

Énaction, Externalisme et Suppléance Perceptive

Charles LENAY*

RESUME. Pour défendre les thèses énavtivistes et externalistes je propose une série d'expériences de perception prothésisée (suppléance perceptive) minimalistes. Ces situations expérimentales très simples permettent de dépasser la critique du représentationnalisme pour définir précisément, et faire fonctionner concrètement, le schème explicatif de la perception comme énaction. Localisation et reconnaissance de forme s'inscrivent dans l'espace des déplacements du point de vue relativement à l'objet perçu. L'espace de perception est l'espace d'action lui-même, et non pas un espace interne de représentation. C'est la position externaliste radicale pour laquelle l'activité cognitive et les contenus de l'expérience vécue sont à comprendre dans la dynamique sensorimotrice du couplage entre l'organisme et son environnement, et non pas comme computation de représentations internes. Cet externalisme semble être un bon cadre épistémologique et théorique pour rendre compte de l'efficacité de la cognition située. Les dispositifs et environnements techniques transforment nos possibilités d'action et donc notre expérience vécue en offrant de nouvelles capacités de perception, d'imagination, de mémorisation ou de raisonnement. De même un cadre externaliste permet un dialogue fructueux entre phénoménologie et psychophysologie. Plutôt que de présupposer une séparation entre expérience vécue interne et objectivité externe et donc seulement chercher des corrélats neuronaux des états de conscience, pour l'externalisme cette séparation se constitue dans le cours même de l'activité concrète et donc l'espace de l'expérience vécue est co-extensif à l'espace d'action et de perception.

Mots clés : espace, perception, externalisme, énaction, substitution sensorielle, suppléance perceptive, cognition située, couplage sensorimoteur.

ABSTRACT. Enaction, Externalism and Perceptual Supplementation. In order to defend the twin themes of enaction and externalism, this article proposes a series of experiments based on minimalist prosthetic perception (perceptual supplementation). These very simple experimental situations make it possible to go beyond the negative critique of representationalism, and to provide both a precise definition, and a concrete functioning example, of the explanatory schema of perception as enaction. The localisation of objects and the recognition of shapes take place in the space of displacements of the point of view relative to the object that is perceived. The space of perception is the space of the action itself, and not the space of an internal representation. This is the position of radical externalism, according to which cognitive activity and the content of lived experience are to be understood in terms of the sensorimotor dynamics of coupling between an organism and its environment, and not as a process of computation on internal mental representations. This externalism would seem to be an appropriate epistemological and theoretical framework in order to account for the effectiveness of situated cognition. Technical devices and environments transform our possibilities of action, and thereby transform our lived experience, offering new capacities for perception, imagination, memory and reasoning. Similarly, an externalist framework allows a fruitful dialogue between

* COSTECH EA2223 – Université de Technologie de Compiègne; e-mail : charles.lenay@utc.fr.

phenomenology and psycho-physiology. Rather than presupposing a separation between internal lived experience and external objectivity, which leads only to the search for neuronal correlated of states of consciousness, for externalism this separation is actually constituted during the very process of concrete activity. As a result, the space of lived experience is co-extensive with the space of action and perception.

Key words: space, perception, externalisme, enaction, sensory substitution, perceptual supplementation, situated cognition, sensorimotor coupling.

Il s'agit ici de présenter une conception énaïve de la perception spatiale aussi bien pour la localisation que pour la reconnaissance de formes ; puis de défendre une position épistémologique non internaliste sur la question de l'espace de perception, ce qui a des conséquences méthodologiques importantes en particulier pour une approche non représentationnaliste de la cognition située¹. Notre point de départ, comme notre point d'arrivée, sera technique. En effet, pour comprendre comment les dispositifs techniques participent de façon essentielle à l'activité cognitive (cognition située), nous verrons d'abord comment ils peuvent jouer le rôle de prisme pour décomposer les conditions de l'expérience perceptive (suppléance perceptive). Nous commencerons ainsi par décrire quelques situations expérimentales de perception prothésisée qui serviront à exemplifier et justifier les positions théoriques, épistémologiques et méthodologiques présentées.

L'approche énaïve de la perception que nous comptons défendre consiste à poser que le contenu perceptif n'est pas représenté, mais produit (énaïvé) par une activité perceptive concrète.

I. PERCEPTION ACTIVE

I.1. Localisation spatiale

Un type de dispositif de perception prothésisée exemplaire, parce que radical, est celui des systèmes dits de « substitution sensorielle » dont le plus célèbre est le « Tactile Vision Substitution System » de Paul Bach y Rita. Développé pour les personnes aveugles dès la fin des années 60, il permet de transformer des stimuli propres à une modalité sensorielle (par exemple la vision) en des stimuli d'une autre modalité sensorielle (ici le toucher). Dans la version standard, le TVSS convertit une image captée par une caméra vidéo en une « image tactile » produite par une matrice de 400 stimulateurs tactiles (20 x 20 picots) (Collins, 1973).

Les premières utilisations de tels dispositifs ont apporté deux résultats fondamentaux, essentiels pour la discussion qui va suivre :

- (i) si la caméra est immobile, posée sur une table, les capacités de discrimination des sujets restent très limitées, et les stimuli demeurent perçus à la surface de la peau, mais ;
- (ii) si la caméra est activement manipulée par le sujet, on observe une capacité de reconnaissance de forme spectaculaire, et la

¹ Je remercie vivement les membres du Groupe Suppléance Perceptive de l'équipe COSTECH dont les critiques constructives sur les versions préliminaires de ce texte ont largement contribué à son élaboration, en particulier, Malika Auvray, Olivier Gapenne, Barbara Olszewska, François Sebbah et John Stewart.

mise en extériorité des percepts : les objets sont perçus dans un espace distal, là bas devant le sujet.

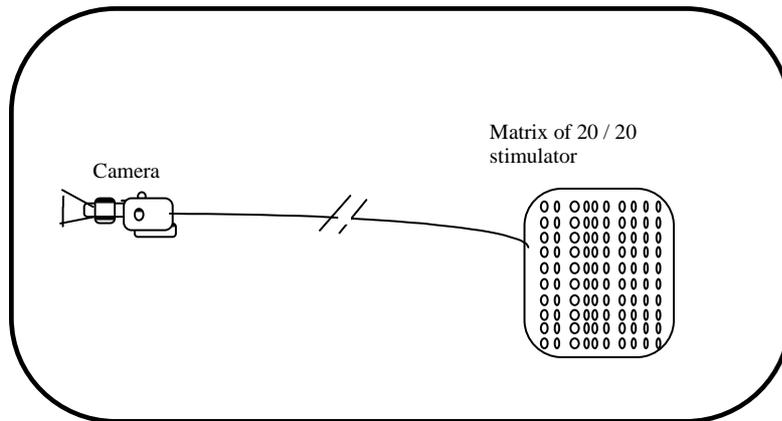


Figure 1 : TVSS de Paul Bach y Rita

La *perception* d'un objet stable devant soi est bien distincte de la succession des *stimuli sensoriels* très variables que reçoit le sujet alors qu'il déplace constamment sa caméra. Nous préférons donc parler de dispositifs de suppléance perceptive puisque l'usage de ce type de système est fondamentalement sensori-moteur (et non pas seulement sensoriel) et qu'il offre une expérience vécue spécifique assez différente de celle de la vision (ce n'est pas une substitution) (Lenay et al., 2000). On dispose donc ici des moyens pour étudier la genèse d'une modalité perceptive chez l'adulte, et en particulier, l'apparaître des objets perçus dans une extériorité, c'est-à-dire la constitution d'un espace de perception (Pacherie, 1997 ; Auvray et al., 2004).

Pour déterminer la nature de cette perception comme énaction, nous avons nous-mêmes développé diverses prothèses. La plus simple, et la plus exemplaire pour notre propos consiste en une unique cellule photoélectrique connectée à un stimulateur tactile. Quand dans le champ de lumière incidente (un cône de 20°), la quantité de luminosité dépasse un seuil donné, il y a déclenchement d'un stimulus tactile en tout ou rien. A chaque instant le sujet ne reçoit donc qu'une information minimale, la présence ou l'absence de la stimulation tactile, s0 ou s1.

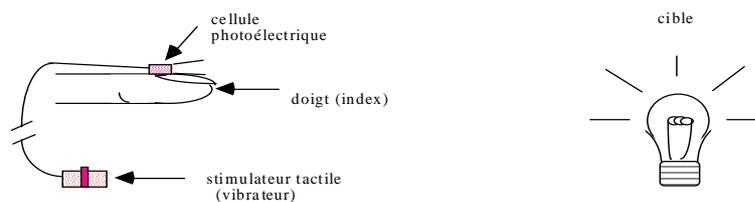


Figure 2 : Dispositif expérimental minimaliste pour la localisation spatiale

On a pu montrer que même avec un dispositif aussi simple, la localisation spatiale de cibles lumineuses restait possible.

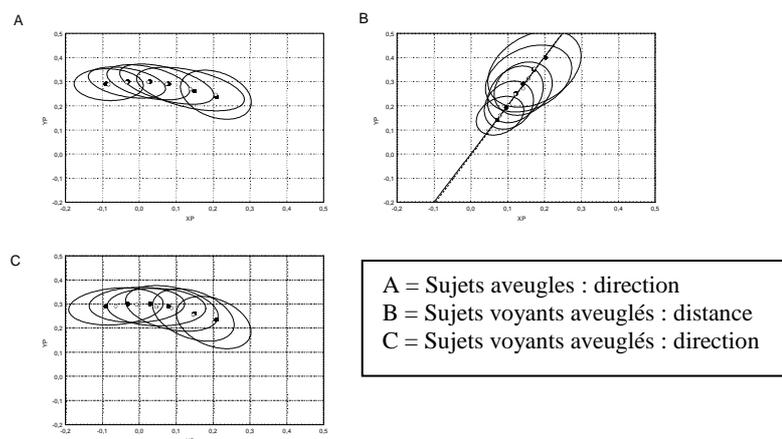


Figure 3 : Les sujets sont équipés du dispositif sur l'index de leur main droite et tiennent le stimulateur tactile dans l'autre main. Ils doivent localiser une cible placée en différentes directions ou distances sur une table devant eux. Ils pointent alors avec la main gauche la position supposée de la cible, ce qui permet de tracer des ellipses de confiance sur l'écart par rapport à la position réelle. Ces ellipses de confiance ont été obtenues par Bianca Hardy, Marie-Martine Ramantsoa, et Sylvain Hanneton. (Hardy et al. 2000).

Ici, il est clair que la perception ne peut-être fondée sur une simple analyse interne de l'information sensorielle ne serait-ce que parce que celle-ci ne possède aucune spatialité intrinsèque, mais n'est qu'une suite temporelle de sensations s_0, s_1 . La perception est nécessairement une synthèse des successions d'actions et sensations. La cible est localisée dans un espace égocentré dans la mesure où sa position se définit par les vitesses relatives de variation des angles articulaires du sujet lorsqu'il pointe dans sa direction. Si on simplifie les actions aux rotations du bras autour de l'épaule (β) et aux rotations de la main autour du poignet (α), la distance de la cible est obtenue par triangulation (cf. figure 4a). Chaque position de la cible correspond seulement à un *invariant sensorimoteur*, c'est-à-dire une loi liant les actions aux sensations qui reste stable relativement aux variations de ces actions et sensations. La perception doit donc être ici l'accès à une loi de pointage liant les actions effectuées à leurs conséquences sensorielles. C'est une bonne illustration de ce que Kevin O'Regan appelle loi de contingence sensorimotrice (O'Regan et Noë, 2001). Dans notre exemple, on peut la préciser mathématiquement dès lors qu'on simplifie la question aux angles d'actions articulaires de l'épaule et de la main (α et β) (Lenay et al., 1997 ; Thouvenin et al., 2003).

Pour maintenir la perception d'une cible devant soi, le sujet doit sans cesse agir, déplacer la cellule photoélectrique en visant de multiples façons cette cible. Dès que les mouvements cessent, la perception disparaît. En effet, si l'on se place du point de vue du sujet, il est clair que s'il est immobile, de deux choses l'une. Soit il pointe en dehors de la cible, il ne lui reste que le souvenir d'une perception qui va en s'estompant. Soit il pointe sur la cible, il reçoit une stimulation tactile continue qui s'impose à la place de la perception d'un objet externe. L'extériorité spatiale de la cible ne peut être constituée que par la possibilité d'aller et venir librement et réversiblement autour d'elle, quittant et

retrouvant alternativement le contact. Dans les conditions limites définies par ce dispositif, il n'y a pas de perception sans action (Piaget, 1936 ; Paillard, 1971 ; Gibson, 1966 ; 1986).

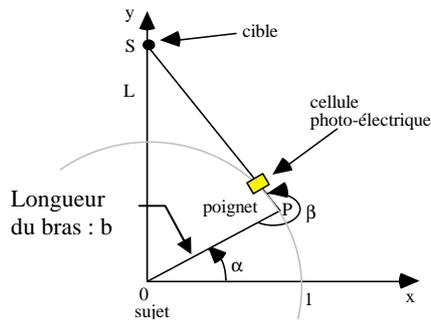


Figure 4a : relations géométriques entre les angles de rotation du bras α et de la main β lors du pointage vers une cible à une distance L :
 $\beta = 2\pi - \alpha + \text{Atan} \left(\frac{b \sin\alpha - L}{b \cos\alpha} \right)$

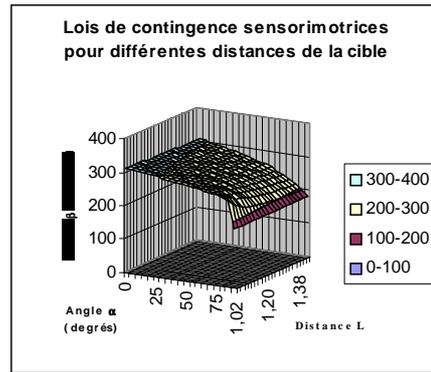


Figure 4b : courbes représentant les différentes relations entre α et β qui déterminent un retour sensoriel pour différentes distances de la cible.

Mais dire que la perception d'une position de la cible est l'accès à la loi de contingence sensorimotrice correspondante, ce n'est pas dire qu'elle est la représentation de cette loi. Il est suffisant de considérer que la perception est plutôt le résultat d'un savoir-faire de pointage, une « stratégie d'action », possiblement inconsciente, qui détermine les actions en fonction des sensations reçues et qui conduira, si elle est employée, à un pointage vers cette cible.

Cette perception active peut se schématiser ainsi :

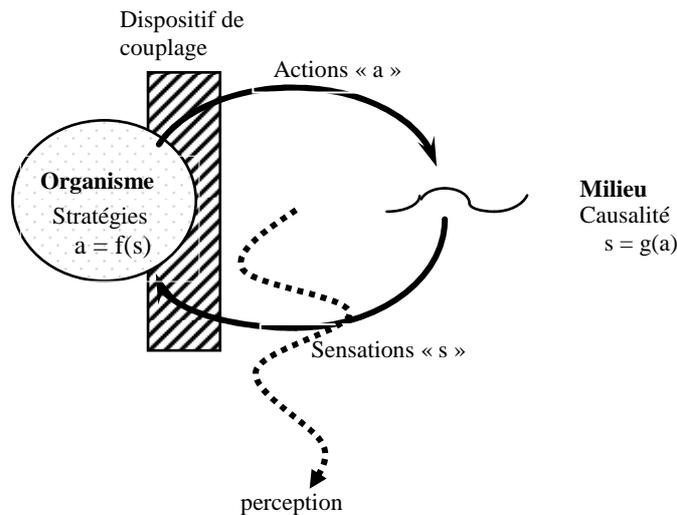


Figure 5 : schéma du couplage sensorimoteur. Le système de perception prothésisée est un « dispositif de couplage » qui modifie le corps propre en définissant les répertoires d'actions et de sensations accessibles au sujet. Via le milieu, les actions « a » causent les sensations « s » : $s = g(a)$; et l'organisme définit la stratégie qui détermine ses actions en fonction des sensations reçues : $a = f(s)$.

Le contenu perceptif n'est pas la stratégie suivie, mais bien la loi de contingence sensorimotrice auquel elle donne accès. Une loi qui ne peut être entièrement définie sans tenir compte à la fois, des stratégies d'action du sujet, du dispositif de couplage définissant les répertoires d'actions et de sensations qui lui sont accessibles, et de la causalité qui détermine les sensations qu'il reçoit en fonction des actions qu'il effectue. Ceci à une conséquence importante : *pour une même stratégie*, si le dispositif de couplage est changé, ou si la causalité $s = g(a)$ est différente, par exemple si la cible est en une autre position, la loi de contingence sensorimotrice sera différente et donc le contenu perceptif différent.

Dès lors, si la perception de la position d'un objet se constitue dans le couplage avec cet objet lui-même, il faut admettre que *percevoir* la position d'un objet n'est pas la même chose que la *re-connaître*, c'est-à-dire, par exemple, pouvoir la désigner en l'absence de cet objet. La reconnaissance n'est possible que par des stratégies d'action de niveau supérieur, suffisamment élaborées pour donner accès à la position de l'objet dans un repère, c'est-à-dire relativement à d'autres objets, ou relativement au corps en prenant en compte les sensations proprioceptives. Ainsi, pour de telles stratégies, on peut imaginer que le jeu des actions et sensations permettra de réaliser un invariant sensorimoteur de pointage vers une position vide. Indiquer la position d'un objet absent n'est possible que si l'on dispose d'autant de stratégies différentes que de positions désignables. Il reste que la position perçue, comme la position désignée sont bien construites (éactées) dans l'activité sensorimotrice.

Cependant, anticipant sur les critiques que l'on fera peut-être à cette approche pour en diminuer la généralité, on pourrait dire qu'il ne s'agit là que d'une partie limitée de la perception. Celle qui concerne essentiellement la localisation. On comprendrait qu'elle soit active puisqu'elle serait surtout utile pour des opérations de bas niveau comme la fuite, la poursuite ou la saisie d'objet. Mais on n'aurait ici rien dit de la perception consciente de formes reconnues. D'ailleurs cet engrenement de l'organisme avec le milieu ne serait pas nécessairement conscient.

En effet, dans le cas de la vision, d'un point de vue internaliste, on distingue deux voies neuronales que l'on peut assez clairement associer à deux types de « traitement de l'information sensorielle » visuelle (Jacob et Jeannerod, 1999).

- D'une part, la voie dorsale (partie postérieure du lobe pariétal) qui, dit-on classiquement, traite la question du « où ? ». Par une activité rapide, automatique, le plus souvent inconsciente, elle donne accès aux orientations et relations spatiales, servant par exemple à diriger la main vers une cible. Ce contrôle visuo-moteur se réalise à partir des propriétés extrinsèques des objets données dans un référentiel égocentrique. C'est ce que Marc Jeannerod (1997) appelle une analyse pragmatique de « représentations motrices ».
- D'autre part, la voie ventrale (occipito-temporale) qui traite plutôt la question du « quoi ? ». Par un traitement plus lent de l'information, cette voie réalise la discrimination et l'identification des objets. Elle donne accès à la conscience visuelle de leurs propriétés intrinsèques dans un référentiel allocentrique. C'est ce que

Marc Jeannerod (1997) appelle une analyse sémantique de « représentations perceptuelles ».

On pourrait donc dire que la situation bien particulière décrite dans l'étude expérimentale ci-dessus se limite à proposer un équivalent de la première voie, celle de la localisation. Pour défendre la généralité de la conception de la perception comme essentiellement active, il nous faut donc aussi montrer sa validité pour la seconde voie, celle de la perception de formes.

1.2. Reconnaissance de formes :

Là aussi, nous prendrons notre exemple avec un dispositif technique minimaliste assez semblable à celui que nous venons de présenter. Le « Stylet tactile » (logiciel « Tactos ») a été développé pour rendre accessible aux aveugles les images et graphiques présents sur l'écran de l'ordinateur (Hanneton, 1999). Il consiste essentiellement en un système de commande de stimulateurs tactiles (cellules brailles générant électroniquement le mouvement de petits picots) en fonction des déplacements du curseur sur l'écran d'un ordinateur.

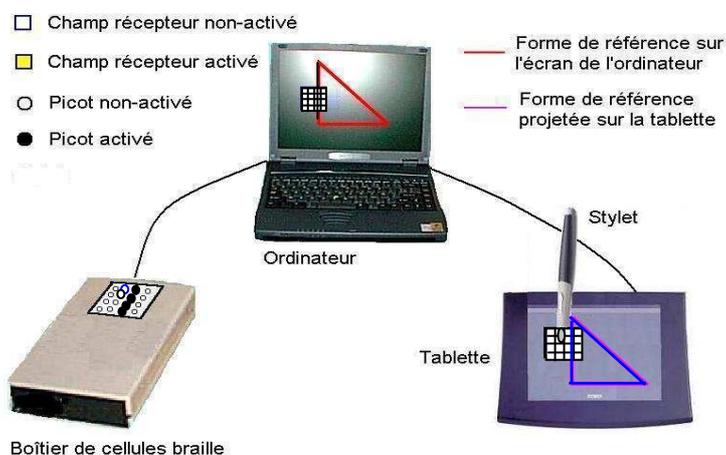


Figure 6 : dispositif Tactos comprenant le stylet et la tablette graphique, l'ordinateur et le logiciel Tactos, la matrice de cellules brailles piézoélectriques.

Le stylet d'une tablette graphique commande les déplacements du curseur qui correspond ici à une petite matrice de 16 champs récepteurs. Quand un champ récepteur croise au moins un pixel noir il déclenche l'activation en tout ou rien d'un picot de la cellule braille. Le sujet a les yeux bandés et le stimulateur tactile est installé sous sa main libre (l'autre tenant le stylet). Ce dispositif de suppléance perceptive permet donc l'exploration par le stylet sur la tablette graphique d'une image tactile virtuelle. Pour les applications pratiques, on peut encore augmenter le nombre de champs récepteurs et de stimulateurs tactiles, mais pour la recherche fondamentale il est au contraire plus intéressant de travailler dans le cas limite où l'information sensorielle est réduite à un seul stimulateur tactile correspondant à un unique champ récepteur. Or, même dans cette version minimaliste on observe une capacité de reconnaissance de formes. Les formes ne sont pas données d'un coup au système sensoriel comme un pattern bidimensionnel qu'on appliquerait sur la peau. Il n'y a qu'un champ

récepteur, donc seulement une sensation à chaque instant et donc là encore aucune spatialité intrinsèque du signal d'entrée. Si les sujets réussissent à reconnaître des formes dans un espace, ce ne peut être que par une exploration active, en intégrant dans le temps leurs mouvements et sensations tactiles. En ne donnant à chaque instant qu'une entrée sensorielle simple, on a forcé un *déploiement dans l'espace et le temps de l'activité perceptive* qui peut dès lors être facilement enregistrée et analysée. C'est ce que nous appelons des « trajectoires perceptives » (figures 7a et 7b).

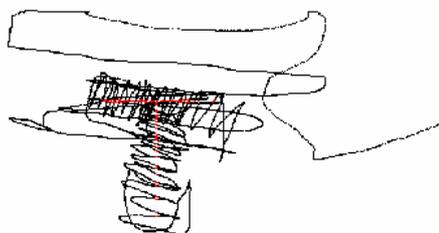


Figure 7a



Figure 7b

Cette activité perceptive laisse souvent apparaître quelques régularités comportementales (Lenay, 2002). Le sujet commence par des mouvements exploratoires assez amples, mais dès qu'il traverse une ligne, il converge aussitôt vers un *microbalayage* de petite amplitude autour de la source de stimulation. Il s'agit là essentiellement d'une opération de localisation : la position d'une singularité spatiale immobile est constituée par une anticipation stable de la stimulation tactile suivant les mouvements du stylet.

Puis, le microbalayage autour d'un premier point de contact se combine avec un déplacement tangentiel, suivant la direction locale du segment de la figure. Ce *suivi de contour* réalise une anticipation de second ordre qui parie sur la stabilité d'une fréquence temporelle de sensations.

Mais, si cette stratégie permet de reconnaître des segments droits ou courbes, ce n'est pas encore là la reconnaissance de formes plus complexes, comme des lettres. Celle-ci, 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 d'ensemble. Dès lors le stylet parcourt en oscillant et sans perdre ses bords l'ensemble de la forme.

On voit bien ici que la perception n'est pas la réception (puis la représentation) d'une forme mais sa construction active. La trajectoire est à la fois *reconnaissance* et *constitution* de la forme. La catégorisation des données perceptives comme s'intégrant à une forme connue se réalise par un geste de synthèse. Ce geste est un schème de construction de la forme par lequel les catégories de l'entendement s'appliquent aux données de l'intuition sensible (Piaget, 1936). Ici le schème d'assimilation correspond à une activité concrète, déployée dans l'espace des déplacements du sujet. Il se réalise par une « stratégie gestuelle » produisant, via les retours sensoriels extéroceptifs et proprioceptifs, un enchaînement de mouvements qui permet aussi bien d'inscrire la forme que de la saisir comme un tout dans un geste d'anticipation unique. Au sens littéral, « lire c'est écrire » (Ecco, 1988 ; Stiegler, 1994). 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. En étudiant la dynamique des trajectoires perceptives, on observe donc l'activité concrète de constitution d'une forme dans la perception. Dans un second temps, on tente de modéliser ces trajectoires en proposant différentes stratégies $a = f(s)$ pour les générer (Stewart et Gapenne, 2003). L'imagination en tant que capacité à produire des images, se trouve ainsi placée (comme d'ailleurs dans le schéma kantien) au cœur du processus perceptif lui-même, puisque c'est la capacité même de production de la forme qui est nécessaire à sa perception.

On ne peut trouver d'exemple plus clair d'une perception comme énaction - production de l'objet perçu - et non pas représentation.

Il est néanmoins remarquable que la détermination de la forme d'un objet soit effectivement une activité différente de sa simple localisation. Comme pour la seconde voie neuronale de la perception visuelle, la perception de forme est plutôt allocentrée. Lors de son exploration toute la difficulté est de rester bien accroché à son contour. Si les sujets le perdent, ils se trouvent presque immédiatement tout à fait désorientés. Incapables de retrouver le dernier point de contact, ils doivent recommencer complètement leur exploration. Par manque de précision, faiblesse de la mémoire, et dérive proprioceptive, il est tout à fait impossible de reconstruire une image de la forme dans un repère égocentré à partir de la mémorisation des valeurs articulatoires aux différents points de contact. Les sujets ne peuvent comprendre leurs mouvements exploratoires que dans un repère que définit la forme elle-même. A chaque instant ils sont seulement, à droite ou à gauche, en dessus ou en dessous, de la frontière qu'ils explorent et par-là constituent.

Ajoutons, que la perception active de forme est tout autant susceptible d'erreur que la représentation telle que définie dans la philosophie de l'esprit (possibilité d'une « misrepresentation »). En effet, ici percevoir une forme, c'est réussir à suivre son contour par un geste d'ensemble, geste qui se trouve satisfait ou déçu s'il permet ou non de conserver un rythme stable de variations sensorielles. Dans une approche phénoménologique, on dira que la perception consiste en le remplissage d'une visée perceptive, la vérification que le geste d'écriture est bien celui qui assure la lecture. Mais bien sûr, cette visée perceptive peut aussi être déçue ou incomplète. Dans la figure 7b, la forme à reconnaître était peut-être un B, ce qui d'ailleurs ne retire rien à la satisfaction de l'anticipation perceptive d'un P.

Il est clair qu'en développant cet exemple, dans les conditions très particulières d'un tel dispositif minimal, nous ne donnons au mieux qu'une preuve d'existence en faveur de la conception de la perception comme énaction active. La définition des limites à sa généralisation nous semble être une question empirique. Mais, sur cette base, semble-t-il solide, il est possible d'aller de l'avant tant qu'aucune opposition sérieuse ne se présente. Pour notre part, suivant une méthode graduelle, nous étudions comment l'activité perceptive se trouve transformée quand on complexifie progressivement le dispositif de couplage. En particulier, nous travaillons sur l'augmentation du parallélisme des entrées sensorielles, c'est-à-dire en donnant, à chaque instant, au sujet accès à une information plus complexe correspondant à une matrice de 4, 9, 16, 32 champs récepteurs, spatialement répartis. Notre hypothèse directrice ici est que le parallélisme des entrées sensorielles serait formellement équivalent à un mouvement déjà fait comme par exemple, l'utilisation de la convergence bino-

culaire pour évaluer la distance d'un objet, est formellement équivalente au changement d'orientation d'un unique œil à la suite d'un léger basculement de la tête. Dans la mesure où une telle hypothèse se vérifie, il n'y a plus de limite théorique à la généralité de cette conception de la perception active. Le parallélisme par l'économie de mouvement et de mémoire qu'il réalise produit une augmentation de la vitesse perceptive (Sribunruangrit et al., 2004). Le suivi de ligne et la reconnaissance de forme se trouvent améliorés (Gapenne et al., 2001). Ces petites rétines réalisent une forme de ré-internalisation partielle de l'activité perceptive qui cependant nécessite toujours de maintenir des mouvements, même s'ils sont mieux contrôlés et de plus faible amplitude. On est bien sûr fort loin de l'extraordinaire matrice de cellules sensorielles de la rétine d'un œil évolué, mais il faut se souvenir que même là, si les mouvements de l'œil cessent tout à fait, la perception s'évanouit (Ditchburn, 1973 ; Steinman et Levinson, 1990).

La généralité des dynamiques de la relation sensorimotrice permet aussi de comprendre l'équivalence que l'on observe souvent entre illusions tactiles et illusions visuelles (Gentaz et Hatwell, 2005). En effet, si par exemple, la perception tactile par exploration avec un doigt des lignes des figures de Muller-Lyer (figure 8a) produit la même illusion que lors de leur perception visuelle, c'est certainement que cette illusion s'enracine dans une structure dynamique commune du couplage entre ces systèmes perceptifs et ces formes simples. Dans le cas de l'illusion Verticale-Horizontale, dans laquelle on tend à surévaluer le segment vertical d'un T inversé ou d'un L (figure 8b), ce qui dans l'exploration haptique correspond à une déformation des longueurs par un mouvement plus difficile et plus lent dans le sens vertical (Hatwell, 1960), correspondrait dans la perception visuelle à une courbure de la rétine ou à une organisation anisotropique de la matrice des cellules sensorielles (à moins qu'elle ne soit liée aux plus faibles vitesses et amplitudes des saccades oculaires verticales).

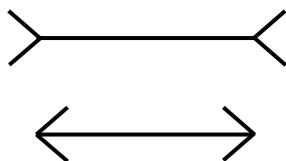


Figure 8a



Figure 8b

Cependant, on pourrait toujours tenter de retraduire en termes internalistes la conception de la perception comme éaction que nous venons de décrire et exemplifier. Au prix d'un redoublement représentationnaliste, on dira qu'elle ne fait que décrire des mécanismes d'acquisition d'information pour ce qui ne serait finalement qu'une activation ou une reconstruction interne de représentations. On resterait dans un cadre internaliste où une représentation de la forme (un modèle) définirait des conditions de validation, ou réfutation, de cette forme. Nous voulons au contraire défendre une position externaliste pour laquelle la perception consiste en la production (éaction) de cette forme dans l'espace même des actions concrètes nécessaires à sa perception.

II. EXTERNALISME

II.1 La question de l'espace de perception

Il y a plusieurs acceptions possibles de l'opposition entre internalisme et externalisme (Rowlands, 1999 ; Jacob, 2002). Classiquement, dans la philosophie de l'esprit représentationnaliste, on s'entend sur un sens que nous dirons ici faible et qui n'est pas celui que nous allons retenir. Il ne concerne que le contenu intentionnel de représentations ou états mentaux toujours admis comme instanciés par des états cérébraux internes. La question est seulement de savoir comment ces représentations internes sont dotées d'un contenu intentionnel (réfèrent ou valeur de vérité). L'internalisme tentera de défendre que la valeur intentionnelle est produite seulement à travers le système des relations internes entre ces représentations (contenu étroit). L'externalisme considèrera, au contraire, que le contenu intentionnel d'une représentation ne peut être complètement défini sans considérer aussi les relations causales ou nomologiques entre l'organisme et son environnement (contenu large).

Pour le débat qui nous intéresse ici, nous adopterons plutôt un sens fort de l'opposition entre internalisme et externalisme, opposition pour laquelle la question est celle de savoir si la cognition, et en particulier l'activité perceptive, procède ou non par la computation de représentations internes. La question de cet externalisme fort (« active externalism » (Clark, 1997 ; 2003 ; Hutchins, 1995)) est à la fois ontologique et méthodologique : la cognition est-elle ou non localisée dans l'organisme et en particulier le cerveau ? et dès lors l'individuation des états cognitifs peut-elle se limiter à une étude des états cérébraux ou doit-elle plutôt être celle de la dynamique du couplage entre l'organisme et son milieu ? Si l'on admet qu'une représentation est un état interne doté d'un contenu, que celui-ci soit à comprendre dans un sens étroit ou un sens large, une posture externalisme au sens fort est *ipso facto* non représentationnaliste, comme nous allons tenter de le défendre ici.

Remarquons tout d'abord que, posée à partir du cadre de la philosophie de l'esprit anglo-saxonne, l'opposition internalisme / externalisme est évidemment spatiale. Dans ce cadre, la problématique spécifique de la naturalisation de l'esprit se caractérise par la position épistémologique générale consistant à considérer la psychologie comme une science spéciale et non pas fondamentale ou générale (Pacherie, 1995). Ce serait seulement une discipline qui en dernier lieu, après la physique, la chimie, la biologie qui auraient chacune dite ce qu'il en est du monde et de l'homme, viendrait ajouter des états mentaux dans des organismes déjà connus. Il faudrait alors résoudre le problème d'un esprit qui devrait être localisé dans le cerveau, et simultanément « porter » des contenus intentionnels à propos de ce qui hors de ce cerveau.

Or, si l'on s'intéresse en particulier à l'expérience perceptive de l'espace, ce problème est démultiplié. En effet, dans une telle perspective représentationnaliste il faut admettre l'existence de représentations internes des positions et formes des objets perçus. Il y aurait dès lors, redoublant l'espace physique externe, une forme d'espace de représentation interne, que ce soit une organisation innée ou une structure construite dans le développement. On devrait admettre deux espaces emboîtés. D'une part, l'espace de la physique qui contient toute chose y compris les organismes percevant. Et d'autre part l'espace de représentation interne que chacun de ces organismes serait localement capable de reconstruire dans son cerveau.

Dès lors se posent une multitude de problèmes bien connus. N'y a-t-il pas un risque de régression à l'infini dans la mesure où il faudrait encore rendre compte d'un mécanisme de perception de cette représentation ? Qu'est-ce qui assure l'adéquation entre cet espace de représentation interne et l'espace objectif réel si du moins celui-ci existe ? Comment concilier une telle conception de l'espace et notre expérience perceptive d'être immergés dans un monde englobant ? Bien sûr, chacun de son côté ne pourrait accéder qu'à cet espace interne dans lequel il représenterait les objets, leurs formes, propriétés et positions relatives, ainsi que les positions et les mouvements de son propre organisme. Admettre une telle conception des représentations spatiales, ce serait donc considérer que l'espace qui m'englobe et que j'explore serait en définitive comme « contenu » dans ma tête : quand je m'avance, je marche dans ma tête ! Même si chacun de son côté ne pouvait s'en rendre compte, adopter cette théorie psychologique devrait nous conduire à l'attribuer à nos alter-ego : il nous faudrait penser sérieusement que les êtres intentionnels qui nous entourent possèdent chacun de leur côté, leur propre espace de perception, radicalement distinct du notre. Et quand nous interagissons autour d'objets communs ou quand nous croisons nos regards, il faudrait admettre que le savoir partagé de ces objets (Common Knowledge) résulte d'un emboîtement infini d'espaces distincts : quand je rencontre d'autres organismes percevant, je pourrai leur attribuer une intentionnalité et admettre qu'ils possèdent eux-mêmes leur propre espace de représentation dans lequel je serai moi-même représenté comme un système intentionnel possédant un espace de représentation dans lequel eux-mêmes ...

Le problème nous semble particulièrement bien posé dans la première étude expérimentale que nous avons présentée. Comme on l'a vu, il n'y a aucune spatialité intrinsèque aux données sensorielles, contrairement à une rétine qui donnerait au moins une structure bidimensionnelle des informations extéroceptives. Pour localiser la cible, le sujet ne dispose que d'un bit d'information à chaque instant. Sur cette seule base il doit constituer l'espace de sa perception avec ses trois dimensions dans lesquelles cette cible sera située, et ceci sans pouvoir utiliser une synchronisation intermodale de différentes données sensorielles extéroceptives.

Dans ces conditions très particulières, on voit donc se rejouer la constitution d'un espace de perception. Bien sûr, on pourrait dire que cette constitution est limitée à une extension particulière du corps propre et peut s'appuyer sur une connaissance préalable de l'espace. Cependant, l'espace des positions de la cible reste bien à constituer puisque si, par exemple, on contraint le sujet à ne déplacer que son bras main tendue, toutes autres articulations bloquées, la cible ne pourra plus être localisée en distance. Sa direction sera perçue dans un espace bidimensionnel de directions possibles, mais sa distance ne sera plus constituable, quoique le sujet « connaisse » par ailleurs l'idée de profondeur². Nos expériences permettent donc bien de montrer que les actions accessibles sont des conditions de possibilité de la construction d'un espace de perception.

Pour comprendre cette construction, on peut suivre les travaux de Henri Poincaré qui propose de définir l'espace de la perception d'un agent, comme la

² De même, un physicien peut « connaître » une quatrième dimension (ou 11 dimensions comme dans les dernières théories de synthèse de la physique), il n'empêche que sans les moyens d'une navigation indépendante et réversible dans cette autre dimension, il ne pourra avoir l'expérience perceptive que de projections tri ou bidimensionnelles des objets qu'elle contient.

façon la plus commode d'organiser les liens entre ses commandes motrices et les retours sensoriels qu'elles provoquent (Poincaré 1905 ; 1907).

« 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 ;... »³

L'espace de la perception (qu'il appelle « espace représentatif ») serait construit par le sujet à partir de sa reconnaissance de la différence entre les changements qu'il peut compenser par ses mouvements et les changements d'état qu'il ne peut compenser. C'est donc la réversibilité, la possibilité de revenir à une même position qui rend possible la construction d'un espace de perception. 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. La géométrie et les dimensions de l'espace telles qu'elles nous apparaissent dans notre expérience vécue ne correspondraient donc qu'à une certaine organisation que nous trouvons dans les régularités qui lient actions et retours sensoriels (Philipona, O'Regan, Nadal, 2003).

Mais si l'on admet que la perception est active, et que c'est par ses actions que le sujet constitue un espace de percepts, comment donc caractériser ces actions ? Pour éviter le cercle vicieux qui consisterait à se donner d'abord l'espace pour définir les actions comme des mouvements, Poincaré suppose que le sujet n'accède d'abord qu'à des données proprioceptives internes.

« 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 pré-existence de la notion d'espace. »⁴

En effet, on peut définir une proprioception de l'action avant qu'elle ne soit constituée comme mouvement spatial. Admettons simplement que la proprioception consiste en l'existence d'un type de sensation spécifique tel que pour chaque action articulaire différente possible, il y ait une sensation proprioceptive différente. Ainsi, par définition, cette proprioception n'aurait pas de signification spatiale intrinsèque, puisque pour que l'on puisse parler d'espace, il faut considérer qu'existent des actions (déplacements) tels que de mêmes actions (de mêmes déplacements) puissent donner des sensations *différentes* en fonction de ce que l'on pourra dès lors appeler des *positions* dans cet espace : les sensations reçues dépendent des positions dans la mesure où elles peuvent être différentes pour des actions semblables. Ce ne serait donc seulement que dans un second temps, par le croisement entre les informations proprioceptives et des informations extéroceptives, que serait construit un espace dans lequel les actions pourraient être comprises comme des mouvements. Dans notre cas, les séquences de sensations extéroceptives tactiles seraient comparées aux sensations proprioceptives des mouvements du bras pour construire un espace tridimensionnel de pointage vers des objets lumineux.

Mais, admettant pouvoir accéder de façon interne à nos propres actions, nous nous trouvons trop facilement reportés à l'intérieur de notre organisme, comme à l'intérieur d'un sous-marin où nous aurions d'un côté, un tableau des

³ Poincaré (1907 : 82). Souligné dans le texte.

⁴ Poincaré (1907 : 82).

sensations proprioceptives, et de l'autre un tableau des données sensorielles extéroceptives. Par analyse des relations entre les activités de ces tableaux serait calculée une organisation spatiale des objets et événements extérieurs, ainsi que la position du sous-marin relativement à ces objets. Dès lors, l'espace de la perception serait une construction interne distincte de l'espace externe « réel ». On se trouverait ainsi ramené à une perspective internaliste de la perception spatiale. On reviendrait au problème du redoublement propre à toute approche représentationnaliste. Problème de redoublement de l'espace qui d'ailleurs se pose aussi bien que l'on se donne un accès proprioceptif périphérique aux actions ou un accès immédiat central aux commandes de ces actions (copies efférentes). Dès lors que l'on admet une connaissance préalable des actions effectuées, on s'offre la possibilité trompeuse de construire un espace interne, ce qui conduira inexorablement aux apories que nous avons beau jeu de rappeler. Ainsi, pour défendre une approche énacliviste, non représentationnaliste, il ne suffit pas d'admettre que la perception est active et l'espace construit. Il faut encore montrer que cette construction n'est pas un processus purement interne.

II.2. UN SEUL ESPACE

Suivant un principe d'économie ontologique et pour tenter de résoudre les difficultés théoriques du représentationnalisme nous défendons qu'il n'y a qu'un seul espace pour les objets et pour leur perception, pour le corps et pour ses actions. En effet, la cohérence de l'approche externaliste exige un monisme de l'espace, qui n'est pas d'ailleurs nécessairement un monisme ontologique. Il y a toujours à supposer l'existence d'un au-delà des phénomènes, au-delà de l'espace et du temps de la conscience. Mais, respectant le conseil de prudence kantien, nous ne rentrerons pas dans ces considérations métaphysiques. Il suffit ici de défendre que l'espace tel que constitué dans notre conscience est l'espace même qui sert à la construction de l'objectivité de nos sciences physiques, biologiques, sociologiques, et psychologiques. Mais cette conception n'est pas non plus si confortable. En effet, il faut à la fois que l'espace soit construit et objectif, produit par le sujet et englobant, possédant toujours un ailleurs en excès sur ce qu'il en connaît. Pour défendre cette conception alternative, il faut donc se donner les moyens de conduire les discussions épistémologique et théorique sur deux plans, subjectif et objectif, qui s'opposent et se répondent. Nous reprendrons notre première situation expérimentale qui à l'intérêt de permettre de conjuguer clairement ces deux approches bien distinctes. D'une part, une analyse de « phénoménologie expérimentale » où l'on examine, en première personne, la constitution d'un espace de l'expérience vécue dans des conditions techniques définies. Et d'autre part, une analyse psychophysiological sur la construction par les sujets d'un espace de perception. Par aller-retour entre ces deux perspectives et par variation du dispositif technique, on se propose de trouver, sans les confondre, les répondants objectifs des éléments de la constitution subjective et réciproquement (Lenay et Sebbah, 2001).

La première approche peut simplement se comprendre comme un déplacement vers la prise en compte du point de vue de l'observateur. On quitte le « il » abstrait de l'objectivité, pour une première personne, « je » ou « nous », dotée de conscience pour laquelle il y a expérience vécue d'un espace objectif contenant les phénomènes observés. En effet, l'approche phénoménologique consiste, méthodologiquement, à se limiter à la sphère interne de la conscience

pour comprendre la genèse de l'expérience. Dans cette approche, il est posé d'emblée que l'espace de la perception est l'espace de l'objectivité lui-même en tant que celui-ci doit toujours d'abord être constitué par une conscience. Dans notre expérience vécue, il n'y a clairement pour nous qu'un seul espace, celui dans lequel les objets nous apparaissent. Depuis Husserl, et surtout Merleau-Ponty, on a longuement décrit comment cette constitution de l'espace, et en particulier de la profondeur, se réalisait sur la base d'un engagement originaire, une intentionnalité motrice, dont la condition de possibilité est une spatialité du corps propre, antérieure à l'espace objectif qui sera constitué (Husserl, 1907 ; Merleau-Ponty, 1945). Dans notre situation expérimentale, en première personne, cette spatialité originaire est celle de mon bras qui me permet de m'engager dans la profondeur. En effet, la perception de la profondeur suppose bien le pouvoir de s'engager dans l'espace perçu puisque, comme on l'a vu, si on limite les possibilités d'actions aux rotations de l'épaule bras tendu, je n'accède plus qu'à un espace bidimensionnel de directions possibles pour lequel il n'y a plus de distance concevable dans une profondeur. L'espace de la profondeur est *constitué* dans la sphère de la conscience, comme l'espace où s'engage et se déplace un point de vue et où il se distingue des autres objets constitués. Mon point de vue correspond à mon point d'action, le lieu très particulier qui est celui à partir duquel j'agis et me déplace. 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. Maintenant, dans l'objectivité ainsi constituée, on peut rejouer, en troisième personne, la construction d'un espace perceptif⁵.

Dans l'étude objective de notre situation expérimentale, la perception de la position de la cible par le sujet s'explique par son savoir-faire concret d'un pointage qui « l'accroche » bien. Elle ne présuppose pas une représentation des actions effectuées mais seulement une causalité circulaire qui, du côté de l'organisme nécessite le savoir-faire d'une « stratégie » spécifique définissant les actions que ce dernier exécute à partir des sensations qu'il reçoit ; mais qui nécessite aussi, du côté du milieu, une causalité qui définit les perturbations distribuées à l'organisme en fonction des actions qu'il exécute. C'est seulement en s'avancant que le sujet construit pour lui la profondeur dans laquelle il s'avance. L'espace des pointages vers la cible est l'espace même de cette cible et des mouvements de l'organisme. La perception se réalise par la dynamique de l'activité concrète et non dans une représentation de cette dynamique. Une connaissance intellectuelle préalable des actions effectuées n'est pas nécessaire. Seul compte le savoir-faire de s'avancer réversiblement dans l'espace pour que celui-ci se constitue pour le sujet. Le groupe de déplacement de Poincaré est ainsi plutôt une description de la façon dont l'espace de perception est construit, non pas dans le cerveau, sur la base de représentations des actions, mais plutôt, dans le couplage, par les actions concrètes elles-mêmes. C'est un « groupe pratique » au sens de Jean Piaget (1937). L'espace perceptif est construit par la grandeur concrète d'un organisme articulé, dès lors que ses actions permettent de découvrir des domaines de réversibilité. Espace de la perception et espace de l'objectivité sont là encore co-extensifs. C'est ce que nous avons représenté dans notre schéma (figure 5) en plaçant la perception au cœur du couplage et non pas dans l'organisme. Plutôt que l'image du sous-

⁵ Nous employons le terme « construction » dans l'explication objective en troisième personne comme répondant de la « constitution » dans la description subjective en première personne.

marin dans lequel serait reconstruite une représentation du monde, nous préférons l'image du plongeur qui fendant l'air puis l'eau s'engage dans un monde constitué par ce mouvement même, un monde qui l'englobe et où il est « immergé ».

Insistons sur le fait que la distinction entre les deux approches, en première et en troisième personne, ne signifie pas qu'il y aurait comme deux espaces différents, un espace « intérieur » de l'expérience vécue, 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 définissant à chaque fois dans ce seul espace – deux fois compris.

Dans la mesure où nous ne voulons admettre qu'un seul espace, nous assumons une perspective non représentationnaliste radicale très proche de celle que proposait Francisco Varela (1989). Si la perception n'est pas dans l'organisme, elle doit alors se définir dans son couplage avec le milieu, et l'espace même de cette perception doit lui aussi se constituer dans ce couplage.

Cette conception de la perception nous semble aussi proche de celle de James J. Gibson. 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 (Gibson, 1966 ; 1986). 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 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 approche en ce qu'elle consiste 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 côtés. 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.

Dans cet espace unique, l'intérieur du sujet se sépare comme tout ce qui se déplace avec son point de vue (son point d'action) et son extérieur est défini comme tout ce par rapport à quoi il se déplace. Cette limite entre intérieur et extérieur ne correspond pas nécessairement à la peau qui sépare l'organisme de son environnement mais se renégocie sans cesse dans le cours de l'activité suivant les articulations et les médiations de l'action. Le stylo que je tiens fermement en main (qui ne bouge pas relativement à moi) est « intérieur » et transforme les possibilités d'agir et de sentir de mon corps propre. La feuille sur laquelle je laisse une trace est « extérieure » puisque mon point d'action (la pointe du stylo) ou mon point de vue se déplace relativement à elle. Même l'unique champ récepteur dans nos expériences est « intérieur » en tant qu'il est le point de vue à partir duquel le sujet agit et perçoit. Et la forme perçue est « extérieure » en tant que le champ récepteur doit aller et venir réversiblement autour d'elle. Si cette forme est elle-même en déplacement, elle pourra encore être localisée et donc ce mouvement être perçu à la condition que le sujet puisse se déplacer plus vite qu'elle pour la dépasser, la laisser venir, la rattraper. Il y a ainsi un « mur de la perception » (comme on dit qu'il y a un mur du son) qui correspond à la vitesse maximum à laquelle le sujet peut se déplacer. Au-delà, l'objet n'est plus localisable dans un espace⁶.

Ainsi, relativement à la question ontologique posée plus haut, la conception de la perception spatiale que nous défendons ici n'est d'une certaine façon, ni externaliste, ni internaliste, puisque l'espace de la perception et ses contenus sont constitués dans le couplage entre l'organisme vivant et son milieu. C'est seulement à partir de cet entre-deux qu'il y a un espace perceptif, c'est-à-dire un monde propre pour l'organisme. L'espace est la forme du couplage, le domaine structuré des invariants constituables.⁷ Mais si l'on s'inscrit dans cet espace pour distinguer et localiser le point de vue par rapport à des objets, alors notre approche devient clairement externaliste en ce que la perception des objets n'est pas derrière le point de vue mais bien devant lui, dans l'espace même où il se déplace.

Dans l'approche de la perception que nous proposons, il faut admettre que si le sujet à bien un savoir-faire, il ne peut néanmoins connaître *directement* les actions qu'il effectue. En effet, si l'on posait que la connaissance de nos propres actions (c'est-à-dire leur distinction parmi un ensemble de possibles dé-

⁶ Bien sûr, si l'on dispose d'une spatialité originaire du corps propre sous la forme d'une matrice de champs récepteurs, on pourra sentir passer l'objet qui se déplace sans se déplacer soi-même. Mais, comme on l'a vu, ce parallélisme peut être compris comme un « mouvement déjà fait » entre les points de vue correspondant aux différents champs récepteurs, un « mouvement » dont la vitesse devrait plutôt être limitée par le pouvoir de discrimination entre les activations successives des champs récepteurs ainsi que par leur capacité d'adaptation aux variations rapides du signal.

⁷ D'autres formes de couplage donneront accès à d'autres formes d'espaces aux dimensionnalités différentes comme semble le montrer par exemple la physique infra-atomique quand de nouveaux dispositifs de couplage (comme les accélérateurs de particules) donnent accès à de nouvelles structures d'invariants.

terminés) précédait celle de l'espace où elles sont définies comme des mouvements, on serait aussitôt renvoyé à la construction interne d'un espace distinct de celui du corps et des objets. Mais le savoir-faire de l'action pour percevoir et connaître ne présuppose pas la connaissance préalable de cette action. Nous défendons donc plutôt la co-constitution de la position des objets et des actions comme déplacements du point de vue relativement à ces objets, ce qui est d'ailleurs l'expression de la relativité des positions et mouvements dans un espace. La connaissance déterminée de l'action est secondaire, même si toute notre démonstration sur la perception active vise à montrer que son savoir-faire est, lui, originaire. La conséquence ultime d'une conception externaliste est donc que la perception de nos propres actions est elle-même externe, comme perception d'un mouvement dans un espace qui est justement défini comme l'ensemble des déplacements possibles. La valeur spatiale des sensations proprioceptives attachées à ces actions doit être elle-même acquise, et sans cesse recalibrée, à partir de cette perception extéroceptive des mouvements effectués relativement aux objets.

Remarquons que si ce que l'on fait n'est connu que toujours en retard et imparfaitement via les conséquences sensorielles extéroceptives de ces actions, et que pourtant ces actions sont constitutives des percepts et de leur espace, alors on comprend que cet espace puisse être toujours englobant, toujours à découvrir comme un donné à explorer.

Au delà du simple savoir-faire ou de la relation fonctionnelle directe aux objets, il y a clairement dans notre conscience une perception de l'espace lui-même comme vide entre les choses. La perception des objets et de nos actions va en même temps que celle de l'espace qui les sépare et les environne. Ce vide est l'ensemble infini et continu des possibles dans lequel se découvrent les mouvements effectués. S'il y a un espace pour la conscience, c'est comme pouvoir de poser la question « où ? », c'est-à-dire la capacité de reconnaître notre ignorance préalable de ce qui sera finalement perçu. Il nous semble donc que l'ignorance originaire de l'action est une condition nécessaire pour constituer le champ de possibles dans lequel elle sera finalement déterminée.

Quand je vois la mer devant moi, cette perception n'est pas une représentation mentale simplement liée à une activité spécifique de mon cerveau, mais elle se déploie dans cette immensité elle-même, jusqu'à l'horizon. Ce n'est pas dire que ma perception accéderait directement à une réalité physique objective indépendante. Je ne vois pas, par exemple, la formidable masse de molécules de H_2O et $NaCl$ qui n'est perceptible que par les théories et instruments (d'ailleurs toujours imparfaits et inachevés) de la science. Mais, sans sortir des limites de ce que je peux constituer, *par* mes yeux et mon corps qui s'avance sur la plage, je suis bien *dans* le monde que je perçois. C'est, me semble-t-il, seulement dans cette disposition épistémologique que je peux, sans bien sûr jamais pouvoir sortir de ma conscience, accéder à un donné perceptif véritable et donc sincèrement m'étonner et m'interroger en contemplant le monde.

III. CONSEQUENCES METHODOLOGIQUES ET THEORIQUES

Cette conception de l'expérience perceptive a d'importantes conséquences à la fois pour le travail phénoménologique et pour le travail psychophysiologique.

L'objectif de la recherche étant de rendre compte de la structure et du contenu de l'expérience, elle doit s'appuyer sur les analyses, en première personne, d'une phénoménologie philosophique, mais aussi sur les observations

d'une phénoménologie psychologique qui cherche à définir des protocoles rigoureux pour accéder systématiquement à cette expérience vécue des sujets (Vermerish, 2000). Mais ce faisant, on ne prétendra pas chercher des « faits de consciences » qui seraient à localiser dans l'espace physique puis à relier à un contenu distinct. Comment, sans contradiction, espérer pouvoir trouver dans l'espace de l'objectivité que l'on a constituée, le constituant qui l'a produit ? Pour articuler description phénoménologique et explication psychophysiologique, il faut au contraire employer la méthode des répondants que nous avons esquissée plus haut, et chercher non pas à comprendre la perception pour une conscience localisée, mais plutôt à recommencer sur le plan objectif la construction d'un espace et d'une séparation entre un point de vue et des objets perçus. Pour autoriser ce passage d'une analyse en première personne à une étude objective de l'activité perceptive, il faut poser le principe que l'objectivité est justement constituée pour cela, de sorte à ce que l'on puisse y retrouver les répondants des composantes subjectives de la constitution de l'expérience vécue. C'est là le rôle pivot joué par l'outil dans notre recherche. Outil qui peut réversiblement, ou bien être déposé devant soi simple chose spatiale constituée dans l'objectivité ; ou bien être saisi et se révéler capable de transformer le pouvoir constituant de percevoir. L'espace de l'expérience vécue humaine doit donc être constitué sur le plan subjectif de sorte à ce que l'on puisse y percevoir et construire des objets et dispositifs tels qu'une fois saisis, ils transformeront cette expérience vécue. Ce n'est pas une hypothèse extravagante que d'admettre que le sens général minimal de l'expérience vécue est de donner accès à ce qui peut la modifier. Si nous pensons et percevons, n'est-ce pas d'abord pour pouvoir penser et percevoir ce qui peut affecter (blesser, amplifier, transformer) nos facultés de penser et de percevoir⁸. Dès lors, le principe régulateur de la recherche consiste à poser que toutes les conditions de possibilité de l'expérience vécue que l'on pourra dégager par la description phénoménologique devront avoir leurs répondants objectifs. Par exemple, la spatialité originare du corps propre trouve son répondant dans la grandeur objective d'un organisme articulé ; l'engagement originare de l'action trouve son répondant dans un mouvement vers l'avant. De même pour la reconnaissance de formes, en employant un vocabulaire kantien, on dira que le schème par lequel l'entendement synthétise le divers des phénomènes et constitue l'objet a pour répondant une stratégie qui commande un geste de reconstruction de cette forme, c'est-à-dire un geste d'exploration concret qui parcourant la forme réalise une détermination des sensations par les actions. Ou bien, en employant plutôt le vocabulaire de la phénoménologie husserlienne, on dira que le remplissement de la visée intentionnelle a pour répondant cette activité motrice quand elle réussit à construire un invariant sensorimoteur. Dans ce cadre, l'étude des effets cognitifs des outils peut alors se comprendre comme une forme de « phénoménologie expérimentale » dans laquelle on observe comment l'expérience vécue se trouve transformée quand le corps propre est modifié par la prothèse saisie. Le rapport entre les deux approches que nous avons proposées n'est donc pas à comprendre comme un simple parallélisme psycho-physiologique, ou même phénoméno-physiologique, mais

⁸ Si l'on admet que toute conscience est conscience d'un événement, c'est-à-dire d'un changement de la conscience, alors c'est par essence et nécessité transcendantale que nous ne pouvons être conscient que de ce qui change cette conscience. Suivant une démarche kantienne, le pas suivant de notre raisonnement consiste à passer au plan réflexif de la description de l'activité de la conscience en posant ce qui ne peut être alors qu'un principe régulateur de la recherche.

plutôt comme un englobement, si l'on veut réciproque, mais cependant asymétrique si l'on reconnaît que c'est toujours pour une conscience que l'on commence.

Pour la recherche objective psychophysiological, les bénéfices d'une perspective externaliste nous semblent considérables. Tout d'abord, on échappe aux apories du représentationnalisme en abandonnant la recherche d'états mentaux qui seraient à localiser dans l'espace physique neurophysiologique puis à relier à un contenu distinct. Comprendre une perception n'est pas comprendre l'activation adéquate ou non d'une représentation, mais à chaque fois expliquer la construction d'un contenu perceptif. Ceci nous semble pouvoir être généralisé à tous les processus cognitifs. L'objectif de la recherche sera alors de déterminer les répondants objectifs des conditions de réalisation des opérations cognitives en proposant à chaque fois une explication aussi complète que possible du couplage entre l'organisme et son milieu. Même si le cerveau y tient une place nécessaire, elle n'est pas suffisante. Ses capacités de mémoire, de combinatoire et de calcul déterminent les stratégies $a = f(s)$, mais la dynamique du couplage n'est comprise qu'en considérant aussi les médiations organiques et techniques qui, via le milieu, définissent le retour de la causalité $s = g(a)$. Dès lors que l'on se place dans le cadre strict de la causalité physique objective, on ne rencontre pas de fait de conscience localisable mais seulement leur répondant dans le système dynamique général où s'insère l'organisme. Il n'est pas étonnant de ne trouver dans l'observation du cerveau que des cellules et des processus physiologiques complexes, et non des connaissances ou des percepts. Suivant la méthode des répondants, quand on se place sur le plan des analyses objectives, il faut assumer une forme de béhaviorisme radical qui n'accepte de ne pouvoir rencontrer que des jeux d'actions et de réactions organiques comprenant bien sûr la structure immensément complexe du cerveau. Ainsi, plutôt que de chercher à individuer des états de conscience dans le système nerveux, on cherchera le passage de la causalité circulaire qui lie les entrées sensorielles aux actions, passage dont on comprend qu'il puisse conserver la spatialité des entrées sensorielles dans la suite des « cartes » neuronales que l'on trouve dans de multiples aires cérébrales (comme les cartes rétinotopiques, somato-sensorielles, motrices, etc.)⁹. Ce couplage doit certainement se décrire par des systèmes dynamiques complexes de type connexionnistes qui, par exemple, expliquent l'émergence de formes, ou d'organisations temporelles. Néanmoins, de tels systèmes ne peuvent en eux-mêmes que caractériser des structures et des causalités physiques objectives, et ne pourront être par là que des répondants de la genèse du sens dans l'expérience vécue.

Le point de vue du sujet qui correspond à son « point d'action » est nous semble-t-il à attacher nécessairement à un système vivant qu'on pourra définir, suivant en cela Francisco Varela, comme une unité autopoïétique. Mais cette localisation du point de vue n'est pas celle du contenu de l'expérience. La causalité circulaire qui assure le maintien dans l'existence de l'unité autopoïétique engage non seulement ce qui est compris derrière les frontières de sa membrane ou de sa peau, mais aussi toutes les conditions environnementales qu'elle définit et modifie par ses actions. De même, les opérations cognitives

⁹ Le répondant d'une expérience de l'unité de la conscience n'est plus à chercher dans l'unité d'un lieu ou même dans une résonance interne entre diverses structures neuronales, mais dans l'unité du monde construit dans le couplage.

peuvent mobiliser aussi bien des structures internes de l'organisme que des structures et traces dans son environnement.

La question de l'intersubjectivité est maintenant simplifiée : nous sommes dans le même espace, espace de nos corps et de nos actions concrètes. Nos perceptions sont construites (énactées) et non pas représentées de façons semblables dans la mesure où nos moyens d'action et de sensation sont suffisamment semblables. L'espace est commun dans la mesure où ces actions interagissent via le milieu concret partagé. Cependant, nos perceptions se différencient par la différence des points de vue expliquant des accès différents à ce même espace partagé où ces positions peuvent être définies les unes par rapport aux autres¹⁰.

Le bénéfice peut-être le plus important de cette approche externaliste est de donner toutes leurs places aux corps et dispositifs techniques dans l'activité cognitive. Une telle conception externaliste est particulièrement appropriée pour la compréhension des conditions techniques de l'expérience et donc du rôle de l'environnement et des outils dans l'activité cognitive. La thèse forte de la cognition située est que les dispositifs techniques ne réalisent pas seulement des modifications artificielles d'une cognition qui serait « naturelle », mais ont un rôle *constitutif* des activités cognitives pour la perception, le raisonnement, la mémoire, l'imagination ou les interactions.

Ainsi, dans le cadre de la cognition située, l'activité cognitive d'un ou plusieurs sujets peut se comprendre par un jeu d'inscriptions dans le milieu et d'interprétations perceptives (schématisme actif de détermination de l'objet par une stratégie gestuelle de saisie du divers comme on l'a vu pour la reconnaissance de formes) de l'organisation spatiale d'objets et symboles. Dans la dynamique du couplage, les organismes modifient sans cesse la situation partagée en fonction de leur perception de cette situation. Les inscriptions servent de mémoire externe et partageable, comme pour la stigmergie des structures émergentes chez les organismes sociaux (*Intellectica*, 1994). Par leur organisation spatiale (comme des tableaux de données) ou par leur intégration à des processus physiques (comme des ordinateurs), ces inscriptions suscitent de nouvelles interprétations qui conduisent à de nouvelles inscriptions. Dans la mesure où par leur activité interprétative les sujets modifient les conditions de leurs interprétations suivantes, on peut parler d'un parcours herméneutique (figure 9).

¹⁰ La question, que nous ne pouvons pas développer dans les limites de ce papier, des répondants subjectifs (des premières personnes) de ce partage d'un même monde est un des axes principaux de notre recherche actuelle.

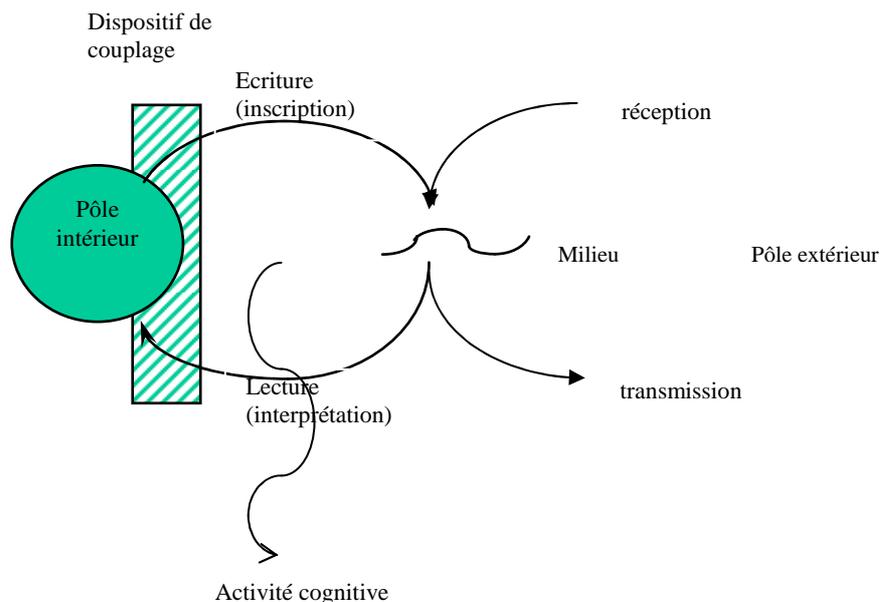


Figure 9

L'apprentissage et la découverte peuvent se comprendre par la saisie de nouveaux outils ou la mise au point de stratégies nouvelles. Par ce jeu d'écriture et de lecture (au sens large) et par fabrication d'outils saisissables (dispositifs de couplage), on peut rendre compte de toutes les opérations cognitives concrètes observées. En effet, la puissance d'une telle dynamique est paradoxalement au moins celle de la machine de Turing qui justement définit la calculabilité par un jeu d'écriture et de lecture d'une mémoire illimitée. Bien sûr, on peut aussi considérer des formes d'écriture « interne » dans le cerveau des événements ou des stratégies apprises. Mais il n'y a pas de privilège particulier à cette mémoire relativement à une mémoire externe dans le milieu entourant l'organisme (Dartnall, 2005).

Bien entendu, la puissance de combinaison, de mémorisation, de récursivité du système nerveux permettent d'imaginer toutes sortes d'internalisation des opérations que l'on peut par ailleurs observer dans le système des relations corporelles avec le milieu. Mais, suivant un principe heuristique que nous appelons « principe des opérations concrètes », pour toute opération interne, on peut chercher une chaîne opératoire concrète (action, inscription, sensation) ayant la même dynamique fonctionnelle, dynamique qui pourra inversement servir de modèle directeur pour identifier et comprendre sa reproduction dans le système nerveux central.

Par exemple, les capacités d'anticipation ou de réflexion ne renvoient pas nécessairement à une structure représentationnelle de l'esprit, mais à la faculté de production imaginative d'un contenu d'expérience, faculté qui peut être extérieure à l'organisme quand, dans un domaine réservé, on joue ou décrit une situation passée ou à venir - ou internalisée quand c'est dans l'intimité du corps que se construisent ou reconstruisent des situations d'action et de perception.

L'analyse et l'innovation dans le champ des « technologies cognitives » - c'est-à-dire des dispositifs qui supportent notre activité cognitive (et non pas des systèmes qui penseraient à notre place) - s'inscrit naturellement dans cette conception énative¹¹. En effet, si l'on revenait à une conception représentationnaliste, la compréhension des conditions techniques de nombreuses opérations cognitives nécessiterait encore des redoublements périlleux. Par exemple, pour comprendre l'utilisation de traces externe comme support d'une mémoire on devrait mobiliser des capacités représentationnelles cognitives complexes de ces traces. On ne comprendrait plus comment elles peuvent soulager ou augmenter notre activité cognitive.

Au contraire, dans une perspective externaliste, on admet le rôle constitutif des dispositifs techniques dans l'expérience humaine, et l'on comprend par-là aussi l'importance des situations culturelles et historiques dans lesquelles elle s'inscrit. L'étude des activités cognitives ne peut se réduire à des expériences de laboratoire, mais doit se déployer dans le temps de l'histoire et l'espace des cultures en reconnaissant à chaque fois les conditions sociales et techniques complexes de leurs genèses¹². Cependant, comme on a essayé de le montrer, il peut être aussi utile de chercher des conditions techniques limites et simplifiées forçant une extériorisation des activités cognitives, et facilitant ainsi leur étude systématique.

Remarquons que l'approche que nous proposons ici des phénomènes cognitifs a soigneusement évité la question du langage. En effet, il nous semble que c'est fondamentalement un point de départ logocentrique qui a structuré la problématique classique qui oppose représentation formelle et contenu intentionnel (Havelange, Lenay, Stewart, 2002 ; Hottois, 2004). Ici, on tente au contraire de caractériser directement la constitution des contenus de l'expérience. C'est alors un problème ultérieur, qui dépasse bien sûr les limites de cet argumentaire, que de comprendre comment, dans certaines conditions, ces contenus peuvent être structurés ou modifiés via leur association à un système de signes linguistiques pour la réflexion ou l'expression. Remarquons seulement que si l'on a d'abord pu se donner une caractérisation suffisamment élaborée de la constitution de contenus, la question est, nous semble-t-il, mieux engagée que si l'on part de la syntaxe des signifiants avant de chercher comment elle pourra être porteuse d'un signifié, ce qui fait courir un grand risque de se laisser enfermer dans le formalisme.

Sur le plan épistémologique, l'ambition de rendre compte de l'expérience perceptive spatiale nous semble forcer la psychologie à revendiquer le statut de science générale qui, comme la physique, prétendra à un point de vue englobant, quoique non exclusif, sur l'ensemble des phénomènes. Et, comme la physique doit toujours en même temps prendre en considérations les lois de la nature qu'elle explore pour construire les instruments qui servent à cette exploration, la psychologie doit toujours assumer l'activité cognitive du point de vue de l'observateur dans la compréhension qu'elle propose de la réalisation de ces processus cognitifs et de leurs modifications par les supports techniques.

¹¹ C'est ainsi que l'on peut comprendre les objectifs du réseau d'excellence européen « Enactive Interface ». <http://www.enactivenetwork.org/>

¹² Voir sur ce sujet le séminaire « Formes Symboliques » de Jean Lassègue, Victor Rosenthal et Yves-Marie Visetti : <http://formes-symboliques.org/>

Pour conclure, insistons sur le fait que cette conception épistémologique si elle n'est pas naturalisante n'est pas non plus limitative. Elle ne consiste pas à donner un principe de démarcation qui prétendrait d'avance bloquer la recherche en définissant une frontière infranchissable pour la connaissance. En abandonnant la recherche de représentations internes, on n'abandonne pas pour autant l'effort d'explication scientifique des contenus et opérations de la pensée, mais ceux-ci se déploient maintenant dans la dynamique du couplage. Plutôt que de limiter la recherche, une perspective externaliste suppose au contraire que les processus cognitifs ont toujours des répondants qui se déploient comme des trajectoires dans l'espace et le temps et qui peuvent donc être observables pour une étude objective.

BIBLIOGRAPHIE

- Auvray, M. Hanneton S., Lenay C. et O'Regan J. K. (2004). Exteriorisation in Sensory Substitution, *First joint conference of the SPP & ESPP*, 3- 6 juillet, Barcelone, Espagne
- Bach y Rita P. (1972). *Brain Mechanisms in Sensory Substitution*, New York, Academic Press.
- Bach y Rita P. (1994). Sensory Substitution, Volume Transmission and Rehabilitation: Emerging Concepts, in L. S. Illis (éd.), *Neurological Rehabilitation*, Oxford, Blackwell (2nd édition), pp. 457-468.
- Brooks R., (1999). *Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI*, Cambridge, Ma., MIT Press.
- Clark A. (1997). *Being there: Putting Brain, Body and World Together again*, Cambridge, Ma., MIT Press.
- Clark A. (2003). *Natural-born Cyborgs*, Oxford, Oxford University Press.
- Collins C. C. et Bach y Rita P. (1973). Transmission of Pictorial Information Through the Skin, *Advances in Biological Medicine and Physiology*, 14, 285-315.
- Dartnall T. (2005). Does the World Leak Into the Mind? Active Externalism, Internalism and Epistemology, *Cognitive Science*, 29, pp. 135-143.
- Ditchburn R. W. (1973). *Eye-movements and Visual Perception*, Oxford, Clarendon Press.
- Ecco U. (1988). *Le signe*, Bruxelles, Labor.
- Gapenne O., Lenay C., Stewart J., Bériot H. et Meidine D. (2001). Prosthetic Device and 2D Form Perception: The Role of Increasing Degrees of Parallelism, *Proceedings of the Conference on Assistive Technology for Vision and Hearing Impairment (CVHI'2001)*, Castelvechio Pascoli, Italie.
- Gentaz E. et Hatwell Y. (2004). Geometrical Haptic Illusions: the Role of Exploration in the Müller-Lyer, Vertical-Horizontal and Delboeuf Illusions, *Psychonomic Bulletin and Review*, 11, pp. 31-40.
- 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. (1977/1979). *La raison graphique*, Paris, Éditions de minuit.
- Hanneton S., Gapenne O., Genouel C., Lenay C. et 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, 26-29.
- Hardy B., Ramanantsoa M., Hanneton S., Lenay C., Gapenne O. et 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. (1960). Étude de quelques illusions géométriques tactiles chez les aveugles, *L'Année Psychologique*, 1, pp. 11-27.

- Havelange V., Lenay, C. et Stewart, J. (2002). Les représentations : mémoire externe et objets techniques, *Intellectica*, 35, pp. 115-129.
- Hotois G. (2004). *Philosophie des sciences, philosophie des techniques*, Paris, Odile Jacob.
- Husserl E. (1989). *Chose et espace. Leçons de 1907*, Paris, P.U.F.
- Hutchins E. (1995). *Cognition in the Wild*, Cambridge, MA., MIT Press.
- Intellectica (1994). Numéro thématique : Organisation émergente dans les populations: biologie, éthologie, systèmes artificiels, *Intellectica*, 19.
- Jacob P. et Jeannerod M. (1999). Quand voir, c'est faire, *Revue internationale de philosophie*, 53(209), pp. 293-319.
- Jacob P. (2002). Review of M. Rowlands' The Body in Mind, Understanding Cognitive Processes, *Mind & Language*, vol. 17, n°3, 325-331.
- Lenay C., Canu S. et Villon P. (1997). Technology and Perception: the Contribution of Sensory Substitution Systems, Second International Conference on Cognitive Technology, Aizu, Japan, Los Alamitos: IEEE, pp. 44-53.
- Lenay C., Gapenne O., Hanneton S., Marque C. et Genouel C. (2000). La substitution sensorielle. Limites et perspectives, in Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (éds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris, P.U.F. Traduction (2003): Sensory Substitution: Limits and Perspectives, in *Touching for Knowing, Cognitive Psychology of Haptic Manual Perception*, Amsterdam/Philadelphia, John Benjamins Publishing Company, pp. 275-292.
- Lenay C. et Sebbah F. (2001). La constitution de la perception spatiale. Approches phénoménologique et expérimentale, *Intellectica*, 32, pp. 45-86
- Lenay C., Stewart J. et Gapenne, O. (2002). Espace d'action technique et geste perceptif, in B. Bril et V. Roux (éds.), *Le geste technique : réflexions méthodologiques et anthropologiques*, *Revue d'Anthropologie des connaissances (Technologies /Idéologies/Pratiques)* Ramonville Saint-Agne : Editions Erès, 2 (14), pp. 215-230.
- Merleau-Ponty M. (1945). *Phénoménologie de la perception*, Paris, Gallimard.
- O'Regan J.K. et Noë, A. (2001). A Sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness, *Behavioral and Brain Sciences*, 24, pp. 939-1031.
- Pacherie, E. (1995). Externalisme, rationalité et *explanandum* de la psychologie intentionnelle, *Dialogue*, 34, pp. 237-57
- Pacherie E. (1997). Du problème de Molyneux au problème de Bach Y Rita, in J. Proust, (éd.), *Perception et intermodalité. Approches actuelles de la question de Molyneux*, Paris, P.U.F., pp. 255-293.
- Paillard J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace, *Cahiers de Psychologie*, 14, 261-316.
- Philipona D., O'Regan K. et Nadal, J.-P. (2003). Is there Something out there? Inferring Space from Sensorimotor Dependencies, *Neural Computation*, 15(9).
- Piaget J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchatel et Paris, Delachaux et Niestlé.
- Piaget J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*, Neuchatel, Delachaux et Niestlé.
- Poincaré H. (1905). *La valeur de la science*, Paris, Flammarion.
- Poincaré H. (1907). *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion.
- Proust J. (1997). Espace, sens et objectivité, in J. Proust (éd.), *Perception et Intermodalité : approches actuelles de la question de Molyneux*, Paris, P.U.F.
- Proust J. (2000). Recalibration et représentation mentale, in P. Livet (éd.), *De la perception à l'action. Contenus perceptifs et perception de l'action*, Paris, Vrin, pp. 123-145.
- Rowlands M. (1999). *The Body in Mind, Understanding Cognitive Processes*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sribunruangrit N., Marque C., Lenay C. Gapenne O. and Vanhoutte C. (2004). Speed-accuracy Tradeoff During Performance of a Tracking Task without Visual Feedback, *IEEE transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 12, 131-139.

- Steinman R.M. and Levinson J.Z. (1990). The Role of Eye Movement in the Detection of Contrast and Spatial Detail, in E. Kowler (Ed.), *Eye Movement and their Role in Visual and Cognitive Processes*, Elsevier.
- Stewart J. et Gapenne O. (2003). Reciprocal Modelling of Active Perception of 2-D Forms in a Simple Tactile-vision Substitution System, *Minds and Machines*, 14, pp. 309-330.
- Stiegler B. (1994, 1996, 2001). *La technique et le temps I., II., III*, Galilée, Paris.
- Thouvenin I., Lenay C., Cottureau, C., Aubert D. (2003). Design of a Tactile Prosthesis for Blind Users with a Virtual Reality System, in *Virtual Concept*, Biarritz, France, pp. 199-204
- Varela F. (1989). *Autonomie et connaissance: Essai sur le Vivant*, traduit de l'américain par P. Bourguin et P. Dumouchel, Paris, édition du Seuil.
- Vermersch P. (2000). Conscience directe et conscience réfléchi *Intellectica*, 31, pp. 269-311.