) (1995), *Mind as Motion*, MIT Press.
- Powers W.T. (1988) An outline of control theory. In Living control systems. The Control Systems Group Inc., Kentucky USA, pp 253-293.
- Proust J. (1997) Espace, sens et objectivité, in *Perception et Intermodalité : approches actuelles de la question de Molyneux*, Proust (Ed.), Paris, PUF.
- Proust J. (2000) Recalibration et représentation mentale, in *De la perception à l'action. Contenus perceptifs et perception de l'action*, P.Livet (Ed.), Vrin, 2000, pp. 123-145.
- Roll J.-P., Roll R. (1996) Le sixième sens, *Sciences et Vie*, Juin.
- Rossetti Y. (1997) Des modalités sensorielles aux représentations spatiales en action. In: J. Proust (Eds), Perception et intermodalité. Approches actuelles de la question de Molyneux. (pp.179-221), Paris, PUF.
- Rossetti Y., Desmurget M., Prablanc C. (1995). Vectorial coding of movement : vision, proprioception or both ? Journal of Neurophysiology, 74(1), 457-463.
- Rossetti Y., Régnier C. (1995) Representations in action : pointing to a target with various representations. In : B. G Bardy, Y. Guiard (Eds), Studies in perception and action III. Mahwah NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 223-236.
- Salanskis J.-M. (1991) *L'herméneutique Formelle. L'infini, le Continu, l'Espace*, Edition du CNRS, coll. Fondement des Sciences
- Sampaio E. (1994). Les substitutions sensorielles adaptées aux déficits visuels importants. In A.B. Safran & A. Assimacopoulos (Eds), *Le déficit visuel. Des fondements neurophysiologiques à la pratique de la réadaptation*, Paris : Masson.
- Sampaio E. Gouarir C. & Mvondo D. (1995 a) Tactile and visual bisection tasks by sighted and blind children. *Developmental Neuropsychology*, 11. 109-127
- Sampaio E. & Philip J. (1995 b) Influences of age at onset of blindness on Braille reading performances with left and right hand, *Perceptual and Motor Skills*. 81, 131-141.
- Schelling F.W.J. (1950) *Lettres sur le dogmatisme et le criticisme, 1795-1796*, Aubier Montaigne, lettre 8

- Schmidt E.M., Bak M.J., Hambrecht F.T., Kufka C.V., O'Rourke D.K. & Vallabhanath P. (1996). Feasibility of a visual prosthesis for the blind based on intracortical microstimulation of the visual cortex. *Brain* 119, 507-522.
- Shinoda H., Asamura N., and Tomori N. (1998). Tactile Feeling Display Based on Selective Stimulation to Skin Mechanoreceptors. *Proc. 1998 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Vol.1, pp. 680-686.
- Spillman L. & Wooten B.R. (1984). Sensory experience, adaptation and perception. Londres : Lawrence Erlbaum.
- Sribunruangrit N., Marque C., Lenay C., Gapenne O. and Vanhoutte C. (2002a) Braille Box: Analysis of the Parallelism Concept to Access Graphic Information for Blind People, *EMBS-BMES 2002, The Second Joint Meeting of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society and the Biomedical Engineering Society USA* (Houston, Texas): 23-26 octobre 2002, à paraître
- Sribunruangrit N., Marque C., Lenay C., Gapenne O., Vanhoutte C. and Stewart J. (2002b) Application of parallelism concept to access graphic information with precision for blind people, *EMBECE'02 2nd European Medical & Biological Engineering Conference*, Autriche (Vienne): 4-8 décembre 2002, à paraître.
- Steinman R.M., Levinson J.Z., (1990) The role of eye movement in the detection of contrast and spatial detail, in *Eye movement and their role in visual and cognitive processes*, E. Kowler (Ed.), Elsevier.
- Stiegler B. (1994) La technique et le temps I. La faute d'Epiméthée, Galilée, Paris.
- Stiegler B. (1996) La technique et le temps II. La désorientation, Galilée, Paris.
- Stiegler B. (2001) La technique et le temps III. Le temps du cinéma et la question du mal-être, Galilée, Paris.
- Turing A.(1950) Computing Machinery and intelligence *Mind*, vol. 49, n° 236.
- Varela F. (1979), *Principles of Biological Autonomy*, Elsevier, New York
- Viviani P. et Stucchi N. (1992) Biological movements look uniform : evidence of motor-perceptual interactions. *Journal of experimental psychology : Human perception and performance* 18, 603-623. <http://citeseer.nj.nec.com/context/306614/0>
- Wann J.P., Ibrahim S.F., (1991) Does limb proprioception drift ? *Experimental Brain Research*, p. 162-166.
- Warren D.H. & Strelow, E. R. (1985). Electronic spatial sensing for the blind. Doordrecht : Martinus Nijhoff Publishers.
- White B.W., Saunders F.A., Scadden L., Bach y Rita P. & Collins C.C. (1970) Seeing with the skin, *Perception and Psychophysics*, 7, 23-27.
- Wyatt J.L. & Rizzo J.F (1996). Ocular implant for the blind. *IEEE Spectrum*, 33, 47-53.

Ignorance et suppléance : la question de l'espace.... 1

<u>1</u>	<u>Le travail de l'ignorance</u>	<u>2</u>
<u>2</u>	<u>Suppléance perceptive et perception spatiale</u>	<u>11</u>
2.1	Les Systèmes de substitution sensorielle. Expériences et résultats.....	11
2.2	Méthodologie expérimentale.....	12
2.3	Localisation spatiale.....	14
2.3.1	Exploration libre.....	14
2.3.2	Exploration par rotation.....	19
2.3.3	Exploration par translation.....	19
2.4	Perspective phénoménologique : en première personne.....	20
2.4.1	Apport de la phénoménologie de la perception.....	20
2.4.2	Analyse en première personne de nos expérimentations.....	25
2.5	Conclusion.....	28
2.5.1	Perception et action.....	28
2.5.2	Spatialité du corps propre et positions du point de vue.....	31
2.5.3	Rôle des prothèses.....	32
<u>3</u>	<u>Phénoménologie et science expérimentale</u>	<u>34</u>
3.1	Médiation technique et corps propre.....	34
3.2	La méthode des répondants.....	38
<u>4</u>	<u>Spatialité du corps propre et perception de formes</u>	<u>43</u>
4.1	Le dispositif expérimental : le « stylet tactile ».....	43
4.2	Principe méthodologique et hypothèses générales.....	44
4.3	Situation de référence mono-capteur.....	45
4.3.1	Premières expériences.....	45
4.3.2	Conclusions et hypothèses sur les expériences préliminaires.....	47
4.3.3	Nouvelles expériences.....	49
4.4	Analyses et modélisations.....	52
4.4.1	Analyse des trajectoires perceptives.....	52
4.4.2	Explicitation des stratégies en première personne.....	54
4.4.3	Modélisation et simulation pour le cas monocapteur.....	55
4.5	Parallélisme des champs récepteurs.....	57
4.5.1	Effet du parallélisme sur la localisation.....	57
4.5.2	Effet du parallélisme des champs récepteurs sur le suivi de ligne.....	59
4.6	Analyse et modélisation du parallélisme des champs récepteurs.....	62
4.7	Difficulté principale.....	64
<u>5</u>	<u>Espace d'action et proprioception</u>	<u>66</u>
5.1	La question d'une constitution de l'espace.....	66
5.2	Espace de la perception et espace de l'action.....	67
5.3	Le problème de l'immersion.....	72
5.4	Proprioception et saisie de l'outil.....	76
5.5	Localisation spatiale.....	77
5.6	Constitution de l'action en présence de l'objet.....	81
5.7	Constitution de l'action en absence d'objet.....	83
5.8	Constitution de gestes et reconnaissance de formes.....	85
5.9	Imagination et perception.....	89
5.10	Vers la constitution de l'espace.....	93
<u>6</u>	<u>L'espace de l'ignorance</u>	<u>99</u>
6.1	L'action ignorante.....	99

6.2	Stratégies d'indifférences	101
6.3	La perception des possibles	103
6.4	Conclusion.....	104
<u>7</u>	<u>Technologie Cognitives et expérience humaine.....</u>	<u>106</u>
7.1	Métaphysique de l'information	106
7.2	Constitutivité technique de l'expérience humaine	108
7.3	L'espace d'inscription bidimensionnel et le problème de la désorientation	110
7.3.1	Conséquences cognitives.....	111
7.3.2	Inscription numérique	112
7.4	L'espace d'inscription tridimensionnel et le problème de l'encombrement	113
7.4.1	Inscription tridimensionnelle.....	114
7.4.2	Conséquences cognitives.....	114
7.4.3	Inscription numérique	116
7.5	Rangement multidimensionnel et problème de la désarticulation	121
7.5.1	Perception du rangement	121
7.6	Conclusion. Oubli de la technique	125
<u>8</u>	<u>Références</u>	<u>140</u>
	<u>Annexe</u>	<u>130</u>
<u>1</u>	<u>Parallélisme des champs récepteurs</u>	<u>130</u>
<u>2</u>	<u>Détermination de la position de la cible.....</u>	<u>132</u>
<u>3</u>	<u>Détermination de l'activité perceptive</u>	<u>134</u>
3.1	Stratégie de pointage	134
3.2	Stratégie de discernement.....	135
<u>4</u>	<u>Déplacements relatifs</u>	<u>137</u>
4.1	Petits déplacements	137
4.2	Déplacements plus grands	138