

ECOLE DES HAUTES ETUDES EN SCIENCES SOCIALES

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

N° attribué par la bibliothèque

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'EHESS

Discipline : Psychologie Cognitive

Soutenue publiquement par

Malika AUVRAY

- Année 2004 -

IMMERSION ET PERCEPTION SPATIALE

L'exemple des dispositifs de substitution sensorielle

Sous la direction de J. Kevin O'Regan

Composition du Jury :

Mr Jérôme Dokic

Mr Philippe Fuchs

Mme Yvette Hatwell

Mr Michel Imbert

Mr Charles Lenay

Mr J. Kevin O'Regan

Le présent travail a été réalisé dans le cadre d'une convention C.I.F.R.E signée entre le Laboratoire de Psychologie Expérimentale et l'entreprise BaBeL@StaL, grâce à une subvention de l'Association Nationale de la Recherche Technique.

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer mes remerciements les plus chaleureux à M. Kevin O'Regan pour avoir encadré ma thèse de doctorat. Vos conseils scientifiques précieux, votre disponibilité et votre bienveillance m'ont permis de progresser et de mener à bien ce travail. Je vous exprime ma plus sincère gratitude et mon profond respect.

Je remercie vivement M. Olivier Mevel pour m'avoir accueilli au sein de l'entreprise BaBeL@StaL. Je vous remercie de m'avoir fait confiance et d'avoir rendu possible cette collaboration. Je vous remercie également de m'avoir formé à de nombreux domaines et d'avoir toujours cherché à faciliter mes conditions de travail.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude à M. Charles Lenay. Votre disponibilité à chaque instant de ce travail, vos nombreux et précieux conseils et votre passion infinie pour ce domaine de recherche ont guidé mes pas durant ces années et ont fait de ce travail un véritable plaisir.

Je remercie vivement M. Jérôme Dokic, M. Philippe Fuchs, M^{me} Yvette Hatwell, M. Michel Imbert et M. Charles Lenay d'avoir accepté de participer au jury de thèse.

Merci également à M. Juan Segui et à M. Kevin O'Regan, directeurs du LPE (UMR 8581) de m'avoir aimablement accueilli durant mes années de thèse.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus vifs à M. Sylvain Hanne-ton, pour nos nombreuses collaborations. Je vous remercie pour votre bienveillance, pour votre disponibilité, pour vos conseils expérimentaux infiniment précieux et pour votre patience sans faille.

Je remercie également M^{me} Clothilde Vanhoutte et M. David Philipona pour nos collaborations et pour leur aide précieuse.

Je remercie M^{me} Nicole Bacri, M^{me} Clarisse Baruch, M^{me} Karine Doré, M. Serge Nicolas (Paris V), M^{me} Marie-Dominique Gineste (Paris XIII) et M. Olivier Gapenne (UTC Compiègne) pour m'avoir confié des enseignements. Je vous remercie de votre confiance.

Je souhaite remercier vivement M. Pierre Jacob qui a co-encadré avec M. Kevin O'Regan mon mémoire de DEA. Je vous remercie de m'avoir initiée à la recherche et de m'avoir communiqué votre intérêt pour la philosophie de l'esprit.

Je remercie vivement M. Jérôme Dokic, M. Ludovic Ferrand, M. Olivier Gapenne, M^{me} Véronique Havelange, M. Christian Lorenzi, M. Alva Noë, M^{me} Elisabeth Pacherie, M^{me} Agnès Roby-Brami, M^{me} Katia Rovira et M. John Stewart pour leurs nombreux et précieux conseils. Je vous remercie de votre disponibilité et de votre sollicitude.

Je remercie Dominique Aubert, Guido, Sylvain Hauptert, Denis Lancelin, Françoise Levesque et Laurent Savin, et pour leur aide technique et pour m'avoir facilité la tâche chaque fois que c'était nécessaire.

Je remercie tous mes collègues du LPE, de Babel et du groupe suppléance perceptive pour avoir partagé mon quotidien. Merci également à tous mes relecteurs pour m'avoir consacré autant de temps.

Je remercie ma famille en France et ma très nombreuse famille au Maroc. Merci de votre amour et de vos attentions constantes.

Un grand merci également à tous mes amis. Je ne peux tous vous énumérer ici, mais merci de m'avoir entourée et soutenue, merci de votre précieuse amitié. Un clin d'œil à David pour sa grande patience durant la dernière ligne droite de ce travail.

Merci à Régis pour son soutien, ses encouragements et son enthousiasme de tous les instants.

Merci à mes deux petites sœurs Marie et Rita, si chères à mes yeux, d'être si présentes dans ma vie.

Enfin, merci à mes parents Philippe et Souad sur lesquels j'ai toujours pu compter en toutes circonstances. Je vous remercie de votre tendresse et de votre soutien permanents.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : LES DISPOSITIFS DE SUBSTITUTION SENSORIELLE.....	4
I- Les dispositifs de substitution sensorielle.....	4
I-1- Les systèmes invasifs	4
I-2- Les systèmes non invasifs	5
I-3- Les dispositifs de perception tactile	6
I-4- Les dispositifs de substitution visuo-tactiles	7
I-5- Les dispositifs de substitution visuo-proprioceptifs.....	9
I-6- Les dispositifs de substitution visuo-haptiques, à retour d'effort	9
I-7- Les dispositifs de substitution visuo-auditifs	10
II- Résultats fondamentaux et enjeux théoriques.....	13
II-1- Nécessité d'une action	13
II-2- Mise en extériorité des percepts.....	15
II-3- Extériorité et spatialisation	17
II-4- Plasticité structurelle et fonctionnelle.....	21
II-5- Caractère modal ou amodal des perceptions.....	22
II-6- Percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile ou visuo-auditif, est-ce voir ?	24
II-7- Conséquences sur une définition de nos modalités sensorielles.....	33
II-8- Les étapes de l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle	35
CHAPITRE II : APPROPRIATION D'UN OUTIL ET ETAPES DE L'IMMERSION DANS L'ESPACE PERCEPTIF OUVERT PAR LE DISPOSITIF TECHNIQUE.....	37
I- Théories sensori-motrices de la perception et immersion	39
I-1- Brève présentation des théories classiques de la perception	39
I-2- Le tournant Bergsonien	41
I-3- La perception comme extraction d'invariants sensori-moteurs	44
I-4- Extériorité de la perception	50
II- Les modifications sensori-motrices induites par l'utilisation d'outils	59
II-1- Plasticité fonctionnelle et structurelle de l'espace péripersonnel et du schéma corporel	59
II-2- Corps organique et corps propre	62
II-3- Espace organique et espace ouvert par l'outil.....	63
III- Catégorisation des outils.....	65
III-1- Point de vue distal et point d'inscription distal	65
III-2- Modifications du couplage sensorimoteur.....	73
III-3- Degrés d'implication, degrés de transformations sensori-motrices.....	75

IV- Les étapes de l'immersion.....	77
IV-1- Contact.....	77
IV-2- Attribution distale.....	78
IV-3- Maîtrise de l'espace distal	80
IV-4- Localisation distale.....	82
IV-5- Constitution d'une expérience distale	85
IV-6- Conclusion : les étapes de l'immersion.....	87
 CHAPITRE III : CONSTITUTION D'UN ESPACE PERCEPTIF	89
 I- Expérience I : Apprendre à percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif : localisation et reconnaissance de formes avec The Voice	91
I-1- Introduction	91
I-2- Méthode Générale	92
I-3- Expérience I - Déplacement et tâche de pointage	96
I-4- Expérience II - Seconde tâche de localisation.....	98
I-5- Expérience III - Tâche de reconnaissance.....	99
I-6- Expérience IV - Tâche de catégorisation	102
I-7- Résultats concernant l'expérience qualitative des sujets.....	104
I-8- Résultats qualitatifs concernant la motricité et les stratégies perceptivo-motrices des sujets.....	105
I-9- Résultats concernant la perception subjective des tâches de reconnaissance	106
I-10- Discussion générale.....	107
 II- Expérience II : Attribution distale et reconnaissance de formes avec un dispositif minimaliste.....	109
II-1- Introduction.....	109
II-2- Expérience I - Déplacements horizontaux, verticaux et en rotation	113
II-3- Expérience II - Déplacements contrôlés par les touches d'un clavier	119
II-4- Expérience III - Déplacements contrôlés par le déplacement de la souris	124
II-5- Discussion générale	127
 III- Expérience III : Attribution distale et substitution sensorielle	130
III-1- Introduction	130
III-2- Méthode Générale.....	132
III-3- Résultats.....	137
III-4- Discussion générale	145
 CHAPITRE IV : APPROPRIATION ET SAVOIR DE SES ACTIONS	150
 I - Expérience IV : Substitution sensorielle et informations proprioceptives	152
I-1- Introduction	152
I-2- Méthode générale	156
I-3- Expérience 1.1 - Prolongation de mouvement	160
I-4- Expérience 1.2 - Production de formes semblables	161
I-5- Expérience 1.3 - Exploration et reproduction de formes	162
I-6- Discussion générale.....	163

II - Expérience V : Substitution sensorielle, informations proprioceptives et apprentissage	165
II-1- Introduction.....	165
II-2- Méthode Générale	165
II-3- Expérience 2.1.....	167
II-4- Expérience 2.2.....	168
II-5- Expérience 2.3.....	168
II-6- Expérience 2.4.....	169
II-7- Expérience 2.5.....	169
II-8- Expérience 2.6.....	170
II-9- Expérience 2.7.....	171
II-10- Discussion générale	172
 III - Expérience VI : Influence de la taille, du parallélisme et de la structure topologique des champs récepteurs sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle. 175	
III-1- Introduction	175
III-2- Méthode générale	176
III-3- Discussion.....	181
 CONCLUSION.....	185
1- Synthèse des objectifs et des hypothèses	185
2- Synthèse des principaux résultats	186
3- Conclusion et prolongements.....	193
 BIBLIOGRAPHIE.....	195

INTRODUCTION GENERALE

Les dispositifs techniques qui nous entourent transforment nos espaces d'action et de perception. Un outil, une prothèse perceptive (lunettes, jumelles, télescope), un média (cinéma, radio, web, jeu), un système de communication (téléphone, mail) nous offrent des façons d'agir et de sentir nouvelles. Ainsi, la création d'un outil n'est pas seulement une performance technologique, elle constitue aussi un terrain empirique nouveau pour une recherche en épistémologie de la perception. L'étude de ce qui se joue lors d'une interaction avec un dispositif technique suppose la compréhension des nouveaux espaces de perception et d'action ouverts par l'outil. Elle implique la compréhension de l'appropriation de ces nouveaux espaces perceptifs : comment les utilisateurs constituent de nouveaux points de vue, de nouveaux objets, de nouvelles manières de percevoir et de transformer leur environnement ? Réciproquement, l'étude des conditions de l'appropriation individuelle et collective d'un nouvel outil devrait permettre de comprendre et d'anticiper la réussite ou non de l'adoption de ce dispositif technique.

Les dispositifs de substitution sensorielle illustrent particulièrement cette interdépendance entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Ces systèmes, également appelés dispositifs de suppléance perceptive, visent à assister ou à remplacer une ou plusieurs fonctions d'un organe sensoriel à l'aide d'un autre organe sensoriel. Ils permettent à des informations venant d'un récepteur artificiel d'être traitées par un organe sensoriel inhabituel pour de telles informations, en codant par exemple des stimuli visuels en données interprétables par le système auditif ou somesthésique. Ces prothèses aident les non-voyants à se déplacer, à reconnaître et localiser des objets. Ces techniques relèvent d'une part d'un contexte thérapeutique, dans le domaine du handicap sensoriel, dont l'un des objectifs est d'améliorer et de favoriser l'emploi de ces prothèses. D'autre part, ces dispositifs s'avèrent riches d'enseignements sur la perception naturelle et la perception effectuée grâce à la médiation d'un outil, quel qu'il soit.

Ainsi, et c'est un des principes directeurs du travail que nous présentons ici, nous estimons indissociable une étude systématique de l'appropriation des médiations techniques et

une étude fondamentale de la perception, en particulier spatiale. Les variations techniques agissent comme des prismes permettant de dissocier différentes composantes de l'activité perceptive classiquement confondues. Par exemple, les dispositifs de réalité virtuelle, décomposent la notion apparemment simple de présence. A quel moment, dans quelle mesure, à quel niveau et dans quelles conditions sommes nous présents à un monde artificiel et nous sentons-nous immergés dans ce monde artificiel ?

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre, à partir de l'étude de l'appropriation des dispositifs de substitution sensorielle, les processus nécessaires à l'appropriation d'un nouvel outil et à l'immersion dans l'espace perceptif ouvert par cet outil. Nous définissons l'immersion dans un espace perceptif ouvert par un dispositif technique comme le résultat d'une appropriation active de cet outil et en analysons les composantes. Une première étude théorique sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle nous permet de distinguer les cinq étapes principales de leur appropriation. Ensuite, nous proposons une catégorisation des dispositifs techniques à partir d'une analyse des modifications sensori-motrices induites par l'utilisation des différents outils. Cette catégorisation nous permet de généraliser les cinq étapes d'appropriation à tout outil perceptif et d'en préciser les composantes. Nous avons regroupé ces étapes sous les appellations suivantes : contact, attribution distale, maîtrise de l'espace distal, localisation distale et expérience distale. La première étape, l'étape du contact, implique l'apprentissage des régularités sensorimotrices nécessaires pour stabiliser et maintenir le contact perceptif avec une stimulation engendrée. La seconde étape, l'attribution distale, est la compréhension par les utilisateurs que leurs sensations sont dues à la rencontre avec un objet provenant de l'espace perceptif ouvert par l'outil. La maîtrise de l'espace distal correspond à l'apprentissage des variations des points de vue et des points d'inscriptions distaux : elle permet aux utilisateurs de localiser objets et événements de l'espace perceptif distal relativement à un point de vue appartenant à cet espace. La quatrième étape, la localisation distale, se définit comme l'impression d'être *dans* l'espace perceptif ainsi ouvert. Elle implique une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur qui permet à l'utilisateur de se sentir entièrement là où il agit. La dernière étape, l'expérience distale, implique le partage de l'expérience perceptive, permettant de constituer le sens, l'émotion et les valeurs communes attachés à cette expérience.

En partant de ces distinctions, nous menons une enquête expérimentale sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle. Nous utilisons d'abord une méthode

globale afin de comprendre jusqu'où va l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle complexe. Puis, nous limitons les possibilités d'actions et les retours sensoriels offerts par ces dispositifs, afin d'étudier plus précisément les composantes spécifiques de l'appropriation d'un outil. Lors d'une première expérience, nous étudions l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif : les sujets en font l'apprentissage à travers différentes tâches de localisation et de reconnaissance de formes. Les deux expériences suivantes détaillent plus particulièrement la constitution de l'espace et de l'objet via un dispositif de substitution sensorielle : quelles sont les conditions nécessaires pour qu'un utilisateur, n'ayant aucune connaissance du fonctionnement du dispositif, dégage des lois de co-variation stables entre ses mouvements et la stimulation qui en résulte ? Pour qu'il comprenne ses actions comme étant des déplacements ? Pour qu'il déduise l'existence d'un espace produit par le couplage ? Pour qu'il attribue l'origine de ses sensations à une source physique extérieure ? Ces trois expériences nous permettent de montrer, parmi d'autres résultats, que, lors de l'appropriation d'un outil, action et perception font boucle et se supposent l'une l'autre. Ainsi, il n'y a pas de perception sans action et inversement. Cependant, notre corps ne pourrait agir s'il ne possédait un « savoir » de ses propres mouvements, que l'on nomme proprioception. Cette question du savoir de ses actions se pose de manière cruciale et spécifique dans le cas de l'appropriation d'un dispositif technique : comment savoir ce que l'on fait dans l'espace perceptif ouvert par l'outil ? Les trois expériences suivantes explorent le rôle des informations proprioceptives et extéroceptives sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste.

CHAPITRE I

LES DISPOSITIFS DE SUBSTITUTION SENSORIELLE

Les dispositifs de substitution sensorielle visent à assister ou à remplacer une ou plusieurs fonctions d'un organe sensoriel à l'aide d'un autre organe sensoriel. Ils permettent à des informations venant d'un récepteur artificiel d'être traitées par un organe sensoriel inhabituel pour de telles informations. Ils ouvrent ainsi à leurs utilisateurs des espaces de perception nouveaux. Afin d'étudier comment les utilisateurs d'une nouvelle prothèse perceptive constituent ces nouveaux espaces d'action et de perception, nous présentons les diverses catégories de systèmes existants, puis nous étudions les enjeux théoriques sous-tendus par l'utilisation de ces systèmes. Cette étude nous permettra de dégager les conditions nécessaires à l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle.

I- Les dispositifs de substitution sensorielle

Afin de compenser la perte de l'une de nos modalités sensorielles, deux catégories de systèmes peuvent être implémentés : les systèmes invasifs et les systèmes non invasifs. Les systèmes invasifs consistent en une stimulation électrique des structures neurales (Bak et al., 1990; Brindley & Lewin, 1968; Mussa-Ivaldi & Miller, 2003). Les dispositifs les plus répandus visent à pallier la perte de la vision ou de l'audition.

I-1- Les systèmes invasifs

Dans le cas de la perte de la vision, le dispositif mis au point par Dobelle (2000) consiste à implanter dans le cortex visuel d'une personne aveugle une matrice d'électrodes reliée à une caméra vidéo digitale fixée sur des lunettes (voir figure I-1). Grâce à ce système, l'acuité visuelle peut être de 0,5 dixième : les personnes dotées de ce dispositif deviennent capables d'évaluer des distances et de se déplacer dans un univers relativement complexe. Mais ces dispositifs ne peuvent être implantés à des personnes ayant une lésion du cortex

visuel ou à des aveugles précoces : chez ces derniers, le système visuel n'est pas entièrement développé et les inputs visuels atteignant les systèmes sensoriels sont souvent réduits ou détériorés. Ils sont donc réservés aux aveugles tardifs (Veraart et al., 1990; Wanet Defalque, Veraart, de Volder, & Metz, 1988).



Figure I-1. L'œil artificiel (Dobelle 2000).

Les problèmes de surdité, eux, peuvent être surmontés grâce à des prothèses auditives ou à des implants cochléaires. Les prothèses auditives permettent d'amplifier les sons avant de les transmettre à l'oreille. Elles ne sont utiles que pour des pertes auditives inférieures à 30 dB (le champ auditif normal couvre 120 dB). Les implants cochléaires peuvent par contre être utiles à des personnes atteintes de surdité profonde (pertes supérieures à 90 dB). Les sons extérieurs, captés grâce à un microphone, sont transformés en impulsions électriques stimulant des électrodes implantées dans la cochlée (Giraud et al., 2000; Niparko, 2000). Ces dispositifs s'avèrent parfois insuffisants, notamment chez les enfants implantés très jeunes. L'apprentissage d'une méthode complémentaire permet d'optimiser les possibilités de la prothèse. Un exemple : le LPC (Langage Parlé Complété). Il couple pendant l'apprentissage les informations auditives fournies par l'implant cochléaire à des informations visuelles : la main du locuteur, placée près de son visage, code les consonnes phonétiques. Cela permet de lever l'ambiguïté existant entre plusieurs phonèmes correspondant au même mouvement des lèvres. Cette méthode permet aux utilisateurs une bonne compréhension du langage. De très jeunes enfants qui ont profité d'enseignements LPC ont développé une sensibilité à la rime correspondante à celle d'enfants sans handicap (Leybaert, 1993, 1996).

I-2- Les systèmes non invasifs

Les dispositifs de substitution sensorielle également appelés dispositifs de suppléance perceptive (Lenay et al., 2000) existent depuis la fin des années 60. Il s'agit de prothèses

développées essentiellement pour l'aide aux personnes aveugles (Bach-y-Rita, Collins, Saunders, White, & Scadden, 1969; Kay, 1964).

Ces dispositifs permettent à des informations venant d'un récepteur artificiel d'être traitées par un organe sensoriel inhabituel pour de telles informations. Ils permettent, par exemple, de coder des stimuli visuels afin qu'ils soient traités par le système auditif ou somesthésique. Ces systèmes, fondés sur la conversion des stimuli propres à une modalité sensorielle (vision, audition, toucher et odorat) en des stimuli propres à un autre sens ont de multiples formes. Bach-y-Rita considère même la lecture comme le premier des dispositifs de substitution sensorielle (Bach-y-Rita, 2002). Pour lui, la lecture convertit en effet le langage parlé, c'est-à-dire des informations auditives, en informations visuelles. Nous allons passer en revue les principales familles existantes.

I-3- Les dispositifs de perception tactile

Une première famille de prothèses permet de suppléer à une déficience perceptive à l'intérieur d'une même modalité sensorielle. La canne d'aveugle en est l'exemple le plus courant : elle permet à son utilisateur de ressentir, grâce aux vibrations dans le creux de sa main, les points de contact expérimentés au bout de la canne. Des interfaces plus sophistiquées permettent à des personnes ayant des parties du corps insensibles, en raison de la lèpre ou d'une paralysie, de diabète ou encore d'amputation, de retrouver une sensibilité tactile au niveau de la partie du corps endommagée. Des études préliminaires ont été effectuées sur des personnes ayant perdu la sensibilité de leurs doigts. L'utilisateur explore des objets de son environnement au moyen d'un gant contenant des capteurs de température et de pression. Les stimulations enregistrées par les capteurs du gant sont transmises sur une matrice au contact d'une région de la peau dont la sensibilité est intacte, comme le front. Les utilisateurs deviennent capables d'expérimenter la structure des différents objets : souple ou rigide, régulière ou non, droite ou courbée, ainsi que leur texture : rugueuse ou lisse. De plus, les utilisateurs ressentent cette sensation comme provenant de leurs doigts (Bach-y-Rita, Tyler, & Kaczmarek, 2003).

I-4- Les dispositifs de substitution visuo-tactiles

Les dispositifs de substitution sensorielle visuo-tactiles convertissent une image visuelle en informations tactiles. Le plus connu et le précurseur des systèmes de conversion visuo-tactile est le système Braille. Les lettres (informations visuelles) sont converties en une combinaison de six points en dominos (informations tactiles). L'ensemble des soixante-quatre combinaisons possibles permet de représenter l'ensemble des lettres de l'alphabet, ainsi que les voyelles accentuées, les chiffres, la ponctuation, la notation mathématique et la musicographie (voir figure I-2).

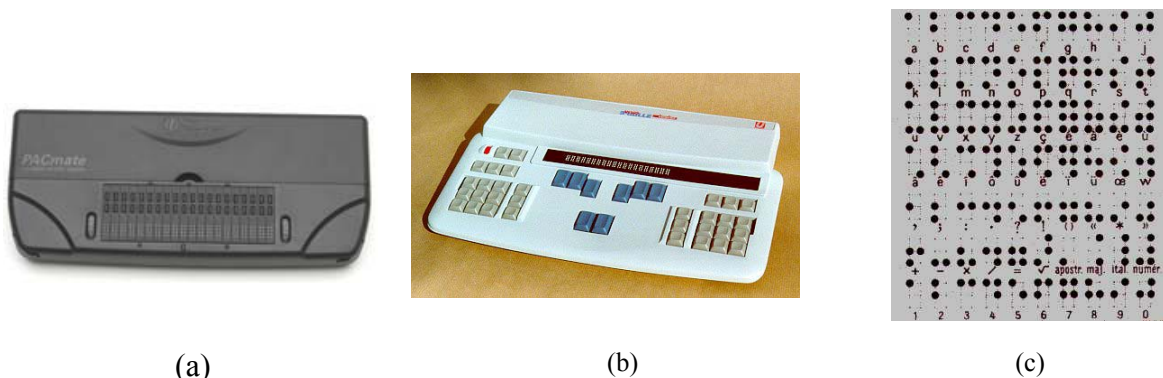


Figure I-2. a) Afficheur braille b) Clavier braille c) Alphabets braille.

Il existe de nombreux dispositifs de substitution sensorielle visuo-tactiles. Dans sa version standard, le TVSS (Tactile Vision Substitution System) développé par Bach-y-Rita, convertit une image optique, captée par une caméra vidéo, en une stimulation électrique ou vibrotactile sur une matrice de stimulateurs tactiles en contact avec une partie du corps comme le bas du dos, l'index, l'abdomen ou la langue. La variante de ce dispositif la plus largement commercialisée est l'Optacon (Optacon – Telesensory Systems, Palo Alto, Californie, USA), dispositif destiné à la lecture. L'Optacon se présente comme un large stylet que l'on utilise pour parcourir un texte. Une caméra miniaturisée placée au bout du stylet enregistre un texte, restitué sous forme de vibrations tactiles par une petite matrice de micro-vibreurs, matrice sur laquelle le lecteur aveugle place l'un des doigts de sa main libre. Le TVSS a été l'objet de nombreuses améliorations techniques : miniaturisation, amélioration de la définition de l'image, passage à la stimulation électrique, recherche d'un codage pour la couleur (Aiello, 1998a, 1998b) (voir figure I-3).

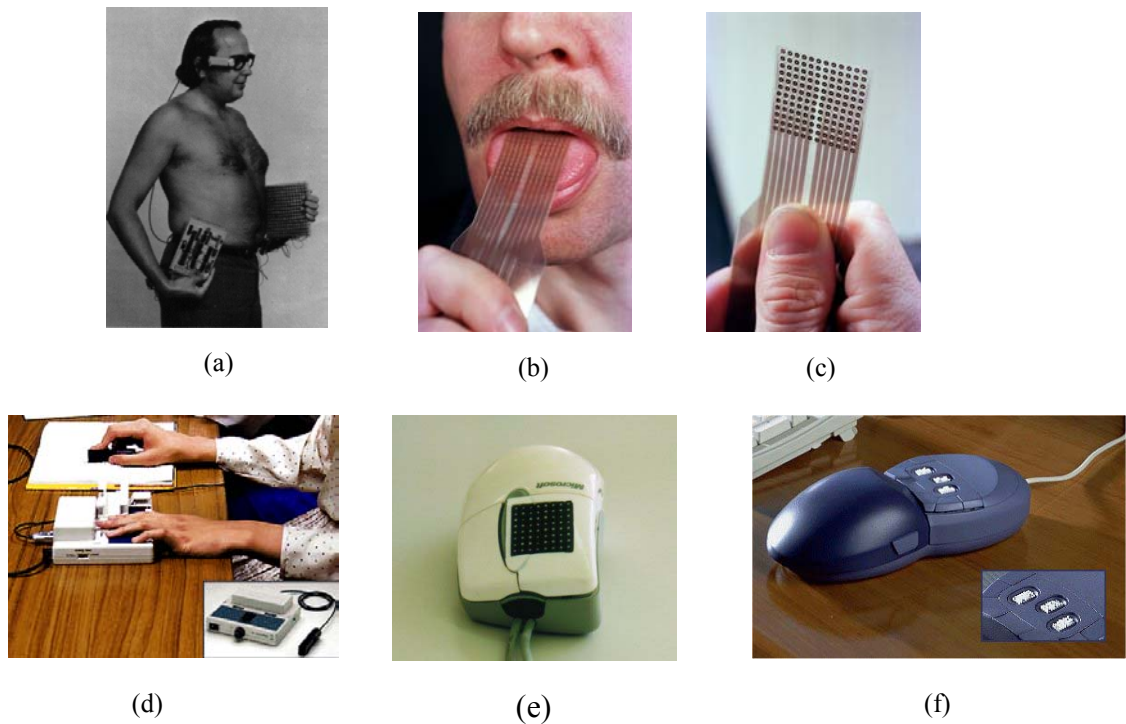


Figure I-3 : a) TVSS b) et c) TDU d) Optacon II e) Souris tactile f) VirTouch.

De nombreuses études ont présenté l'efficacité d'une substitution de la vision par des stimuli tactiles. Elles ont montré la possibilité de reconnaissance de formes simples (Epstein, Hughes, Schneider, & Bach-y-Rita, 1989; Kaczmarek & Haase, 2003a, 2003b; Sampaio, Maris, & Bach-y-Rita, 1987, 2001), la possibilité de la lecture, (Bliss, Katcher, Rogers, & Shepard, 1970; Craig, 1976, 1980, 1981, 1983; Loomis, 1974, 1980, 1981); ou de la localisation (Collins, 1985; Jansson, 1983; Jansson & Brabyn, 1981; Lemaire, 1999). En outre, un grand nombre d'études ont montré que des sujets utilisant un dispositif de substitution sensorielle sont capables d'effectuer des jugements perceptifs visuels tels que la perspective, la parallaxe, les ombres, l'interposition des objets, et des estimations concernant la profondeur (Bach-y-Rita, 1966, 1972, 1989, 1995, 1996a, 1996b, 1998, 1999; Bach-y-Rita & Aiello, 1996; Bach-y-Rita, Kaczmarek, & Meier, 1998; Bach-y-Rita, Kaczmarek, Tyler, & Garcia-Lara, 1998; Collins & Madey, 1974; Collins, 1985; Epstein, 1985; Kaczmarek, 1995; Kaczmarek & Bach-y-Rita, 1995; White, Saunders, Scadden, Bach-y-Rita, & Collins, 1970). Certaines illusions visuelles classiques, comme l'effet de la cascade, sont spontanément reproduites (Bach-y-Rita et al., 2003; Guarniero, 1977).

Si de nombreuses tâches perceptives peuvent être accomplies grâce à ces dispositifs de substitution visuo-tactile, ils présentent certaines limites. Il faut pouvoir choisir une surface de peau suffisamment sensible pour en équiper les utilisateurs ; des irritations ou des douleurs de la peau peuvent survenir ; et les versions portatives de ces dispositifs sont bridées par leur forte consommation d'énergie (Lenay, Gapenne, Hanneton, Marque, & Genouëlle, 2003).

I-5- Les dispositifs de substitution visuo-proprioceptifs

Des dispositifs similaires aux précédents peuvent être employés afin de pallier des déficits proprioceptifs. Les personnes avec une lésion bilatérale n'ont pas ou peu accès aux informations proprioceptives. Ils ne peuvent par conséquent pas stabiliser leur posture ou se déplacer sans se recaler constamment sur des indices extéroceptifs visuels. Le dispositif consiste en un accéléromètre monté sur la tête de l'utilisateur, couplé à une matrice de stimulateurs électro-tactiles placée sur la langue. La position de la tête est indiquée par une stimulation correspondante sur la langue. Grâce au dispositif, les utilisateurs maîtrisent constamment leurs déviations posturales et stabilisent leur corps, ce qui leur permet des déplacements plus coordonnés. Les études sur les mouvements de la tête des sujets équipés montrent que la stabilité obtenue en utilisant l'accéléromètre s'approche de celle d'une personne avec des fonctions vestibulaires normales (Tyler, Danilov, & Bach-y-Rita, 2003).

I-6- Les dispositifs de substitution visuo-haptiques, à retour d'effort

Un autre moyen de donner un aperçu d'une image visuelle sous forme tactile est de convertir cette image visuelle en un retour de force. Les images filmées par deux caméras sont traitées par un logiciel. L'image en trois dimensions ainsi obtenue est ensuite projetée virtuellement en face de l'utilisateur. Ce dernier, muni de stimulateurs, explore la forme virtuelle et expérimente un retour de force à chaque fois que ses doigts sont en contact avec la forme (Cappelletti & Ferri, 1998). Des dispositifs équivalents permettent aux personnes non-voyantes de découvrir des sculptures : les œuvres d'art sont modélisées en trois dimensions et un retour de force est perçu sur les doigts de l'utilisateur lors du suivi des contours de l'objet virtuel (Jansson, Bergamasco, & Frisoli, 2003). Ces systèmes sont aussi employés afin de favoriser l'exploration des formes sur un écran d'ordinateur. Dans ce cas, lorsque le curseur rencontre une image à l'écran, un retour de force au niveau des doigts de l'utilisateur l'informe de la présence de l'image (Watanabe, Kume, & Ifukube, 2000).

I-7- Les dispositifs de substitution visuo-auditifs

Afin de pallier un déficit visuel, certains dispositifs utilisent une technologie de substitution de la vision par l'audition. L'audition présente de nombreux avantages : le système auditif humain a un seuil de discrimination d'intensité et de fréquence extrêmement fin ; il peut traiter des stimuli complexes et variés, comme le langage, et ce même dans un environnement bruyant (Hirsh, 1988). De plus, les dispositifs de substitution sensorielle visuo-auditifs consomment peu d'énergie et s'utilisent avec des technologies courantes et portables : des écouteurs pour la transmission sonore (Capelle, Trullemans, Arno, & Veraart, 1998) et un ordinateur portable ou un téléphone mobile.

Ces dispositifs de substitution visuo-auditifs sont basés soit sur le principe de l'écholocation, soit sur le principe d'une conversion image / son.

I-7-1- Les dispositifs d'écholocation

Les travaux pionniers de Griffin (1958, 1959) sur les échos ont suggéré qu'un son échoïque structuré peut aider les personnes à effectuer des tâches comme la compréhension de la localisation, de la taille, de la texture et de l'orientation des objets dans un espace tri-dimensionnel, ainsi que la reconnaissance d'objets. Un ensemble de recherches a confirmé que des personnes aveugles utilisent des informations échoïques afin d'évaluer la distance des obstacles (Ammons, Worchel, & Dallenbach, 1953; Cotzin & Dallenbach, 1950; Rice, 1967). Cette capacité, qui est une forme d'écholocation, est appelée habituellement « vision faciale » ou « sens de l'obstacle ».

Les dispositifs d'écholocation fournissent des signaux auditifs dépendant de la direction, de la taille, de la distance et de la texture des objets. Ils fonctionnent sur le même principe qu'un sonar. Un dispositif émetteur / récepteur émet un signal ultrason FM. Les récepteurs utilisent une méthode de télémétrie afin de calculer la distance entre la source et l'objet distant, soit le temps mis par les impulsions ultrasoniques pour atteindre l'objet et revenir, par réflexion, à son point de départ. Ces signaux sont ensuite convertis en signaux auditifs transmis aux oreilles via des écouteurs. La distance peut être codée par l'intensité du son et l'emplacement horizontal par la disparité inter-aurale. Les codages diffèrent selon les dispositifs (Heyes, 1984; Kay, 1964, 1980, 1985) (voir figure I-4).

Ces dispositifs permettent de donner une indication sur la distance et la direction des objets distants : ils sont utiles pour localiser des objets ou obstacles et ainsi favoriser le déplacement des personnes non-voyantes (Borenstein & Iwan, 1997; Bower, 1977; Heyes, 1984; Hughes et al., 2001; Kay, 1964; Sampaio & Dufier, 1988). Couplés à un système de retour de force, ils constituent un système d'évitement d'obstacles très ingénieux. La « canne électrique » repose sur des roues motorisées équipées d'un télémètre permettant ainsi de détecter la présence d'obstacle. Les émetteurs / récepteurs ultrasoniques, couplés à une boussole électronique, calculent la distance et la direction des obstacles les plus proches ainsi que la direction optimale à suivre pour éviter l'obstacle : une fois celui-ci évité, les roues retrouvent la position nécessaire pour parvenir à la direction souhaitée précédemment par le sujet (Borenstein & Iwan, 1997).



(a)



(b)



(c)

Figure I-4- a) Echolocation (Bower) b) sonic torch (Kay) c) sonic glasses (Kay).

I-7-2 Les dispositifs de conversion image / son

Dans d'autres systèmes, les images optiques, captées par une caméra, sont converties en sons et transmises aux oreilles via des écouteurs. Trois principaux systèmes ont été étudiés. Les codes utilisés dans ces systèmes convertissent l'emplacement vertical en fréquence et la luminosité en intensité sonore. Ces trois systèmes diffèrent essentiellement par leur codage horizontal. Ils utilisent tous la disparité inter-aurale afin de coder l'emplacement horizontal des objets. Le PSVA (Prosthesis Substituting Vision by Audition) développé par Capelle et al. (1998) ajoute un second codage en fréquence pour l'emplacement horizontal. Nous pouvons aussi mentionner qu'afin de ressembler davantage au système visuel, leurs champs récepteurs ont une résolution plus importante au centre de la matrice. Le dispositif The Voice développé par Meijer (1992) et celui développé par Cronly-Dillon (1999) sont basés sur un scan cyclique de l'image, qui permet de coder la position horizontale. Ce dernier dispositif ajoute un système d'extraction de traits (voir figure I-5).

Les études effectuées avec les dispositifs auditifs ont montré la possibilité de reconnaissance de formes simples (Arno, Capelle, Wanet Defalque, Catalan Ahumada, & Veraart, 1999; Arno et al., 2001; Cronly-Dillon, Persaud, & Blore, 2000; Cronly-Dillon, Persaud, & Gregory, 1999), de reconnaissance de formes plus complexes, comme des objets de la vie courante et de localisation (Auvray & O'Regan, 2001). Certaines études ont montré la possibilité de recréer des illusions visuelles avec le PSVA (Renier et al., 2003).

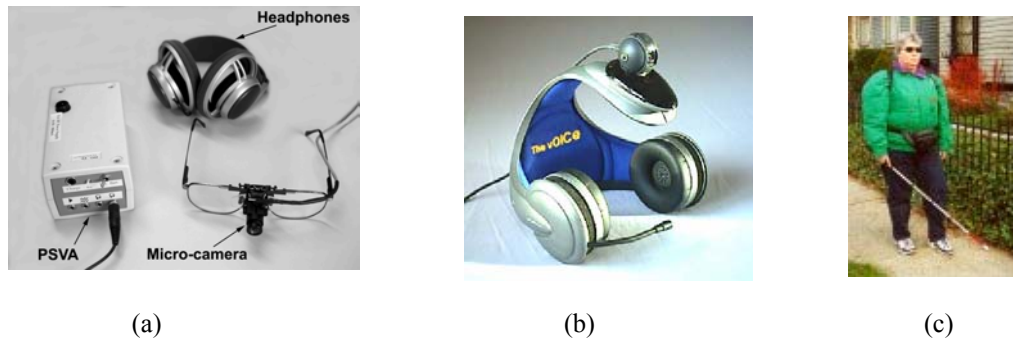


Figure. I-5. a) PSVA (Capelle et al.) b) et c) The Voice (Meijer, 1992).

Ces dispositifs de substitution sensorielle peuvent prendre de multiples formes et toutes sortes de prothèses sont encore à concevoir. On peut imaginer la conversion des stimuli propres à toute modalité sensorielle (vision, audition, toucher ...) en des stimuli d'un autre sens. La relation entre les stimulateurs et les récepteurs peut être directe (stimulateurs et récepteurs sont couplés électroniquement) s'il s'agit d'appréhender le monde réel, ou calculée à travers un système de réalité virtuelle (des senseurs virtuels font réagir des stimulateurs réels). La réalité virtuelle autorise d'ailleurs une grande flexibilité, grâce aux variations possibles des dispositions spatiales et aux multiples liens senseurs-stimulateurs imaginables.

II- Résultats fondamentaux et enjeux théoriques

L'étude de l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle permet de dégager quatre résultats principaux : II-1) Une perception passive de la scène visuelle via ces dispositifs est très limitée tandis qu'une manipulation active du dispositif permet la réalisation de nombreuses tâches perceptives. II-2) Une manipulation active du dispositif permet à cette perception de s'accompagner d'une mise en extériorité des percepts. II-3) Elle permet également la constitution d'un espace de perception et d'action via la prothèse. II-4) L'utilisation de dispositifs de substitution sensorielle révèle la plasticité structurelle et fonctionnelle de nos systèmes perceptifs. Les résultats obtenus avec de tels dispositifs soulèvent en outre un grand nombre de questions fondamentales. Parmi elles, la question de savoir si percevoir via un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile ou visuo-auditif peut s'appeler « voir » (II-5 & II-6) ce qui aura une influence sur la question d'une définition de nos modalités sensorielles (II-7) et sur la question de l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle et de l'immersion de l'utilisateur dans l'espace ouvert par cet outil (II-8).

II-1- Nécessité d'une action

Premier résultat fondamental : l'action est nécessaire pour qu'une perception via le dispositif soit possible. Lors d'expériences pionnières effectuées par Bach-y-Rita avec le TVSS, la caméra était fixe et ceci ne permettait qu'une discrimination très limitée des stimuli reçus. Il fallut que l'un des sujets s'en empare et bouge lui-même la caméra pour que la perception des informations devienne possible (Bach-y-Rita, 2002). Guarniero le souligne : « ... quelqu'un utilisant le système pourrait distinguer les figures seulement après avoir appris à explorer avec la caméra » (Guarniero, 1974, 1977). Lorsque l'utilisateur a la possibilité de manipuler activement la caméra, d'effectuer divers mouvements, de bas en haut, de droite à gauche voire, pour les systèmes évolués, de zoom avant et arrière, il parvient à établir des liens indispensables entre ses actions et les sensations résultantes. L'utilisateur comprend ainsi comment les variations de ses mouvements déterminent les stimulations reçues : lorsqu'il déplace la caméra de gauche à droite, la stimulation ressentie sur sa peau se déplace de droite à gauche; lorsqu'il effectue un zoom avant, la stimulation sur sa peau s'étend, etc. Cet apprentissage lui permet la réalisation de tâches perceptives étendues. Ainsi, après cinq à

quinze heures de pratique en moyenne, les utilisateurs parviennent à reconnaître et à localiser avec une précision assez impressionnante les objets de leur environnement. Ils parviennent à décrire la forme, les dimensions, l'orientation et l'emplacement d'un ou de plusieurs objets. (Apkarian, 1983; Craig, 1983; Cronin, Mc Laren, & Campbell, 1983; Jansson & Brabyn, 1981; Kaczmarek, Webster, Bach-y-Rita, & Tompkins, 1991; Sampaio, 1995; Sampaio & Dufier, 1988; Sampaio & Philip, 1995; Saunders, 1973, 1983; Zimmerman, 1990).

Les expériences effectuées avec ces dispositifs montrent ainsi que l'accès aux informations visuelles par le biais du système tactile n'est pas immédiat. Ceci nous permet de dégager qu'une simple substitution d'une entrée sensorielle tactile à une entrée sensorielle par le nerf optique ne donne pas accès en tant que telle à une perception spatiale (Lenay, 2002). La perception mise ainsi en œuvre n'a pas le caractère immédiat et abstrait d'un simple transfert passif d'informations d'une modalité sensorielle vers une autre modalité sensorielle : elle n'apparaît possible qu'à l'issue d'un apprentissage perceptivo-moteur. Le rôle des mouvements de l'utilisateur semble constituer le point crucial de l'apprentissage avec un dispositif de substitution sensorielle. Le parallèle peut être établi avec la vision naturelle. En premier lieu, comme le souligne Lemaire (1999), dans la plupart des dispositifs, notamment le TVSS, l'angle de vue étroit de la caméra du dispositif est équivalent à la vision fovéale (15 degrés). Des recherches ont pu montrer qu'en situation de vision tubulaire, les sujets reçoivent une information spatiale fragmentaire qui nuit à la précision de leurs actions dirigées (Rizzo & Darling, 1997; Stein, 1998). En second lieu, sans tenir compte d'une quelconque restriction de l'angle de vue, des études montrent qu'en cas d'une immobilisation des mouvements de l'oeil, il ne semble pas y avoir de vision possible (Ditchburn, 1973; Steinman & Levinson, 1990). La perception visuelle et la perception via un dispositif de substitution sensorielle sont ainsi possibles seulement lorsqu'une action structure nos perceptions. Ceci tend à confirmer l'hypothèse que les objets de notre perception 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 (Brooks, 1999; Gibson, 1966a, 1966b, 1979; Noë, 2001; J.K. O'Regan & Noë, 2001; Paillard, 1971; Piaget, 1936, 1937; Varela, Thompson, & Rosch, 1991).

Percevoir un objet consisterait ainsi en la découverte de liens réguliers entre les actions de l'organe de perception et les différentes sensations issues de la mobilité de l'organe de perception. La richesse de la perception dépend donc autant des qualités de l'action

(mobilité, rapidité, zoom, etc.) que de la sensation (largeur du spectre, nombre de senseurs, etc.) (Gapenne, Lenay, Stewart, Beriot, & Meidine, 2001).

II-2- Mise en extériorité des percepts

Second résultat fondamental : une exploration active s'accompagne d'une mise en extériorité des percepts en des objets localisés dans l'espace. Lorsque la caméra est fixe, les utilisateurs du TVSS ressentent des stimulations se succéder à la surface de leur peau, localisées au niveau de la matrice (sur le dos lorsque la matrice est sur le dos). Mais, après un apprentissage perceptif avec manipulation de la caméra, les utilisateurs finissent par oublier les sensations tactiles sur leur peau pour percevoir des objets localisés à distance, extérieurement à eux (Bach-y-Rita, 1972a, 1972b; White et al., 1970). D'après les témoignages des utilisateurs, les irritations proximales que peut provoquer la plaque tactile sont nettement différenciées de la perception proprement dite : la perception est clairement distinguée de la sensation. Ce point est corroboré par le fait qu'une fois que les sujets sont entraînés, l'emplacement de la caméra ou de la matrice de stimulateurs n'a pas d'influence sur les performances des sujets. La caméra tenue dans les mains peut être remplacée par une caméra miniaturisée attachée à une monture de lunettes ; le dispositif vibro-tactile peut être déplacé sur une autre partie du corps (par exemple du dos vers le ventre) : l'adaptation se fait quasi immédiatement. L'utilisateur retrouve une perception distale des objets qu'il explore. Les sujets entraînés ne perçoivent plus les images sur leur peau, mais ils les localisent dans l'espace.

II-2-1- Automaticité de la perception

Plus l'apprentissage avance, plus l'accès aux objets de la perception devient automatique et inconscient : il ne nécessite plus de déduction sur la stimulation. Une anecdote fréquemment rapportée le montre : le sujet porte la matrice du TVSS sur le dos ; à son insu, l'expérimentateur effectue une expansion brusque de l'image tactile par une manipulation du zoom de la caméra (comme si un objet arrivait brusquement sur lui) ; le sujet a un comportement d'évitement caractéristique, il lève les bras et recule le corps en arrière (Bach-y-Rita, 2002). Il ne s'arrête plus sur les entrées sensorielles de l'information, il ne perçoit plus les sensations sur la peau, mais il traite directement l'information en termes sémantiques, en tant qu'objets localisés dans l'espace.

Des faits similaires sont rapportés lors de l'utilisation de dispositifs de substitution sensorielle visuo-auditifs. Une utilisatrice du dispositif The Voice relate qu'au tout début, elle entendait simplement des sons sans signification. Elle n'arrivait pas à distinguer les sons générés par le dispositif des autres sons, ce qui faisait qu'elle avait du mal à faire cohabiter les deux. Elle avait par exemple des difficultés à utiliser le dispositif en écoutant la radio. Après apprentissage, elle pouvait distinguer les sons venant du dispositif des autres sons, et les percevait comme des objets localisés dans l'espace. Comme avec un dispositif tactile, cette perception est devenue automatique. Ainsi, l'utilisatrice dit oublier d'écouter les sons, et absorbe simplement l'information : « Je pense que c'est comme écouter une émission à la radio, on entend les sons, mais on ne les remarque pas vraiment sans se focaliser véritablement dessus, on écoute tout simplement ce qui est dit ». L'utilisatrice explique qu'elle ne pense plus à ce qu'elle entend, mais « fait l'expérience du dispositif comme s'il faisait partie d'elle ». Elle explique que lorsqu'elle voyait et qu'elle se retrouvait devant des marches, elle n'avait pas à se dire qu'elle devait ralentir, puis réfléchir à adapter le mouvement de ses jambes pour enjamber les marches. Les premiers temps, avec « The Voice », elle devait effectuer ce raisonnement déductif consciemment, puis c'est devenu de plus en plus automatique : « mes sens voient les marches et mon corps sait par expérience ce qu'il doit faire ensuite » (Meijer, site web).

Ces résultats soulèvent une hypothèse : la perception des objets comme étant situés à l'extérieur serait déterminée, de manière critique, par un apprentissage sensorimoteur (White et al., 1970). Cette nécessité de l'action sur la mise en extériorité des percepts avait déjà été aperçue par Condillac (1754). Selon lui, si nous nous contentions de recevoir passivement des sensations, nous ne pourrions pas comprendre que ces sensations réfèrent à des objets existant dans le monde externe. En effet, si toute notre connaissance du monde vient de nos sensations, et si toutes les sensations sont simplement des modifications de notre esprit, comment pouvons-nous justifier l'existence du monde externe ? Pour Condillac, nos mouvements exploratoires nous permettent de dégager l'organisation spatiale de nos sensations, et c'est l'existence spatiale des objets dans le monde qui nous permet de les considérer comme extérieurs.

II-3- Extériorité et spatialisation

L'hypothèse de Condillac (1754) est qu'on ne peut expérimenter l'existence d'un monde comme étant extérieur sans se représenter cette existence comme spatiale. Autrement dit, objectivité et spatialité sont co-occurents. C'est l'hypothèse que nous développons ici. Le moment que nous avons appelé extériorisation correspond à ce que nous pourrions appeler une spatialisation des objets. Ce moment consiste en la compréhension des objets comme étant à l'extérieur de soi, il est spatialisation des objets dans le monde. Ce moment est corrélatif de ce que nous pourrions appeler la spatialisation de l'action, qui correspondrait à la compréhension de nos actions comme étant mouvements dans l'espace c'est-à-dire comme étant des déplacements. Ces deux spatialisations permettent une mesure de l'objet par l'action et une mesure de l'action par l'objet. Elles donnent ainsi la possibilité de la constitution d'une métrique de l'espace. Il va s'agir ici de comprendre la genèse de la spatialisation de l'action via un dispositif de substitution sensorielle.

II-3-1- Constitution de l'espace et réversibilité

La possibilité d'une perception dans l'espace demande de pouvoir penser la simultanéité de différentes choses dans un même temps. Mes actions, qu'elles soient immédiates ou médiates (via une prothèse) ne me donnent accès qu'à une succession temporelle de sensations. Comment alors appréhender ce divers de sensations successives comme référant à un même objet extérieur ? Cette opération nécessite une activité de synthèse de cette succession de sensations. Pour Kant (1787), cette synthèse s'explique d'une règle : celle de la réversibilité. La possibilité que nous avons de revenir à une même sensation ; de pouvoir après une succession de mouvements confirmer une même sensation à partir d'une même position, nous permet de considérer qu'un objet extérieur est bien le référent de notre sensation.

Poincaré (1905, 1907) part du même présupposé tout en rejetant l'idée que l'espace puisse être une condition de possibilité *a priori* de la constitution d'une objectivité « externe », indépendante du sujet. Selon lui, la notion d'espace ne naît pas de nos sensations prises isolément, mais des lois structurant la succession des sensations. Le point de départ de la construction de l'espace est la compréhension de deux sources distinctes de changements : changement d'état et changement de position. Nous avons accès à une certaine configuration de nos impressions sensorielles. Si nous ne pouvons retrouver par nos mouvements la même

configuration de nos impressions sensorielles, les transformations de nos impressions sensorielles correspondront à un changement d'état (un changement non spatial). Si nous pouvons, après une succession de mouvements, retrouver la même configuration de nos impressions sensorielles, les transformations de nos impressions sensorielles correspondront à un changement de position (un changement spatial). L'ensemble des mouvements permettant de revenir à une même configuration d'impressions (c'est-à-dire l'ensemble des transformations réversibles) définit une classe de mouvements qui a la structure mathématique d'un groupe, dont l'élément d'identité est la stationnarité. L'espace de la perception peut ainsi être défini comme l'ensemble des transformations qui permettent de retrouver de mêmes sensations à partir de mêmes successions d'actions. Ainsi, l'espace de la perception se définit comme le groupe des déplacements du sujet.

Précisons que, pour Poincaré, il n'y a au départ aucune spatialité donnée d'emblée par les mouvements. Lorsqu'il parle de représentation des mouvements, il n'entend pas la représentation des mouvements dans l'espace, mais la représentation des sensations musculaires qui les accompagnent et qui en elles-mêmes ne présupposent pas la notion d'espace. Ainsi, la succession des mouvements détermine la possibilité de la construction d'un espace. Par conséquent, « un être immobile n'aurait jamais pu acquérir la notion d'espace puisque, ne pouvant corriger par ses mouvements les effets des changements des objets extérieurs, il n'aurait eu aucune raison de les distinguer des changements d'état » (Poincaré, 1907).

II-3-2- La constitution de l'espace avec un dispositif minimaliste

Nous venons de définir la possibilité de la construction d'un espace à partir de la possibilité de réversibilité des actions. Cette affirmation s'oppose à l'hypothèse alternative suivant laquelle notre propre spatialité dériverait non pas de nos actions, mais de l'espace de la sensation. Cette hypothèse s'appuie sur le constat que les stimulations sensorielles auxquelles nous avons accès sont déjà spatiales. Nos organes sensoriels nous donnent en effet accès à un ensemble de stimulations déjà organisées spatialement : notre perception visuelle nous offre un ensemble de sensations structurées spatialement ; via notre perception tactile, plusieurs points de contact sont expérimentés simultanément et spatialement. Les dispositifs de substitution sensorielle nous font eux aussi accéder à une information déjà spatialisée. Par exemple, le TVSS de Bach-y-Rita était doté de 400 points de stimulation, disposés dans une matrice de 20 x 20 correspondant aux champs récepteurs de la caméra. Autre exemple, dans

les dispositifs de substitution sensorielle visuo-auditifs, la position spatiale est codée en différence binaurale : la double source de la stimulation engendre un espace défini par mes deux oreilles. Par conséquent, nous ne pouvons pas exclure qu'avec de tels dispositifs l'entrée sensorielle contienne déjà des informations spécifiquement spatiales.

Pour affirmer que l'action est bien constitutive de la spatialisation, il faut montrer que cette dernière est possible alors que la stimulation obtenue n'est pas d'emblée spatiale. Autrement dit, on peut recréer un espace par l'action, alors que la stimulation en elle-même ne contient pas d'information spatiale. Cette possibilité peut être explorée grâce à des dispositifs minimalistes. Celui mis au point par le groupe Suppléance Perceptive, unité de recherche COSTECH, Université de Technologie de Compiègne, consiste en une simple cellule photoélectrique fixée sur l'index de la main dominante et connectée à un stimulateur vibrotactile tenu dans l'autre main. Le stimulateur vibrotactile réagit en tout ou rien lorsque l'intensité lumineuse captée par la cellule en tout ou rien dépasse son seuil d'activation (voir figure I-6).

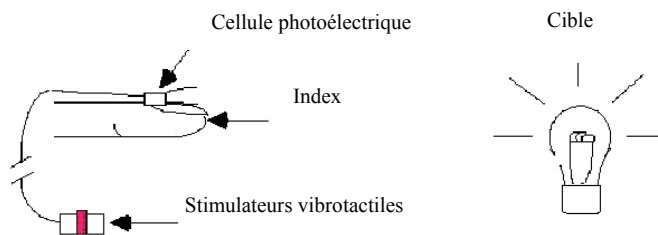


Figure I-6. Le dispositif de Lenay.

Un tel dispositif a un seul point de stimulation correspondant à un seul champ récepteur. La stimulation sensorielle obtenue via ce dispositif est donc réduite à une simple séquence temporelle binaire : une suite de 0 et de 1, où « 1 » correspond à un retour sensoriel et « 0 » à une absence de stimulation. Dans ce cas, les données sensorielles se résument à une succession de stimulations tactiles *sans aucune spatialité* intrinsèque.

Bien que placés dans ces conditions limites, les sujets, les yeux bandés, développent des capacités de localisation spatiale. Ils parviennent à indiquer la direction et une distance approximative de la cible lumineuse (Hardy et al., 2000). De plus, ils constituent bien leurs percepts comme référant à des objets localisés dans l'espace extérieur. Notons ce point fondamental : l'expérience d'un objet comme distal ne persiste que le temps que dure

l'activité du sujet. Lorsque le sujet cesse son activité, la stimulation tactile est soit présente, soit absente, mais rien ne donne à penser que l'origine de cette sensation est celle d'un objet distal. Une telle perception ne persiste ainsi que dans le temps de l'activité exploratoire (Lenay, 2002).

La possibilité de reconnaissance de formes avec une information minimale a été étudiée grâce à un second dispositif minimaliste développé par l'unité de recherche COSTECH. Ce dispositif est constitué du stylet d'une tablette graphique relié à une matrice de stimulateurs tactiles par l'intermédiaire d'un système informatique (voir figure I-7). Le sujet explore avec le stylet la surface de la tablette graphique et reçoit des stimulations tactiles sur sa main libre, variant en fonction des formes rencontrées.

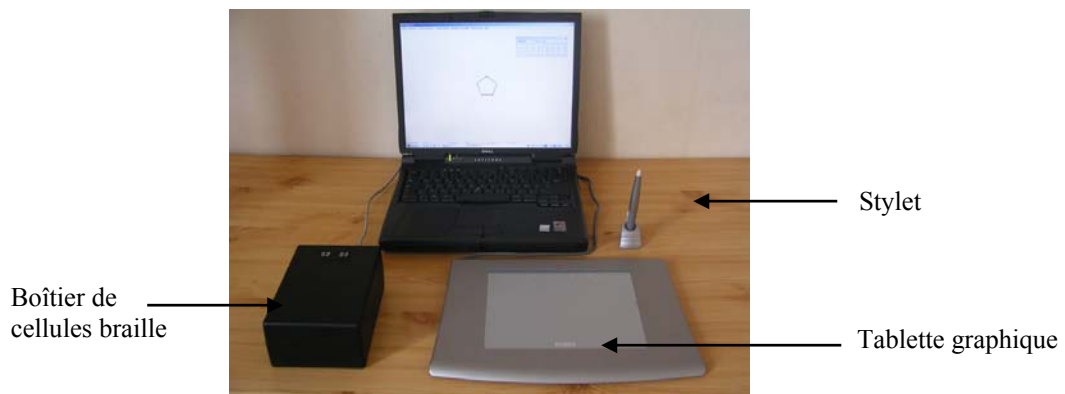


Figure I-7. Le stylet tactile (COSTECH).

Dans la situation la plus minimale, l'utilisateur commande les déplacements d'un unique petit champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran. Il ne reçoit donc qu'une information en tout ou rien : une stimulation tactile si le champ récepteur recouvre au moins un pixel noir ; absence de stimulation tactile si tous les pixels sont blancs. Dans cette condition limite, l'utilisateur se révèle capable de reconnaître des formes bidimensionnelles simples et de les localiser (Hanneton, Gapenne, Genouel, Lenay, & Marque, 1999). Dans ce cas, puisque l'entrée sensorielle est réduite au maximum, c'est seulement par son activité exploratoire que le sujet peut localiser et reconnaître des formes.

L'ensemble de ces études avec des dispositifs minimalistes nous permet de dégager que - bien que les données sensorielles se limitent à une succession de stimulations tactiles sans aucune spatialité intrinsèque - des capacités de localisation spatiale, de reconnaissance de

formes et de mise en extériorité des percepts demeurent possibles. Si tel est le cas, les capacités perceptives développées ne peuvent aucunement être obtenues à partir d'une analyse des données sensorielles instantanées, mais elles se construisent à travers l'activité d'exploration des sujets.

II-4- Plasticité structurelle et fonctionnelle

Les études effectuées sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle mettent en évidence une étonnante plasticité structurelle et fonctionnelle du système nerveux central. D'un point de vue structurel, il a été montré que des stimulations tactiles, lors de la lecture du braille, sollicitent des aires visuelles chez des personnes aveugles (Burton et al., 2002; Cohen et al., 1997; Cohen et al., 1999; Sadato et al., 1998; Sadato et al., 1996). Le même phénomène a été constaté lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile (Kupers, 2003). On montre de même une sollicitation des aires visuelles par des stimulations auditives lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif (De Volder et al., 1999).

D'un point de vue fonctionnel, le cerveau est capable de recréer un monde perceptif ayant les caractéristiques de notre monde visuel bien que les inputs sensoriels et le contrôle moteur soient différents de ceux de notre système visuel. Le cerveau parvient à traiter l'information recueillie bien que les entrées sensorielles soient tactiles ou auditives. Il y parvient également bien que le contrôle moteur s'effectue via les mouvements d'une caméra (fixée sur la tête ou tenue à la main), maniement qui n'a aucune relation avec les commandes des muscles oculaires. Ainsi, « en ce qui concerne les régions perceptives du cerveau, peu importe la manière dont l'information entre dans le corps, pour autant qu'elle soit rassemblée par un organe perceptif disposant d'un contrôle moteur, et qu'elle soit recueillie par une matrice de récepteurs qui puisse traiter le détail de la présentation » (Bach-y-Rita, 1972b).

La plasticité de nos systèmes sensoriels amène à considérer l'utilisation de tels dispositifs comme une substitution sensorielle. Mais il ne faut pas oublier que cette plasticité n'est pas celle uniquement de nos entrées sensorielles. Comme nous l'avons vu précédemment, la simple substitution d'une entrée sensorielle tactile ou auditive à une entrée sensorielle par le nerf optique ne donne pas accès en tant que telle à une perception. La nécessité d'un apprentissage perceptivo-moteur souligne que cette plasticité est

sensorimotrice. Une telle nécessité du contrôle actif sur les capteurs sensoriels, afin que la constitution d'une perception soit possible, montre qu'il ne se produit pas une substitution *sensorielle* pour les observateurs mais une substitution *sensorimotrice*. De plus, l'expérience perceptive que ces dispositifs autorisent n'est pas celle d'une perception visuelle dégradée, mais une expérience nouvelle. L'expérience vécue par les sujets n'est pas nécessairement assimilée à une perception visuelle : parfois, elle n'est comparable à aucune de nos modalités sensorielles. Nous aurons l'occasion de détailler ce point (expérience I). Ces dispositifs ne sont pas une substitution d'une modalité à une autre, mais une forme de perception nouvelle, un nouveau couplage perceptif de l'homme avec le monde. Pour certains auteurs, il est donc préférable de nommer ces systèmes « dispositifs de couplage sensori-moteurs » ou « systèmes de suppléance perceptive » (Lenay et al., 2003).

II-5- Caractère modal ou amodal des perceptions

Les expériences effectuées avec les dispositifs de substitution sensorielle révèlent que les sujets sont capables de recréer des capacités perceptives qui ont les caractéristiques de notre système visuel, même si les inputs sensoriels sont tactiles ou auditifs. La substitution sensorielle montre ainsi, qu'en dépit des différences certaines dans la stimulation sensorielle, la vision et la substitution tactile ou auditive de la vision contiennent un nombre significatif d'informations fonctionnellement équivalentes. Cette équivalence de l'information atteignable par différents sens pose la question du caractère amodal de l'information perceptive.

Résumons les deux points de vue. Selon l'approche modale, le percept est issu de la sensation et les données perceptives sont originellement attachées à la modalité sensorielle particulière qui les a engendrées (Berkeley, 1709; Locke, 1690; Piaget, 1954). Par contre, selon l'approche amodale (ou supramodale), le percept n'est pas issu de la sensation, mais il résulte d'un processus d'extraction de l'information. L'information est abstraite et ne dépend pas de la modalité sensorielle à partir de laquelle elle a été extraite. Les propriétés des objets peuvent donc être interprétées par plusieurs canaux sensoriels. Par conséquent, les sensations sont particulières à chaque modalité, mais l'information perceptive ne l'est pas (Bower, 1977; Gibson, 1966, 1979). Ces deux approches expliquent de manière différente la possibilité d'accès aux mêmes informations par la vision et par la substitution tactile ou auditive de la vision. Pour les tenants de l'approche modale, le transfert intermodal suppose un codage des données arrivées dans un canal sensoriel dans le code propre à l'autre canal sensoriel. Cette

traduction suppose que soit constituée une sorte de dictionnaire intermodal. Pour les tenants de l'approche amodale, aucune transformation des données n'est requise pour leur transfert d'une modalité à l'autre (pour une revue, voir Hatwell, 1986).

Les dispositifs de substitution sensorielle offrent la possibilité de séparer les perceptions des sensations. Ils nous permettent donc de séparer la question du caractère modal des sensations et celle du caractère modal des perceptions. Le caractère modal de l'un n'impliquant nullement le caractère modal de l'autre.

La nécessité d'une distinction entre sensation et perception, autrement dit entre la stimulation sensorielle et l'information perceptive, est la clé de voûte de la théorie de Gibson (1966, 1979). Cette distinction lui permet de déterminer deux manières de concevoir les sens. Soit comme canaux de sensations, essentiellement passifs, qui sont l'origine des qualités de l'expérience. Soit comme des systèmes perceptifs, essentiellement actifs, qui extraient ces informations et sont sources de connaissances sur le monde. C'est la position retenue par Gibson. Pour lui, la sensation n'est pas un pré requis de la perception. La perception visuelle n'est pas basée sur la sensation visuelle, mais est basée sur l'information contenue dans les propriétés structurelles invariantes des stimuli. Le but de la perception est d'extraire, grâce aux mouvements, cette information en en détectant les invariants.

Les résultats obtenus par l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle ont-ils des implications sur ces questions ? Concernant le caractère modal des sensations, l'utilisation de tels dispositifs ne nous permet pas de montrer qu'il y a une équivalence modale des sensations. Au contraire, comme nous l'avons vu, la simple substitution d'une entrée sensorielle tactile à une entrée sensorielle visuelle ne nous donne pas accès, de manière immédiate et passive, aux données visuelles. Il n'existe donc pas d'équivalence modale stricte des sensations. En revanche, les études effectuées montrent que les utilisateurs de ces dispositifs parviennent à extraire une information similaire à l'information visuelle bien que les stimulations sensorielles soient tactiles ou auditives. Elles nous laissent ainsi supposer qu'il puisse y avoir une amodalité de l'information perceptive. Précisons qu'en ce cas, l'accès aux données perceptives dévolues à une modalité sensorielle via une autre modalité sensorielle ne peut s'effectuer antérieurement à l'expérience, mais elle n'est possible qu'à l'issue d'un apprentissage perceptivo-moteur.

Un auteur tel que Gibson (1966, 1979), définissant une modalité sensorielle comme un système perceptif dont la fonction est d'extraire les informations sur l'environnement, n'aurait aucun mal à envisager que, puisque les dispositifs de substitution sensorielle et la vision nous donnent accès aux mêmes informations perceptives, percevoir via un dispositif de substitution sensorielle est voir. Gibson définit une modalité sensorielle comme un système perceptif dont la fonction est d'extraire les informations sur l'environnement. Si nous sommes en accord avec cette définition, nous pouvons envisager que percevoir via un dispositif de substitution sensorielle est voir puisque les dispositifs de substitution sensorielle et la vision nous donnent accès aux mêmes informations perceptives. Mais il faut considérer les différents arguments qui permettent de définir comme vision la perception via un dispositif de substitution sensorielle.

II-6- Percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile ou visuo-auditif, est-ce voir ?

Pouvons-nous appeler vision une perception issue d'un dispositif convertissant les images visuelles en sons ou en informations tactiles ? Pour cela il faut définir ce qu'est une modalité sensorielle. Cette définition, problématique, fait l'objet de nombreuses controverses. Grice (1962, 1989) a proposé quatre critères de distinction entre les sens. Nos modalités sensorielles se distinguent : 1) par rapport aux types de choses qui en constituent l'objet ; c'est-à-dire par rapport aux propriétés sur lesquelles elles nous informent (les odeurs pour l'odorat, les couleurs et les formes pour la vue, etc.) ce que Casati et Dokic (1994) appellent le critère des propriétés ; 2) par rapport aux caractéristiques subjectives des expériences éprouvées ; 3) par rapport aux différences entre les stimuli utilisés dans la perception (les vibrations de l'air pour l'audition, la lumière pour la vue) ; et 4) par le type d'organe sensoriel impliqué dans la perception. Il est aussi possible de considérer le critère 5) de l'équivalence comportementale (Morgan, 1977), une modalité sensorielle se définissant alors par le type de comportement engendré par une stimulation.

Les définitions de nos modalités sensorielles considèrent soit l'un de ces critères isolément soit une combinaison de plusieurs de ces critères. Sans discuter ici des avantages et des inconvénients de chacun de ces critères (pour une revue, voir Casati et Dokic, 1994), nous tentons de déterminer lesquels d'entre eux sont satisfaits par l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle. Nous allons envisager les différences et similitudes entre les

dispositifs de substitution sensorielle et la vision en regroupant les critères cités selon trois niveaux : le niveau structurel et sensoriel, incluant le critère de l'organe sensoriel et le critère des stimuli ; le niveau perceptif ou fonctionnel regroupant le critère des propriétés et le critère de l'équivalence comportementale ; et le critère de l'expérience qualitative c'est-à-dire des caractéristiques subjectives des expériences éprouvées.

II-6-1- Différences et similitudes structurelles et sensorielles

II-6-1-1- Le critère de l'organe sensoriel

Le type d'organe sensoriel impliqué dans la perception peut être compris en un sens strict, c'est-à-dire impliquant l'organe lui-même (l'œil dans le cas de la vue) et la façon dont il est rattaché au cerveau (les terminaisons nerveuses allant de l'œil jusqu'au cortex visuel). Si une définition de nos modalités sensorielles se base sur le type d'organe sensoriel impliqué dans la perception au sens strict, il est évident qu'une perception avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif ou avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile ne pourra être dite visuelle. Nous pouvons par contre envisager d'assouplir ce critère et de le juger satisfait si une similitude suffisamment forte entre l'organe sensoriel visuel et le dispositif utilisé est attestée.

Or, nous pouvons constater un ensemble de similitudes entre le fonctionnement d'un dispositif de substitution sensorielle et le fonctionnement du système visuel. Prenons l'exemple des dispositifs de substitution sensorielle visuo-tactiles et des dispositifs de conversion image / son : les similitudes suivantes se dégagent : (a) une image est formée par une lentille sur une surface bidimensionnelle (la rétine ou la lentille de la caméra) ; (b) la surface contient des éléments discrets (bâtonnets et cônes pour l'un, vibreur pour l'autre) qui réagissent à l'entrée ; (c) les surfaces contiennent des cellules nerveuses qui sont connectées aux régions de la surface (appelés champs récepteurs dans les deux cas) et qui envoient des signaux électriques au cerveau ; (d) le système de formation de l'image (œil, caméra) peut être déplacé à volonté, soumettant l'image à des transformations ; (Bak et al., 1990) dans les deux systèmes, la source de stimulation n'est pas nécessairement en contact avec le corps ; (f) la perception peut être interrompue par l'interposition d'objets entre le spectateur et l'objet vu (Morgan, 1977).

A priori, la différence entre le système visuel et un dispositif de substitution sensorielle pourrait être jugée comme quantitative. Le second est doté de beaucoup moins de

champs récepteurs et de stimulateurs : il propose une résolution de l'image beaucoup plus faible et incolore. De même, les mouvements de la caméra sont plus difficiles et limités que les mouvements de l'œil. Mais ces différences structurelles suffisent-elles à impliquer que la perception via un dispositif de substitution sensorielle, selon ce critère, n'est pas une perception visuelle ?

D'abord, ces différences quantitatives se rencontrent aussi entre les différentes espèces animales. Les crabes offrent l'exemple d'un système biologique qui a moins de récepteurs que la plupart des mammifères mais on peut néanmoins dire qu'ils voient. De nombreuses espèces, comme le chien, n'ont pas accès à la vision des couleurs. Ainsi, des organes perceptifs très divers, employés par les différentes espèces, sont dits visuels. Déterminer selon quels critères des organes sensoriels présentant une si grande différence peuvent être considérés comme semblables est problématique. Si ces critères sont trop précis, nous nous retrouverons avec une inflation démesurée du nombre de sens (Pacherie, 1997). Si ces critères sont suffisamment ouverts pour inclure sous la même appellation notre système visuel, celui d'une abeille et celui d'un crabe, au vu du nombre de similitudes dégagées entre les prothèses perceptives et notre système visuel, pourquoi n'impliqueraient-ils pas les dispositifs de substitution sensorielle ? Cette constatation amène Morgan (1977) à souligner qu'on ne peut distinguer ce qu'est voir ou ne pas voir en se basant sur la nature structurelle des systèmes perceptifs.

Nous pouvons ensuite souligner que dans le cadre de notre vision, l'image qui s'imprime sur notre rétine est elle aussi imparfaite. Cette image est floue, désordonnée et extrêmement variable. Notre système visuel présente de nombreux défauts, tels que la non uniformité de la répartition des cônes sur notre rétine, la présence d'une tache aveugle, les perturbations engendrées par les mouvements saccadiques des yeux. Ces défauts ne se reflètent paradoxalement pas dans notre accès perceptif. Une explication possible : ce n'est pas à cette image imparfaite que nous accédons, mais plutôt aux relations entre les mouvements oculaires (microsaccades) et les variations sensorielles qu'ils provoquent (Lenay, 2002; J. Kevin O'Regan, 1992).

Cette différence entre les sensations auxquelles nous avons accès et le percept qui en découle a été soulignée par Poincaré (1905, 1907). Poincaré part du constat que l'espace représentatif - dans sa triple forme visuelle, tactile, et motrice - est extrêmement différent de

l'espace géométrique. Il n'est ni homogène, ni isotrope. On ne peut même pas dire qu'il ait trois dimensions : l'espace visuel pur est bidimensionnel et les espaces tactiles et moteurs ont d'une certaine manière autant de dimensions qu'il y a de muscles. Nos espaces sensoriels, que Poincaré appelle l'espace représentatif, ne sont ainsi qu'une approximation imparfaite de l'espace géométrique : il nous est par conséquent impossible de nous représenter les objets extérieurs dans l'espace géométrique. Poincaré explique cette différence entre espace représentatif et espace géométrique : pour lui, l'espace représentatif auquel nous avons accès ne découle pas directement de nos sensations prises isolément, mais de lois structurant la succession des sensations. Ainsi, « aucune de nos sensations, isolée, n'aurait pu nous conduire à la notion d'espace, nous y sommes amenés seulement en étudiant les lois suivant lesquelles ces sensations se succèdent » (Poincaré, 1907).

C'est ce qu'il semble se passer lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle. La différence quantitative dans les inputs sensoriels permise par ces dispositifs n'empêche pas l'établissement de lois structurant la relation entre les variations de mouvements de l'utilisateur et les variations sensorielles concomitantes. L'établissement de ces lois permet la réalisation d'un grand nombre de tâches perceptives.

On peut dès lors penser que les différences structurelles ne suffisent pas à prouver que la perception via un dispositif de substitution sensorielle n'est pas une perception visuelle.

II-6-1-2- Le critère des stimuli

Le critère des stimuli est le second critère avec lequel nous cherchons les différences et similitudes entre les dispositifs de substitution sensorielle et la vision. Il peut être envisagé selon deux angles différents. Nous pouvons soit considérer la nature du stimulus qui affecte *directement* nos sens, soit la nature du stimulus *à partir* duquel l'information est extraite.

Si nous considérons le critère des stimuli comme sensation pure, c'est-à-dire si nous considérons la nature des stimuli qui affectent *directement* l'organe perceptif considéré, en ce cas les stimuli de notre perception visuelle sont des rayons lumineux tandis que les stimuli de notre perception via un dispositif de substitution sensorielle sont des impulsions tactiles ou des vibrations sonores. La perception via un dispositif de substitution sensorielle ne satisfera donc pas ce critère.

Si nous considérons le critère des stimuli comme étant le type de stimulation physique à partir duquel nous extrayons une information perceptive, nous définirons la vision comme une activité d'extraction *à partir* des rayons lumineux. Dans le cas de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif ou visuo-tactile, comme dans celui de la vision ordinaire, l'information qui arrive au sujet est l'information sur les objets véhiculée par la lumière. Dans ce cas, la perception via un dispositif de substitution sensorielle satisfait le critère des stimuli puisque nous extrayons, même si c'est par des moyens différents, l'information contenue dans la lumière.

Ces deux premiers critères de distinction entre les sens sont-ils satisfaits par l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle ? La réponse tient dans la définition même de ces critères : les dispositifs de substitution sensorielle répondent au critère des stimuli, à condition que ce critère soit entendu au sens indirect, tout comme le critère de l'organe sensoriel était satisfait s'il n'était pas entendu au sens strict.

II-6-2- Différences et similitudes perceptives

II-6-2-1- Le critère des propriétés

Les modalités sensorielles peuvent aussi être définies par rapport aux propriétés sur lesquelles elles nous informent. Selon ce critère, une modalité est dite visuelle si elle nous donne accès à un certain nombre de propriétés visuelles, comme la couleur ou la forme. Ce critère pose problème si il est considéré de manière unique pour caractériser une modalité sensorielle. En effet, certaines propriétés des objets peuvent être appréhendées par plusieurs sens. Par exemple la forme et la texture des objets peuvent être appréhendées visuellement et tactilement. Ceci pousse certains auteurs à restreindre ce critère à une propriété clé, qui ne serait accessible que par cette modalité sensorielle (par exemple la couleur pour la vision) (Roxbee-Cox, 1970). Cette caractérisation soulève elle aussi de nombreux problèmes. Elle ne permet pas d'expliquer en quoi cela est différent de percevoir une forme visuellement et tactilement. Et surtout, elle implique que pour chaque propriété clé nous ayons une modalité sensorielle différente. Nous aurions ainsi un toucher pour appréhender la forme d'un objet, un toucher pour les propriétés thermiques, un toucher pour les propriétés de pression, etc. (Casati & Dokic, 1994).

Quels que soient les problèmes soulevés par ce critère, les dispositifs de substitution sensorielle nous donnent, du moins en théorie, accès aux mêmes propriétés que celles

obtenues par la vision. Chaque dispositif ne nous donne pas accès à l'ensemble des propriétés que nous pouvons atteindre par la vision, mais des codages sont envisageables pour nous le permettre.

II-6-2-2- Le critère de l'équivalence comportementale

Nos modalités sensorielles peuvent également être définies par le type de comportements engendrés par une stimulation. Si les utilisateurs d'un dispositif de substitution sensorielle ont les mêmes comportements, lorsqu'ils entendent une traduction sonore ou tactile d'une scène visuelle, qu'un voyant regardant cette même scène, alors on pourra dire qu'ils voient. Les utilisateurs de tels dispositifs ont-ils les mêmes comportements face à l'information qui leur est fournie que les comportements associés à la vision ?

Les dispositifs de substitution sensorielle paraissent donner accès aux mêmes comportements que les comportements engendrés par une stimulation visuelle. Si un utilisateur du TVSS ressent une expansion de l'image tactile, il a un comportement d'évitement semblable à un voyant qui voit une image grandir (expansion de l'image rétinienne). De la même manière, si l'utilisateur du dispositif The Voice entend un son dont la fréquence devient plus aiguë, il a le même comportement qu'un voyant regardant un objet s'élever. La vision d'un animal dangereux pour un voyant et sa traduction sonore pour l'utilisateur d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif amènent au même comportement de fuite. Les dispositifs de substitution sensorielle semblent ainsi satisfaire le critère des propriétés.

Les critères des stimuli (au sens indirect) et de l'équivalence comportementale sont ceux retenus notamment par Morgan (1977). Selon lui, puisqu'on donne à des sujets aveugles les mêmes informations que celles qui engendrent la vue pour les voyants et puisqu'ils y répondent d'une manière indistinguable, on n'a pas d'autre alternative que d'admettre qu'ils voient. Morgan considère ainsi que « il n'y a pas la moindre raison de penser que si deux messages sensoriels donnent à un animal exactement la même information, et si cette information amène exactement au même comportement, alors ils percevront différemment. Et ce, même si les messages sensoriels arrivent par des chemins complètement différents » (Morgan, 1977).

Les critères envisagés jusqu'à présent ne nous ont pas permis de dégager de différences majeures entre les organes naturels et les dispositifs de substitution sensorielle. Cependant, un grand nombre d'utilisateurs estiment ne pas avoir accès à proprement parler à la vision. Ceci peut s'interpréter de trois manières différentes. Soit les critères de l'organe sensoriel et des stimuli doivent être envisagés au sens strict. Soit il manque à ces dispositifs une forme d'expérience qualitative, ce que nous allons envisager à présent. Soit ces résultats nous conduisent à redéfinir ce que nous entendons par modalité sensorielle.

II-6-3- Différences et similitudes de l'expérience perceptive

Le dernier critère envisagé est celui de l'expérience qualitative. Ce critère est grandement contesté. Par exemple, pour Gibson, la fonction principale de la perception est de nous fournir des informations sur l'environnement. Il en découle que le problème principal d'une théorie de la perception n'est pas d'expliquer *pourquoi* les choses ont l'apparence phénoménale qu'elles ont, mais *de quelle manière* les sens nous informent sur le monde. Dans ce second cas - et alors qu'aucune différence majeure ne s'est dégagée, selon les critères envisagés, entre les organes naturels et les dispositifs de substitution sensorielle - comment se fait-il que très peu d'utilisateurs estiment avoir accès à la vision ? Qu'est-ce qui différencie l'expérience perceptive permise par ces dispositifs de celle engendrée par nos systèmes habituels ?

En fait, l'émotion ressentie devant les choses perçues semble le plus faire défaut aux dispositifs de substitution sensorielle. Malgré l'ensemble des possibilités permises par ces dispositifs, il leur est souvent reproché de ne procurer aucune émotion. Deux exemples : un aveugle « regardant » sa femme grâce au TVSS fut déçu de l'absence d'émotion ressentie ; avec le même dispositif, des étudiants ne montrèrent aucune émotion face à des femmes dénudées. Dans ces deux cas, bien que les utilisateurs soient capables de décrire les détails de l'image, ils n'associent aucun contenu affectif ou émotionnel à ces images (Bach-y-Rita, 1997, 2003; Bach-y-Rita & W. Kercel, 2003). Ce qui manquerait le plus, dans cette nouvelle modalité perceptive, ce sont les qualités de nos expériences subjectives du monde, les valeurs que nous attribuons aux choses perçues et les émotions qu'elles nous procurent. C'est-à-dire ce que nous font la vue d'un tableau, le goût du café, l'odeur d'une madeleine, etc.

Les dispositifs de substitution sensorielle nous permettent de comprendre un élément crucial : un utilisateur isolé ne peut avoir un accès immédiat à la richesse de l'expérience perceptive visuelle. Ainsi, il semble que les formes perçues dans une modalité sensorielle ne sont pas associées directement aux sensations de plaisir ou de peine ressenties lors de la perception de cette forme dans une autre modalité sensorielle.

Une absence d'émotion ressentie similaire est rapportée par les aveugles de naissance recouvrant la vue tardivement. Ceux qui recouvrent la vue tardivement par abatement de la cataracte soulignent que les couleurs n'ont pas de qualité affective et que les visages ne transmettent pas de message émotionnel (Gregory, 1990; Gregory & Wallace, 1963). Ces phénomènes pourraient nous laisser supposer que ce n'est pas le principe de la substitution sensorielle proprement dit qui est la cause de l'impossibilité d'accéder aux émotions. Deux solutions restent envisageables. Soit on considère que la possibilité d'une émotion nécessite un apprentissage. Soit on considère que l'émotion ne peut naître que dans la découverte d'une signification à l'intérieur d'une communauté utilisant les mêmes moyens perceptifs.

II-6-3-1- Expérience qualitative et apprentissage

Bach-y-rita (2002) compare l'absence de qualia ressentis avec le TVSS avec l'acquisition d'une seconde langue. L'aspect émotionnel de la seconde langue manque souvent, en particulier pour les mots chargés émotionnellement et les expressions. Certains messages sensoriels, comme le langage parlé, requièrent une longue expérience en contexte des aspects culturel et émotionnel pour pouvoir engendrer des émotions. Il en serait de même pour la perception d'objet. En fait, il n'est pas étonnant que l'accès aux qualités perceptives ne soit pas immédiat : s'y attendre reviendrait à considérer que le sens ou la signification émotionnelle sont contenus dans les choses ou dans le monde, et qu'il s'agit de les saisir comme un simple accès à l'information. Mais l'émotion est liée à l'apprentissage que nous faisons de la perception d'un objet, et non à l'objet lui-même (Lenay, 2003). La première hypothèse est donc que l'émotion ne peut se développer que lors d'un apprentissage plus long ou plus précoce du système.

L'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle dès l'enfance permettrait au bébé de grandir en incluant l'information de substitution dans un contexte affectif. Et cette information serait incluse comme une partie intégrale du processus de développement émotionnel de l'enfant. Cette question est au cœur d'un projet développé en partenariat entre

l'équipe de Paul Bach-y-Rita et l'équipe d'Eliana Sampaio. L'idée consiste à équiper très tôt des bébés non-voyants avec un système de substitution sensorielle. Les deux équipes développent un dispositif de substitution sensorielle pour bébés construit dans une tétine, avec une caméra télévisée fixée à l'extrémité et le dispositif électro-tactile en contact avec la langue. Des premiers résultats encourageants rapportent que des jeunes nourrissons sourient lorsqu'ils perçoivent leur mère via le dispositif (Bach-y-Rita et al., 2003).

II-6-3-2- Expérience qualitative et communauté de partage des dispositifs techniques

Une autre approche possible est que l'acceptation d'une prothèse et l'émotion ressentie lors de l'utilisation de cette prothèse s'effectuent lorsque l'expérience de ce nouveau moyen de perception est intersubjective. L'existence d'une communauté affective autour de la prothèse permet à la fois l'acceptation du port d'un dispositif visible et peu commun et la constitution de valeurs attachées au monde perçu par la prothèse (Lenay, Canu, & Villon, 1997).

La plupart des observations effectuées sur les dispositifs de substitution sensorielle à travers la littérature rapportent un emploi isolé de la prothèse. L'utilisateur aveugle se retrouve entouré de personnes n'utilisant pas un tel outil perceptif. Il n'est par conséquent pas étonnant que ces utilisateurs pensent qu'aux yeux de leur entourage un tel appareillage puisse sembler grotesque. Mais il n'existe pas d'appareillage ou de tenues grotesques en soi : l'incongruité ne naît que du caractère isolé d'une certaine esthétique. Chaque nouvelle technologie qui réussit son adoption sociale est ainsi porteuse de nouvelles traditions. La prothèse, devenue commune et socialement acceptée, s'oublie ainsi, au profit du monde perceptif qu'elle offre à une communauté d'utilisateurs.

Le partage, à l'intérieur d'une communauté, de l'expérience d'un nouveau moyen de perception permet aussi, et plus fondamentalement, la constitution de valeurs et d'affects attachés au monde perçu. L'utilisateur d'une prothèse, plus que d'être isolé dans une esthétique qui lui est propre, est isolé dans un monde perceptif qui lui est propre et qu'il ne peut partager. L'hypothèse présentée ici est que les valeurs perceptives sont liées à l'existence d'une histoire collective. Cette histoire émerge des interactions de plusieurs personnes dans un même environnement défini par les mêmes moyens d'accès. L'étude d'interactions perceptives prothétisées est au cœur d'un projet développé à l'Université de Technologie de Compiègne. Le dispositif expérimental employé consiste en la mise en réseau de deux stylets

tactiles (voir figure I-7). Chaque stylet tactile commande les déplacements d'un « corps image » virtuel que l'autre utilisateur peut percevoir via ses propres champs récepteurs. Chaque utilisateur peut entrer en contact soit avec des objets du milieu partagé, soit avec le « corps image » de l'autre utilisateur. Soulignons que lorsqu'un utilisateur perçoit le « corps image » de l'autre utilisateur, ce dernier ressent qu'il a été perçu.

Deux expériences ont été menées (Fanet, 2002). La première étudie la compréhension des intentions d'autrui à travers les croisements perceptifs. Elle montre que les gestes et intentions de l'autre utilisateur ne sont compris que lorsqu'ils sont reproduits. Elle montre ainsi que c'est toujours sur la base des effets sensoriels de mes propres gestes que je peux percevoir et donc comprendre les gestes d'autrui.

La seconde expérience porte sur la perception de sa propre image à travers le regard d'autrui. Les utilisateurs n'ont pas accès à leur propre « corps image » et ne peuvent le deviner qu'à travers la manière dont leur partenaire le perçoit. Les résultats montrent qu'il est possible à un utilisateur de comprendre l'image qu'il offre à la perception des autres utilisateurs à travers la dynamique des interactions perceptives.

Ces résultats préliminaires montrent que, dans la dynamique d'une interaction perceptive prothétisée, nous comprenons les gestes et intentions d'autrui et nous accédons à l'image que nous lui offrons. Ils posent l'hypothèse que les utilisateurs d'une même prothèse puissent, dans le vécu de leurs interactions, constituer des valeurs perceptives communes et ainsi partager un monde commun doué de sens et susceptible d'affect.

II-7- Conséquences sur une définition de nos modalités sensorielles

II-7-1- Vers une redéfinition de nos modalités sensorielles

La capacité de nos systèmes perceptifs à évoluer en fonction de nouveaux couplages sensorimoteurs avec l'environnement amène certains auteurs à redéfinir nos modalités sensorielles. Gibson (1966, 1979) conçoit les sens comme des systèmes perceptifs, c'est-à-dire comme des systèmes complexes et entiers qui sont constitués fonctionnellement et dépendent de l'environnement. Gonzales (soumis) va jusqu'à concevoir les sens comme modalités contingentes, tributaires des performances perceptives générales du système. Les canaux d'informations contingents que sont les sens sont subordonnés aux demandes fonctionnelles

de l'environnement et aux comportements efficaces de l'agent. Ainsi nos sens, « interfaces naturelles avec l'environnement », peuvent être déplacés et modifiés en fonction de nos relations avec l'environnement. Précisons que pour Gonzales, la *capacité* des systèmes perceptifs à se calibrer est explicable phylogénétiquement. Cette capacité réside dans la physiologie innée du système. Ceci implique que tous les systèmes ne sont pas modifiables de manière équivalente et que toutes les réorganisations envisageables ne sont pas possibles. Par exemple, les poules, contrairement aux humains, ne peuvent s'adapter à une déviation prismatique. En revanche, les calibrations *effectuées* sont explicables ontogénétiquement, par un apprentissage perceptif des corrélations entre les actions effectuées et les retours sensoriels correspondants.

II-7-2- Le critère des équivalences sensorimotrices

Une explication de la distinction entre nos modalités sensorielles peut s'effectuer en termes de lois. Par exemple une première loi permettant de distinguer le sens du toucher et le sens de la vision est que la perception tactile est une forme de perception par contact alors que la vision est une perception à distance. Ainsi, l'une des caractéristiques du toucher est d'impliquer un contact direct avec l'objet perçu, ou un contact indirect s'il est effectué au moyen d'un intermédiaire rigide (comme, par exemple, la canne de l'aveugle). En revanche, l'une des caractéristiques de la vision est de donner accès à un objet placé à distance (Pacherie, 1995).

O'Regan et Noé (2001) définissent la distinction entre nos modalités sensorielles selon le critère des équivalences sensori-motrices. Les différences phénoménales ressenties et les caractéristiques propres à chaque modalité sensorielle sont expliquées en termes de structures de changements. Ce qui va différencier la vision de l'audition ou d'une autre modalité sensorielle, c'est la structure des lois gouvernant les changements sensoriels produits par les actions motrices variées, c'est-à-dire les contingences sensorimotrices gouvernant l'exploration visuelle. Parce que les contingences sensori-motrices de chaque modalité ont des propriétés invariantes différentes, la structure des lois qui gouvernent la perception est différente selon chaque modalité. Par exemple, une première loi qui distingue le percept visuel est le fait que lorsque les yeux bougent, la stimulation sensorielle sur la rétine bouge et se distord d'une manière particulière. Une loi différenciant la vision de l'audition est que, lorsque nous nous avançons vers une source de stimulation, au niveau visuel, nous allons avoir un flux en expansion, alors qu'au niveau auditif nous allons avoir une augmentation de

l'amplitude du son. La figure I-8 présente des exemples de contingences sensorimotrices liées à la modalité visuelle et de contingences sensorimotrices liées à la modalité auditive.

	VOIR	ENTENDRE
Cligner	grand changement	pas de changement
Avancer	flux en expansion	Augmentation d'amplitude
Tourner latéralement	flux latéral	asynchronie
Couvrir les oreilles	rien	grand changement
Couvrir les yeux	grand changement	rien

Figure I-8. Différences entre les contingences sensorimotrices induites par le système visuel et les contingences sensorimotrices induites par le système auditif.

Dans une telle théorie, la définition de la nature d'une perception au moyen d'un dispositif de substitution sensorielle devient une question de degrés. Plus une perception effectuée au moyen d'un dispositif de substitution sensorielle partagera de lois communes avec notre perception visuelle, plus on pourra appeler une telle perception vision.

II-8- Les étapes de l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle

Les études effectuées sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle nous amènent à distinguer différents moments de l'appropriation d'une prothèse permettant à leur utilisateur de s'immerger dans l'espace ouvert par l'outil. Nous avons regroupé ces étapes sous les appellations suivantes : contact, attribution distale, maîtrise de l'espace distal, localisation distale et constitution d'une expérience distale. La première étape, l'étape du contact, implique l'apprentissage des régularités sensorimotrices nécessaires pour stabiliser et maintenir le contact perceptif avec les stimulations engendrées par le dispositif de substitution sensorielle. Cette étape correspond à la nécessité d'une action dégagée dans la partie II-1. La seconde étape, l'attribution distale, est la compréhension par les utilisateurs que leurs sensations sont dues à la rencontre avec un objet provenant de l'espace perceptif ouvert par l'outil. Cette étape correspond à la constitution d'un espace et d'un objet abordée en II-3. La troisième étape, la maîtrise de l'espace distal correspond à la constitution par l'utilisateur du nouvel espace perceptif ouvert par le dispositif de substitution sensorielle. La possibilité de maîtriser un nouvel espace perceptif en dépit des changements dans la stimulation sensorielle

a été esquissée lors de la présentation des dispositifs de substitution sensorielle. La quatrième étape, la localisation distale, se définit comme l'impression d'être dans l'espace perceptif ouvert par une médiation technique. Elle implique une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur, qui permet à l'utilisateur de se sentir entièrement là où il agit. Elle correspond à la mise en extériorité des percepts abordés en II-2. La dernière étape, la constitution d'une expérience distale, naît d'un apprentissage perceptif et du partage de l'expérience perceptive, permettant de constituer le sens, l'émotion et les valeurs communes attachées à cette expérience (II-6-3).

Nous allons à présent généraliser ces différentes étapes de l'immersion dans l'espace ouvert par un outil à tous les dispositifs techniques et en préciser les composantes.

CHAPITRE II

APPROPRIATION D'UN OUTIL ET ETAPES DE L'IMMERSION DANS L'ESPACE PERCEPTIF OUVERT PAR LE DISPOSITIF TECHNIQUE

Le sens que nous donnons à la présence et à l'immersion dépend du sens que nous donnons à la perception. Celle-ci peut se concevoir de deux façons. Selon une conception classique, la perception est un processus dans lequel le système sensoriel reçoit passivement des stimulations, puis traite ces informations afin d'identifier objets et événements sous la forme d'une représentation interne. Selon une conception active, la perception est construite sur la base de l'extraction, par les sujets, de régularités entre les actions effectuées et les stimulations sensorielles résultantes. Dans ce cas, la perception est envisagée comme une appropriation active, dont nous pouvons déterminer les conditions.

De ces deux conceptions de la perception peuvent découler deux manières d'envisager l'immersion et la présence, notamment dans un environnement simulé. Envisager la perception uniquement comme un traitement des informations issues des entrées sensorielles amènerait à concevoir la présence dans un environnement simulé comme une illusion des données sensorielles. Dans un tel cas, une amélioration de l'immersion passerait par une amélioration du réalisme des sensations fournies par l'interface. Plus le réalisme des sensations serait important, plus l'utilisateur aurait l'impression d'être présent dans le monde simulé. Par contre, si nous considérons la perception comme une construction active de l'observateur, la perception des données de l'environnement simulé n'est plus illusoire, puisque l'utilisateur expérimente un nouvel espace d'action et de perception. Dans ce cas, l'immersion est envisagée comme une appropriation active, dont le sentiment de présence est l'une des étapes. La question n'est plus de savoir comment améliorer l'illusion de l'utilisateur d'être dans un environnement distant, mais de savoir comment il s'approprie un dispositif technique. C'est dans cette perspective que s'inscrivent nos travaux.

Le sens que nous donnons à la présence et à l'immersion est également lié aux concepts que nous avons de la réalité (Mantovani & Riva, 1999). Dans le cadre de ce travail, nous n'aborderons pas la question du statut ontologique des concepts d'espace et d'objet et ne répondrons pas à la question de savoir si l'espace et les objets rencontrés dans un environnement simulé ou ouvert par un outil peuvent être considérés comme réels. Nous nous limiterons au statut épistémologique de la connaissance des concepts d'espace et d'objet dans l'environnement simulé. Que l'objet soit considéré comme « réel » ou non, c'est la réalité de l'expérience de l'utilisateur et les conditions de cette expérience que nous allons explorer. Comment parvenons nous à avoir une expérience dans un environnement simulé ou ouvert par un outil ? Comment maîtrisons-nous ce nouvel espace et comment interagissons-nous avec les éléments de ce nouvel espace ?

L'objectif de ce chapitre est de comprendre sous quelles conditions nous pouvons envisager perception et immersion comme une appropriation active et quels sont les différents moments de cette appropriation. La question de l'appropriation d'un outil sera étudiée grâce aux enseignements tirés de l'étude des dispositifs de substitution sensorielle. Nous jugeons ce filtre révélateur pour deux raisons. En premier lieu, les dispositifs de substitution sensorielle nous permettent de contrôler à la fois le répertoire des actions effectuées par l'utilisateur et les retours sensoriels délivrés. Ils nous autorisent à explorer séparément l'influence des modifications motrices et l'influence des modifications sensorielles sur l'appropriation sensori-motrice d'un outil. En second lieu, les dispositifs de substitution sensorielle sont des prothèses, mais des prothèses qui nous offrent une perception de notre environnement. Ils se situent ainsi au croisement de ce que nous considérons comme un outil et de ce que nous considérons comme une modalité sensorielle. Cette situation singulière nous amène à envisager l'hypothèse que perception médiate (grâce à un outil) et perception immédiate (grâce à un organe sensoriel) suivent les mêmes étapes d'appropriation.

Afin de définir l'immersion dans l'espace perceptif ouvert par le dispositif technique et d'en déterminer les différentes composantes, nous allons dans un premier temps préciser la perspective théorique dans laquelle nous nous situons ; cette perspective nous amenant à considérer la perception comme une construction active de l'observateur. Dans un second temps, nous étudierons les modifications sensori-motrices induites par l'utilisation d'outils, afin de proposer une catégorisation des différents outils. Nous proposerons ensuite un schéma en cinq étapes pour décrire l'appropriation d'un dispositif technique

I- Théories sensori-motrices de la perception et immersion

Les questions de l'immersion et de la perception sont entremêlées. Le sens que nous donnons à la présence et à l'immersion dépend du sens que nous donnons à la perception. Et inversement, l'étude de l'immersion questionne fondamentalement l'approche que l'on a de la perception. L'objectif de cette thèse est de définir l'immersion dans un espace perceptif ouvert par l'outil comme une appropriation active et d'en déterminer les composantes. Pour cela, nous nous basons sur les théories sensorimotrices de la perception. Les études expérimentales que nous avons effectuées nous permettront en retour de déterminer l'implication de leurs résultats sur ces théories de la perception. Le prisme technique nous permettra de comprendre comment se constituent l'appropriation d'un outil et la perception dans l'espace ouvert par cet outil. Avant cela, afin de pouvoir définir l'immersion à partir de ces théories, nous allons présenter les grandes lignes des théories sensorimotrices de la perception.

I-1- Brève présentation des théories classiques de la perception

Nombre de théories relevant du cognitivisme, du computationalisme et du fonctionnalisme classiques des sciences cognitives sont héritières d'Aristote et de sa quadripartition des fonctions vitales et du dualisme cartésien. Aristote conçoit les sens comme des réceptifs passifs de données externes. Pour lui, les impressions extérieures se gravent dans l'esprit, à peu près comme on reproduit une lettre en posant un cachet sur la cire (*De l'âme*, II, 12). De plus, selon lui « ce qui distingue l'animé de l'inanimé, c'est la vie. Or, il y a plusieurs manières d'entendre la vie, et il suffit qu'une seule d'entre elles se trouve réalisée dans un sujet pour qu'on le dise vivant : que ce soit l'intellect, la sensation, le mouvement et le repos selon le lieu, ou encore le mouvement qu'implique la nutrition, enfin le dépérissement et la croissance » (Aristote, *De l'âme*, II, 2). Bien qu'il souligne que les sens font intervenir l'action pour s'appliquer aux objets sensibles, Descartes (1637, 1641) considère que la réception des données sensorielles se fait de manière passive. Plus important encore, à l'encontre de nombreuses théories pour lesquelles les connaissances proviennent directement des sensations, il avance l'idée que les connaissances proviennent du raisonnement : « La vraie connaissance des choses ne peut être obtenue qu'à travers le processus de la raison ». (Descartes, 1637). Il opère une distinction entre données des sens et

connaissance, entre le corps et l'esprit. Dans ce contexte dualiste, la perception ne peut être qu'une représentation interne de choses externes. Si l'on recoupe la quadripartition aristotélicienne et le dualisme traditionnel, on admettra que les facultés de locomotion et de nutrition sont le propre du corps, tandis que les facultés sensibles et intellectuelles sont attributs de l'esprit. Cependant, au dix-neuvième siècle, s'affermir une conviction : les sensations sont localisées dans le cerveau. Est-ce à dire dès lors que la faculté sensitive est d'ordre strictement corporel ? Est-ce à dire alors que les facultés intellectuelles demeurent l'apanage de l'esprit seul ? Face à cette réduction corporelle des fonctions de l'esprit, deux positions sont alors possibles : une position conservant une passivité de la réception des données sensorielles et sous de multiples formes un dualisme entre corps et esprit ; et une position refusant la scission entre corps et esprit et affirmant la continuité des liens entre perception et action.

Le cognitivisme classique demeure globalement dans la lignée d'une conception passive de la réception des données sensorielles. La cognition est identifiée à un système de traitement linéaire de l'information où les « données des sens » sont considérées comme une entrée ; à cette entrée succèdent la perception et le raisonnement, qui débouchent enfin sur l'action, envisagée comme une sortie (Havelange, Lenay, & Stewart, 2002). Née avec la théorie fonctionnaliste du raisonnement comme manipulation de représentations symboliques, cette conception s'appuie sur une cognition envisagée comme un calcul sur des représentations mentales. Le fonctionnalisme prend pour origine une distinction entre une information symbolique et structurée, et le support matériel auquel elle est liée. L'information est ainsi relativement indépendante du lieu matériel particulier où elle est traitée. Au contraire, si on admet un parallélisme strict entre état mental et état physique, il faut alors associer strictement chaque type d'état mental à un type d'état physique cérébral précis. Une telle « théorie de l'identité » entre activité mentale et mécanisme cérébral correspondrait à une théorie éliminativiste de l'esprit (Churchland, 1989).

Les approches non éliminativistes tentent de fonder une dualité entre état physique et état fonctionnel sans pour autant sortir d'un cadre physicaliste. Pour ces approches, qualifiées de mentalistes, le comportement s'explique à partir d'un système de causalité interne comprenant des représentations et des règles. Ainsi, pour nombre de théories cognitivistes, les explications psychologiques s'effectuent à l'aide d'états internes ou « états mentaux ». Ces états mentaux obéissent à une causalité propre, non directement liée aux actions, et ce bien

qu'ils acquièrent un contenu en raison de leur correspondance avec un réel supposé objectif et indépendant. Le traitement de l'information résiderait dans un « langage interne » (comme le langage de la pensée, Fodor, 1975). Les attitudes propositionnelles (telles que croire, vouloir, désirer) sont associées à des états mentaux et se déterminent selon des représentations, indépendamment de la valeur de vérité ou non de ce qui est représenté : nous pouvons agir en fonction d'une croyance en une chose qui est fausse ou n'existe pas. Cette théorie explique en partie le décalage entre le réel et le perçu, comme par exemple les multiples significations que l'on peut donner aux figures ambiguës (Gregory & Wallace, 1963). Mais elle pose d'autre part le problème de l'intentionnalité, c'est-à-dire de cette propriété qu'ont les états mentaux d'être à propos de quelque chose d'autre qu'eux-mêmes. Pour surmonter cette importante difficulté, on cherche à comprendre comment le sens de choses externes peut être associé à des états mentaux internes, d'abord définis seulement de façon fonctionnelle par leurs relations formelles avec d'autres états mentaux. On cherche donc à doter les états mentaux d'un « contenu large », c'est-à-dire d'une signification relative aux états de choses externes, soit en admettant qu'il existe des liens nomologiques (réguliers si ce n'est causaux) entre états de choses externes et occurrences de ces états mentaux, soit en considérant qu'un travail de sélection préalable a déjà assuré la bonne co-occurrence entre états de choses externes et états mentaux adaptés (Pacherie, 1993).

I-2- Le tournant Bergsonien

De nombreuses théories se sont opposées à une conception linéaire et séquentielle du processus perceptif et proposent que la perception ne nécessite aucunement une représentation, une réplique plus ou moins exacte du réel : elles l'envisagent comme un processus, une activité. En 1874, Brentano suggérait de parler de présentation plutôt que de représentation : « par « présentation », je ne veux pas dire cela même qui est présenté, mais bien plutôt l'activité même de présentation » (Brentano, 1874). C'est sur la base de ce refus de considérer la perception comme fondée sur des représentations que vont émerger les théories actives de la perception, inaugurées notamment par Bergson (1896) et Husserl (1907). Comme le relate Deleuze (1983), « la crise historique de la psychologie coïncide avec le moment où il ne fut plus possible de tenir une certaine position : cette position consistait à mettre les images dans la conscience, et les mouvements dans l'espace. Dans la conscience, il n'y aurait que des images, qualitatives, inétendues. Dans l'espace, il n'y aurait que des mouvements, étendus, quantitatifs. Mais comment passer d'un ordre à l'autre ? [...] Il fallait à

tout prix surmonter cette dualité de l'image et du mouvement, de la conscience et de la chose. Et, à la même époque, deux auteurs très différents allaient entreprendre cette tâche, Bergson et Husserl. Chacun lançait son cri de guerre : toute conscience est conscience *de* quelque chose (Husserl), ou plus encore toute conscience *est* quelque chose (Bergson) » (Deleuze, 1983).

Nous avons particulièrement étudié la théorie sensorimotrice de la perception développée par Bergson dans son ouvrage *Matière et mémoire* (1896) que nous présentons en annexe I. Cette théorie, radicalement neuve en cette fin de dix-neuvième siècle, replace le cycle action/perception au centre même de l'activité perceptive et affirme que « le système nerveux n'a rien d'un appareil qui servirait à fabriquer ou même à préparer des représentations » (Bergson, 1896). Pour Bergson, le cerveau n'a en aucun cas le pouvoir de transformer la chose perçue en ce qui serait d'une autre nature, une représentation interne. Lorsqu'il affirme que toute perception *est* quelque chose, il sous-entend que la perception est de même nature que la matière. Visant les théories représentationalistes de la perception, il écrit : « Que vous demandons-nous alors ? Simplement de renoncer à votre coup de baguette magique, et de continuer dans la voie où vous étiez entré d'abord. Vous nous aviez montré les images extérieures atteignant les organes des sens, modifiant les nerfs, propageant leur influence dans le cerveau. Allez jusqu'au bout. Le mouvement va traverser la substance cérébrale, non sans y avoir séjourné, et s'épanouira alors en action volontaire. Voilà le tout du mécanisme de la perception » (Bergson, 1896). En ce sens, le cerveau n'inclut que du mouvement et nulle représentation de choses. Il ne fait que recevoir et transmettre du mouvement, en quelques circonstances que ce soit. Ce cycle action-réaction n'est pas automatique. Au contraire, c'est l'existence ou non d'une solution de continuité qui distingue le mouvement automatique de l'acte perceptif. L'action est la réponse motrice à un stimulus sensoriel. Elle peut être immédiate ou différée. Si elle est immédiate, les mouvements afférents se traduisent en réactions automatiques. Si elle est différée, les mouvements afférents ne se prolongent pas en action et se déploient dès lors, dans l'intervalle, comme perception. L'image rétinienne, pas plus que l'empreinte que laisse sur les doigts le crayon trop fermement tenu, n'est la matière de la perception. Bergson propose dès lors de considérer le corps comme un organe d'action et seulement d'action, et la perception comme une fonction corporelle d'ordre pragmatique.

La perception est ainsi perception d'un objet externe. Mais cela est encore trop dire aux yeux de Bergson. Pour lui, cela revient à maintenir une distinction entre la perception et

la chose perçue. La perception n'est pas perception de quelque chose : elle est quelque chose. Identique à elle-même, elle se distingue pourtant des autres perceptions en tant qu'elle est perception d'une chose particulière. Non transitive, elle ne peut donc être que la chose même. Comment cela se peut-il ? Comment se fait-il qu'une perception, c'est-à-dire quelque chose qui s'analyse classiquement en termes d'images (qualité seconde) puisse aussi être une chose, c'est-à-dire quelque chose qui s'analyse en sciences physiques en termes de mouvements (qualités premières) ? C'est tout simplement que l'image est mouvement (partie tout au moins d'une image dont les parties sont en mouvements relatifs) et le mouvement est image (partie tout au moins du mouvement concret dont nous ne cessons d'avoir des images). Comme le souligne Deleuze (1983), « La découverte de l'image-mouvement, au-delà des conditions de la perception naturelle, était la prodigieuse invention du premier chapitre de *Matière et mémoire* ». Ainsi, pour Bergson, le réel est image-mouvement, c'est-à-dire le cerveau est image-mouvement, la chose externe est image-mouvement : ils sont distants et une perception a lieu lorsqu'un mouvement se propage avec suspension de l'un à l'autre. Il y a donc perception lorsque perception et chose entrent en solidarité au sein d'une même image. Mais la perception est aussi une action : c'est l'action de prélever une partie de l'image totale, et de faire de cette découpe une chose pour soi. L'apparence est donc, sinon la chose même, du moins une partie réelle de la chose en soi. La perception se fait dans la chose et l'ordonnement du système perceptif se fait dans le réel sans que pour autant le réel soit dédoublé dans le cerveau. Pour Bergson, la perception est vision de détails triés en premier lieu par des mécanismes sensori-moteurs. Son contenu est celui des choses mêmes : nous voyons directement dans les choses, aucune représentation interne ne se constitue. Ainsi, le corps envisagé en tant qu'organe uniquement d'action n'a rien d'un appareil qui servirait à fabriquer des représentations.

Cette conception sensori-motrice de la perception reprise et développée en éthologie (Von Uexküll, 1934), en psychologie (Gibson, 1966, 1979; Piaget, 1936, 1937) et en philosophie (Merleau-Ponty, 1945) s'est étendue à de nombreux champs de recherches théoriques, scientifiques et technologiques (tels que la robotique autonome, la cognition située et l'ergonomie). Une étude des distinctions entre les différentes théories sensorimotrices déborderait le cadre de ce travail. Nous nous limiterons à mentionner les principales hypothèses.

I-3- La perception comme extraction d'invariants sensori-moteurs

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les dispositifs de substitution sensorielle rendent possible l'accès à des informations perceptives normalement dévolues à une modalité sensorielle par une autre modalité sensorielle. Ces dispositifs nous soulignent la possibilité d'envisager séparément sensations et perceptions. Gibson (1966, 1979) juge cette distinction entre stimulation sensorielle et information perceptive nécessaire. Grâce à cette distinction, il détermine deux manières de concevoir les sens. Soit comme canaux de sensations, essentiellement passifs, qui sont l'origine des qualités de l'expérience. Soit comme des systèmes perceptifs, essentiellement actifs, qui extraient ces informations et sont sources de connaissances sur le monde. C'est la définition retenue par Gibson. Pour lui, la perception visuelle n'est pas basée sur la sensation visuelle, mais sur l'information contenue dans les propriétés structurelles invariantes des stimuli. Percevoir, c'est extraire grâce aux mouvements cette information en détectant les invariants. L'hypothèse que les objets de notre perception 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, est reprise dans de nombreuses théories (Brooks, 1999; Gibson, 1979; Lenay, Gapenne, Hanneton, Marque, & Genouëlle, 2003; Noë, 2001; O'Regan & Noë, 2001a, 2001c; Paillard, 1971; Piaget, 1937; Stoffregen & Bardy, 2001; Varela, Thompson, & Rosch, 1991).

Pour mieux expliquer la perception comme ré-afférence, Gibson (1966) considère une distinction commune entre deux formes de stimulation, une stimulation imposée et une stimulation obtenue. Une stimulation imposée provient d'un certain état de choses qui ne dépend pas des actions propres de l'individu. Une pure stimulation imposée aurait lieu lorsqu'un individu entièrement passif et relaxé reçoit une soudaine stimulation de lumière, de son, de couleur, d'air frais ou un coup par un objet. En revanche, une stimulation obtenue est produite par nos propres actions ou dans le cours de l'action. Par exemple lorsqu'un individu bouge un membre, bouge un objet, regarde la lumière, écoute un son ou respire une odeur, etc. Ainsi, une stimulation imposée aurait lieu avec un observateur passif et une stimulation obtenue avec un observateur actif. Mais, comme Gibson le remarque, nous ne sommes pas seulement stimulés par les sources de l'environnement : nous le sommes aussi par nous-mêmes. Nous sommes stimulés par nos organes internes, par les extrémités de nos membres, par nos organes sensoriels et par les mouvements locomoteurs du corps tout entier dans l'espace. Des stimuli sont causés par soi : le lien causal va autant de la réponse au stimulus

que du stimulus à la réponse. Pour Gibson, une conception classique stimulus-réponse n'est plus adéquate : il faut considérer une boucle de la réponse à la stimulation, puis à la réponse de nouveau. Le résultat en est un flux continu d'activité plutôt qu'une chaîne de réflexes. La stimulation produite par l'action est en cela toujours obtenue et non imposée. La stimulation est intrinsèque au flux d'activité, les stimuli ne sont plus simplement afférents, mais ils sont ré-afférents, c'est-à-dire qu'ils sont contingents des inputs efférents. Les termes de *feedback* ou de boucles sensorimotrices sont aussi employés.

Gibson (1966) rejette ainsi la distinction entre stimulation imposée et stimulation obtenue. Il préfère considérer deux manières d'accéder à la stimulation : par une activité exploratrice et par une activité exécutive. Certains mouvements accomplissent un comportement : cette activité est appelée exécutive. D'autres mouvements accomplissent une extraction de l'information, l'information est obtenue par une perception du monde : cette activité est appelée exploratrice. Soulignons que, même dans ce cas, un observateur éveillé n'attend pas passivement qu'une stimulation tombe sur ses récepteurs : il explore, quoi qu'il arrive, les stimuli. Il explore les champs de lumière disponibles, les sons, les odeurs, etc. Il sélectionne ce qui est pertinent pour extraire l'information. Il se tourne vers un son pour le faire balancer entre les deux oreilles. Il tourne autour d'une source de lumière. Même les yeux bougent dans leurs orbites et ne sont pas ainsi des récepteurs passifs, à l'image d'un appareil photo. Les inputs arrivant au système nerveux ont une composante produite par l'activité du corps.

Cette conception a des implications fondamentales sur les définitions données jusqu'alors de la proprioception. Ce que nous pouvons appeler « fonction proprioceptive » renvoie à une proprioception comprise en un sens large comme l'accès et la maîtrise de nos propres actions. La fonction proprioceptive désigne de façon très générale les capacités d'accès aux actions effectuées. Elle peut être liée à des sensations d'origine externe, « extéroceptives », c'est-à-dire à des changements du milieu extérieur. Les capacités d'accès aux actions effectuées peuvent aussi se faire manière « intéroceptive » : les capteurs intéroceptifs nous renseignent sur notre état interne. Jusqu'alors, les positions défendues par des auteurs tels que Sherrington (1906) proposaient une distinction stricte entre extérocepteurs, propriocepteurs et intérocepteurs. Les extérocepteurs (les yeux, les oreilles, le nez, la bouche et la peau) nous donnent accès aux changements dans le milieu externe et seraient la base de la perception. Les propriocepteurs (extrémités des organes, des muscles,

articulations, oreille interne) nous donnent accès aux sensations relatives à la position et aux mouvements du corps : ils donnent accès à la sensation du mouvement. Les intérocepteurs (nerfs aboutissant dans les viscères) donnent des sensations vagues sur les organes internes et seraient peut-être la base de la sensation et de l'émotion : cette idée est débattue. Contre la position défendue par Sherrington (1906), Gibson (1966) suggère que la sensibilité à l'action et la sensibilité au mouvement ne dépendent pas de récepteurs spécialisés. Les yeux, les oreilles ou la peau peuvent enregistrer le comportement d'un individu aussi bien que les événements extérieurs. Les yeux, par exemple, enregistrent les mouvements de la tête (avant, arrière et en rotation) au moyen des mouvements de la lumière ambiante (extéroception). De la même manière, les mouvements des articulations ou de l'oreille interne peuvent enregistrer passivement des mouvements imposés au corps aussi bien que des mouvements initiés par l'individu. Ainsi, la proprioception - considérée comme le moyen d'obtenir des informations sur nos propres mouvements - ne dépend pas nécessairement des propriocepteurs. Et l'extéroception - considérée comme le moyen d'obtenir des informations sur les événements extérieurs - ne dépend pas nécessairement des extérocepteurs.

La proposition de Gibson (1966) est de redéfinir les différentes modalités proprioceptives (extérocepteurs, propriocepteurs et intérocepteurs) en termes de ré-afférences. Il catégorise les différentes boucles disponibles pour le contrôle proprioceptif de l'action en les classant du plus bas niveau au plus haut niveau et de la plus automatique à la moins automatique. Il distingue ainsi la proprioception musculaire : les récepteurs sont dans les muscles et sont probablement excités par la tension des muscles ou plus précisément par l'effort qu'exerce le muscle sur son articulation. La proprioception articulaire : les récepteurs sont les articulations du squelette et peut-être les tendons. Ils enregistrent les angles faits par les os joints et probablement les changements d'angle. C'est la kinesthésie définie comme une sensibilité au mouvement du squelette. La proprioception vestibulaire : les récepteurs sont dans les vestibules de l'oreille interne et sont excités par des forces linéaires ou angulaires, c'est-à-dire par l'accélération et non par un mouvement constant. Cet organe enregistre ainsi le début et l'arrêt d'un mouvement de la tête, qu'il soit obtenu par un effort musculaire ou par une force externe. La proprioception cutanée : les récepteurs sont dans la peau, mais sans doute aussi dans tous les tissus du corps. Ils sont excités mécaniquement par toute déformation, que le contact soit volontaire ou extérieur. La proprioception auditive : les récepteurs sont dans la cochlée de l'oreille interne. Ils enregistrent les sons produits par des actions telles que marcher, manger, parler, mais aussi des sons externes. La proprioception

visuelle : les récepteurs visuels sont excités par la lumière ou par des mouvements de lumière, car il y a plusieurs récepteurs. Ces récepteurs nous permettent de capter des changements dans le milieu externe, comme un changement de couleur, mais ils nous permettent aussi d'avoir la connaissance de nos actions. Par exemple un flux optique peut nous indiquer le déplacement de notre tête. Ainsi, pour Gibson, la connaissance de nos actions peut aussi s'effectuer grâce à des sensations d'origine externe, « extéroceptives », c'est-à-dire via les changements du milieu extérieur.

Gibson envisage les différents sens - non comme des producteurs de sensations, visuelles, auditives ou tactiles - mais comme des mécanismes de recherche actifs, qui permettent de regarder, écouter, toucher. Une question se pose néanmoins. Si la proprioception - considérée comme le moyen d'obtenir des informations sur nos propres mouvements - ne dépend pas nécessairement des propriocepteurs ; et que l'extéroception - considérée comme le moyen d'obtenir des informations sur les événements extérieurs - ne dépend pas nécessairement des extérocepteurs, cela implique-t-il que nous ne pouvons avoir accès aux informations proprioceptives uniquement? Si nous nous référons à notre expérience, il semble bien que nous distinguons les stimulations extrinsèques des stimulations intrinsèques. Autrement dit, nous distinguons les actions produites par le monde des actions produites par nous. En fait, dire que la proprioception ne dépend pas nécessairement des propriocepteurs n'implique pas que toute information proprioceptive dépende d'informations extéroceptives. C'est simplement souligner que les informations sur nos propres actions ne sont pas des informations passives dépendant uniquement de récepteurs sensoriels spécialisés. De plus, nous pouvons avancer l'idée que, si certaines informations proprioceptives sont accessibles et d'autres non, cela est dû à la possibilité ou à l'effectivité d'un retour réflexif sur nos actions. Pour différencier les deux, nous allons, à la suite de O'Shaughnessy (1995), effectuer une distinction entre la proprioception réflexive (ou introspective) et la proprioception instrumentale. Lorsque prêtons une attention volontaire à une partie de notre corps, nous utilisons des informations proprioceptives de manière réflexive : nous devenons par exemple conscients que nos jambes sont croisées par un acte délibéré de réflexion sur l'état de notre corps. Mais nous ne sommes pas conscients de manière permanente de l'état de notre corps. La plupart du temps, nous utilisons les informations proprioceptives sous un mode instrumental, c'est-à-dire dans le but de l'exécution d'une action : l'attention est focalisée sur le but de l'action, plutôt que sur la position du corps. Nous recevons constamment un flux d'informations proprioceptives qui nous permet de planifier, d'exécuter

et de contrôler nos actions. Par exemple, lorsque nous bougeons, nous avons besoin de savoir, seconde après seconde, où sont nos membres, si nos muscles sont tendus, si nous ne risquons pas de tomber, etc. Cependant nous utilisons, la plupart du temps, ces informations de manière non réflexive (De Vignemont, 2003).

Toutefois, cette distinction ne semble pas suffisante. Le fait que nous ayons accès à des sensations de nature proprioceptive peut s'expliquer par la possibilité d'un retour réflexif sur nos actions. Mais nous n'avons pas expliqué comment distinguer les informations proprioceptives des informations perceptives. Deux types d'explications permettent de distinguer les stimulations extrinsèques des stimulations intrinsèques. Une première explication est fondée sur l'hypothèse d'une copie efférente. Schématiquement, elle suggère qu'à chaque fois que le cerveau envoie une commande pour un certain mouvement, il stocke une copie de celle-ci. Si l'on observe une association systématique entre copie efférente et réafférence sensorielle, c'est que celle-ci est proprioceptive. Une seconde explication se base sur la structure des lois gouvernant les changements sensoriels produits par les actions motrices variées. Ces structures de loi, appelées aussi contingences sensorimotrices (O'Regan & Noë, 2001), sont sujettes à différentes propriétés de variations : ces variations peuvent être liées aux propriétés des systèmes sensoriels et aux propriétés des stimuli. Par exemple, concernant les stimuli, nous pouvons dire que les stimuli naturels pour la perception ont les caractéristiques suivantes : 1) ils ont toujours des degrés d'ordre adjacent, 2) ils ont toujours des degrés d'ordre successif, 3) ils ont toujours des composantes variables et des composantes invariables (Gibson, 1966).

La structure des lois reliant actions et changements sensoriels associés peut nous aider à comprendre la distinction entre perception et sensation corporelle. Bermudez (1998) explique que le contenu des informations proprioceptives est dual. Il est descriptif (il est une description de l'état du corps) et spatial (il est une représentation d'un état comme étant un état d'une certaine partie du corps). De la même manière, les sensations corporelles comme la douleur sont toujours localisées dans l'espace du corps : ce n'est pas seulement une douleur, c'est une douleur précise, par exemple dans la main droite. Ainsi, pour distinguer l'espace de notre corps et l'espace d'autres objets, nous devons prendre en compte le fait que : « la frontière de mon corps est une frontière que les relations spatiales usuelles ne franchissent pas » (Merleau-Ponty, 1962 : 114). Ainsi, une caractéristique spécifique des sensations corporelles est qu'une sensation située dans une partie du corps ne se déplace pas alors que le

corps bouge. Ned Block (1983) le souligne lorsqu'il juge l'inférence suivante fausse : « J'ai une douleur dans mon pouce, mon pouce est dans ma bouche, donc j'ai une douleur dans ma bouche ». Il en conclut que le terme « dans » ne peut pas être compris ici comme une relative spatiale transitive et que la localisation phénoménale montre certaines caractéristiques spécifiques. Ainsi, dans le contexte d'une localisation phénoménale, on ne peut pas substituer un constituant (mon pouce dans la bouche) à un autre constituant co-référentiel (ma bouche) en conservant la vérité de la proposition (De Vignemont, 2003). C'est là une des lois nous permettant de distinguer perception et sensation corporelle.

De la même manière, la structure des lois reliant actions et changements sensoriels associés explique les différences phénoménales ressenties en fonction des différentes modalités sensorielles. Ce qui va différencier la vision de l'audition ou d'une autre modalité sensorielle, c'est la structure des lois gouvernant les changements sensoriels produits par les actions motrices variées (O'Regan & Noë, 2001b). Nous avons détaillé ce point dans le chapitre I (section 7-2).

Cette conception de la perception comme constituée de boucles sensorimotrices inséparables de l'activité du sujet a été reprise et étendue en éthologie. Pour Von Uexküll (1966), il est possible de caractériser les « mondes propres » de chaque être sur la base des boucles sensorimotrices qui constituent sa relation au monde. Il donne l'exemple du « monde propre » (*Umwelt*) de la tique en se basant sur trois boucles sensorimotrices et souligne que ce monde propre se réduit à ces trois cercles fonctionnels : « Dans le monde gigantesque qui entoure la tique, trois stimulants brillent comme des signaux lumineux dans les ténèbres... La richesse du monde qui entoure la tique disparaît et se réduit ainsi à une forme pauvre qui consiste pour l'essentiel en trois caractères perceptifs et trois caractères actifs - son *Umwelt*. Mais la pauvreté de l'*Umwelt* conditionne la sûreté de l'action, et la sûreté est plus importante que la richesse » (Von Uexküll, 1934). La caractérisation des mondes propres des individus sur la base d'une identification des couplages sensori-moteurs qui caractérisent leur relation au monde est largement utilisée en éthologie, et elle a été récemment employée pour évoquer le monde propre des nourrissons (Stern, 1989).

I-4- Extériorité de la perception

Pour les théories sensorimotrices de la perception, la perception n'est pas seulement une interprétation des messages sensoriels, elle est contrainte par l'action. Pour nombre de ces théories (Noë, 1997; Noë, Pessoa, & Thompson, 2000; O'Regan, 1998, 2001; O'Regan, Clark, & Bompas, 2001; O'Regan & Noë, 2001a; Stewart, 1995), concevoir la perception comme un processus, et non comme le simple résultat d'un processus, questionne la nature des représentations mentales et le statut que nous leurs donnons. Pour ces théories, bien que notre expérience visuelle immédiate semble être celle d'un monde riche et détaillé, il est faux de croire que cette richesse doit être attribuée non seulement au monde externe mais aussi à un monde interne, dans lequel sont censées se constituer des répliques identiques aux objets perçus. En effet, au vu de ce qu'est notre perception consciente du monde visuel, nous pourrions penser que la perception d'une scène consiste en la possession d'un modèle interne détaillé de celle-ci (Marr, 1982). D'autres théories considèrent notre impression d'une présence visuelle riche comme une illusion. Cette illusion s'expliquerait par la possibilité que nous avons de voir tous les changements au sein d'une scène, ce qui nous donne l'impression d'être visuellement conscients de chaque constituant d'une scène perçue (Noë & O'Regan, 2000; O'Regan, 1992; O'Regan & Noë, 2000, 2001c).

I-4-1- L'exemple de la cécité aux changements

Le système visuel est en effet particulièrement sensible aux signaux transitoires visuels. Ces signaux sont des changements abrupts de luminance ou de couleur qui accompagnent toute modification au sein du champ visuel. Ils sont immédiatement détectés et traités par des mécanismes de bas niveau du système visuel. Les signaux transitoires peuvent capter automatiquement l'attention du sujet et l'attirer sur le lieu du changement et ce de manière exogène, c'est-à-dire indépendamment des buts ou intentions du sujet (Folk, Remington, & Johnston, 1992 ; Yantis, 1993 ; Yantis & Jonides, 1990). Un moyen de vérifier que les changements abrupts de luminance attirent l'attention à l'emplacement du changement et en favorisent ainsi la détection a été d'utiliser, au cours d'expériences dites de « cécité aux changements », des protocoles qui permettent de noyer les signaux transitoires accompagnant le changement (Henderson, 1997; Henderson, McClure, Pierce, & Schrock, 1997; Irwin, 1991; Levin & Simons, 1997; O'Regan, Deubel, Clark, & Rensink, 2000; O'Regan, Rensink, & Clark, 1999; Pashler, 1988a, 1988b; Rensink, O'Regan, & Clark, 1997; Simons, 1996; Simons & Levin, 1998). Ces expériences montrent que lorsque les changements dans une

scène visuelle ne peuvent plus capter automatiquement l'attention des sujets, ces derniers ont beaucoup de difficultés à détecter ces changements.

Nous avons particulièrement étudié l'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements progressifs dans les scènes visuelles complexes. Nous présentons cette étude en annexe II. Nous sommes partis du constat que les études précédemment effectuées sur la cécité aux changements impliquaient une interruption de la vision de la scène lors du changement. Cette interruption est source d'objection. Certaines des techniques employées laissent ouverte la possibilité que la cécité obtenue soit due à cette rupture dans la continuité de la vision de la scène : l'interruption pourrait engendrer un effacement ou une réinitialisation des informations contenues dans une représentation interne du monde visuel externe. Un nouveau protocole de recherches sur le sujet a donc été mis en place : on y effectue un changement progressif dans un élément de la scène afin de produire une cécité sans aucune interruption de la vision de la scène. Nous montrons ainsi que les participants ont de grandes difficultés à identifier un changement survenant progressivement dans un élément d'une scène visuelle. De plus, nous montrons que l'identification des changements s'accroît en fonction de certains facteurs sémantiques : l'« intérêt » de l'élément et son degré d'« incohérence » au sein de la scène. Ces travaux suggèrent qu'une partie seulement des informations présentes dans une scène est préservée. Les résultats obtenus cautionnent une théorie de la perception dépendante de l'attention. En effet, une différence dans la cécité aux changements perçus en fonction de facteurs sémantiques implique l'hypothèse que toutes les informations présentes dans une scène visuelle ne sont pas encodées de manière équivalente et ne se présentent pas à nous de manière synchrone. Au contraire, nous ne percevons que le contenu des éléments sur lesquels se porte notre attention et ce en fonction de certains facteurs comme leur intérêt et leur cohérence.

Trois positions théoriques peuvent être dégagées des études sur la cécité aux changements progressifs. Soit on conserve l'idée d'une représentation analogique ou iconique, en relevant que cette représentation est insuffisante pour expliquer le caractère continu et détaillé de notre expérience visuelle (Auvray & O'Regan, 2003; Simons, 2000). Soit on adopte l'idée d'une représentation interne limitée, c'est-à-dire une représentation éparse, ne reflétant pas le détail de la scène visuelle, où le rôle de l'attention est de guider la construction d'un percept en sélectionnant un certain nombre de caractéristiques pertinentes et

de stabiliser cette représentation afin qu'elle puisse former un objet individuel continu à travers l'espace et le temps (Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992; Rensink, 2000; Rensink, O'Regan, & Clark, 1997). Soit on se défait de l'idée d'image interne, en posant que la vision peut s'expliquer sans en passer par ces stimuli intermédiaires. Cette position est celle adoptée par O'Regan (1992). Selon lui, le monde visible est une « mémoire externe », mémoire puisque réserve d'objets subsistants et disponibles, à laquelle il est possible d'accéder instantanément et au moment voulu via un mouvement des yeux. Il n'est conséquemment nul besoin de reconstruire intérieurement le monde extérieur : il est déjà continuellement disponible à l'extérieur. Ainsi, notre impression d'un monde détaillé et cohérent est basée sur les propriétés du monde visuel externe et non sur les propriétés de représentations supposées qui sous-tendraient notre expérience visuelle.

I-4-2- L'exemple des nombreux défauts de notre système visuel

Pour appuyer sa thèse du monde comme mémoire externe, O'Regan (1992) considère les nombreux défauts présentés par notre système visuel afin de poser la question : comment se fait-il que nous puissions si bien voir avec un appareil visuel qui semble si piètrement conçu ? De fait, l'image qui s'imprime sur notre rétine est imparfaite : cette image est floue, désordonnée et extrêmement variable. Notre système visuel présente de nombreux défauts tels que : 1) La non uniformité de la répartition des cônes sur notre rétine : les cônes n'ont d'espacement uniforme en aucune région de la rétine ; plus on s'éloigne du centre, plus l'espacement entre les cônes augmente. Par conséquent, l'acuité visuelle n'est pas uniforme et nous ne devrions pas voir les choses de façon homogène. 2) La présence d'une tache aveugle : les axones et les vaisseaux sanguins forment ensemble une sorte de câble qui quitte le globe oculaire à environ dix à treize degrés du côté nasal de la rétine. À cet endroit, il ne peut y avoir de cellules photosensibles et nous ne devrions donc rien voir dans la partie du champ visuel correspondant. Cette tache aveugle sous-tend un angle visuel de trois à cinq degrés, ce qui correspond à un citron tendu à bout de bras. Pourtant, il nous faut bien admettre qu'il n'y a aucune impression de trou ou de tache à cet endroit. 3) Les perturbations engendrées par les mouvements saccadiques des yeux : les saccades sont des mouvements très rapides des yeux, elles peuvent aller jusqu'à six cent degrés par seconde. Puisque la rétine a un temps d'intégration d'un dixième de seconde et la saccade de vingt à cinquante millisecondes, les informations visuelles présentes avant une saccade sont toujours présentes alors même qu'une nouvelle image s'étend déjà à travers la rétine dans la durée de la saccade. Ces deux images

devraient dès lors, juste après la saccade, en quelque sorte se fondre ensemble et laisser un effet de gris. Or, celui-ci ne se voit pas. De plus, un objet peut impressionner deux parties différentes de la rétine à très peu de temps d'intervalle, c'est-à-dire juste avant et après la saccade. Pourtant, on ne voit pas ce déplacement. Ces deux informations différentes venant de deux fixations successives doivent donc être fondues ensemble sans pour autant donner l'impression subjective de coutures ou de raccords dans notre environnement visuel. En outre, la fréquence des saccades étant très élevée, c'est-à-dire entre trois et cinq fois par secondes, nous devrions avoir l'impression que l'objet sautille. Pourtant, même si la position de l'objet sur la rétine change constamment, nous parvenons à localiser précisément cet objet dans notre champ visuel.

La résolution de ces difficultés, dans nombre de théories représentationalistes, exige la multiplication de mécanismes censés pallier chacune des carences précédemment indiquées. Nous décrivons succinctement deux de ces mécanismes compensatoires. Pour expliquer le fait que l'existence d'une tache aveugle ne se reflète pas dans notre perception, il est généralement supposé que le cerveau comble l'information visuelle manquante par une sorte de schème d'interpolation qui insère perceptivement dans la région de la tache aveugle un matériel basé sur ce qu'il y a dans son voisinage immédiat (Gerrits & Vendrik, 1970; Grossberg & Mingolla, 1985; Paradiso & Nakayama, 1991). Concernant les défauts liés aux mouvements saccadiques de l'œil, deux propositions de mécanismes compensatoires peuvent être ici retenues à titre de solutions archétypales des théories représentationalistes. Le problème de l'entachement peut être pallié par un mécanisme de « suppression saccadique ». C'est le cerveau qui commande les mouvements des yeux ; il peut tout aussi bien commander les entrées d'information et notamment, résolvant ainsi les problèmes rencontrés, empêcher l'information d'entrer pendant la saccade (Matin, 1974, 1982; Volkman, 1986). Pour expliquer le déplacement de l'image rétinienne, une autre forme de mécanisme compensatoire est proposée : le « signal extra-rétinien ». Ce signal indique l'étendue du déplacement saccadique ; cette indication peut alors être utilisée pour déplacer la représentation interne de la scène visuelle d'une manière inversement proportionnelle : le déplacement sur la rétine correspondant à la saccade est donc bel et bien compensé sur l'écran interne qui se trouve derrière cette rétine (Matin, 1972; Matin, Matin, & Pearce, 1969).

La multiplication de ces mécanismes, contraire au fondamental principe d'économie, incite dès lors O'Regan (1992) à refuser le cadre qui exige une telle multiplication, à douter

du présupposé qui préside à la mise en place d'un tel cadre, à savoir la thèse de l'existence d'une copie interne de la chose perçue. Il propose comme explication alternative que ce n'est pas à cette image imparfaite que nous accédons, mais plutôt aux lois qui relient les mouvements oculaires aux variations sensorielles qu'ils provoquent.

I-4-3- Le monde comme mémoire externe : deux analogies

O'Regan (1992) présente deux analogies pour illustrer une théorie de la perception comme mémoire externe. La première est une analogie avec le cinéma. Au cinéma, malgré les changements de plan et les ellipses, le spectateur peut appréhender l'arrangement spatial de la scène sans difficulté. Il semble douteux que, pour ce faire, il construise d'abord une réplique à la métrique correspondant exactement à la scène ; puis qu'il calcule les différences perceptives en fonction des déplacements de la caméra dans la scène filmée. Dans un tel cas, la représentation de la scène est en réalité seulement « sémantique » et les changements de position sont appréhendés approximativement. Selon O'Regan, les mouvements des yeux n'interféreraient pas plus dans la vision qu'un changement de plan cinématographique. Voir consisterait à prendre l'information entrante comme elle vient et à l'insérer dans une description structurelle, une sorte de cadre mental schématique et non métrique. Pour appréhender la scène extérieure, il n'est pas besoin de l'insérer dans une représentation métrique et précise et de calculer les mouvements des yeux pour quantifier les compensations à opérer. Autrement dit, pour appréhender une scène extérieure, il n'est pas nécessaire de lui supposer une copie intérieure.

La seconde analogie qu'utilise O'Regan pour illustrer une théorie de la perception comme mémoire externe est tactile. Lorsque nous touchons un objet avec la main à plat, il y a des espaces entre nos doigts ; nous ne ressentons pas pour autant de trous dans l'objet aux endroits correspondants. De plus, nous touchons une bouteille en nous attendant à ce que ce soit une bouteille, nous n'avons pas besoin de la palper entièrement pour en appréhender la forme globale ; à chaque nouvelle question concernant l'objet, nous n'avons pas à consulter une sorte de réplique interne que nous aurions formée de l'objet, mais nous n'avons qu'à y appliquer nos doigts de nouveau pour y répondre. Notre perception tactile de la bouteille est fournie par une exploration tactile active, non par la réception passive d'informations structurées comme images mentales. La différence entre action et connaissance n'est plus absolue : reconnaître par le toucher, c'est vérifier les sensations causées par les actions

possibles sur cet objet. Par extension au sens de la vue, nous pouvons considérer que la perception d'un objet n'est pas une sensation passive venant de la rétine ou de sa projection interne, mais la sensation procédant d'une exploration active de l'objet. Certes, il y a bien une différence entre le sens tactile et le sens visuel : ce dernier nous donne une impression totale de l'objet, alors que le premier ne nous en donne qu'une impression partielle. Mais cette différence n'est que la résultante du fait que le champ exploratoire est plus vaste lorsqu'il est fourni par le champ visuel que lorsqu'il est fourni par la main.

Selon cette approche, le monde extérieur est une mémoire externe, mémoire puisque réserve d'objets subsistants et disponibles, à laquelle il est possible d'accéder instantanément et au moment voulu, à loisir et ce via les mouvements des yeux. Il n'est nul besoin de reconstruire intérieurement le monde extérieur : il est déjà continuellement disponible à l'extérieur. Voir n'est donc pas contempler la projection sur un écran intérieur de ce qui a été passivement reçu sur la rétine ; c'est en fait avoir une connaissance non métrique des objets en face de nous, objets que nous pouvons interroger à volonté en utilisant la rétine comme un instrument, utilisation qui se fait un peu à la manière d'une main énorme que nous pouvons appliquer au champ entier qui se déploie devant nous afin d'en retirer sur-le-champ les informations que nous désirons.

Pour mieux comprendre l'hypothèse opposée d'une représentation interne de la chose perçue, il faut comprendre que c'est la possibilité toujours offerte d'une action de saisie visuelle du réel qui est à son origine. D'une telle permanence de l'offre, naît la croyance en une disponibilité continue du réel visible en tant que visible et bientôt la croyance en l'existence d'une visibilité intrinsèque et en soi du réel. Il n'y a plus qu'un pas à franchir pour affirmer que ce réel visible en soi et par soi s'inscrit passivement sur une rétine et se constitue en représentation dès lors toujours disponible. C'est là, pour O'Regan (1992), l'illusion constitutive des théories représentationalistes. Pour y proposer une alternative, il faut bien comprendre que voir est une action. C'est l'acte de voir qui rend les choses visibles. C'est de l'action d'interroger l'environnement en modifiant les sensations rétiniennes, en notant et en insérant dans le cadre cognitif les interprétations des changements sensoriels qui sont amenés par les mouvements des yeux, qu'émerge une visibilité en tant que visibilité du réel. Par conséquent, avoir un objet en face des yeux n'est pas suffisant pour le voir. Si nous ne nous posons pas de question particulière sur un élément précis du champ visuel ou si nous ne

sommes pas capables de l'insérer dans un cadre cognitif approprié, alors nous pouvons ne pas remarquer un objet même si il est directement regardé (Mack & Rock, 1998; Simons, 1996; Simons & Chabris, 1999).

Dans cette approche, il n'y a donc nul besoin d'invoquer un quelconque mécanisme compensatoire. Nous n'avons pas besoin de compenser le mouvement des yeux car, bien que médiateurs de l'information, ils ne sont pas seuls constitutifs de la perception. L'image rétinienne à l'instant t peut présenter des défauts sans que pour autant la perception à l'instant t soit de piètre qualité. Cette perception n'est en effet pas le décalque de l'image rétinienne précitée. Cette perception est le résultat positif de notre inspection active du réel. Autrement dit, notre perception ne présente pas de tache aveugle puisque notre perception n'a d'autre objet que ce qu'elle est allée chercher. Nous ne voyons pas de trous ou de différences de résolutions de couleur car notre sensation de voir n'est pas constituée de ce qu'il y a sur la rétine. On comprend dès lors que le processus perceptif puisse être de qualité sans que pour autant ses effets rétinien le soient également.

I-4-4- Le monde comme mémoire externe : perspectives bergsoniennes et limites

Comme nous l'avons exposé, le principe de l'extériorité de la perception est également au cœur de la philosophie bergsonienne. Pour Bergson (1896), percevoir n'est pas recevoir passivement les informations de la rétine ou d'un quelconque écran intérieur, c'est une action. C'est l'action d'interroger et d'explorer le monde extérieur ou, ce qui revient au même, l'action de découper dans le monde ce qui est utile à l'action. Cependant, d'une conception sensorimotrice de la perception Bergson infère une théorie spiritualiste de la mémoire. Sa démarche l'amène à poser une perception externe. Mais, puisque le souvenir ne peut plus être une re-présentation interne née à l'occasion de la perception, il convient de se demander quel statut il peut dès lors avoir. Le monde extérieur selon lui constitue aussi une sorte de mémoire externe à laquelle il est possible d'accéder instantanément. Dès lors l'invitation est claire, s'inscrire dans une telle démarche invite tout défenseur d'une théorie sensorimotrice soit à accepter un spiritualisme concernant la mémoire soit à proposer une alternative cohérente avec les hypothèses d'une telle théorie de la perception.

Pour préciser ici quelque peu l'alternative, pour Bergson, le réel est bien une mémoire externe qui s'offre à la perception. Mais il est de plus la seule mémoire qui soit. Il n'y a, pas

plus dans le cas de la remémoration que dans celui de la perception, de mémoire interne ou cérébrale, de réceptacle d'objets que nous verrions. Si tel était le cas, nous retrouverions les mêmes problèmes que ceux précédemment évoqués. Bien sûr, il existe ce que l'on pourra appeler une mémoire corporelle qui correspond à un ensemble de schèmes moteurs internes au système nerveux. C'est ce qu'il désigne du nom de mémoire-habitude. Mais pour ce qui concerne plus spécifiquement la mémoire comme telle, qu'il appelle mémoire-souvenir, le cerveau ne cesse nullement d'être seulement un organe d'action, c'est-à-dire un récepteur et transmetteur d'image-mouvement. Mais si les images remémorées ne sont pas présentes dans le cas du souvenir, où sont-elles ? Se souvenir, c'est se représenter quelque chose en l'absence de cette chose. L'image ne semble donc être ni dans le cerveau, ni dans le réel. C'est en fait là qu'intervient une distinction fondamentale entre le réel et l'actuel chez Bergson. L'actuel n'est qu'une partie du réel, celle qui agit. En ce sens, le passé ne s'oppose pas au réel, mais à l'actuel. Le passé est le virtuel, c'est à dire l'autre immense partie du réel, le réel qui n'agit pas. Le passé est pour Bergson, le présent dont la « fréquence » a considérablement diminué. La chose remémorée est actuellement absente, c'est-à-dire présentement non actualisée mais elle est toutefois réelle. Autrement dit, de même que le réel ne cesse pas d'exister sous prétexte que je ferme les yeux, le réel ne cesse pas d'exister pour la simple raison qu'il acquière des caractéristiques qui ne rentrent plus dans le champ de ma réceptivité. Un objet existe même si je ferme les yeux ; un objet existe même s'il ne réfléchit pas de longueurs d'onde susceptibles d'être captées par mes yeux. Qu'est-ce que devenir passé ? C'est seulement acquérir des caractéristiques telles que l'on sort du champ de l'observable. Qu'est-ce qu'être présent ? C'est seulement être observable, immédiatement ou par le truchement de ses effets. Etre présent, c'est avoir des caractéristiques homogènes aux caractéristiques de mon corps, corps qui est un centre d'action intéressé. C'est dès lors être susceptible d'être l'objet de l'action de mon corps. C'est enfin, chez des êtres capables de suspension des mouvements qui le traversent, être susceptible d'être perçu. Le passé en sa totalité est réel même si mon corps découpe dans cette réalité une portion qui se dénommera dès lors présent.

Le passé est donc réel en sa totalité. Mais il lui faut d'une manière ou d'une autre devenir actuel car à défaut d'actualisation, on peut tout supposer réel. La remémoration est précisément le processus d'actualisation d'un réel, le passé, en quelque chose de captable. Cette réactualisation du passé - et c'est là le point crucial et épineux (sur lequel devra prendre position toute théorie affirmant en un sens fort l'extériorité de la perception) - se fait par une

oreille interne (pour ainsi dire un sixième sens) qui en quelque sorte amplifie cette portion du réel dont la « fréquence » ne peut être perçue par l'un de nos cinq sens. Ainsi, pour Bergson, la perception se fait dans les choses, elle ne donne en aucun cas lieu à une représentation interne, qui pourrait être re-présentée lors de la remémoration. Le souvenir ne pouvant dès lors être re-présentation interne, se constitue comme présentation externe. Les souvenirs, qui font partie de ce passé réel, bien que non actuel sont perçus à l'extérieur. On comprend dès lors que, dans une telle conception, le monde, certes non pas en tant qu'actuel mais en tant que réel, est non seulement une mémoire externe mais même la seule mémoire qui soit.

II- Les modifications sensori-motrices induites par l'utilisation d'outils

Nous nous basons sur une conception de la perception comme constituée de boucles sensori-motrices inséparables de l'activité afin d'étudier comment nos espaces d'actions et de perceptions se modifient lorsque nous utilisons un nouveau dispositif technique et afin d'envisager ce qu'est la perception dans l'espace ouvert par un outil.

II-1- Plasticité fonctionnelle et structurelle de l'espace péripersonnel et du schéma corporel

Nous avons abordé dans notre premier chapitre la question des réorganisations structurelles et fonctionnelles du système nerveux central induites par l'utilisation de dispositifs de substitution sensorielle. Nous allons étudier ici les réorganisations spatiales qu'engendre l'utilisation d'un outil, quel qu'il soit. La manipulation d'un outil entraîne en effet une modification de nos schémas corporels et une restructuration de notre espace d'action. Un outil, sous certaines conditions, nous procure l'impression d'être situés dans un espace distant. À l'inverse, nous avons parfois l'impression qu'un objet distant se situe dans un espace proche. Ces expériences peuvent être comprises comme une modification de notre espace péripersonnel. Nous allons étudier sous quelles conditions notre espace péripersonnel se modifie, pour ensuite questionner le rôle de l'appropriation d'un outil sur cette réorganisation.

L'espace péripersonnel peut être défini comme l'espace qui entoure immédiatement notre corps (Rizzolatti, Fadiga, Fogassi, & Gallese, 1997). Les objets situés dans cet espace peuvent être immédiatement attrapés et manipulés, tandis que les objets situés au-delà de cet espace (dans l'espace « extra-personnel ») ne peuvent normalement être atteints sans un mouvement vers eux, ou un mouvement d'eux vers nous (Previc, 1998). Cette distinction suppose l'idée que le cerveau représente différemment les objets situés dans l'espace péripersonnel et les objets situés dans l'espace extra-personnel.

Un ensemble de recherches récentes étudie comment les représentations multisensorielles des parties du corps et de l'espace péripersonnel qui l'entoure immédiatement sont construites. Une convergence des études neurophysiologiques,

neuropsychologiques et psychophysiques à la fois chez les humains et les primates non humains suggère l'existence d'une représentation intégrée d'un espace péripersonnel visuel, somatosensoriel et auditif. De telles représentations impliquent des modalités primaires visuelles, somatosensorielles et proprioceptives, opérant dans un cadre de référence centré sur le corps et démontrant une plasticité significative (Holmes & Spence, 2004). Ces nouveaux résultats issus d'une approche moderne, neuroscientifique et cognitive, corroborent le concept classique de schéma corporel (Maravita, Spence, & Driver, 2003). Ils ont des implications sur les questions de l'exécution d'action, de l'attribution de l'agentivité et de la conscience de soi.

La plasticité des représentations intermodales des parties du corps et de l'espace péripersonnel a été illustrée très tôt. Aristote (*Métaphysique*) la suggérait déjà, en invitant son lecteur à tenir une boule entre l'index et le majeur, puis à fermer les yeux, croiser les doigts et y glisser à nouveau la boule : la sensation de contact avec la boule est souvent dans ce cas ressentie non au point de contact, mais à l'extérieur du doigt, là où la sensation se manifeste habituellement. Tastevin (1937), à la suite d'Aristote, montre des phénomènes de captage visuel. Il utilise pour cela un moulage en plâtre des deux dernières phalanges d'un doigt. Sous certaines conditions, il est possible d'amener la perception sensible de notre doigt sur le doigt factice alors que la distance entre les deux atteint jusqu'à trente centimètres. Ce phénomène de captage de la sensation d'un membre par un membre factice connaît un regain d'intérêt notamment à la suite de Botvinik & Cohen (1998) qui ont répliqué et étendu l'expérience avec un bras en caoutchouc. Si un expérimentateur place sous les yeux d'un sujet un bras en caoutchouc, alors que le bras réel du sujet est caché de sa vue et que des actions synchrones sont effectuées sur les deux bras, la personne a l'impression que la sensation qu'elle ressent provient du bras en caoutchouc. Ramachandran & Hirstein (1997) ont rapporté que dans des mêmes conditions des sensations tactiles peuvent être expérimentées avec des objets qui ne ressemblent pas à des parties du corps, comme la surface d'une table. Ces phénomènes de captage illustrent comment notre espace péripersonnel et notre schéma corporel se modifient et s'étendent en fonction des objets que nous utilisons.

La mise au point d'un paradigme d'interférence intermodale a permis de systématiser les études psychophysiques d'investigation des modifications des représentations intermodales du schéma corporel et de l'espace péripersonnel (Spence, 2001; Spence et al., 1998; Spence, Ranson, & Driver, 2000). Ce paradigme a permis en particulier de confirmer cet effet entre les différentes modalités sensorielles, via l'observation dans un miroir, via

l'observation d'une image vidéo ou d'extensions corporelles, comme des bras ou mains en caoutchouc ou des prothèses et via l'utilisation d'outils.

Un des postulats clefs de ce paradigme est de montrer qu'il existe des ressources attentionnelles partagées pour le traitement des stimuli visuels, tactiles et auditifs (Spence et al., 1998), contrairement à l'idée répandue qui veut que nos ressources attentionnelles traitent séparément les informations venant des récepteurs de nos différents systèmes sensoriels. Il est ainsi possible de montrer expérimentalement des phénomènes de captage d'une modalité sensorielle par une autre modalité sensorielle. Par exemple, la localisation des stimuli auditifs et tactiles est influencée par une présentation simultanée de stimuli visuels. Autre exemple : la localisation d'un son peut être biaisée par une stimulation tactile lorsqu'elle est synchrone (Caclin et al., 2002). Ces effets d'intégration intermodale ont lieu lorsque les stimuli sont statiques mais aussi lors de présentations dynamiques et plus spécifiquement lors de la détection du mouvement apparent : une détection du mouvement apparent auditif est fortement modulée par un mouvement apparent en vision (Soto-Faraco, Lyons, Gazzaniga, Spence, & Kingstone, 2002; Soto-Faraco & Spence, 2002).

Ces études s'étendent à des phénomènes de captage par des objets ou des représentations externes au corps. Des études psychophysiques montrent que les représentations cérébrales de l'espace péripersonnel visuo-tactile peuvent être modulées afin d'incorporer des images venant de miroirs (Maravita, Spence, Kennett, & Driver, 2002; Maravita, Spence, Sergent, & Driver, 2002). Ceci suggère que lorsqu'on observe notre corps dans un miroir, bien que nous voyions des images projetées distantes de notre corps et des objets adjacents, ces images peuvent être enregistrées par le cerveau comme des stimuli appartenant à l'espace péripersonnel. Ces représentations peuvent aussi être modulées afin d'y incorporer des objets inanimés, comme un bras en caoutchouc (Botvinick & Cohen, 1998; Pavani, Driver, & Spence, 2000). Cela montre que la capture visuelle par un membre artificiel, positionné dans une posture réaliste par rapport à l'orientation du corps, peut moduler la représentation cérébrale de l'espace péripersonnel visuo-tactile. Nos représentations sont aussi modulées par la vision d'ombres du corps (Pavani & Castiello, 2004), par la vision de membres via un enregistrement vidéo (Tipper et al., 2001; van den Bos & Jeannerod, 2002) ou encore par l'utilisation d'outils (Maravita, Spence, Kennett et al., 2002; Maravita, Spence, Sergent et al., 2002) et d'outils utilisés à distance comme dans le cas de la téléopération (Marescaux et al., 2001).

Ces résultats ont été corroborés par des données neurophysiologiques provenant d'études d'extinction intermodale chez des patients présentant des lésions. Il a été entre autre constaté chez de tels patients que la vision de leur main dans un miroir active une représentation de l'espace péripersonnel autour de la main, et non de l'espace extra-personnel suggéré par l'image visuelle distante dans le miroir (Maravita et al., 2003). Ou encore que l'utilisation d'un outil semble "capturer" l'espace extra-personnel pour l'incorporer dans l'espace péripersonnel (Farnè, & Làdavas, 2000; Maravita, Husain, Clarke, & Driver, 2001).

II-2- Corps organique et corps propre

L'utilisation d'outils modifie donc notre espace péripersonnel et notre schéma corporel. Les utilisateurs d'un outil se sentent aussi parfois dans un lieu différent du lieu où se situent leurs organes sensoriels, c'est-à-dire du lieu où est reçue la sensation : ils ont l'impression d'être sur le lieu de leurs expériences perceptives.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle transforme notre perception et donne naissance à des activités perceptives nouvelles. De même, l'appropriation d'un outil transforme les modes de couplage entre l'homme et son environnement, tant sur le plan de l'action que de la sensation. L'utilisation d'un outil donne naissance à des modes de perception et d'action nouveaux. Les modifications de nos espaces d'action et de perception par l'appropriation d'un nouveau dispositif de couplage peuvent être comprises comme une modification de notre corps propre, c'est-à-dire non de notre corps organique, mais de notre corps percevant, de notre corps comme possibilité d'agir et de sentir. Nous retrouvons ainsi l'analyse de la perception effectuée par Merleau-Ponty : « 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).

Nous dissociions ainsi notre « corps organique » - notre corps en tant que chose perçue - et notre « corps propre » ou corps percevant, défini par l'ensemble de nos possibilités d'agir et de sentir. C'est notre corps propre qui se voit transformé par l'introduction de nouveaux

dispositifs de couplage. Ces modifications de notre corps propre vont déterminer des modifications de nos espaces de perception et d'action. Des espaces perceptifs se constituent par l'action, par les possibilités de percevoir et d'agir du corps propre et se modifient lors de l'appropriation du nouveau dispositif technique. En cela, l'outil nous permet la constitution d'un espace de perception nouveau et différent de celui auquel nous avons accès sans cet outil.

II-3- Espace organique et espace ouvert par l'outil

Précisons que certains outils modifient notre corps propre durablement - c'est-à-dire même lorsque l'outil est dessaisi - et que d'autres outils n'ont un effet que transitoire ; les modifications de notre corps propre n'ont alors lieu que lorsque l'outil est saisi. Mais dans ces deux cas, il demeure que nos possibilités d'actions et de perceptions sont différentes avec et sans l'outil.

Par conséquent, nous pouvons définir deux espaces de perception et d'action : un espace « organique » qui est l'espace de notre perception lorsque nous nous séparons de l'outil, lorsque nous percevons sans l'outil. Et un espace « distal » qui est l'espace de perception que nous offre l'outil (voir figure II-1).

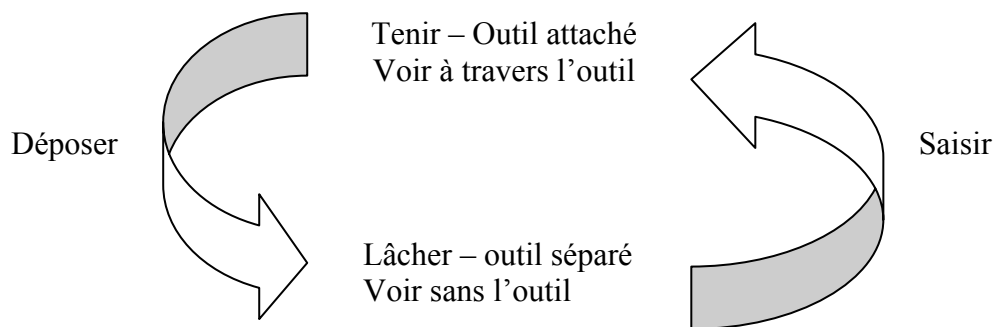


Figure II-1. Principe de la constitutivité technique.

Lorsque l'outil est saisi, lorsqu'il sert à percevoir, il n'est plus lui-même perçu. L'outil ne participe pas à l'activité perceptive en tant que forme perçue, mais parce qu'il transforme les conditions de l'action et donc le champ perceptif possible. En revanche, le dépôt de l'outil nous fait revenir à un espace de perception et d'action qui est celui de notre corps organique. C'est là une des caractéristiques fondamentales des outils qui, à la différence de nos modalités

sensorielles, sont des organes d'actions et de perceptions *séparables*. Ainsi, l'appropriation d'un outil implique la saisie de l'outil et la perception d'objets via l'outil, mais aussi le lâcher de l'outil, la possibilité de percevoir et d'agir sans l'outil. L'appropriation d'un outil nous fait envisager notre corps propre en un sens dynamique, sans cesse renégocié par la saisie ou le dépôt d'outil. Les modifications de notre corps propre lors de l'appropriation d'un outil nous amènent ainsi à distinguer un corps organique et un corps prothétique ou distal.

III- Catégorisation des outils

Lorsque nous nous regardons dans un miroir, lorsque nous manipulons un outil ou lorsque nous agissons dans un environnement simulé, nous avons accès à un nouvel espace perceptif, espace ouvert par l'outil. Cependant, il nous semble que l'expérience d'être dans un autre lieu est différente dans ces trois exemples : ces outils s'approprient de différentes manières et nous laissent entrevoir différents degrés d'implication dans l'espace perceptif ouvert par l'outil et différents degrés de transformations sensorimotrices induites par l'outil. Pour comprendre ces différences, nous allons catégoriser les différents outils selon deux critères.

Nous constituons le premier critère à partir d'une analyse des possibilités d'actions offertes au corps percevant dans l'espace ouvert par l'outil. Ce critère concerne la possibilité pour le corps percevant d'avoir dans l'espace perceptif ouvert par l'outil un point de vue et un point d'inscription, notions que nous allons définir. Le second critère est celui des transformations sensorielles et motrices introduites par l'outil.

III-1- Point de vue distal et point d'inscription distal

Nous définissons comme « points d'actions » les lieux à partir desquels sont réalisées les actions. Ces points d'actions sont constitués d'un « point de vue » et d'un « point d'inscription ».

Lorsque l'action sert à percevoir des objets de l'environnement, le lieu à partir duquel l'utilisateur perçoit est appelé « point de vue ». Ce point de vue n'est bien sûr pas uniquement visuel : il est associé à l'ensemble des sens de l'utilisateur. Nous entendons par « point de vue » le lieu à partir duquel une perception se réalise, qu'il s'agisse d'une perception visuelle, tactile, auditive, etc. Ainsi lorsque l'action effectuée consiste en un déplacement des capteurs sensoriels (yeux, mains, oreilles, etc.), l'action de l'utilisateur est un déplacement de son « point de vue » perceptif.

Lorsque l'action sert à marquer et à transformer le milieu, à y déplacer ou à y transformer un objet, le point à partir duquel l'utilisateur modifie l'environnement dans lequel il agit est un « point d'inscription ».

L'utilisateur agit parfois à partir d'un lieu, son point d'action, où se superposent son « point de vue » et son « point d'inscription ». Dans ce cas, point de vue et point d'inscription occupent la même position spatiale. Par exemple, lorsque nous dessinons avec notre index un trait dans le sable, notre index est un point d'inscription, le point à partir duquel nous transformons notre milieu. Notre index est aussi un point de vue : nous ressentons sur notre index les sensations correspondant à nos déplacements. Précisons, qu'en ce cas, nos yeux peuvent constituer un second point de vue : ils nous servent eux aussi à percevoir nos actions.

En revanche, « point de vue » et « point d'inscription » se dissocient, tout en continuant à former nos points d'action, lorsque par exemple nous voulons saisir un objet pour le déplacer d'un point A à un point B. Notre point d'inscription, le point à partir duquel nous transformons notre milieu, est notre main. Et le lieu à partir duquel nous percevons nos actions, notre point de vue, est nos yeux.

Cette distinction entre point de vue et point d'inscription va nous permettre de catégoriser les outils. Nous l'avons vu, lorsque nous nous saisissons d'un outil, ce dernier devient une extension de notre corps propre. Mais surtout, la médiation de l'outil introduit une distance physique entre le lieu où se situent nos organes sensoriels et le lieu à partir duquel nous agissons. L'outil modifie notre point d'action. Si nous écrivons avec un crayon, le lieu à partir duquel nous modifions notre milieu, notre point d'inscription, devient la pointe de crayon. Lorsque nous utilisons un marteau, nous effectuons une action sur le manche du marteau : le lieu à partir duquel nous transformons notre milieu se situe pourtant à l'extrémité du marteau - à son point de contact avec par exemple un clou. Lorsque nous nous servons d'un ordinateur, nous manipulons la souris, mais le lieu à partir duquel nous modifions le milieu, notre point d'inscription, est le curseur sur l'écran de l'ordinateur.

Ces exemples nous permettent de voir que l'utilisation d'un outil nous ouvre un nouvel espace perceptif et que, dans ce nouvel espace, nous avons un nouveau point d'action qui peut être constitué d'un point de vue et / ou d'un point d'inscription.

Afin de distinguer les actions ayant lieu dans l'espace organique et les actions ayant lieu dans l'espace ouvert par l'outil, nous introduisons les définitions suivantes : lorsque nous agissons sans la médiation d'un outil (ou lorsque l'outil est séparé de nous et ne nous sert plus à agir) nous emploierons les termes de point d'action organique, point de vue organique et point d'inscription organique. Lorsque nous nous saisissons d'un outil, nous appelons l'espace perceptif ouvert par l'outil espace distal. Nous appelons le lieu à partir duquel nous modifions l'espace ouvert par l'outil, point d'inscription distal. Nous appelons le lieu à partir duquel nous percevons l'espace ouvert par l'outil, point de vue distal. Ce point de vue distal peut être passif. Dans ce cas nous ne pouvons pas faire varier notre point de vue *dans* l'espace ouvert par l'outil. Ce point de vue distal peut être actif, dans ce cas, nous pouvons faire varier notre point de vue *dans* l'espace perceptif distal, nous pouvons ainsi établir plusieurs points de vue sur des éléments de l'espace perceptif distal.

Précisons que nous pouvons supposer des cas où il existe un point d'action distal mais pas de point de vue distal. Lorsque par exemple nous manipulons un objet à distance grâce à un outil, mais sans voir l'effet de nos actions, c'est-à-dire sans voir ce que nous faisons ou sans avoir de retour sur ce que nous faisons. Ces cas très particuliers restent en dehors de notre étude sur les espaces perceptifs ouverts par un outil.

Nous établissons de plus la distinction suivante : certains outils nous proposent une « représentation de notre corps distal ». Cette représentation, souvent visuelle, est communément appelée avatar dans le cas d'un jeu vidéo. Il peut aussi s'agir du curseur d'un ordinateur. Parmi les outils offrant une « représentation de notre corps distal », deux cas sont possibles : soit notre point de vue distal se fait à partir de la « représentation de notre corps distal », soit il se fait à partir d'un autre lieu.

Nous allons, à partir de ces définitions, distinguer les différents outils en étudiant les points de vue et les points d'inscription qu'ils offrent à l'utilisateur. En nous appuyant sur cette distinction, nous allons également définir les degrés d'implication de l'utilisateur dans l'espace ouvert par la prothèse. Précisons que nous effectuons une distinction entre « implication » et « immersion ». L'implication est déterminée par les possibilités d'actions objectives offertes par le dispositif technique, c'est-à-dire l'existence de points de vue actifs et / ou de points d'inscription. L'immersion est déterminée par le caractère de l'expérience des utilisateurs du dispositif et est fonction des degrés d'appropriation du dispositif.

III-1-1- Point de vue distal passif, absence de point d'inscription distal

Une première catégorie d'objets nous ouvre un nouvel espace perceptif, mais dans lequel nous n'avons pas de point d'inscription distal et un point de vue distal uniquement passif. C'est le cas des images (dessins, photos). Devant une image, nous pouvons déplacer notre point de vue sur cette image dans notre espace organique (nous tournons la tête et l'image est plus à droite sur la rétine). Mais nous ne pouvons pas déplacer notre point de vue *dans* l'image. Notre action ne nous permet pas d'avoir plusieurs points de vue sur un élément de la scène perçue. Nous n'avons pas non plus de point d'inscription dans l'espace distal de l'image. C'est également le cas pour les images en mouvement ou organisées séquentiellement (films, bandes dessinées, romans-photos).

Il nous faut préciser que le statut des images est particulier. Si l'on en est le créateur, l'image est la finalité permise par un outil, crayon, appareil photo ou caméra, qui nous offre un point de vue actif et / ou un point d'inscription. Soulignons que, si percevoir une image n'offre pas de point de vue distal actif, sa perception nécessite néanmoins une connaissance du média. L'image est en cela un objet qui, sans offrir de point de vue distal actif, nécessite d'abord la compréhension des limites de l'espace ouvert par l'image (écran, tableau, feuille). L'invention de la perspective a par exemple durablement modifié la perception des images fixes (Havelange, 1991; Panovsky, 1957), tout comme la photographie a modifié la perception du mouvement. Les images en mouvement ou organisées en séquence nous demandent, elles, de comprendre un enchaînement de points de vue (une succession des cadrages). Notre point de vue distal n'est pas actif. Dans ce cas, notre action consiste seulement à accepter cette succession de cadrages comme autant de points de vue possibles que nous aurions pu déterminer nous-mêmes si nous nous trouvions dans l'espace représenté par l'image. Nous pouvons parler d'une « automatisation des point de vue » c'est-à-dire d'une compréhension de la succession de points de vue sur une scène déterminée par l'auteur. L'acceptation des changements imposés (cinéma) ou reconstitués (bande dessinée), n'est possible que parce que nous avons automatisé la perception de ces ellipses.

Cette automatisation fait que face à un film (point de vue distal passif et pas de point d'inscription distal), nous pouvons être immergés dans l'espace ouvert par l'image. Dans ce cas, nous acceptons l'espace représenté, en oblitérant momentanément notre espace réel. Cette acceptation complexe n'est pas l'objet de notre étude. On peut néanmoins l'illustrer par l'anecdote célèbre de la projection de *L'entrée du train en gare de la Ciotat* des frères

Lumière : les spectateurs ont fuit la salle de projection en croyant que le train arrivait vers eux. Ces spectateurs ont en fait confondu l'espace où ils se trouvaient physiquement avec l'espace ouvert par l'outil (le projecteur) sur l'écran. Il n'y a pas en ce cas d'immersion dans l'espace distal, mais une incompréhension de l'existence de deux espaces, une confusion entre ces deux espaces.

Notons aussi que les images, dans la mesure où elles n'offrent pas la possibilité à l'utilisateur d'agir dans l'espace perceptif ouvert, sont des objets qui offrent un degré d'implication faible. Une image nous demande moins d'apprentissage qu'un outil (nous devons, dans ce second cas, apprendre à faire varier nos points de vue et d'inscription dans l'espace ouvert par l'outil), ceci explique qu'on s'approprie aisément les espaces qu'elle ouvre.

III-1-2- Point de vue distal passif, existence d'un point d'inscription distal

De nombreux outils offrent à l'utilisateur un point d'inscription distal sans pour autant lui permettre un point de vue perceptif distal actif. Reprenons l'exemple de l'ordinateur. Pour l'utiliser, nous déplaçons un point d'action dans notre environnement organique (une souris, le stylet d'une tablette graphique, etc.). Ce mouvement permet le déplacement d'un point d'action distal, dans l'espace ouvert par l'outil, c'est-à-dire le déplacement du curseur. Ce point d'action distal nous permet de modifier le milieu ouvert par l'outil (l'écran), d'y inscrire des choses, d'ouvrir une fenêtre, etc. En ce sens, stylet tactile, souris et tout autre moyen d'inscription numérique nous permettent d'avoir un point d'inscription distal. En revanche, ils ne nous permettent pas d'avoir un point de vue distal actif : nous ne pouvons pas faire varier notre point de vue distal (sauf dans le cas particulier du scrolling).

Soulignons que dans ce cas l'outil nous offre une « représentation de notre corps distal ». Cependant, ce n'est pas à partir de cette représentation que nous percevons l'espace ouvert par l'outil. Cet espace nous est donné par ailleurs, par notre regard. L'ouverture d'un point de vue distal, via un curseur, serait subordonnée à certaines conditions : par exemple, que le déplacement du curseur sur des éléments de l'espace distal donne lieu à un retour sensoriel. C'est en partie ce que nous avons cherché à montrer dans l'expérience intitulée « Attribution distale et reconnaissance de formes avec un dispositif minimaliste ».

III-1-3- Existence d'un point de vue distal actif, absence de point d'inscription distal

Certaines prothèses perceptives nous permettent d'avoir un point de vue dans un espace ouvert par l'outil, sans pour autant que nous puissions le modifier.

Une paire de jumelles, par exemple, nous ouvre un espace distal, espace perceptif nouveau, auquel nous n'aurions pu accéder sans cette paire de jumelles. C'est également le cas avec un télescope, un périscope, un microscope, un sonar ou un radar. Nous avons dans ce cas un point d'action dans l'espace ouvert par l'outil (ici, l'espace réel à l'origine lointain que la paire de jumelles nous permet d'observer en ayant la sensation d'être près). Ce point d'action nous permet de percevoir ce nouvel espace, il est ainsi point de vue distal, mais il ne nous permet pas de modifier cet espace : nous n'avons pas de point d'inscription dans l'espace distal.

III-1-4- Existence d'un point de vue distal actif et d'un point d'inscription distal

Nombreux sont les outils qui nous offrent à la fois un point de vue perceptif distal actif et un point d'inscription distal. Nous catégorisons les outils offrant un point d'action distal complet en fonction du type d'espace perceptif ouvert par l'outil. Cet espace perceptif peut être réel, réel mais distant (téléprésence) ou simulé (jeux vidéos, cyberspace, réalité virtuelle). Nous aborderons le cas d'un espace perceptif réel distant et le cas d'un espace perceptif simulé. Parmi ces derniers, beaucoup offrent une « représentation de notre corps distal », ou avatar. Il nous faudra prendre en compte cette spécificité. Nous aborderons dans ce dernier cas la question du degré d'isomorphisme de nos actions organiques et des déplacements de notre avatar.

Téléprésence

Comme le relate Biocca (1995), le terme de téléprésence, formulé par des roboticiens et la NASA, a été forgé à l'origine pour signifier l'illusion d'être - grâce à un système de télécommunication - dans un emplacement physique autre, mais où l'on peut agir de façon synchrone à l'espace où l'on se trouve (Minsky, 1980). C'est un « moyen de donner l'illusion à l'utilisateur d'être présent à un endroit où il n'est pas » (Pimentel & Teixeira, 1994). Pour l'inscrire dans notre catégorisation des outils, la téléprésence ouvre donc à l'utilisateur un point d'action distal dans un espace perceptif distal, réel et à distance. Notons qu'un dispositif technique comme le téléphone nous offre un point d'action distal semblable. Il faut préciser pour le distinguer d'un dispositif de téléprésence que « la télé robotique permet la

manipulation dans un environnement réel lointain » (Pimentel & Teixeira, 1994). Là où le téléphone nous offre un point de vue perceptif distal uniquement auditif (visio-auditif dans le cas d'un visiophone ou d'une téléconférence) et le fait de parler comme seule action / point d'inscription possible, la téléprésence étend notre registre sensoriel et notre point de vue distal en même temps qu'elle rend possible une action physique sur l'environnement distant, action synchrone dans notre espace organique et notre espace distal.

Environnements simulés

La réalité virtuelle nous permet une interaction dans un environnement synthétique, généré par un ordinateur. « Après l'ère des images faites à la main et celle des images construites par des rayons lumineux, nous sommes dans l'époque des images produites par le calcul (...). Les deux précédentes époques avaient ceci de commun que l'image était toujours perçue à distance, sans altération. Dessinée, peinte ou enregistrée, l'image est toujours hors de portée dans l'espace (pas question de s'en saisir) et hors de portée dans le temps (impossible de revenir aux conditions de sa production). Avec le numérique, on retrouve des liens organiques entre vision et activité corporelle ». Entendue comme immersion physique dans un environnement simulé, la réalité virtuelle fait émerger des *images actées*, images qui ne sont plus faites pour être vues, mais pour être enchaînées avec des actes (Weissenberg, 2003). Les images interactives nous offrent un point d'action distal dans l'espace simulé. Plonger dans une représentation en images de synthèse en trois dimensions, conçue par un architecte ou un archéologue soucieux de présenter un bâtiment futur ou passé, nous permet de faire varier notre point de vue distal. Interagir avec cette image en la modifiant nous offre un point d'inscription distal dans cet environnement artificiel. Une telle interaction nécessite de s'effectuer en temps réel : l'utilisateur ne doit pas percevoir de décalage temporel entre son action sur l'environnement simulé et la réponse sensorielle de ce dernier (Fuchs, Moreau, & Papin, 2001).

L'environnement simulé repose sur une modification des données sensorielles. Plutôt que d'être fournies par des objets réels, ces données sont produites « ex nihilo », en fait à partir de calculs (Cadoz, 1994; Cadoz, Luciani, & Florens, 1993). Nous préférons le terme de simulation à celui de réalité virtuelle. Sans débattre du caractère illusoire ou non de ces environnements, ils constituent en tant que simulation des espaces partiellement isolés du monde physique, où les apprentissages et les actions se font en interaction avec des objets construits, sans conséquence irrémédiable sur nos corps et nos espaces organiques.

Ces environnements simulés prennent de multiples formes (simulateurs de conduites d'avion, de voiture, de train, jeux vidéos, dispositifs dits de réalités virtuelles où l'espace simulé nous englobe). L'étude de l'organisation de nos points d'actions dans ces dispositifs nous permet de les définir.

Nos points d'actions varient selon les interfaces proposées. Prenons l'exemple des jeux vidéos en trois dimensions disponibles sur les consoles de jeu : ils proposent dans l'immense majorité des cas une « représentation de notre corps distal » ou avatar à l'écran (personnage ou véhicule) et très rarement une vue subjective (pas d'avatar à l'écran ; ce que nous voyons à l'écran est ce qu'est censé voir le personnage). Les jeux sur ordinateur type PC proposent communément ce recours à la vue subjective. La différence est liée à l'interface : avec une souris, nous pouvons très facilement faire bouger le regard du personnage, ce qui s'avère beaucoup plus difficile avec une manette de console. Dans les deux cas, nous avons bien un point d'inscription distal : c'est le personnage, visible ou non, dont les mouvements nous font découvrir ou modifier l'espace simulé. Dans les deux cas, nous avons aussi un point de vue distal actif. Mais la vue subjective rend possible la variation du regard du personnage, sans le faire se déplacer tout entier, et cette action semble plus naturelle, plus isomorphe à nos déplacements habituels. Cet isomorphisme entre nos déplacements habituels et ceux de l'avatar est plus important lors d'une vue subjective et sert à distinguer les deux interfaces (souris et clavier, manette) et les deux types de jeu (en vue subjective ou en vue impersonnelle). Un jeu d'arcade (borne dans les salles de jeu) en nous proposant par exemple d'entrer dans l'habitacle d'un faux véhicule permet, grâce à un écran plus vaste et à son habitacle, d'isoler plus efficacement l'utilisateur du monde extérieur qu'un jeu sur console ou PC, augmentant encore ainsi l'immersion du joueur si l'on s'accorde à penser que « l'immersion a lieu lorsqu'un ou plusieurs des sens de l'utilisateur n'enregistrent plus que des informations issues de l'ordinateur » (Pimentel et Teixeira 1994). C'est ce que permettent les dispositifs dits de réalité virtuelle : ils permettent de « s'extraire de la réalité physique pour changer virtuellement de *temps*, de *lieu* et / ou de type *d'interaction* : interaction avec un environnement simulant la réalité ou interaction avec un monde imaginaire ou symbolique » (Fuchs, Moreau et Papin, 2001).

III-2- Modifications du couplage sensorimoteur

Lorsque nous nous saisissons d'un outil, notre couplage sensorimoteur habituel est modifié. Les actions que nous effectuons avec un outil donnent lieu à un retour sensoriel différent de celui que nous aurions obtenu sans cet outil. Parmi les outils, certains modifient plus particulièrement les actions que nous effectuons et d'autres modifient essentiellement les retours sensoriels auxquels nous avons accès. Il est ainsi possible de classer les outils en fonction de la plus ou moins grande modification des moyens d'actions et des retours sensoriels qu'ils impliquent.

III-2-1- Modification des retours sensoriels

Tout outil nous permettant de modifier notre espace réel modifie nos retours sensoriels – ne serait-ce que notre perception tactile, si l'outil est saisi - et ce même si bien souvent le point de vue à partir duquel nous percevons l'effet de nos actions reste le même : il nous est principalement donné par notre regard.

Certains outils impliquent eux une modification de la nature du retour sensoriel. Cela va d'une traduction selon un code extrêmement simple (comme traduire une sensation de douleur dans un jeu vidéo par un son correspondant) aux dispositifs de substitution sensorielle, qui transforment une information visuelle par exemple en un retour tactile ou sonore.

III-2-2- Modification des moyens d'action : degrés d'isomorphisme des transformations motrices

Dans la plupart des cas, la saisie d'un outil implique une transformation de nos moyens d'action. Les prothèses qui modifient le moins nos actions sont celles qui permettent une action de déplacement dans l'espace distal isomorphe à nos déplacements habituels dans notre espace organique.

Certains outils, tels que le stylet d'une tablette graphique ou une souris, permettent un déplacement dans l'environnement distal (l'écran de l'ordinateur) relativement isomorphe aux déplacements effectués dans l'espace organique (déplacements de la main). Ainsi, si nous déplaçons notre point d'action vers la droite (ou si nous déplaçons la souris ou le stylet vers la droite), notre point d'action distal (le curseur) se déplace vers la droite. Dans le cas de la

souris, l'isomorphisme se limite à un isomorphisme de déplacements et non de positions, car si nous soulevons la souris d'un point du plan de travail pour la déposer en un autre point du plan de travail, aucun déplacement n'aura lieu dans l'espace distal correspondant. C'est là une distinction entre ces deux effecteurs. 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 absolue : à toute position différente sur l'espace bidimensionnel de la tablette correspond une position différente du curseur sur l'écran. Dans un tel cas, notre point d'inscription organique et notre point d'inscription physique sont exactement isomorphes. Ceci nous permet d'avoir un accès direct à notre point d'action distal à partir de notre point d'action organique (nous pouvons déduire notre position à l'écran à partir de la position du stylet sur la tablette). Dans le cas de la souris, les déplacements des points d'action organique et distal ne sont pas entièrement corrélés : nous pouvons effectuer des sauts de la main pour replacer la souris sur son tapis, il n'y aura pas de sauts correspondant du curseur. En ce cas, nous ne pouvons pas avoir un accès direct à notre point d'action distal à partir de notre point d'action organique. C'est bien le point d'action distal (la position du curseur) qui nous indiquera le lieu à partir duquel il sera déplacé.

En cela, on peut dire que le degré d'isomorphisme de la souris est moindre que celui du stylet. Un clavier grâce auquel on déplacerait le curseur serait une interface au degré d'isomorphisme quasi-nul : seul l'emplacement des touches (en haut pour aller vers le haut, en bas pour aller vers le bas, etc.) détermine un espace d'action référant à celui de nos déplacements habituels.

A l'inverse, un outil qui ne modifie pas nos moyens d'actions est, lui, totalement isomorphe. Les actions effectuées grâce à l'outil sont les mêmes que les actions que nous aurions effectuées sans cet outil. Par exemple, si l'utilisateur d'un dispositif de réalité virtuelle est muni d'une combinaison dotée de capteurs et que les mouvements de sa main lui permettent de déplacer ou de transformer des éléments de la scène virtuelle de la même manière qu'il le ferait sans outil, aucune transformation motrice n'a lieu. En ce cas, les points d'inscriptions organiques et distaux se superposent. Les mouvements permettant à l'utilisateur de modifier l'environnement simulé se font à partir du même lieu et de la même manière que les mouvements lui permettant de transformer son monde physique. De la même manière, si les changements de points de vue sur la scène perçue ont lieu grâce aux déplacements de la

tête, il n'y aura pas de modification des moyens d'action nous permettant de percevoir la scène.

Pour conclure, nous pouvons dire que plus les mouvements permis par le dispositif sont proches de nos mouvements habituels, plus la prothèse est facile à s'approprier. Plus les mouvements permis par l'objet sont différents de nos mouvements habituels, plus cela implique de difficultés motrices et proprioceptives lors de l'utilisation de l'outil.

III-3- Degrés d'implication, degrés de transformations sensori-motrices

III-3-1- Degrés d'implication

Nous proposons que les critères de catégorisation des outils que nous venons d'établir nous permettent de déterminer des degrés, non d'immersion, mais d'implication. Ces degrés d'implication sont liés, non à la maîtrise de l'outil par les utilisateurs, mais aux possibilités d'actions offertes aux utilisateurs dans l'espace ouvert par l'outil. Un outil nous proposant un point de perception distal et un point d'inscription distal a, pour les utilisateurs, un degré d'implication plus élevé qu'un outil ne nous proposant que l'un ou l'autre. Un outil qui nous permet de faire varier nos points d'actions distaux a un degré d'implication plus élevé qu'un outil nous proposant un point d'action distal invariable.

III-3-2- Degrés de transformations sensori-motrices

Nous avons aussi constaté que les transformations sensorielles et motrices varient en fonction des outils. Moins ces modifications sont importantes, plus l'outil apparaît, au premier abord, facile à s'approprier. Selon la nature et la complexité de ces transformations, nous pouvons dire de chaque outil qu'il a un « degré d'appropriation » plus ou moins élevé, lié à la maîtrise par l'utilisateur des changements moteurs et sensoriels introduits par l'outil.

Ce degré d'appropriation est lié 1) à la richesse des points d'actions distaux offerts par l'outil (existence d'un point de vue et / ou d'inscription). 2) aux modifications entre les retours sensoriels organiques et les retours sensoriels distaux. Certains outils impliquant une compréhension d'un retour sensoriel inédit pour l'utilisateur. 3) aux modifications entre nos actions organiques et nos actions distales. Ces modifications seront graduées (3.1) en fonction du degré d'isomorphisme des déplacements dans l'espace perceptif distal avec les

déplacements organiques correspondants ; (3.2) en fonction de la superposition des points de vue distaux et des points d'inscription distaux.

Ces transformations sensorielles et motrices n'impliquent que des degrés d'apprentissage plus importants afin de s'approprier l'outil. L'apprentissage, nécessaire pour accéder à une présence et à une immersion, peut être plus ou moins important en fonction de ces degrés d'appropriation. Mais ces derniers n'impliquent pas de degrés différents de présence et d'immersion dans l'environnement distal une fois l'outil saisi. Ils ne peuvent en soi déterminer les possibilités de présence et d'immersion.

Notre objectif va être maintenant de comprendre comment l'utilisateur d'un nouvel outil parvient à maîtriser l'outil et l'espace perceptif ouvert par cet outil. C'est-à-dire comment il apprend à constituer et à faire varier point de vue et point d'inscription dans un nouvel espace perceptif alors qu'on transforme ses moyens d'actions et les retours sensoriels qui ont lieu.

IV- Les étapes de l'immersion

Nous définissons l'immersion dans un espace perceptif ouvert par un outil comme une appropriation active de cet outil. Les études effectuées sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle nous ont permis de distinguer cinq différents moments de cette appropriation. Nous allons généraliser ces cinq étapes à tout outil perceptif et en préciser les composantes. Nous avons regroupé ces étapes sous les appellations suivantes : contact, attribution distale, maîtrise de l'espace distal, localisation distale et constitution d'une expérience distale. La première étape, l'étape du contact, implique l'apprentissage des régularités sensorimotrices nécessaires à stabiliser et à maintenir le contact perceptif avec le stimulus. La seconde étape, l'attribution distale, est la compréhension, par les utilisateurs, que l'origine de leurs sensations est due à la rencontre avec un objet provenant de l'espace perceptif ouvert par l'outil. La maîtrise de l'espace distal correspond à l'apprentissage des variations des points de vue et d'inscription distaux, permettant ainsi aux utilisateurs de localiser objets et événements de l'espace perceptif distal relativement à un point de vue appartenant à cet espace. La quatrième étape, la localisation distale, se définit comme l'impression d'être dans l'espace perceptif ouvert par une médiation technique. Elle implique une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur, permettant à l'utilisateur de se sentir entièrement là où il agit. La dernière étape, la constitution d'une expérience distale, implique le partage de l'expérience perceptive, partage qui permet de constituer le sens, l'émotion et les valeurs communes attachées à cette expérience.

IV-1- Contact

Notre travail se situe dans le cadre d'une théorie sensorimotrice de la perception (Gibson, 1966, Piaget, 1937, O'Regan & Noë, 2001) selon laquelle l'information sur le monde est contenue dans les propriétés structurelles des invariants liant les actions aux stimulations sensorielles résultantes. Ce qui est perçu et reconnu est, non pas les invariants de la sensation, mais les invariants de boucles sensorimotrices inséparables de l'activité des sujets. C'est au moyen de leurs actions que les sujets isolent les régularités dans la relation entre leurs actions motrices et les changements sensoriels qui en résultent. C'est au moyen de leurs actions que les sujets construisent les lois de co-variation entre les outputs moteurs et les

inputs sensoriels qui en résultent. Selon ces théories, une expérience sensorielle, comme l'expérience visuelle ou l'expérience auditive, est un mode d'activité impliquant une connaissance pratique des comportements possibles et des conséquences sensorielles associées.

Suivant cette perspective, nous proposons que la première étape de l'appropriation d'un outil, l'étape du contact, consiste en l'extraction des régularités entre les actions effectuées dans l'espace organique et les stimulations sensorielles résultantes (voir figure II-2). Les utilisateurs apprennent ainsi les régularités sensorimotrices nécessaires à stabiliser et à maintenir le contact perceptif avec le stimulus.

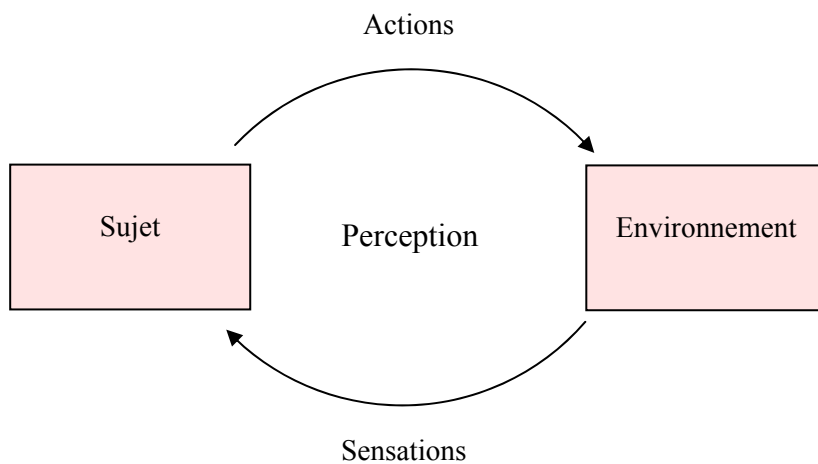


Figure II-2. Couplage sensori-moteur.

Ainsi, grâce à leurs actions, les utilisateurs d'un nouveau dispositif de couplage avec l'environnement ont la possibilité d'extraire les relations invariantes entre les mouvements qu'ils effectuent et les stimulations sensorielles résultantes. Et c'est sur la base de cette extraction que la compréhension de l'existence d'un espace distal et d'un objet distal, source des sensations, va pouvoir émerger et qu'une perception via le dispositif pourra se construire.

IV-2- Attribution distale

Le second moment nécessaire à l'appropriation d'une médiation technique est celui de l'attribution distale, c'est-à-dire la compréhension, par l'utilisateur, que l'origine de ses sensations est due à la rencontre avec un objet provenant de l'espace ouvert par l'outil.

Nous suivons une perspective piagétienne selon laquelle, dans le cours du développement, c'est l'extraction des co-variations systématiques entre nos mouvements et les stimulations sensorielles qui permet d'amorcer le développement d'une attribution distale et, progressivement, des concepts d'objet et d'espace (Piaget, 1936, 1937). Autrement dit, « c'est seulement en amenant volontairement nos sens dans différentes relations avec l'environnement que nous sommes sûrs de nos jugements concernant les causes de nos sensations... Nous considérons la table comme ayant une existence indépendante de notre observation parce que, à chaque fois que nous le désirons, en ayant la bonne position par rapport à elle, nous pouvons l'observer » (Helmholtz, 1909).

Ainsi, dans le cadre d'une attribution distale effectuée sans la médiation d'un outil, les sujets, dans un premier moment, extraient les lois de co-variation entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante. C'est sur la base de cette extraction que pourront se développer les concepts d'objet et d'espace. Lors de la constitution de la notion d'objet, les sujets vont attribuer l'origine de la stimulation obtenue à une cause extérieure et distante ; cette cause est alors identifiée comme objet. Lors de la constitution de la notion d'espace, les sujets vont comprendre leurs actions comme étant mouvements dans l'espace c'est-à-dire comme étant des déplacements et ils vont comprendre certaines variations dans les stimulations sensorielles comme correspondant à des variations spatiales en relation à une source distante.

Dans le cadre d'une attribution distale effectuée avec la médiation d'un outil, nous proposons de considérer que les composantes principales de l'attribution distale sont identiques à celles sans outil. Les utilisateurs doivent comprendre l'existence d'un couplage. Ils doivent ainsi extraire les relations invariantes entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante. La compréhension de ce couplage permet aux utilisateurs, d'une part, de comprendre l'existence d'un espace distal. Le déplacement de leurs points d'actions organiques est alors compris comme déterminant le déplacement d'un point d'action dans l'espace distal. La compréhension de ce couplage permet, d'autre part, aux utilisateurs d'extraire l'existence d'un objet distal. En d'autres termes, les utilisateurs doivent comprendre que les variations dans la stimulation sensorielle correspondent à des variations de points de vue sur un objet de l'espace distal.

La question de l'attribution distale dans l'espace perceptif ouvert par un outil est peu abordée dans la littérature. En effet, peu d'études partent d'une situation expérimentale dans laquelle les sujets ne savent pas quel type d'outil ils utilisent. Nous explorerons, dans notre seconde et troisième expérience, la question de l'attribution distale dans un espace perceptif nouveau, permis par l'utilisation d'un nouveau dispositif de couplage avec l'environnement. Plus précisément, nous étudierons quels sont les degrés de l'attribution distale qu'il est possible d'atteindre lors de l'utilisation d'un nouvel outil perceptif en l'absence d'une connaissance préalable du lien entre les mouvements et la stimulation sensorielle résultante.

IV-3- Maîtrise de l'espace distal

Une fois que les utilisateurs ont compris l'existence d'un espace perceptif distal et l'existence de points d'actions dans cet espace perceptif distal, ils peuvent apprendre à faire varier leurs points de vue et d'inscription distaux.

La troisième étape, la maîtrise de l'espace distal consiste pour les utilisateurs à acquérir de nouveaux couplages sensorimoteurs, induits par l'outil, ce qui implique d'apprendre à faire varier leurs points d'actions dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Les utilisateurs parviennent ainsi à modifier l'espace perceptif distal et à localiser objets et événements de cet espace perceptif distal relativement à un point de vue appartenant à cet espace.

Les utilisateurs d'un nouveau dispositif de couplage avec l'environnement doivent comprendre la relation entre leurs actions organiques et leurs actions distales et comment leurs actions organiques déterminent le déplacement de leurs points d'actions distaux. Ils doivent aussi comprendre la relation entre la stimulation sensorielle organique et l'information distale correspondante (voir figure II-3). Si nous prenons l'exemple d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile, la stimulation sensorielle organique, c'est-à-dire la stimulation sensorielle qui affecte directement nos sens, est composée d'impulsions tactiles. La stimulation organique donne accès à un ensemble d'informations perceptives grâce à la médiation de l'outil - dans ce cas, une information sur des stimuli visuels. Les utilisateurs d'un tel dispositif doivent donc comprendre les lois utilisées pour convertir les informations visuelles en informations tactiles, autrement dit les lois utilisées pour convertir les informations perceptives distales en informations perceptives organiques.

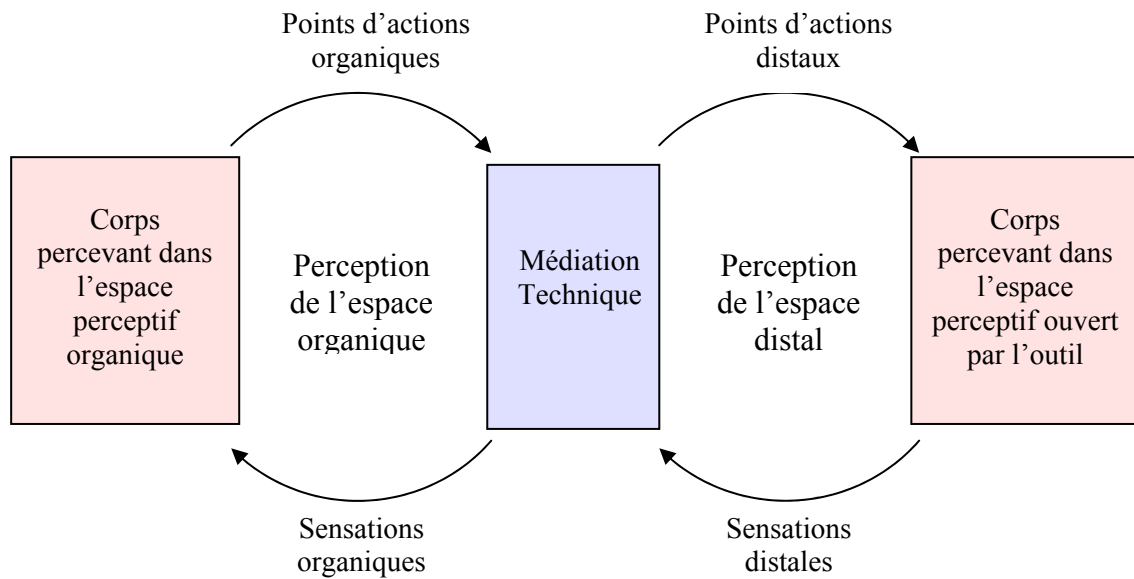


Figure II-3. Couplages sensori-moteurs et médiation technique.

Lors de l'étape contact, les utilisateurs ont extrait les relations sensorimotrices entre leurs points d'actions organiques et les sensations organiques résultantes. Pour maîtriser l'espace distal, les utilisateurs vont extraire les relations entre points d'actions organiques et points d'actions distaux et les relations entre sensations organiques et sensations distales. Puis grâce à l'apprentissage, les utilisateurs associent directement leurs actions organiques aux sensations distales. L'automatisation de ce nouveau couplage sensorimoteur permet aux utilisateurs d'avoir un accès direct aux effets de leurs actions distales à partir de leurs actions organiques, sans avoir à réfléchir sur le maniement de l'outil ou sur le code utilisé. Cette automatisation leur permet de se sentir dans l'espace perceptif ouvert par l'outil, ce que nous définissons comme la localisation distale.

Nous avons défini des degrés de modifications du couplage sensorimoteur. La saisie d'un outil modifie nos couplages sensorimoteurs habituels. Parmi les outils, certains impliquent une modification entre nos actions organiques et nos actions distales. D'autres outils impliquent une modification entre nos sensations organiques et nos sensations distales. Et certains outils modifient à la fois nos moyens d'action et les retours sensoriels auxquels nous avons accès.

L'étude des dispositifs de substitution sensorielle a montré que leurs utilisateurs parviennent à s'approprier ces prothèses perceptives, malgré les changements considérables entre la stimulation organique et la stimulation distale. De même, de nombreux outils tels que les jeux vidéos nous montrent une appropriation de l'outil en dépit d'une modification importante entre les actions effectuées dans l'espace organique et les actions distales correspondantes.

IV-4- Localisation distale

La quatrième étape, la localisation distale correspond à l'impression de se situer et d'agir dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Cette étape implique une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur. Une fois que les utilisateurs parviennent à avoir un accès direct aux effets de leurs actions, sans avoir à réfléchir sur le maniement de l'outil ou sur le code utilisé, ils peuvent se sentir entièrement là où ils agissent, c'est-à-dire dans l'espace perceptif distal.

Le terme de localisation distale que nous employons ici renvoie au terme plus communément employé de « présence » et plus précisément de « présence subjective ». Shloerb (1995) distingue ainsi la « présence physique » et la « présence subjective ». La première renvoie à « l'existence d'un objet dans une région particulière de l'espace et du temps », pour nous le lieu où se situe le corps de l'utilisateur. La présence subjective consiste en « la perception d'être localisé dans le même espace physique dans lequel un certain événement a lieu, un certain processus a lieu, une certaine personne se tient » (Shloerb, 1995). Ce lieu correspond pour nous au lieu où se situe l'action de l'utilisateur. Nous préférons cependant conserver le terme « localisation distale » pour souligner que cette expérience d'être sur le lieu de nos actions s'éprouve pour tout outil et pas uniquement dans le cadre de la téléprésence et de la réalité virtuelle. De plus, nous avons effectué une distinction entre corps organique et corps propre. Notre corps propre est constitué par nos possibilités d'agir et de sentir. Son « lieu » est défini par sa tâche. Ainsi, notre corps propre peut se superposer avec notre corps organique ou être étendu par un outil et ainsi être situé dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Dans les deux cas, notre corps propre est là où on agit, sans que ce lieu puisse être dit subjectif ou objectif (physique).

L'expérience d'une localisation distale se joue, par exemple, quand une personne se rase le visage et ressent une impression de toucher dans le miroir auquel elle fait face (von Fieandt, 1966). Second exemple : celui de techniciens opérant des dissections, à l'aide d'outils et d'un microscope (Loomis & Lederman, 1984). La localisation distale a lieu au sein de leur travail quand ils ont l'impression de toucher directement les tissus en dépit de la magnification optique, impression accompagnée du sentiment que les outils sont des extensions de leurs mains et de leurs doigts. Le même phénomène est rapporté par des utilisateurs confirmés des systèmes de téléopération (Corker, Mishkin, & Lyman, 1980). La localisation distale, dans le cadre des systèmes de téléopération et des réalités simulées correspond à la notion de présence et plus précisément de téléprésence.

IV-4-1- Localisation distale et automaticité de la perception

La localisation distale, comme l'attribution distale, nécessite une action de l'utilisateur. Il lui faut agir pour comprendre le lien entre ses actions et la stimulation sensorielle résultante s'il veut se situer dans l'environnement ouvert par l'outil. Loomis illustre cette notion en imaginant l'utilisateur d'un système de téléopération devant contrôler un robot au moyen d'un clavier, sans connaître les effets des touches sur les actions du robot. L'interface est non naturelle, complexe, mais fiable et déterminée : tant que l'utilisateur n'est pas capable de se représenter la manière dont l'interface contrôle le robot, il échoue à expérimenter l'extériorisation de l'environnement dans lequel il est situé (Loomis, 1992).

L'attribution distale, la maîtrise de l'espace distal et la localisation distale sont trois composantes clés du processus d'immersion. L'attribution distale nous permet de comprendre l'existence d'un espace perceptif distal, la maîtrise de l'espace distal nous permet de percevoir et d'agir dans cet espace perceptif distal et la localisation distale nous permet de nous projeter dans cet espace perceptif distal. Pour que la localisation distale réussisse, il faut que l'utilisateur n'ait plus à réfléchir à ses actions, n'ait plus à effectuer de déduction sur la stimulation. L'automaticité de la perception est une composante essentielle de l'immersion. Une composante évidemment liée à l'apprentissage, un apprentissage qui transforme l'accès aux objets de la perception en un réflexe automatique et inconscient.

On peut juger cette perception comme automatique une fois que nous avons un accès direct aux effets de nos actions sans avoir à réfléchir au maniement de l'outil. À ce moment-là, l'attention est amenée uniquement sur la partie *fonctionnelle* de l'objet, c'est-à-dire le lieu

où l'on agit. La capacité de l'outil à devenir - et à rester - imperceptible pour l'utilisateur est nommée transparence de l'interface (Fuchs, Moreau, & Papin, 2001).

La localisation distale nécessite cette automaticité de la perception et donc une longue expérience. Cette maîtrise s'acquiert d'autant plus facilement que l'interface est adaptée, que l'extension semble naturelle et simple et que l'apprentissage est intensif. Pour apprendre une nouvelle langue, par exemple, l'utilisateur s'attache dans un premier temps à reconnaître les sons et les traduire en mots. Plus son vocabulaire sera riche, plus sa capacité à le reconnaître sera grande, plus il pourra développer une « conscience focale » de la parole entendue (Polanyi, 1964, 1966, 1970), une « conscience subsidiaire » de la chaîne de médiation, jusqu'à ce que cette chaîne devienne transparente (Loomis 1992). La maîtrise d'une aptitude passe par la connaissance des composantes de cette aptitude, puis par la naissance progressive d'un lien entre l'utilisateur et ce qui devient son extension (Corker et al., 1980; Loomis & Lederman, 1984).

L'apprentissage d'un dispositif de couplage conduit ainsi 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. Notre conscience ne s'arrête plus sur les entrées sensorielles de l'information : nous traitons directement l'information en termes sémantiques, en tant qu'objets localisés dans l'espace. Cette transparence des dispositifs techniques s'observe pour tous les dispositifs efficaces : l'apprentissage d'un dispositif est réussi lorsque nous oublions sa présence. En d'autres termes, l'apprentissage perceptif est justement l'oubli de la construction technique de cette perception. Lorsque nous nous servons d'un bâton nous ressentons le contact avec un objet comme au bout du bâton. Ainsi, « 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 données, le bâton n'est plus un objet que l'aveugle percevrait, mais un instrument *avec* lequel il perçoit » (Merleau-Ponty, 1945 : pp. 177-178).

IV-4-2- Mise en évidence de l'automaticité de la perception par ruptures de la transparence de l'interface

L'automaticité de la perception d'un objet de l'espace perceptif distal peut être mise en évidence à travers le maniement perturbé d'un outil. L'exemple de la manipulation d'une canne (Gibson, 1966; Katz, 1925; Lotze, 1894; Polanyi, 1966; Weber, 1846) est largement

citée pour exposer la localisation distale, les sujets situant le contact qu'ils ont avec un objet comme au bout de la canne. Prenons un autre exemple de maniement d'un outil rigide : une personne qui écrit avec un stylo ne perçoit pas la stimulation résultante sur les doigts, mais la localise subjectivement sur la page. Si on essaie d'écrire en tenant ce crayon entre les dents, les vibrations sont alors autant ressenties sur les dents qu'au point de contact entre l'extrémité du stylo et la feuille.

L'automaticité de la perception et l'immersion se définissent ici en creux. L'utilisateur ne se sent plus immergé lorsque la maîtrise du lien entre ses actions et la sensation résultante lui échappe. L'outil lui-même ne devient visible que sur le mode de défaillance : c'est lorsque le marteau est cassé ou que le système d'exploitation d'un ordinateur défaille qu'il s'impose à moi comme une chose qui « ne marche pas » (Khatchatourov & Auvray, 2003).

IV-5- Constitution d'une expérience distale

L'immersion est envisagée comme une construction que l'on fait de l'environnement ouvert par l'outil. L'attribution distale nous a fait comprendre que nos sensations renvoyaient à un objet et à un espace perceptif distant. La maîtrise de cet espace nous apprend à faire varier nos points de vue et d'inscription dans cet espace et la localisation distale nous fait ressentir notre présence dans cet espace ouvert par l'outil. Mais le processus immersif ne semble pas achevé : pour l'être, il demande peut-être que cet environnement soit partagé.

Pour Mantovani et Riva, constater la présence, en l'envisageant comme une reproduction des conditions de la présence physique ou des aspects physiques de la « réalité extérieure » ne suffit pas. C'est ignorer que cette « réalité extérieure » est avant tout une construction sociale et que notre présence y dépend toujours d'outils associés à une culture. « Il n'y a pas d'environnement « naturel » passivement reçu et enregistré par des acteurs sociaux : la réalité est socialement construite et l'expérience a un caractère médié » (Mantovani & Riva, 1999). Pour Gergen (1994) « la « réalité » n'est pas à « l'extérieur », en dehors des inter-échanges sociaux et de la médiation culturelle. Mais au contraire, elle est continuellement négociée et filtrée par des artefacts, au moyen desquels nous adaptons notre environnement à nos besoins et dans le même temps, nous nous adaptons à l'environnement ». Dans un espace ouvert par un outil comme dans notre environnement quotidien, notre présence n'est pas uniquement physique ou ressentie : elle reste indissociable

de notre culture et de notre histoire (Mantovani & Riva, 1999). Pour illustrer cette évidence, on peut référer à une étude sur les déplacements dans une ville simulée (Murray, Bowers, West, Pettifer, & Gibson, 2000; Murray & Sixsmith, 1999). La cité modélisée par l'ordinateur permet aux personnes d'y mouvoir leurs avatars comme ils le désirent, y compris en leur faisant traverser les bâtiments ou les arbres. Or, personne ne se l'autorise : tous restent dans les routes ou chemins simulés. Si Murray (1999) utilise cet exemple pour prouver que les utilisateurs conservent « les mêmes patterns d'incarnation socioculturels qui existent dans la réalité », il nous semble surtout pertinent d'interroger la convention qu'ont établie les utilisateurs entre eux, convention qui leur fait s'imposer de ne pas traverser les obstacles avec leurs avatars et qui leur fait collectivement déterminer leur perception de l'espace. Ce phénomène s'éclaire si l'on s'accorde « à parler de la présence d'un acteur dans une situation donnée, si sa liberté de mouvement est garantie, à la fois dans l'environnement physique et dans l'environnement social, environnement composé d'autres acteurs impliqués dans la même situation. Ceci implique que la présence d'un acteur dans un environnement n'existe que si cet acteur peut coopérer avec d'autres acteurs, et même entrer en conflit avec eux » (Mantovani & Riva, 1999). L'immersion, pour être complète, nécessiterait donc que l'espace ouvert par l'outil soit partagé par une communauté dont les membres, liés culturellement, aient la possibilité de négocier à la fois leurs actions et le sens de ces actions (Mantovani & Riva, 1999).

L'usage restreint fait par les non-voyants des dispositifs de substitution sensorielle corrobore cette hypothèse. Beaucoup de personnes non voyantes soulignent que si ces dispositifs permettent d'explorer le monde via une nouvelle modalité sensorielle, ils ne permettent pas d'associer un système de valeurs et d'émotions à ce monde, soulignant ainsi que le sens que l'on attribue aux choses ne peut naître que lorsque plusieurs personnes partagent leur expérience. Or, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la plupart des observations effectuées sur les dispositifs de substitution sensorielle rapportent un emploi isolé de la prothèse. L'utilisateur est alors isolé dans un monde perceptif qui lui est propre et qu'il ne peut partager. L'existence d'une communauté affective autour de la prothèse permettrait la constitution de valeurs attachées au monde perçu par la prothèse. Des valeurs perceptives liées à l'existence d'une histoire collective, histoire qui émerge des interactions de plusieurs personnes dans un même environnement défini par les mêmes moyens d'accès. Les utilisateurs d'une même prothèse peuvent alors, dans le vécu de leurs interactions, constituer

des valeurs perceptives communes et ainsi partager un monde commun doué de sens et susceptible d'affect.

Nous pouvons en conclure que l'immersion n'est pas seulement l'expérience d'une présence : elle demande le partage de cette expérience dans l'espace commun ouvert par l'outil. Communication et coopération engendrent alors une dynamique qui dote l'expérience d'un but individuel ou collectif qui est parfois la possibilité même d'échanger. Une motivation qui semble finalement essentielle à l'ensemble du processus immersif.

IV-6- Conclusion : les étapes de l'immersion

L'immersion est ainsi envisagée comme une appropriation active d'un nouvel outil. Cet apprentissage permet de faire l'expérience d'un monde d'action et de perception nouveau, rendu possible par le dispositif technique. L'immersion n'est plus considérée comme un leurre, comme une illusion des données sensorielles, mais comme résultant de l'apprentissage d'un outil.

Nous avons distingué cinq étapes de l'appropriation d'un dispositif technique. Ces cinq étapes déterminent la possibilité de l'immersion des utilisateurs dans l'espace perceptif ouvert par l'outil.

La première étape, l'étape du contact, implique l'apprentissage des régularités sensorimotrices nécessaires à stabiliser et à maintenir le contact perceptif avec le stimulus. Les utilisateurs doivent ainsi extraire les régularités entre les actions effectuées dans l'espace organique et les stimulations sensorielles résultantes.

La seconde étape, l'attribution distale, est la compréhension, par les utilisateurs, que l'origine de leurs sensations organiques est due à la rencontre avec un objet provenant de l'espace perceptif ouvert par l'outil. Les utilisateurs doivent en premier lieu comprendre l'existence d'un espace perceptif nouveau. Puis ils doivent comprendre que les actions qu'ils effectuent dans leur espace organique leur permettent de déplacer des points d'actions (points de vue et / ou points d'inscription) dans l'espace distal. Et enfin, que les variations dans les stimulations sensorielles correspondent à des variations de points de vue sur des objets de l'espace perceptif distal.

La maîtrise de l'espace distal est l'étape au cours de laquelle les utilisateurs apprennent à contrôler les nouvelles régularités sensorimotrices introduites par l'outil. Ils apprennent à faire varier les points de vue et les points d'inscriptions distaux. Ils parviennent ainsi à modifier l'espace perceptif distal et à localiser objets et événements de cet espace perceptif distal relativement à un point de vue appartenant à cet espace.

La quatrième étape, la localisation distale, est l'impression d'être dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Cette étape implique, grâce à l'apprentissage, une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur. Une fois que les utilisateurs parviennent à avoir un accès direct aux effets de leurs actions, sans avoir à réfléchir sur le maniement de l'outil ou sur le code utilisé, ils peuvent se sentir entièrement là où ils agissent (point de vue et point d'inscription), c'est-à-dire dans l'espace perceptif distal.

La cinquième étape, la constitution de l'expérience distale, correspond à la constitution d'une signification, de valeurs communes et à l'expérience d'émotions dans l'espace perceptif nouveau, notamment grâce au partage des expériences dans l'espace perceptif ouvert par l'outil.

CHAPITRE III

CONSTITUTION D'UN ESPACE PERCEPTIF

Nous avons distingué cinq étapes de l'appropriation d'un dispositif technique. Ces étapes déterminent la possibilité de l'immersion des utilisateurs dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Nous allons à présent, à travers une série d'études expérimentales, préciser les composantes des différentes étapes d'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle.

Les trois expériences de ce chapitre détaillent certains aspects des trois premières étapes d'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle : l'étape du contact, l'étape de l'attribution distale et l'étape de la maîtrise de l'espace distal, étapes que nous regroupons sous l'appellation « constitution d'un espace perceptif distal ».

Dans une première expérience intitulée « Apprendre à percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif : localisation et reconnaissance de formes avec The Voice », nous étudions les capacités de localisation et de reconnaissance de formes de six sujets utilisant le dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif The Voice développé par Meijer. Ce dispositif permet la traduction d'une scène visuelle en une scène auditive. Les performances des sujets sont examinées à travers quatre expériences. La première expérience étudie les capacités de déplacement et d'exploration. La seconde expérience explore plus précisément les performances de localisation. La troisième expérience analyse les capacités des sujets à apprendre à reconnaître des objets naturels. Et la quatrième expérience étudie la capacité des sujets à généraliser cet apprentissage à la reconnaissance de nouveaux objets. Ces expériences montrent que les sujets, grâce à une interaction sensorimotrice avec la scène perçue, sont capables d'utiliser des aspects importants de la stimulation auditive pour leurs déplacements, la localisation et la reconnaissance d'objets.

La seconde expérience intitulée « Attribution distale et reconnaissance de formes avec un dispositif minimaliste » étudie la constitution d'un espace perceptif distal grâce à un

dispositif minimaliste. Pour ce faire, nous avons développé un logiciel dans lequel nous établissons un lien entre les mouvements de l'utilisateur (mouvements de la souris ou des touches du clavier) et une stimulation sensorielle (visuelle ou auditive). L'ordinateur génère soit un son aigu ou grave, soit un carré de couleur blanche ou noire à l'écran, variant en fonction de l'exploration d'une forme dans l'espace distal, forme invisible à l'utilisateur. Nous cherchons quelles sont les conditions pour que les utilisateurs parviennent à construire et maîtriser ce nouvel espace perceptif. Autrement dit, quelles sont les conditions minimales nécessaires pour qu'ils comprennent leurs actions comme étant des mouvements dans l'espace perceptif distal ? Pour qu'ils attribuent l'origine de leurs sensations à un objet extérieur et distant dans ce nouvel espace perceptif ? Et pour qu'ils reconnaissent cet objet ? Nous montrons que les utilisateurs parviennent, sous certaines conditions, à constituer ce nouvel espace perceptif distal et ce, que les inputs sensoriels soient visuels ou auditifs.

Dans une troisième expérience, « Attribution distale et substitution sensorielle », nous explorons la constitution d'un espace perceptif distal grâce à un dispositif de substitution sensorielle dont le retour sensoriel est riche. Nous équipons des participants - sans les en informer - d'un dispositif de substitution sensorielle. Ce dispositif convertit les images vidéo captées par une caméra située sur la tête des sujets en sons. Nous explorons plusieurs conditions expérimentales : les sujets utilisent ou non un dispositif technique associé à l'objet qu'ils doivent percevoir ; un décor est ajouté à l'objet que les sujets doivent percevoir ; les sujets manipulent un objet. Toutes ces conditions sont reprises alors qu'un système permet aux sujets d'interrompre activement la stimulation. Nous étudions, pour chaque condition, quels stades de la constitution de l'espace perceptif les sujets ont atteint : ont-ils dégagé des lois de co-variation stables entre leurs mouvements et la stimulation qui en résulte ? Ont-ils déduit l'existence d'un espace perceptif produit par le couplage ? Ont-ils identifié des objets comme étant source de leurs sensations ? Nous dégageons quelles sont les conditions nécessaires pour que les utilisateurs constituent un nouvel espace perceptif.

I- Expérience I

Apprendre à percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif : localisation et reconnaissance de formes avec The Voice

I-1- Introduction

Les études effectuées sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle ont montré que leurs utilisateurs sont capables, même si les informations sensorielles sont tactiles ou auditives, de recréer des capacités perceptives qui ont les caractéristiques de notre monde visuel. La substitution sensorielle révèle ainsi que la vision et la substitution auditive de la vision contiennent un nombre important d'informations fonctionnellement équivalentes, en dépit d'une différence certaine dans la stimulation sensorielle. Cette équivalence des informations accessibles par différents sens soulève la possibilité de considérer séparément stimulation sensorielle et information perceptive. Elle pose la question du caractère amodal de l'information perceptive.

Nous réalisons une étude systématique des performances de sujets utilisant un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif. Cette étude explore la capacité des sujets à extraire des informations d'une scène visuelle à partir de son codage auditif pour effectuer différentes tâches perceptivo-motrices. Les expériences effectuées ont trois objectifs.

1) Nous étudions de manière systématique les performances des sujets utilisant activement le dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif The Voice développé par Meijer (1992). Nous avons choisi des tâches impliquant localisation et reconnaissance d'objets d'abord parce qu'elles sont écologiquement pertinentes pour un usage quotidien du dispositif. Ensuite, parce qu'elles stimulent des canaux différents du système visuel : le « quoi » et le « où » (Ungerleider & Mishkin, 1992), également appelés chemins corticaux ventral et dorsal, sémantique et pragmatique (Paillard, 1991).

2) Nous questionnons l'expérience qualitative des sujets utilisant ce dispositif de substitution sensorielle. Est-ce que l'utilisation de ce dispositif leur évoque plus la vision ou l'audition ? Est-ce que cette expérience subjective dépend de la tâche effectuée ?

3) Nous nous sommes enfin intéressés aux processus d'apprentissage d'un dispositif de substitution sensorielle et d'immersion dans l'espace perceptif ouvert par cet outil. Grâce à leur apprentissage du dispositif, les sujets parviennent-ils à accéder directement à l'information perçue, sans avoir à réfléchir sur le codage utilisé ? Autrement dit, se sentent-ils immergés dans l'espace perceptif nouveau ouvert par le dispositif de substitution sensorielle ?

Après une session d'apprentissage, les sujets participent à quatre expériences. La première expérience étudie les capacités de déplacement et de localisation. Les sujets, les yeux bandés et équipés du dispositif, doivent localiser une cible grâce aux mouvements de la caméra, puis ils doivent s'avancer vers la cible et pointer sur elle. Dans une seconde expérience, nous observons les performances de localisation plus précisément grâce à une restriction de la taille de la cible et du périmètre d'action des sujets. Une troisième expérience analyse la capacité des sujets à reconnaître des objets naturels grâce à leur traduction sonore. Dans une quatrième expérience, nous testons les capacités des sujets à généraliser cet apprentissage à la reconnaissance de nouveaux objets. Nous leur présentons les objets qu'ils ont antérieurement appris à reconnaître grâce au dispositif, ainsi que des variantes de ces objets. À la fin des expériences, nous donnons un questionnaire aux sujets afin de comprendre leur appréhension subjective de l'utilisation du dispositif à travers ces différentes tâches (voir annexe III).

I-2- Méthode Générale

I-2-1 Appareillage

Le dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif utilisé dans ces expériences est le dispositif The Voice développé par Peter Meijer (voir Meijer, 1992 pour les détails). The Voice est un système expérimental qui convertit les images en un ensemble de sources sonores. Les images, captées par une caméra, sont converties en échelle de gris, scannées de la gauche vers la droite, puis transformées en sons en fonction de la position et de la luminosité des pixels.

La scène visuelle filmée par la caméra est stockée sous forme de matrice de 64*64 pixels avec seize niveaux de gris. Le code implémenté dans le dispositif consiste en l'association d'une sinusoïde spécifique à chaque pixel de l'image bidimensionnelle. Le logiciel traduit, pour chaque pixel, la position horizontale en "temps-après-clic". Autrement dit, la position horizontale du pixel correspond au moment où sa valeur influencera l'onde

sonore produite. Sa position verticale donne la fréquence de sa contribution. Sa luminosité donne l'amplitude de l'oscillation.

1- Position horizontale. Chaque image filmée par la caméra est scannée de la gauche vers la droite. Le début du son commence avec la traduction de l'extrémité gauche de l'image et la fin du son correspond à la partie droite de l'image. Plus précisément, l'image entrante est transformée en une représentation auditive étendue dans le temps. À chaque fois que la conversion d'une image est achevée, une nouvelle image est échantillonnée, numérisée et stockée comme matrice de 64*64 pixels. Ce calcul prend une seconde. Durant cette seconde, un clic de synchronisation reconnaissable est émis afin de signifier le début d'une nouvelle image ou, de manière équivalente, la fin de l'image précédente. Les soixante-quatre signaux d'oscillateurs pour chaque colonne sont superposés et l'ensemble de sons correspondant est transmis à l'oreille pour une durée de 1/64 seconde. Puis la colonne suivante est convertie en sons. Cette procédure continue jusqu'à ce que la dernière colonne ait été transformée en sons, une seconde après le début de la conversion.

2- Position verticale. La position verticale est convertie en fréquence. Plus le pattern visuel est haut, plus le son est aigu ; plus le pattern visuel est bas, plus le son est grave. Plus précisément, chaque pixel est associé à un oscillateur sinusoïdal émettant dans une gamme de fréquence audible. Les pixels situés dans une position élevée sont associés à des oscillateurs de fréquence élevée. L'ensemble des fréquences peut en principe être choisi aléatoirement, mais deux ensembles de référence sont proposés, correspondant à une distribution linéaire (équidistante) et exponentielle (bien tempérée). Pour les expériences présentées, nous avons choisi une distribution exponentielle allant de 500 à 5000 hertz, respectant la sensibilité spectrale du système auditif.

3- Luminosité. La luminosité est codée en amplitude d'oscillation, c'est-à-dire en intensité du son émis. La valeur de chaque pixel associé à un oscillateur sinusoïdal, représente un des seize niveaux de gris possibles. L'amplitude de la sinusoïde est déterminée par le niveau de gris du pixel correspondant : plus le pixel est clair, plus l'amplitude de l'oscillation (l'intensité du son) est importante. Ainsi, l'expérience visuelle de la luminosité est traduite en expérience auditive de l'intensité. Par conséquent, un silence correspond à un pixel noir et un son intense correspond à un pixel blanc. Toutes les intensités intermédiaires correspondent à des nuances de gris.

Exemples : une ligne claire en diagonale, allant d'en bas à gauche à en haut à droite, sur fond noir, est entendue comme un son s'accroissant en hauteur. Deux lignes donnent deux sons. Deux points distincts donnent deux courts bips, etc.

I-2-2- Participants

Six sujets voyants (chacun déclarant une audition normale) participent à ces expériences. Leur âge varie entre vingt-trois et trente-deux ans (moyenne = 27 ± 3.29). Un sujet a fait état d'un apprentissage musical. Aucun participant n'était familier avec le dispositif. Chaque sujet a effectué une session d'apprentissage et quatre sessions d'évaluation. L'ensemble de ces sessions dure en moyenne quinze heures.

I-2-3- Tâches

L'objectif des expériences présentées est d'estimer la possibilité d'une substitution sensorielle de la vision par l'audition en utilisant le dispositif The Voice. Nous avons choisi des tâches perceptives écologiquement pertinentes pour un usage quotidien : le déplacement, la localisation, la reconnaissance et la catégorisation.

I-2-4- Procédure

Les sujets prennent part à cinq sessions expérimentales : une session d'apprentissage et quatre sessions d'évaluation. Les expériences ont été effectuées dans une salle blanche, uniformément éclairée. Les participants ont les yeux bandés. Ils se tiennent en face d'une table de 70*135 cm placée contre un mur blanc. Les participants tiennent dans une main une caméra Phillips Toucam Pro portative (*webcam*) afin d'explorer leur environnement. Cette caméra est connectée à un ordinateur personnel Sony PCG-FX401. Le logiciel The Voice convertit en temps réel les images en sons stéréophoniques. Le signal résultant est transmis aux sujets par une paire d'écouteurs Sennheiser H280 pro. La procédure décrite ici est généralement la même pour chacune des quatre expériences. Les variations ou exceptions sont indiquées.

I-2-5- Session d'entraînement

Nous donnons aux participants une brève explication verbale du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons la relation entre le temps de balayage de l'image et l'emplacement vertical, la relation entre la fréquence sonore et l'emplacement horizontal et la relation entre l'intensité sonore et la luminosité.

Nous avons proposé un entraînement élémentaire aux participants. Ils sont exercés à percevoir une cible avec le dispositif et à garder le contact avec la cible lorsqu'ils se déplacent et lorsque nous déplaçons la cible. Cet apprentissage a pour objectif d'initier les participants au dispositif. Cet apprentissage implique trois composantes : 1) La compréhension du dispositif, c'est-à-dire la connaissance des différentes fonctionnalités et possibilités du dispositif. 2) La maîtrise de l'outil, c'est-à-dire savoir compenser et rester sur l'objet lorsque le sujet ou l'objet se déplacent en effectuant divers mouvements. 3) Le contrôle sensorimoteur, c'est-à-dire la maîtrise de la loi sensorimotrice liant les actions aux sensations via l'outil utilisé.

Les participants sont assis dans une pièce blanche. Ils ont les yeux bandés et sont équipés avec le dispositif The Voice. Ils tiennent dans la main droite¹ une caméra avec laquelle ils explorent leur environnement. Ils ont un casque stéréophonique sur les oreilles grâce auquel ils entendent la traduction de la scène visuelle. Nous plaçons sur la table, en face des participants, une cible noire de quatre centimètres de diamètre et de cinq centimètres de hauteur. Nous leur demandons de garder le contact avec l'objet tout en déplaçant légèrement la caméra vers la droite, la gauche, vers le haut et le bas (voir figure III-1). Puis nous leur demandons de se lever et de bouger la caméra en utilisant seulement leurs doigts, puis seulement leur main et leur poignet, puis seulement leur bras, tout en se déplaçant et en se concentrant sur les sons. Puis, nous leur demandons de déplacer l'ensemble de leur corps en gardant le contact auditif avec la cible. Dans un dernier temps, nous déplaçons lentement la cible et demandons aux sujets de la suivre. Cette session d'apprentissage dure en moyenne trois heures.



Figure III-1. Image de la session d'entraînement.

¹ Les sujets avaient le libre choix de la main dans laquelle ils tenaient la caméra. Ils ont tous choisi la main droite.

I-3- Expérience I - Déplacement et tâche de pointage

Dans une première expérience nous étudions, à travers quatre sessions d'une heure, la constitution de la métrique de ce nouvel espace perceptif. Nous étudions, lors d'une tâche de pointage, la capacité des sujets à localiser une forme carrée.

I-3-1- Protocole expérimental

Les sujets, équipés du dispositif The Voice, se tiennent à un mètre d'une table de 70*135 centimètres. Nous plaçons une cible carrée noire de 11*11*1 centimètres sur la table. Nous demandons aux sujets de localiser cette cible avec la caméra. Puis de se déplacer vers la table et de pointer sur la cible avec leur main libre (voir figure III-2). La cible peut avoir neuf emplacements possibles. L'emplacement de la cible varie selon trois positions horizontales (à 20, 40 et 60 cm du bord de la table) et trois positions verticales (à -40, 0, 40 cm du centre de la table). Les sujets effectuent dix-huit essais, deux pour chaque emplacement. Nous mesurons le temps pris pour se déplacer et pour effectuer un pointage réussi sur la cible (un pointage est réussi lorsque le participant touche la cible).



Figure III-2. Image de l'expérience 1.

I-3-2- Plan expérimental

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_6 * E_9 * P_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où les facteurs principaux systématiques sont :

- E : Emplacement de la cible (trois emplacements verticaux et trois emplacements horizontaux possibles).
- P : Présentation de la cible au même emplacement (horizontal et vertical)

Le temps mis par les sujets pour pointer correctement sur la cible constitue notre variable dépendante. Cette variable est exprimée en seconde.

I-3-3- Résultats

Les sujets parviennent assez facilement à localiser la cible et à pointer sur elle ($99.77 \pm 70.52 \text{ s.}^2$). Les performances des sujets sont meilleures lors de la seconde présentation de la cible au même emplacement ($82.2 \pm 38.5 \text{ s.}$) que lors de la première présentation ($117.5 \pm 30.6 \text{ s.}$). Cet effet est significatif ($F(1, 5) = 6.58$; $p < 0.05$).

Afin d'évaluer l'effet de l'emplacement vertical de la cible sur les performances des sujets, nous effectuons une analyse de variance (ANOVA) comportant deux facteurs de mesures répétées : le facteur « position verticale de la cible » à trois niveaux et le facteur « présentations successives de la cible au même emplacement vertical » à six niveaux.

Les performances des sujets sont significativement affectées par l'emplacement vertical de la cible ($F(2, 10) = 17.97$; $p < .0002$) : plus la cible est éloignée, moins les sujets sont précis (voir figure III-3).

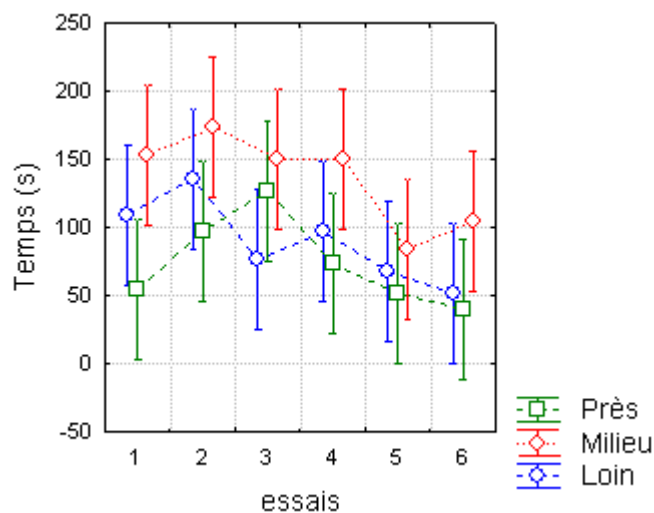


Figure III-3. Première tâche de pointage. Temps mis pour pointer correctement sur la cible, pour les trois positions verticales de la cible (près, milieu, loin). Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

² Le nombre donné après le caractère « $\pm$ » est l'écart type de la variable considérée.

I-4- Expérience II - Seconde tâche de localisation

Dans une seconde expérience, nous avons tenté de déterminer jusqu'à quel point la métrique de ce nouvel espace perceptif est acquise en demandant aux participants d'effectuer une tâche de pointage plus précise. Les sujets ont effectué deux sessions d'une heure.

I-4-1- Protocole expérimental

Les participants, équipés du dispositif The Voice, sont assis en face de la table. Ils tiennent la caméra dans leur main droite. Leur coude droit reste à la même position sur la table. Les sujets ne bougent donc que les doigts, le poignet et l'avant-bras. Nous plaçons une cible ronde de quatre centimètres de diamètre à des emplacements variés sur la table et demandons aux sujets de pointer sur elle avec leur main libre. Les sujets effectuent vingt-six essais. Nous mesurons les erreurs de pointage en fonction de la distance de la cible par rapport au coude.

I-4-2- Plan expérimental

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_6 * E_{26}$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est E : Essai.

L'erreur de pointage en fonction de la distance de la cible par rapport au coude constitue notre variable dépendante. Cette variable est exprimée en centimètre.

I-4-3- Résultats

Les résultats montrent que l'erreur moyenne de pointage est de 7.78 ± 5.07 cm. Pour établir l'influence de la distance de la cible sur l'erreur de pointage, nous avons utilisé un modèle linéaire généralisé en considérant les distances horizontales (H) et verticales (V) de la cible comme prédicteurs continus. Les résultats de cette analyse montrent que ces deux grandeurs ont une influence significative sur l'erreur (respectivement $F(1,152) = 28,17$; $p < 0,0001$ pour H et $F(1,152) = 6,96$; $p < 0,01$ pour V). Si l'on choisit comme prédicteur continu la distance à la cible (D), nous trouvons là encore un effet significatif ($F(1,153) = 29,55$; $p < 0,0001$) illustré sur la figure III-4. Ainsi, plus la cible est loin du coude, plus l'erreur de pointage est importante. L'ordre de présentation de la cible ne présente aucune influence significative sur la précision du pointage. Ce résultat ne nous surprend guère, sachant que les sujets n'ont pas de retour sur leur performance.

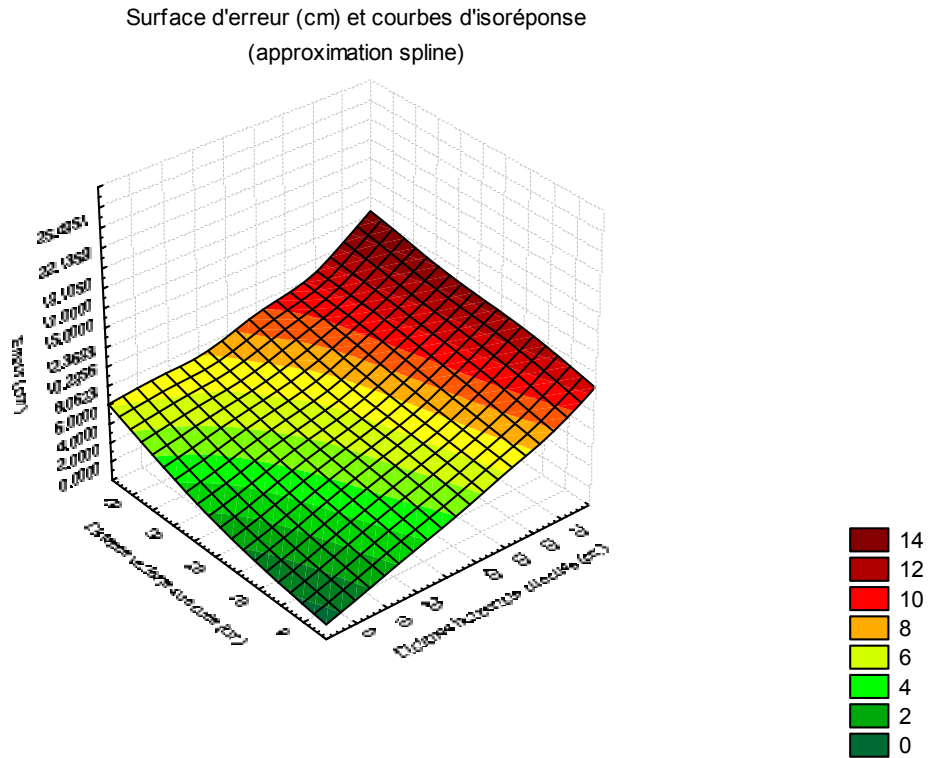


Figure III-4. Courbe de surface d'erreur (cm) en fonction de la distance horizontale (cm) et verticale (cm) au coude du participant. La surface a été obtenue par identification d'un modèle de type spline.

I-5- Expérience III - Tâche de reconnaissance

Dans une troisième expérience, nous observons pendant quatre sessions d'une heure si les sujets sont capables de reconnaître des objets grâce à leur traduction sonore.

I-5-1- Protocole expérimental

Les participants, équipés du dispositif The Voice, sont assis en face de la table blanche. Ils tiennent dans leur main droite la caméra. Lors d'une session d'apprentissage, nous demandons aux sujets d'explorer avec le dispositif dix objets de couleur sombre. Nous leur laissons cinq minutes d'exploration libre par objet, puis nous leur disons quel est l'objet exploré. Lors de la session d'évaluation, nous plaçons un des objets sur la table en face des sujets. Nous leur demandons d'explorer activement l'objet avec la caméra et de le reconnaître grâce à sa traduction sonore. Les participants sont encouragés à bouger la caméra afin d'avoir différents points de vue sur l'objet et pour en détecter les caractéristiques grâce à leurs mouvements. Ainsi, la traduction sonore varie en fonction de l'objet et en fonction du point de vue induit par la position de la main relativement à l'objet. Si les sujets ne sont pas

capables de reconnaître la forme, nous leur demandons de l'explorer en la touchant avec la main. Puis nous leur présentons un nouvel objet. Nous utilisons dix objets différents. Chaque objet est présenté cinq fois dans un ordre aléatoire. Les sujets gardent les yeux bandés durant toute l'expérience. Ils ne peuvent voir les objets et peuvent seulement les explorer grâce à leur traduction sonore ou en les manipulant. Nous mesurons le temps pris pour reconnaître l'objet correctement et le nombre d'objets énumérés avant de donner une réponse correcte.

Matériel

Pour cette expérience, nous utilisons dix objets courants : une plante, un livre, une chaussure, une statuette, une télécommande, une cuillère, une bouteille, une casserole, une petite table et un sac à main (voir figure III- 5).



Figure III-5. Exemples d'objets utilisés pour la tâche de reconnaissance.

I-5-2- Plan expérimental

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_6 * O_{10} * P_5$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où les facteurs principaux systématiques sont :

- O : Objet
- P : Présentation du même objet

Nous effectuons deux mesures sur les performances des sujets. Nous mesurons le temps pris pour reconnaître l'objet correctement ainsi que le nombre d'objets énumérés avant de donner une réponse correcte.

I-5-3- Résultats

Les participants reconnaissent les objets après en moyenne 42.4 ± 27.9 s. et énumèrent 1.57 ± 0.85 objets avant de donner la réponse correcte. Une analyse de variance (ANOVA) révèle que les performances des sujets s'améliorent significativement au cours de l'apprentissage ($F(4, 20) = 13.64, p < 0.0001$), comme le montre la figure III-6. Le temps pris pour reconnaître l'objet correctement décroît d'une moyenne de 57.6 ± 26.1 s. au début de l'expérience à une moyenne de 34.7 ± 19.3 s. à la fin de l'expérience.

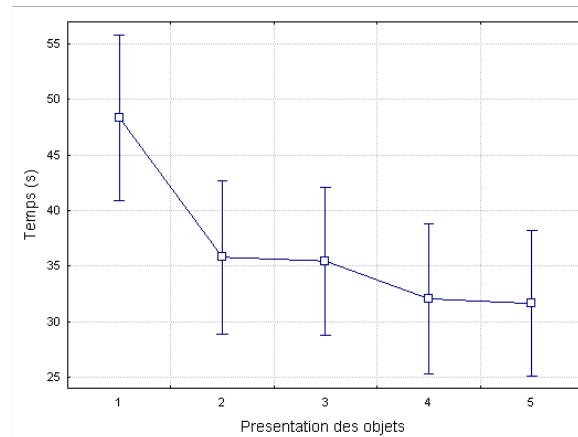


Figure III-6. Tâche de reconnaissance. Temps mis pour reconnaître correctement l'objet. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

Les performances des sujets sont également significativement affectées par le type d'objet ($F(9,45) = 9.3, p < 0.0001$), comme le montre la figure III-7. Par exemple, les sujets mettent en moyenne 60.9 ± 5.9 s. pour reconnaître le livre et 19.9 ± 3 s. pour reconnaître la plante.

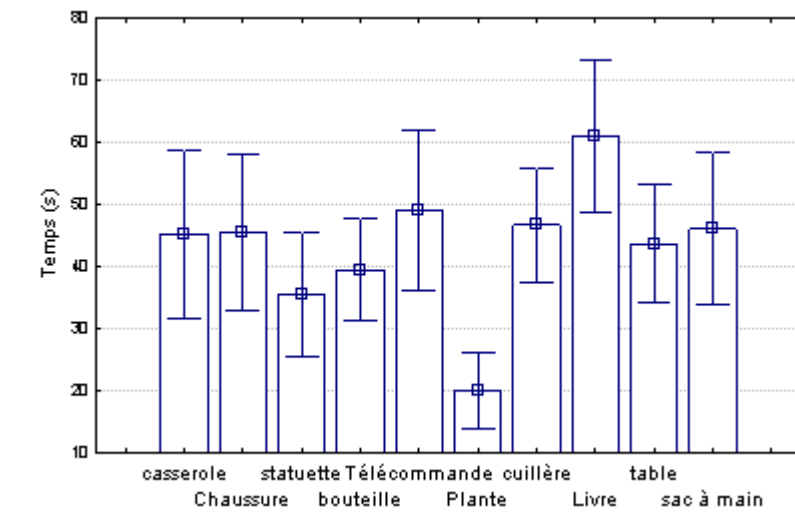


Figure III-7. Temps mis pour reconnaître correctement l'objet, en fonction des objets. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

Le temps mis pour reconnaître les objets diffère en fonction des sujets. Par exemple, le temps de reconnaissance moyen pour le sujet musicien est de 27.6 ± 2.35 s., tandis que le temps moyen des cinq autres sujets, sur l'ensemble des objets est de 46.6 ± 4.4 s.

I-6- Expérience IV - Tâche de catégorisation

Dans une quatrième expérience, nous étudions lors de quatre sessions d'une heure si les sujets, une fois qu'ils ont appris à reconnaître les différents objets, sont capables de généraliser leurs connaissances. Parviennent-ils à reconnaître et à catégoriser différentes versions des objets grâce à leur traduction sonore ?

I-6-1- Protocole expérimental

Les participants, équipés du dispositif The Voice, sont assis en face de la table blanche. Ils tiennent dans leur main droite la caméra. Lors d'une session d'apprentissage, nous demandons aux sujets d'explorer avec le dispositif neuf nouveaux objets de couleur sombre. Ces objets sont des variantes des objets utilisés lors de l'expérience précédente, c'est-à-dire des objets qui varient en taille ou légèrement en forme mais qui appartiennent à la même catégorie. Nous leur laissons cinq minutes d'exploration libre par objet, puis nous leur disons quel est l'objet exploré. Lors de la session d'évaluation, nous plaçons sur la table en face des sujets, dans un ordre aléatoire, l'un des dix objets utilisés lors de l'expérience précédente ou l'une des neuf variantes de ces objets. Nous avons sept objets possédant au moins une variante (dont deux objets présentant deux variantes). Nous demandons aux sujets d'explorer activement chaque objet avec la caméra et de le reconnaître grâce à sa traduction sonore. Si les sujets ne sont pas capables de reconnaître la forme, nous leur demandons de l'explorer avec la main. Puis nous leur présentons un nouvel objet. Nous effectuons cinquante essais.

Les dix objets utilisés précédemment étaient une plante, un livre, une chaussure, une statuette, une télécommande, une cuillère, une casserole, une bouteille, une petite table et un sac à main. Les neuf nouveaux objets sont deux chaussures différentes, deux casseroles, une petite bouteille, un sac à main, un classeur, une fourchette, une plante (voir figure III- 8).



Figure III-8. Exemples d'objets utilisés pour la tâche de reconnaissance.

Nous mesurons le temps que le sujet met à reconnaître la forme avec le dispositif, le nombre d'objets énumérés avant de donner la réponse correcte et nous calculons le pourcentage de discrimination correcte à l'intérieur de chaque catégorie d'objets.

I-6-2- Plan expérimental

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_6 * E_{50}$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est E : Essai.

Nous effectuons deux mesures sur les performances des sujets. L'exactitude des réponses des sujets dans la reconnaissance d'un objet parmi les objets d'une même catégorie constitue notre première variable dépendante. Le temps, exprimé en seconde, mis par les sujets pour reconnaître l'objet constitue notre seconde variable dépendante.

I-6-3- Résultats:

Les performances des sujets varient en fonction des objets (voir figure III-9). En ne considérant que les réponses indiquant un objet de la bonne catégorie, les résultats montrent que lorsqu'il y a trois objets possibles dans une même catégorie, le pourcentage de réponses correctes est de 56.4 % (± 11.8) ; lorsqu'il y a deux objets possibles dans une même catégorie, le pourcentage de réponses correctes est de 74.2 % (± 9.9). Pour déterminer si un pourcentage obtenu est significativement différent du seuil du hasard, nous avons calculé l'écart réduit correspondant. Ainsi, lorsque qu'il y a deux objets dans la même catégorie, le pourcentage de réponses correctes (74.2 %) est différent du seuil de 50 % au risque alpha de 5% ($er = 7.7$, $n = 159$). Lorsque qu'il y a trois objets dans la même catégorie, le pourcentage de réponses correctes (56,4 %) est différent du seuil de 33 % au risque alpha de 5% ($er = 3.94$, $n = 104$).

Les sujets prennent moins de temps pour effectuer une décision correcte (38.7 ± 27.5 s.) que pour effectuer une décision incorrecte (42 ± 31.9 s.). Ils prennent moins de temps pour reconnaître les objets qui n'ont pas de variantes (32.2 ± 24 s.) que les objets qui ont une ou plusieurs variante (40.3 ± 28 s.).

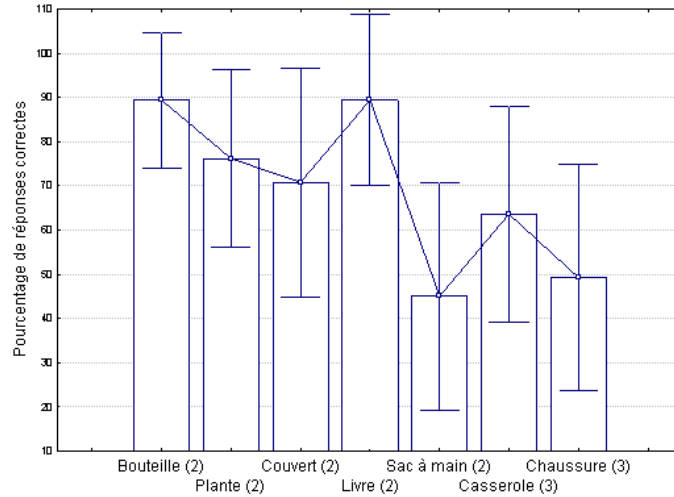


Figure III-9. Pourcentage de réponses correctes, en fonction des objets. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

I-7- Résultats concernant l'expérience qualitative des sujets

Nous avons donné aux sujets des questionnaires afin de comprendre leur appréhension subjective de ces expériences. Nous leur avons demandé pour les deux tâches de localisation et pour les tâches de reconnaissance et de catégorisation à quelle modalité sensorielle leur expérience ressemble t'elle le plus. Les résultats montrent que les tâches de localisation sont appréhendées comme ressemblant plutôt à un sens visuel ou à un sens nouveau. Les tâches de reconnaissance et de catégorisation sont perçues comme s'apparentant plus à un sens auditif, tactile ou visuel (voir figure III-10).

	Tâches de localisation	Tâches de reconnaissance
S 1	Entre visuel et un autre sens (odorat)	Tactile
S 2	Visuel	Entre visuel et tactile
S 3	Un autre sens (sonar)	Auditif
S 4	Un autre sens (sonar)	Auditif
S 5	Visuel	Auditif
S 6	Visuel	Visuel

Figure III-10. Résultats tirés du questionnaire concernant l'impression qualitative des sujets.

I-8- Résultats qualitatifs concernant la motricité et les stratégies perceptivo-motrices des sujets

Puisque les performances perceptives ont lieu grâce au couplage entre les sensations auditives et les actions effectuées sur la caméra, nous avons observé attentivement les comportements moteurs des sujets durant ces expériences. Concernant la maîtrise du dispositif, les participants n'ont aucun problème à comprendre le fonctionnement du dispositif. Ils expérimentent aisément les différentes lois liées à la recherche de l'emplacement des objets. Durant la phase d'apprentissage, tous les participants confirment que la prise de contact avec le dispositif est quasiment instantanée. Pour la totalité des sujets, le signal est facilement interprétable, le déplacement de la caméra est aisé et il est donc très facile de manipuler le signal. Les sujets ont instantanément une perception d'un « objet », qu'ils associent à une anomalie dans le bruit blanc. Ils n'ont pas de problème à trouver la cible.

Concernant le comportement moteur des sujets, nous observons qu'ils n'ont pas de problème à se mouvoir par rapport à la cible par des petits mouvements. En revanche, ils rencontrent des difficultés lorsqu'ils effectuent des mouvements plus amples : les sujets perdent plus souvent la cible et ils ont alors du mal à revenir exactement à la même position ou à retrouver le contact avec la cible. Ceci est le point le plus problématique. Ce problème peut être dû à un déficit de mémoire proprioceptive des sujets durant la tâche. La mémoire de leurs actions et de leur posture corporelle pourrait être insuffisamment précise. Lorsque les sujets perdent le contact avec l'objet, ils sont souvent incapables de revenir à leur position précédente et ils doivent très souvent reprendre leur exploration depuis le début. Dans un premier temps, pour remédier à cela, la plupart des sujets réalisent qu'ils ne peuvent faire attention à la façon dont bouge l'ensemble de leur corps. Par conséquent, ils essaient de ne bouger qu'une articulation et de garder les autres fixes. Ils peuvent soit bloquer coude et poignet et ne bouger que les doigts, soit immobiliser les doigts et l'épaule et ne bouger que l'avant-bras. Nous observons que les sujets utilisent des stratégies diverses. Petit à petit, les sujets arrivent à intégrer plus de variations de leur corps. Mais jusqu'à la fin, ils ne parviennent pas à se mouvoir avec une véritable aisance. Cette insuffisance de mémoire proprioceptive peut expliquer les difficultés des sujets à accéder précisément aux informations concernant la profondeur des objets, difficulté révélée par les deux tâches de pointage. Le délai impliqué par le temps de balayage de l'image a aussi des implications sur le

comportement moteur des sujets. Ce délai d'une seconde fait que le retour sensoriel n'est pas immédiat. Pour répondre à cette contrainte, les sujets adaptent leur mouvement : ils le hachent, afin de pouvoir se synchroniser avec le retour sensoriel. Les sujets doivent effectuer un apprentissage assez important afin de retrouver une certaine fluidité de mouvement. À la fin des quinze heures d'expérience, les sujets parviennent à se déplacer plus aisément.

Un autre point intéressant concerne la nature intuitive ou déductive des différentes tâches. Au début de l'expérience, les sujets rapportent qu'ils utilisent une approche très déductive : ils recherchent consciemment les fréquences sonores les plus élevées et les plus basses données par le dispositif. Puis, ils dépassent cette phase déductive et appréhendent plus intuitivement l'objet. Ils disent « on raisonne moins », « on fait confiance aux sons ». Mais à chaque fois qu'ils rencontrent un problème d'ajustement de leurs mouvements, ils perdent cette appréhension intuitive de la scène.

I-9- Résultats concernant la perception subjective des tâches de reconnaissance

Les résultats, ainsi que les commentaires des sujets et les résultats des questionnaires que nous leur avons donnés à la fin de l'expérience suggèrent que les sujets utilisent deux stratégies pour cette tâche de reconnaissance. Soit les sujets essaient de reconnaître une « signature auditive de l'objet », un son vraiment caractéristique. Soit ils essaient de déduire les caractéristiques de l'objet à partir d'une analyse des propriétés du son. Les sujets font quatre catégories approximatives : objets fins et allongés, objets étroits et hauts, objets à forme simple mais faits d'agréments de formes ou de deux sons distincts (comme une chaussure ou une casserole), objets plus complexes (plante, sac avec bandoulière). Puis ils associent rapidement un objet à une catégorie, mais ils ont ensuite beaucoup de mal à affiner leur reconnaissance.

L'utilisation de ces deux stratégies implique une importante variation des temps de reconnaissance en fonction des objets : certains objets ayant véritablement des sons très caractéristiques sont reconnus extrêmement rapidement. Ces deux stratégies impliquent de même une grande variabilité inter-sujet. Le sujet musicien disait notamment avoir repéré une « signature sonore » pour quasiment chaque objet. Il avait des temps de reconnaissance très bas. Il était de même capable d'affiner sa précision au point de reconnaître deux chaussures légèrement différentes. Pour les cinq autres sujets, regrouper les objets en catégories

schématiques était aisé, en revanche la précision concernant l'objet s'avérait ensuite très difficile.

Concernant la tâche de catégorisation avec généralisation, les sujets pensent majoritairement qu'ils répondent au hasard en ce qui concerne le choix de l'objet à l'intérieur d'une catégorie. La quantification des réponses correctes montre que ce n'est pas le cas et qu'ils sont au dessus du seuil du hasard.

I-10- Discussion générale

Dans ces expériences, nous avons étudié les performances de six sujets utilisant activement le dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif The Voice. Dans cette étude, les sujets ont été encouragés à manipuler activement la caméra et à expérimenter différents points de vue sur le même objet afin de le localiser et de le reconnaître grâce à leurs mouvements. Ainsi, la traduction sonore varie selon l'objet et la position de la main relativement à l'objet. La mesure du niveau de performance montre que les sujets, grâce aux interactions sensorimotrices avec la scène perceptive lors de l'utilisation du dispositif, sont capables d'utiliser des aspects importants de la stimulation auditive pour leurs déplacements, la localisation et la reconnaissance d'objets. Grâce à leur apprentissage, la perception via le dispositif devient plus automatique et le temps mis par les sujets pour effectuer les différentes tâches décroît.

La mesure du niveau de performance montre ainsi que les sujets sont capables d'utiliser une stimulation acoustique structurée consistant en une traduction de la scène visuelle afin d'effectuer différentes tâches perceptivo-motrices. Les performances des sujets montrent qu'une grande partie de l'information visuelle peut être atteinte grâce un codage auditif. Ceci illustre le fait que l'information extraite par l'utilisation de tels dispositifs ne réfère pas à une modalité sensorielle spécifique. Elle repose sur des événements particuliers structurés spatio-temporellement. Ces événements sont perçus grâce aux mouvements des sujets, mouvements qui permettent l'extraction de l'information contenue dans un arrangement spatial particulier (Epstein, 1985; Hughes, 2001; Philipona, O'Regan, & Nadal, submitted).

Concernant l'expérience qualitative des sujets, les résultats et les questionnaires donnés à la fin de l'expérience nous suggèrent deux hypothèses. En premier lieu, tous les sujets rapportent qu'une fois que la maîtrise du dispositif est achevée, ils n'ont plus à réfléchir à leurs actions, ni au code utilisé pour traduire l'information. Ils n'ont plus à mobiliser une activité cognitive importante afin d'interpréter l'information, ou tout du moins à déduire consciemment la nature et la position des objets distaux à partir de la stimulation proximale. Ils ont un accès direct aux informations perçues. Ceci est une des étapes importantes de l'immersion, étape que nous avons appelée présence distale. En second lieu, les résultats concernant l'expérience qualitative des sujets suggèrent que ce dispositif ne donne pas accès, à proprement parler, à une expérience visuelle. Certaines tâches leur sont apparues plus proches d'une expérience auditive, d'autres plus proches d'une expérience visuelle ; parfois les sujets estiment que leur appréhension s'apparente plus au toucher, à l'odorat ou à quelque chose de nouveau. Certains sujets rapportent, lors des questionnaires, que leur expérience s'apparente à la maîtrise d'un nouvel outil. Ils utilisent ce dispositif comme un outil et en acquièrent la maîtrise facilement, car comme un participant le note : « nous sommes habitués à étendre nos corps à travers des machines exactement comme lorsque nous apprenons à conduire une voiture ou à utiliser un ordinateur ».

En conclusion, nous aimerions souligner deux points. En premier, le dispositif ne donne pas véritablement accès à une modalité sensorielle déterminée, mais est appréhendé comme un outil. En second, le dispositif peut devenir entièrement transparent et donner un accès direct à l'environnement. Mais, cette transparence des dispositifs techniques s'observe de tous les dispositifs suffisamment intégrés : l'apprentissage d'un dispositif est réussi lorsque nous oublions sa présence. En d'autres termes, l'apprentissage perceptif est justement l'oubli de la construction technique de cette perception (Lenay, 2002). Lorsque nous nous habittons à nos lunettes, nous n'en voyons plus les montures, elles disparaissent de notre perception ; lorsque nous conduisons une voiture, nous oublions que les vibrations sont produites sur la tôle, et nous les localisons sous les roues, sur la route ; et lorsque nous jouons à des jeux vidéos d'action, nous oublions parfois que nous sommes assis dans un salon à appuyer sur des boutons. Ainsi, nos relations naturelles avec l'environnement se modifient en fonction des modes de couplage que nous utilisons. Nos sensations et la distinction entre nos sens se modifient et se redéfinissent à chaque fois que nous utilisons une nouvelle interface de mise en relation de notre corps avec l'environnement.

II- Expérience II

Attribution distale et reconnaissance de formes avec un dispositif minimaliste

II-1- Introduction

Nous allons dans cette seconde expérience étudier la constitution et la maîtrise de l'espace perceptif ouvert par un outil à travers l'exemple d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste.

Comme nous l'avons vu lors des deux chapitres précédents, lorsque nous nous saisissons d'un nouveau dispositif de couplage avec l'environnement (un outil, une prothèse, un dispositif de substitution sensorielle) ou lorsque nous sommes dans un environnement simulé, notre couplage sensorimoteur naturel est modifié. Nos moyens d'action et les sensations auxquelles nous avons accès sont transformés. Dès lors, comment parvenons-nous à recréer et à maîtriser un nouvel espace perceptif à partir de ce couplage ?

La construction d'un nouvel espace perceptif résulte d'abord d'une spatialisation de l'action - c'est-à-dire la compréhension de nos actions comme étant des mouvements dans l'espace perceptif distal - et ensuite d'une extériorisation des objets, c'est-à-dire l'attribution de l'origine de nos sensations à une source située dans l'espace perceptif distal.

Poincaré (1907) défend l'idée que la notion d'espace ne naît pas de nos stimulations sensorielles prises isolément, qu'elle ne préexiste pas à l'activité du sujet : elle est construite sur la base des lois structurant la succession de ses impressions sensorielles (voir chapitre I). Plus précisément, la construction d'un espace se baserait sur la notion de réversibilité. Les suites d'ordres moteurs, qui peuvent du point de vue des inputs sensoriels résultants être annulées par d'autres suites d'ordres moteurs, déterminent en effet une structure de groupe : la structure des mouvements pour le couplage sensorimoteur considéré.

II-1-1- La constitution d'un nouvel espace perceptif en l'absence d'une spatialité des informations sensorielles

Dans le cas de l'appropriation d'un nouveau dispositif technique, pour pouvoir montrer que la notion d'espace perceptif distal est *construite* à partir des nouvelles lois structurant la succession des impressions sensorielles, il faut montrer que cette construction n'est pas une simple transposition d'un espace perceptif déjà connu. Ceci pourrait survenir si l'information sensorielle délivrée par le dispositif au sujet peut être interprétée comme une information sensorielle sur l'espace perceptif déjà connu et constitué (par exemple, dans le cas extrême d'une caméra subjective sur un monde virtuel copie du monde physique).

Il s'agit donc de montrer que la constitution d'un espace perceptif distal est possible alors que les stimulations sensorielles ne sont pas interprétables par les sujets comme véhiculant une information sur un espace perceptif déjà connu. Comme nous l'avons précédemment évoqué dans le chapitre I, cette possibilité peut être explorée grâce à des dispositifs minimalistes. Le dispositif mis au point par le groupe Suppléance Perceptive de Compiègne (Lenay, 2002) consiste en une simple cellule photoélectrique fixée sur l'index d'une main et connectée à un stimulateur vibrotactile tenu dans l'autre main. Le stimulateur vibrotactile réagit en tout ou rien lorsque l'intensité lumineuse captée par la cellule en tout ou rien dépasse son seuil d'activation (voir figure III-10).

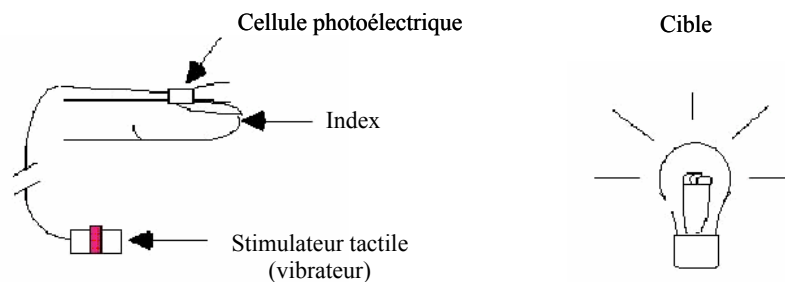


Figure III-10. Le dispositif de Lenay.

Un tel dispositif a un seul point de stimulation correspondant à un seul champ récepteur. La stimulation sensorielle obtenue via ce dispositif est donc réduite à une simple séquence temporelle binaire : une suite de 0 et de 1, où « 1 » correspond à un retour sensoriel et « 0 » à une absence de stimulation. Dans ce cas, les données sensorielles se résument à une succession de stimulations tactiles, incapables par elles-mêmes de suggérer une interprétation spatiale.

Bien que placés dans ces conditions limites, les sujets, les yeux bandés, développent des capacités d'extériorisation et de localisation spatiale. Rapidement, grâce au contrôle de la position de la cellule, la succession temporelle des sensations reçues semble renvoyer à un unique objet distal. Au bout de quelques minutes de cette exploration libre, les sujets parviennent à indiquer la direction et une distance approximative de la cible lumineuse (Hardy et al., 2000). Soulignons, qu'en cas d'immobilité, l'expérience d'un objet comme distal disparaît. Lorsque le sujet cesse son activité exploratoire, la stimulation tactile est soit présente, soit absente, mais rien ne donne à penser que l'origine de cette sensation est celle d'un objet extérieur. Une telle perception ne persiste que dans le temps de l'activité exploratoire (Lenay 2002). Lors de l'utilisation d'un tel dispositif, la perception d'un objet distal est clairement distinguée de la stimulation sensorielle : le lieu où se produisent effectivement les sensations est oublié. De plus, la nature exacte de la stimulation sensorielle et son emplacement n'ont pas d'influence sur les performances des sujets. La stimulation peut être une vibration ou une stimulation auditive en tout ou rien, le dispositif vibro-tactile peut être déplacé sur une autre partie du corps, l'adaptation se fait immédiatement. L'utilisateur retrouve une perception distale des objets qu'il explore. Ces résultats nous laissent supposer que la perception spatiale d'un objet ne se fonde pas sur une image sensorielle particulière, mais repose sur la structure des lois régissant la régularité dans la relation entre variation d'action et variation de la sensation.

Ainsi, les utilisateurs d'un dispositif minimaliste semblent capables de constituer leurs actions comme déplacements et de comprendre les variations de stimulations comme changements de position relativement à un objet extérieur et localisé dans l'espace. Cependant, cette constitution peut s'appuyer sur une boucle proprioceptive antérieurement acquise par les sujets et non perturbée par le dispositif : les commandes motrices, via cette boucle, sont déjà constituées en mouvements dans un espace.

Il reste donc à montrer que la constitution d'un espace perceptif est possible lorsque les actions des utilisateurs ne sont pas d'emblée comprises comme étant des déplacements.

II-1-2- La constitution d'un nouvel espace perceptif avec modification des moyens d'action

Afin de montrer que les utilisateurs d'un nouveau dispositif peuvent véritablement *constituer* un nouvel espace perceptif distal, il nous faut transformer leurs moyens d'action de façon à perturber la boucle proprioceptive.

Ainsi, pour montrer qu'une constitution de l'espace perceptif distal est possible sans être dérivée d'un espace perceptif préexistant, il nous faut 1) déterminer un espace de déplacements différent de notre espace acquis ; 2) que les utilisateurs d'un tel dispositif ne sachent pas que leurs actions correspondent à des déplacements dans un espace perceptif distal ; 3) que l'extéroception correspondant aux actions des utilisateurs ne contienne aucune information spatiale.

II-1-3- Objectifs des expériences

Nous recherchons les conditions minimales pour que la genèse d'un nouvel espace perceptif et sa maîtrise soient possibles. Pour cela, nous avons développé un logiciel dans lequel nous établissons un lien entre les mouvements de l'utilisateur (mouvements de la souris ou des touches du clavier) et une stimulation sensorielle (visuelle ou auditive). L'ordinateur génère soit un son aigu ou grave, soit un carré de couleur blanche ou noire à l'écran, qui varient en fonction de l'exploration d'une forme invisible à l'écran. Afin de savoir quelles sont les conditions techniques permettant au mieux de constituer et de maîtriser un nouvel espace perceptif distal, nous faisons varier notre dispositif expérimental. Dans une première série d'expériences, les déplacements de l'utilisateur sont permis par le déplacement d'une souris et deux touches du clavier. Dans une seconde série d'expériences, les déplacements de l'utilisateur ne sont permis que par les déplacements d'une souris. Et dans une troisième série d'expériences, les déplacements de l'utilisateur s'effectuent au moyen de quatre touches du clavier.

Les expériences présentées explorent deux questions : celle de la genèse d'un nouvel espace perceptif et celle de la maîtrise de ce nouvel espace perceptif. Chaque série d'études est divisée en trois expériences. Dans la première, nous étudions la question de la genèse de la notion d'espace dans un nouvel environnement perceptif. Dans ce cas, les utilisateurs d'un dispositif inconnu pour eux ne savent pas que leurs actions déterminent le déplacement d'un champ récepteur dans un espace perceptif distal. Nous recherchons quelles sont les conditions pour qu'ils comprennent leurs actions comme étant des déplacements et les variations de stimulations comme étant des changements de position relativement à un objet situé dans l'espace perceptif distal. Dans les deux expériences suivantes, nous explorons la question de la maîtrise d'un nouvel espace perceptif. Nous demandons aux utilisateurs de reconnaître des formes géométriques simples dans ce nouvel environnement. Dans la seconde expérience, les utilisateurs effectuent cette tâche uniquement grâce aux déplacements qui leur sont permis et au lien qu'ils peuvent extraire entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante. Dans

la troisième expérience, nous donnons aux sujets une indication des déplacements qu'ils effectuent dans l'espace perceptif distal sous la forme d'une représentation visuelle, sur l'écran, de la position du champ récepteur. Nous recherchons quelles sont les conditions pour que les utilisateurs d'un dispositif parviennent à reconnaître les objets de ce nouvel environnement.

De plus, il s'agit d'observer si les capacités des sujets à abstraire et à maîtriser un nouvel espace perceptif dépendent de la nature du retour sensoriel. Pour cela, nous faisons varier le retour sensoriel auquel les utilisateurs ont accès. L'ordinateur peut générer soit un son aigu ou grave, soit un carré de couleur blanche ou noire à l'écran, variant en fonction de l'exploration de la forme cachée à l'écran. Chaque sujet effectue des tâches de reconnaissance de formes avec un retour sensoriel visuel et avec un retour sensoriel auditif.

II-1-4- Participants

Au total, trente sujets voyants participent à ces expériences. Ils sont répartis sur les trois séries expérimentales : dix sont affectés à une série expérimentale au sein de laquelle, ils effectuent chacun trois sessions. La durée moyenne de l'ensemble des trois sessions est de trente minutes.

II-2- Expérience I - Déplacements horizontaux, verticaux et en rotation

II-2-1- Méthode générale

II-2-1-1- Objectif des expériences

Nous recherchons les conditions de la genèse et de la maîtrise d'un nouvel espace perceptif grâce à un dispositif permettant aux utilisateurs à la fois de se déplacer dans un environnement simulé et de percevoir un objet de cet environnement grâce à un point de vue donné. Nous simulons ainsi la vision : le retour sensoriel a lieu lorsque le champ récepteur est, non pas sur la forme, mais dans l'axe pour la percevoir.

II-2-1-2- Appareillage

L'utilisateur commande les déplacements d'un champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran. Ce champ récepteur correspond au corps distal (ou avatar) du sujet. Le champ récepteur peut être déplacé grâce à deux touches du clavier d'un ordinateur (les touches A et Z) et une souris. La souris détermine ses déplacements horizontaux et verticaux et les deux touches du clavier déterminent son orientation. La cible est une forme

géométrique simple. Cette forme est invisible à l'écran. Mais elle donne lieu, lorsque le champ récepteur est dans l'axe pour la percevoir, à un retour sensoriel en tout ou rien. Le retour sensoriel peut être soit auditif, soit visuel. Le signal auditif correspond à un son aigu lorsque le champ récepteur est dans l'axe de la cible et grave lorsqu'il ne l'est pas. Le signal visuel consiste en un carré de couleur à l'écran, blanc lorsque le champ récepteur est dans l'axe de la cible et noir lorsqu'il ne l'est pas (voir figure III-11).

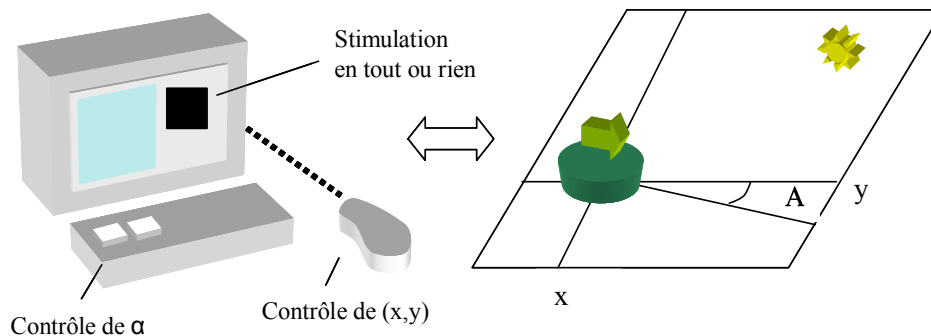


Figure III-11. Schéma du dispositif de l'expérience I.

La vitesse de rotation du champ récepteur étant constante, son orientation dépend du temps passé à appuyer sur une touche. Par conséquent, les utilisateurs devraient pouvoir, en théorie, lier leurs actions aux inputs sensoriels qui en résultent et en déduire la distance et l'orientation de la cible. Ils devraient obtenir l'impression d'être plus ou moins loin de la cible en fonction du nombre de mouvements qu'il leur faut effectuer afin de l'atteindre.

Dans un premier temps, les utilisateurs vont se familiariser avec le dispositif et constituer, par apprentissage, un nouveau mode de perception. Nous étudierons si les utilisateurs parviennent à comprendre qu'ils se déplacent dans un environnement simulé. Dans un second temps, nous étudierons si les utilisateurs parviennent à reconnaître la cible cachée, sans puis avec une représentation visuelle de l'emplacement du champ récepteur à l'écran.

II-2-2- Expérience I-1- Principe de l'expérience inconnu

II-2-2-1- Méthode

Les sujets sont assis face à l'écran d'un ordinateur doté du logiciel. Nous leur disons qu'ils peuvent utiliser les touches A et Z du clavier de l'ordinateur et la souris. Nous ne leur expliquons pas le fonctionnement du dispositif. Pour la moitié des sujets, le retour sensoriel est visuel, et pour l'autre moitié des sujets, le retour sensoriel est auditif. Nous laissons aux

sujets cinq minutes d'exploration libre et leur demandons de commenter à voix haute les impressions qu'ils ont par rapport à la stimulation sensorielle. À la fin de l'expérience nous leur posons quatre questions afin de déterminer ce qu'ils ont compris du dispositif :

- À quoi sert la souris ?
- À quoi servent les deux touches du clavier ?
- À quoi sont dus les changements de couleurs / les changements de sons ?
- Si les sujets ont compris que la stimulation sensorielle varie en fonction d'une forme explorée à l'écran, nous leur demandons de préciser si la variation a lieu lorsque leur champ récepteur est sur l'objet ou lorsqu'il qu'il est dans l'axe pour percevoir l'objet.

II-2-2-2- Participants et plan expérimental

Dix sujets participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $S_5 < R_2 >$

Où S est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R , avec R_1 : retour sensoriel visuel et R_2 : retour sensoriel auditif.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-2-2-3- Résultats

Lorsque aucune explication n'est donnée aux sujets, le fonctionnement du dispositif leur est très difficilement compréhensible. Sept sujets sur les dix comprennent que les déplacements de la souris permettent le déplacement d'un champ récepteur dans l'espace de l'écran (quatre sujets sur les cinq ayant effectué l'expérience avec un retour visuel et trois sujets sur les cinq ayant effectué l'expérience avec un retour auditif). La compréhension de ce déplacement est fréquemment donnée par analogie avec le déplacement d'un curseur. En revanche, seulement deux sujets comprennent que les touches du clavier permettent de déterminer l'orientation du champ récepteur (les deux sujets ont effectué l'expérience avec un retour visuel). Cinq sujets comprennent que la stimulation sensorielle varie en fonction d'une forme cachée à l'écran (trois en visuel, deux en auditif) et seulement deux sujets (en visuel) comprennent que cette variation a lieu, non pas lorsque le champ récepteur est sur la forme, mais lorsqu'il est dans l'axe pour percevoir cette forme.

II-2-3- Expérience I-2- Principe de l'expérience connu, sans représentation visuelle

II-2-3-1- Méthode

Dans une seconde expérience, nous donnons aux sujets une explication du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons comment les touches du clavier et les mouvements de la souris déterminent les déplacements d'un champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran et comment la stimulation sensorielle varie en fonction de la position du champ récepteur par rapport à une forme géométrique invisible à l'écran. Nous demandons aux sujets de reconnaître la forme invisible à l'écran en fonction du retour sensoriel. Les sujets ont six formes à reconnaître à l'écran. Trois avec une stimulation sensorielle visuelle et trois avec une stimulation sensorielle auditive. La moitié des sujets commence avec trois formes à reconnaître avec un retour sensoriel visuel, puis trois autres formes à reconnaître avec un retour sensoriel auditif. L'autre moitié des sujets commence avec le retour sensoriel auditif. Les formes à reconnaître sont prises dans un ensemble de trois formes : cercle, triangle et carré.

II-2-3-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience I-1 participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $S_5 <O_2> * R_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R_1 : stimulation visuelle et R_2 : stimulation auditive ; le facteur Ordre est un facteur secondaire contrebalancé : O_1 : d'abord la modalité visuelle puis auditive et O_2 : inverse.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-2-3-3- Résultats

Les sujets ne parviennent pas à reconnaître les formes géométriques cachées à l'écran. La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance de formes est de 0.25 ± 0.4 .

Nous effectuons deux analyses de variance séparées, respectivement sur : $\underline{S}_{10} * R_2$ (nature du retour sensoriel) ; $\underline{S}_5 <O_2>$ (ordre du retour sensoriel : la moitié des sujets commence avec un retour sensoriel visuel puis avec un retour sensoriel auditif ; l'autre moitié des sujets effectue l'expérience dans l'ordre inverse).

Les sujets semblent avoir de meilleures performances avec un retour sensoriel sonore (0.27 ± 0.45) qu'avec un retour sensoriel visuel (0.23 ± 0.43). Cependant, l'effet de ce facteur n'est pas significatif ($F < 1$).

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'effet sur les performances des sujets ($F < 1$), les sujets ont des performances similaires lorsqu'ils commencent par la reconnaissance visuelle (0.24 ± 0.44) que lorsqu'ils commencent par la reconnaissance auditive (0.27 ± 0.5).

II-2-4 Expérience I-3- Principe de l'expérience connu, avec représentation visuelle

II-2-4-1- Méthode

Nous donnons aux sujets une représentation visible du déplacement du champ récepteur sous la forme d'une flèche orientée précisant la position et l'orientation du champ récepteur. Par simplicité, nous appellerons dans cette expérience « représentation visuelle » cette représentation visible sur l'écran, de la position du champ récepteur. Nous supposons que grâce à cette représentation visuelle les sujets parviendront à un meilleur contrôle de leurs déplacements et que leurs capacités de reconnaissance de formes seront facilitées. Les sujets sont placés dans les mêmes conditions expérimentales que lors de l'expérience précédente.

II-2-4-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience I-1 et I-2 participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_5 < O_2 > * R_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R_2 (R_1 : retour visuel et R_2 : retour auditif) et à nouveau, nous avons le facteur secondaire contrebalancé, ordre (O_1 : visuel puis auditif et O_2 : ordre inverse).

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-2-4-3- Résultats

Bien que les sujets maîtrisent leurs déplacements, ils ne parviennent pas à reconnaître les formes géométriques cachées à l'écran. La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance de formes est de 0.3 ± 0.47 .

Nous effectuons deux analyses de variance séparées, respectivement sur : $\underline{S}_{10} * R_2$ (nature du retour sensoriel) ; $\underline{S}_5 < O_2 >$ (ordre du retour sensoriel).

Les sujets ont des performances équivalentes avec un retour sensoriel visuel (0.3 ± 0.47) et avec un retour sensoriel sonore (0.33 ± 0.48). L'effet de ce facteur n'est pas significatif ($F < 1$).

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'influence sur les résultats des sujets ($F < 1$).

II-2-5- Discussion

Concernant la genèse d'un nouvel espace perceptif, les sujets ont de grandes difficultés à comprendre leurs actions comme étant des déplacements dans un espace perceptif distal. Le maniement des deux touches du clavier est la condition qui pose le plus problème. D'autre part, bien que la moitié des sujets comprenne que la stimulation sensorielle varie en fonction d'un objet invisible à l'écran, un sujet seulement comprend qu'il s'agit d'un point de vue sur l'objet.

Concernant la maîtrise de ce nouvel espace perceptif, les sujets ne parviennent pas à reconnaître les formes cachées à l'écran. Leurs performances, lors des tâches de reconnaissance avec et sans retour visuel, demeurent en dessous du seuil du hasard.

À la fin de la première tâche de reconnaissance, nous pensions que cette difficulté pouvait provenir du caractère trop artificiel du dispositif. En effet, les expériences réalisées en substitution sensorielle par Lenay (2002) et Bach-y-Rita (1969) se situent dans un cadre où la représentation des mouvements du corps est déjà établie. L'espace des déplacements du sujet n'est pas remis en question, la seule modification est celle d'un nouveau mode d'accès à la stimulation sensorielle. Ainsi, la représentation des déplacements du sujet est déjà *acquise, cohérente et continue*. En revanche, dans nos expériences, la représentation des déplacements n'est pas *acquise*. Les sujets doivent effectuer un apprentissage nouveau, celui du maniement des deux touches du clavier et de la souris. Cette représentation n'est pas forcément *cohérente*. Nous avons uniquement pris en compte comme input sensoriel les stimuli auditifs ou visuels générés par notre logiciel. Or, les utilisateurs disposaient d'une quantité d'autres inputs d'importance, comme les informations proprioceptives provenant de la manipulation de la souris et des touches du clavier. Et ces informations proprioceptives ne sont pas identiques à celles obtenues pour un mouvement correspondant dans un environnement naturel. Ainsi, l'apprentissage de ce nouveau dispositif ne peut s'appuyer facilement sur nos sens proprioceptifs. Cette représentation n'est pas *continue*. Ceci est dû au caractère artificiel du fonctionnement de la souris, qui n'a plus d'action lorsqu'on la soulève du plan de travail. Le point de référence du sujet est le premier point de contact de la souris avec la table. De plus, les coordonnées de la souris sont bornées par l'espace de l'écran, ce qui n'est pas le cas pour les déplacements du corps.

Lors de l'usage d'un ordinateur, ces limitations sont habituellement dépassées grâce à la représentation du curseur. L'utilisation d'une souris se fait sans intervention cognitive et conduit à une extériorisation : nous déplaçons le curseur, pas la souris. Cette différence peut venir du fait que dans notre utilisation habituelle d'un ordinateur, la position du curseur, déterminée par les déplacements de la souris, est continuellement visible. Nous avons supposé qu'en donnant aux sujets une représentation visible de la position du champ récepteur, le contrôle de leurs déplacements et leurs capacités de reconnaissance de formes seraient facilités. Cela n'a pas été le cas. Les performances des sujets sont restées en dessous du seuil du hasard.

Trois hypothèses peuvent être avancées pour expliquer l'échec des sujets. En premier lieu, le sujet est placé dans une situation non naturelle qui pourrait avoir ralenti le processus d'acquisition du dispositif. Dans ce cas, la maîtrise du dispositif aurait nécessité un temps d'apprentissage plus long. En second lieu, la manipulation des touches du clavier - et notamment sa trop grande distance avec ce que nous avons antérieurement appris comme étant des déplacements - peut empêcher les sujets de parvenir à maîtriser ce nouvel espace. En troisième lieu, le déplacement de la souris peut manquer de précision et ainsi empêcher les sujets d'extraire une loi de co-variation suffisamment précise entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante.

Afin de déterminer si l'incapacité des sujets à maîtriser ce nouvel espace provient d'un manque d'apprentissage, de l'artificialité du maniement des touches du clavier ou du manque de précision du déplacement de la souris, nous effectuons deux séries d'expériences dans lesquelles nous simplifions notre dispositif expérimental. Dans une première série d'expériences, les déplacements des sujets s'effectuent par la manipulation de quatre touches du clavier. Dans une seconde série d'expériences, les déplacements des sujets s'effectuent uniquement par le déplacement d'une souris.

II-3- Expérience II - Déplacements contrôlés par les touches d'un clavier

II-3-1- Méthode générale

II-3-1-1- Objectif de l'expérience

L'utilisation des touches d'un clavier, pour générer un déplacement, produit un mouvement plus précis mais moins naturel que celui offert par l'utilisation d'une souris. Nous faisons l'hypothèse que cette précision permet aux utilisateurs d'établir plus facilement une

loi de co-variation déterminée entre leurs actions et les retours sensoriels. Nous postulons que la connaissance de cette loi leur permettra de maîtriser le dispositif en dépit de son caractère peu naturel. Dans cette série d'expériences, nous étudions si l'incapacité des sujets à maîtriser le dispositif précédent provient du manque de précision du déplacement de la souris. Nous simplifions notre dispositif expérimental. Le retour sensoriel varie non plus en fonction d'un point de vue sur l'objet, mais lorsque le champ récepteur est sur la forme à percevoir. Les sujets utilisent pour leurs déplacements uniquement quatre touches du clavier d'un ordinateur.

II-3-1-2- Appareillage

Quatre touches du clavier d'un ordinateur permettent le déplacement d'un champ récepteur dans l'espace de l'écran. Nous utilisons les quatre touches alignées horizontalement A, Z, E, R d'un clavier français. Les deux premières touches (A et Z) permettent un déplacement horizontal et les deux suivantes (E et R) engendrent un déplacement vertical. À chaque fois qu'une touche est pressée, le champ récepteur, invisible à l'écran, effectue un déplacement déterminé. La cible est une forme géométrique simple, invisible à l'écran. Un retour sensoriel en tout ou rien varie en fonction des déplacements du sujet. Ce retour sensoriel peut être auditif : un son aigu lorsque le sujet est sur la cible et grave lorsqu'il ne l'est pas. Le retour sensoriel peut être visuel : un carré blanc à l'écran lorsque le sujet est sur la cible et noir lorsqu'il ne l'est pas (voir figure III-12).

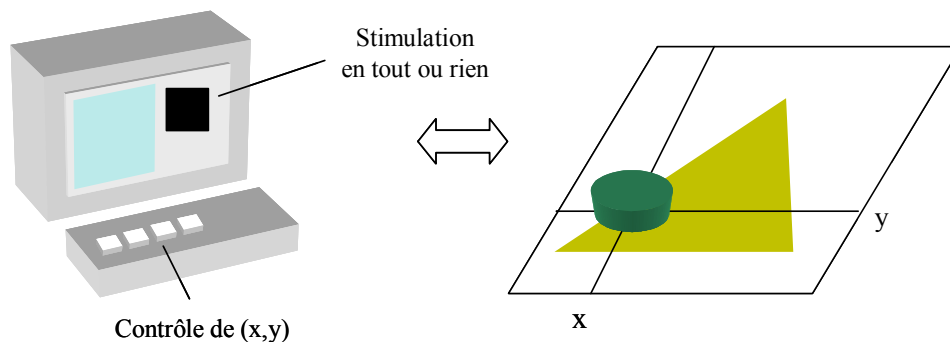


Figure III-12. Schéma du dispositif de l'expérience II.

II-3-2- Expérience II-1- Principe de l'expérience inconnu

II-3-2-1- Méthode

Les sujets sont assis, face à l'écran d'un ordinateur doté du logiciel. Nous leur disons qu'ils peuvent utiliser les touches A, Z, E, R du clavier de l'ordinateur. Nous ne leur expliquons pas le fonctionnement du dispositif. Pour la moitié des sujets, le retour sensoriel

est visuel, et pour l'autre moitié des sujets, le retour sensoriel est auditif. Nous laissons aux sujets cinq minutes d'exploration libre et leur demandons de commenter à voix haute les impressions qu'ils ont par rapport à la stimulation sensorielle. À la fin de l'expérience, nous leur posons deux questions afin de déterminer ce qu'ils ont compris du dispositif :

- À quoi servent les quatre touches du clavier ?
- À quoi sont dus les changements de couleurs / les changements de sons ?

II-3-2-2- Participants et plan expérimental

Dix sujets participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $S_5 < R_2 >$

Où S est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R , avec R_1 : retour sensoriel visuel et R_2 : retour sensoriel auditif.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-3-2-3- Résultats

Seuls trois sujets sur les dix comprennent que la manipulation des touches du clavier permet le déplacement d'un champ récepteur dans l'espace de l'écran (deux sujets sur les cinq ayant effectué l'expérience avec un retour visuel et un sujet sur les cinq ayant effectué l'expérience avec un retour auditif). Ces trois sujets ont compris que la stimulation sensorielle variait en fonction d'une forme cachée à l'écran.

II-3-3- Expérience II-2- Principe de l'expérience connu, sans représentation visuelle

II-3-3-1- Méthode

Dans une seconde expérience, nous donnons aux sujets une explication du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons comment les touches du clavier déterminent les déplacements d'un champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran et comment la stimulation sensorielle varie en fonction de la position du champ récepteur sur une forme géométrique invisible à l'écran. Nous demandons aux sujets de reconnaître la forme cachée à l'écran en fonction du retour sensoriel. Les sujets ont six formes à reconnaître à l'écran. Trois avec une stimulation sensorielle visuelle et trois avec une stimulation sensorielle auditive. La moitié des sujets commence avec trois formes à reconnaître avec un retour sensoriel visuel, puis trois autres formes à reconnaître avec un retour sensoriel auditif. L'autre moitié des sujets commence avec le retour sensoriel auditif. Les formes à reconnaître sont prises dans un ensemble de trois formes : cercle, triangle et carré.

II-3-3-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience 2-1 participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_5 < O_2 > * R_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R : R_1 : retour sensoriel visuel et R_2 : retour sensoriel auditif. Un facteur secondaire contrebalancé : le facteur ordre de passation (O_1 : visuel puis l'auditif, et O_2 : inverse)

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-3-3-3- Résultats

La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance des formes géométriques est de 0.73 ± 0.45 .

Nous effectuons deux analyses de variance séparées, respectivement sur : $\underline{S}_{10} * R_2$ (nature du retour sensoriel) ; $\underline{S}_5 < O_2 >$ (ordre du retour sensoriel).

Les sujets ont des performances équivalentes avec un retour sensoriel visuel (0.77 ± 0.43) et avec un retour sensoriel sonore (0.7 ± 0.47). L'effet de ce facteur n'est pas significatif ($F < 1$).

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'influence sur les résultats des sujets ($F < 1$).

II-3-4- Expérience II-3- Principe de l'expérience connu, avec représentation visuelle

II-3-4-1- Méthode

Dans une troisième expérience, nous donnons une représentation visible, sous la forme d'un petit cercle noir, de la position du champ récepteur à l'écran. Les sujets sont placés dans les mêmes conditions expérimentales que lors de l'expérience précédente.

II-3-4-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience 2-1 et 2-2 participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le même que celui de l'expérience précédente II.2.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-3-4-3- Résultats

La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance des formes géométriques est de 0.86 ± 0.34 .

A nouveau, nous effectuons deux analyses de variance séparées comme pour l'expérience précédente II.2. Les sujets ont des performances similaires avec un retour sensoriel visuel (0.9 ± 0.31) et avec un retour sensoriel sonore (0.83 ± 0.38), l'effet de ce facteur n'étant pas significatif.

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'influence sur les résultats des sujets ($F < 1$).

II-3-5- Discussion

Les utilisateurs de ce dispositif sont peu nombreux à comprendre que les quatre touches du clavier leur permettent de se déplacer dans un environnement simulé et que la stimulation sensorielle varie en fonction d'un objet invisible à l'écran.

Les sujets ont commencé par presser les touches du clavier de manière aléatoire, induisant par là des changements de couleur ou de son. Pour la majorité des sujets, la première hypothèse est de rechercher quelles touches donnent un son aigu et quelle touches donnent un son grave (ou un carré de couleur blanche ou noire). L'hypothèse suivante est de rechercher quelle combinaison de touches permet d'obtenir un son aigu et quelle combinaison de touches permet d'obtenir un son grave (ou un carré de couleur blanche ou noire). Seulement trois sujets ont recherché des lois de réversibilité des changements puis ont recherché comment les touches sont liées ensemble. Ces sujets ont émis des hypothèses concernant les touches pour conclure que deux touches sont utilisées pour les déplacements horizontaux et deux touches pour les déplacements verticaux. Ces sujets savent qu'ils n'ont aucun moyen de confirmer quelle paire de touches est employée pour les déplacements horizontaux ou verticaux.

En revanche, la précision permise par l'utilisation des touches du clavier permet aux sujets de maîtriser ce nouvel espace. Leurs performances dans la reconnaissance de formes sont relativement élevées.

Afin de reconnaître la forme, l'exploration des sujets s'effectue essentiellement par une stratégie d'exploration des contours de cette forme. Les sujets essaient de suivre le contour de la forme. Lorsqu'ils sont « perdus », ils essaient de retrouver le contour de la forme à nouveau, mais ils ont l'impression qu'ils doivent recommencer leur exploration depuis le début. Certains sujets reconnaissent la forme cachée par une forme de reconstruction mentale, pas à pas, de la forme. D'autres sujets appliquent une déduction en liant directement

leurs actions aux retours sensoriels. Par exemple, certains sujets comprennent assez bien que lorsque deux directions de mouvements peuvent se compenser au même endroit, ils sont à un angle. De la même manière, lorsqu'ils observent que pour suivre les contours d'une forme, ils doivent effectuer deux déplacements verticaux pour chaque déplacement horizontal, ils infèrent qu'ils sont sur une ligne orientée à 30° par rapport à la verticale.

La présence d'une représentation visuelle de la position du curseur n'améliore pas les performances des sujets. Lors des deux expériences de reconnaissance de formes, les performances des sujets sont les mêmes, que le retour sensoriel soit visuel ou auditif.

II-4- Expérience III - Déplacements contrôlés par le déplacement de la souris

II-4-1- Méthode générale

II-4-1-1- Objectif de l'expérience

Afin de tester l'hypothèse que le déplacement d'une souris d'ordinateur est plus proche d'un mouvement naturel d'exploration que l'utilisation des touches d'un clavier, nous effectuons une expérience dans laquelle les déplacements du champ récepteur sont déterminés uniquement par le déplacement d'une souris.

II-4-1-2- Appareillage

Les déplacements d'une souris d'ordinateur déterminent le déplacement d'un champ récepteur non visible dans l'espace de l'écran. Une cible, invisible à l'écran, donne lieu à un retour sensoriel en tout ou rien variant en fonction des déplacements du sujet. Soit le signal est auditif : un son aigu lorsque le sujet est sur la cible et grave lorsqu'il ne l'est pas. Soit le signal est visuel : un carré blanc à l'écran lorsque le sujet est sur la cible et noir lorsqu'il ne l'est pas (voir figure III-13).

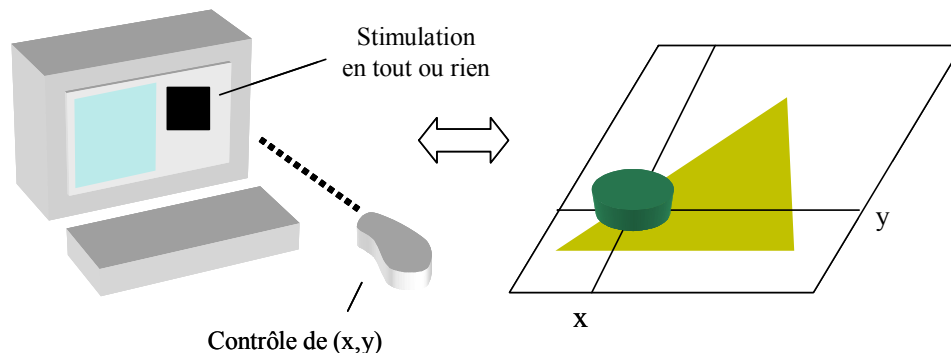


Figure III-13. Schéma du dispositif de l'expérience III.

II-4-2- Expérience III-1 Principe de l'expérience inconnu

II-4-2-1- Méthode

Les sujets sont assis, face à l'écran d'un ordinateur doté du logiciel. Nous leur disons qu'ils peuvent utiliser la souris de l'ordinateur. Nous ne leur expliquons pas le fonctionnement du dispositif. Pour la moitié des sujets, le retour sensoriel est visuel et pour l'autre moitié des sujets, le retour sensoriel est auditif. Nous laissons aux sujets cinq minutes d'exploration libre et leur demandons de commenter à voix haute les impressions qu'ils ont par rapport à la stimulation sensorielle. À la fin de l'expérience, nous leur posons deux questions afin de déterminer ce qu'ils ont compris du dispositif :

- À quoi servent les quatre touches du clavier ?
- À quoi sont dus les changements de couleurs / les changements de sons ?

II-4-2-2- Participants et plan expérimental

Dix sujets participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le suivant : $S_5 < R_2 >$

Où S est le facteur aléatoire sujet et où le facteur principal systématique est R , avec R_1 : retour sensoriel visuel et R_2 : retour sensoriel auditif.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-4-2-3- Résultats

Neuf sujets sur les dix comprennent que la manipulation de la souris permet le déplacement d'un champ récepteur dans l'espace de l'écran (tous les sujets ayant effectué l'expérience avec un retour visuel et quatre sujets sur les cinq ayant effectué l'expérience avec un retour auditif). Huit sujets sur les dix ont compris que la stimulation sensorielle variait en fonction d'une forme cachée à l'écran (quatre en visuel, quatre en sonore).

II-4-3- Expérience III-2- Principe de l'expérience connu, sans représentation visuelle

II-4-3-1- Méthode

Dans une seconde expérience, nous donnons aux sujets une explication du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons comment le déplacement de la souris détermine les déplacements d'un champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran et comment la stimulation sensorielle varie en fonction de la position du champ récepteur par rapport à une forme géométrique invisible à l'écran. Nous leur demandons de reconnaître la forme cachée à l'écran en fonction du retour sensoriel. Les sujets ont six formes à reconnaître à l'écran. Trois avec une stimulation sensorielle visuelle et trois avec une stimulation

sensorielle auditive. La moitié des sujets commence avec trois formes à reconnaître avec un retour sensoriel visuel, puis trois autres formes à reconnaître avec un retour sensoriel auditif. L'autre moitié des sujets commence avec le retour sensoriel auditif. Les formes à reconnaître sont prises dans un ensemble de trois formes : cercle, triangle et carré.

II-4-3-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience 3-1 participent à cette expérience.

Le plan expérimental est le même que celui des expériences précédemment décrites II.2 et II.3.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-4-3-3- Résultats

La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance des formes géométriques est de 0.5 ± 0.5 .

Les analyses de variance effectuées ont les mêmes plans que ceux des expériences II.2 et II.3.

Les sujets ont des performances similaires avec un retour sensoriel sonore (0.53 ± 0.51) qu'avec un retour sensoriel visuel (0.47 ± 0.51), l'effet de ce facteur n'étant pas significatif ($F < 1$).

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'influence sur les résultats des sujets ($F < 1$).

II-4-4 Expérience III-3 Principe de l'expérience connu, avec représentation visuelle

II-4-4-1- Méthode

Dans une troisième expérience, nous donnons aux sujets une représentation visible, sous la forme d'un petit cercle noir, de la position du champ récepteur à l'écran. Les sujets sont placés dans les mêmes conditions expérimentales que lors de l'expérience précédente.

II-4-4-2- Participants et plan expérimental

Les dix sujets de l'expérience 3-1 et 3-2 participent à cette expérience.

A nouveau, le plan expérimental est le même que celui des expériences II.2 et II.3.

L'exactitude des réponses des sujets constitue notre variable dépendante.

II-4-4-3- Résultats

La moyenne des réponses correctes pour la reconnaissance des formes géométriques est de 0.75 ± 0.44 .

Les analyses de variance (avec les plans identiques à ceux des expériences II.2 et II.3) montrent que les sujets n'ont pas de meilleures performances avec un retour sensoriel visuel (0.8 ± 0.41) qu'avec un retour sensoriel sonore (0.7 ± 0.47), l'effet de ce facteur n'est pas significatif ($F < 1$).

L'ordre dans lequel les expériences sont passées n'a pas d'influence sur les résultats des sujets ($F < 1$).

II-4-5- Discussion

Le maniement de la souris est très aisément compris comme correspondant au déplacement d'un champ récepteur dans l'espace de l'écran. L'analogie est fréquemment donnée avec le déplacement d'un curseur. De même, les sujets comprennent aisément que la stimulation sensorielle varie en fonction d'un objet invisible à l'écran.

Les sujets parviennent à reconnaître les formes géométriques à l'écran mais avec une précision plus faible que les sujets utilisant les quatre touches du clavier. Nous suggérons que ces résultats sont dus au fait que le fonctionnement de la souris n'est pas assez précis pour permettre aux sujets de construire une loi de co-variation précise entre leurs actions et les retours sensoriels. Lors des deux expériences de reconnaissance de formes, les performances des sujets sont les mêmes, que le retour sensoriel soit visuel ou auditif.

II-5- Discussion générale

Les expériences présentées explorent les conditions permettant aux utilisateurs d'un dispositif nouveau pour eux de construire et de maîtriser un nouvel espace perceptif, alors que leurs moyens d'action et leurs retours sensoriels sont modifiés. Nous avons testé plusieurs conditions expérimentales pour comprendre quelles sont les conditions minimales nécessaires pour que les sujets parviennent à effectuer ces tâches.

Dans une première expérience, nous avons demandé aux sujets de comprendre leurs actions comme étant des déplacements à partir du point de vue d'un champ récepteur situé dans l'espace de l'écran. Deux touches du clavier et la souris déterminent l'orientation et la position du champ récepteur. Lorsque ce dernier est dans l'axe pour percevoir une forme

géométrique invisible à l'écran, un retour sensoriel en tout ou rien est donné aux sujets. Les sujets ne furent capables ni de comprendre leurs actions comme étant des déplacements dans un environnement simulé, ni de comprendre que la stimulation sensorielle variait en fonction d'une forme géométrique cachée à l'écran. Nous leur avons ensuite demandé de reconnaître des formes à partir du même point de vue. Les résultats ne furent pas concluants. Que nous leur donnions ou non un retour visuel, les sujets ne sont pas parvenus à reconnaître ces formes.

Cette difficulté peut être liée au dispositif expérimental : soit à son manque de précision, soit à son caractère artificiel. D'abord, le manque de précision du dispositif, essentiellement celui du déplacement de la souris, peut être responsable du fait que les sujets ne parviennent pas à établir des lois de co-variation suffisamment précises entre leurs mouvements et le retour sensoriel. Ensuite, le caractère artificiel du dispositif peut être dû à la manipulation des touches du clavier. L'artificialité de ce moyen d'action empêche les sujets de baser leur nouvel apprentissage sur des schémas corporels antérieurement établis et les empêche de mettre en correspondance leurs nouvelles sensations sur des notions d'espace et de corps préétablies.

Nous avons testé la première hypothèse par une simplification du protocole expérimental, en permettant les déplacements du champ récepteur par l'utilisation de quatre touches du clavier d'un ordinateur. Dans ce cas, les sujets comprennent difficilement leurs mouvements comme étant des déplacements dans un nouvel environnement. De même, ils comprennent difficilement que la stimulation sensorielle varie en fonction d'une forme cachée à l'écran. Ainsi, lorsque nous modifions à la fois les moyens d'action des sujets, et les retours sensoriels auxquels ils ont accès, peu de sujets comprennent qu'ils évoluent dans un espace perceptif distal.

En revanche, la reconnaissance de formes est facilitée. Les sujets parviennent à reconnaître les formes géométriques cachées à l'écran avec une précision importante. Ainsi, les sujets parviennent à maîtriser un nouvel espace perceptif alors que nous modifions à la fois leurs moyens d'action et les retours sensoriels auxquels ils ont accès. De plus, ces résultats montrent que la précision de la loi sensorimotrice est essentielle pour la reconnaissance de formes. Les sujets effectuent cette tâche par extraction des lois de co-variation entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante, même si leurs mouvements ne sont pas naturels ou reliés à des schémas antérieurement établis.

Nous avons testé la seconde hypothèse en permettant les déplacements des sujets par le déplacement d'une souris d'ordinateur. Les sujets comprennent facilement leurs mouvements comme étant des déplacements dans un environnement simulé et comprennent aisément que la stimulation sensorielle varie en fonction d'une forme cachée à l'écran. Cependant, ces performances sont sans doute liées à l'expérience antérieure des sujets. L'usage d'un ordinateur leur ayant appris à constituer les déplacements d'une souris comme correspondant au déplacement d'un champ récepteur (curseur) dans l'espace bidimensionnel de l'écran. Si tel est le cas, nous modifions uniquement les retours sensoriels auxquels les sujets ont accès. Les conditions de la compréhension d'un nouvel espace sont équivalentes à celles des expériences effectuées avec le dispositif de Lenay (Lenay, 2001). Les résultats sont similaires : les sujets parviennent à reconstruire un nouvel espace alors que les retours sensoriels auxquels ils ont accès sont inhabituels, et ce bien que la stimulation sensorielle ne contienne en elle-même aucune information spatiale.

Les sujets parviennent à reconnaître les formes géométriques à l'écran. Cependant, leurs performances sont inférieures à celles des sujets utilisant les quatre touches du clavier. Ces résultats renforcent l'hypothèse que le manque de précision du déplacement de la souris empêche les utilisateurs de construire des lois de co-variation suffisamment précises entre leurs mouvements et les retours sensoriels qui en résultent.

Dans les expériences présentées, les performances des sujets ne sont pas affectées par la nature des retours sensoriels. Elles sont les mêmes, que la modalité de stimulation soit visuelle ou auditive. Ceci corrobore les prédictions des théories sensorimotrices de la perception (Noë, 1997; O'Regan, 1998, 2001). Pour ces théories, la sensation ne dérive pas des inputs sensoriels eux-mêmes, mais des lois structurant les relations invariantes entre action et sensation. Par conséquent, une même sensation peut être obtenue par deux canaux sensoriels différents, si les lois sensorimotrices sont les mêmes. Soulignons cependant qu'une objection peut être faite à cette hypothèse. Le fait qu'il n'y ait pas de différence entre les sensations venant du retour sensoriel visuel et les sensations venant du retour sensoriel auditif peut être dû à la nature en tout ou rien du retour sensoriel. Cette spécificité du retour sensoriel pousse peut-être les sujets à d'abord apprendre une sorte de grammaire identique pour les deux modalités et à ensuite établir une déduction entre leurs actions et les retours sensoriels correspondants, plutôt qu'à établir à proprement parler une sensation.

III- Expérience III

Attribution distale et substitution sensorielle

III-1- Introduction

Nous avons étudié, lors de l'expérience précédente, les conditions de la constitution d'un espace perceptif distal avec un dispositif minimaliste. Nous allons, dans cette expérience, étudier plus spécifiquement la question de l'attribution distale avec un dispositif de substitution sensorielle.

Comme nous l'avons vu lors des chapitres précédents, les études effectuées sur l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle montrent que les utilisateurs rapportent sans problème les stimulations obtenues grâce au dispositif à une cause extérieure et distante. Les utilisateurs d'un dispositif de substitution visuo-tactile (TVSS) distinguent clairement la stimulation sensorielle et la perception proprement dite (Bach-y-Rita, 1972 ; White et al., 1970). Cette capacité des utilisateurs est corroborée par le fait qu'une fois que les sujets sont entraînés, l'emplacement de la caméra ou de la matrice de stimulateurs tactiles n'a pas d'influence sur leurs performances. Les sujets ne perçoivent plus la stimulation comme étant située sur leur peau, mais ils localisent des objets dans l'espace. Des observations similaires sont rapportées lors de l'utilisation de dispositifs de substitution sensorielle visuo-auditifs. Une utilisatrice du dispositif The Voice, développé par Meijer (1992) relate qu'au début de son utilisation, elle entendait simplement des sons sans signification. Après apprentissage, elle devint capable de distinguer les sons générés par le logiciel des autres sons, puis de percevoir des objets localisés à distance grâce aux sons produits par le logiciel.

Cependant, lors de ces études, les utilisateurs sont entièrement informés du fonctionnement du dispositif. Ils ont donc une connaissance préalable du fait que des objets sont la cause de leurs sensations et que seule la nature de ces sensations est modifiée. Une question se pose : est-ce que les utilisateurs d'un dispositif de substitution sensorielle recevant des stimulations en l'absence d'une connaissance préalable du lien entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante parviendraient à constituer un espace perceptif ?

Pour répondre à cette question, Epstein (Epstein, Hugues, Schneider, & Bach-y-Rita, 1986) équipe des sujets naïfs avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-tactile. Ce dispositif convertit les images vidéo filmées par une caméra située sur la tête des sujets en impulsions tactiles envoyées sur leur index. Dans cette expérience, aucune information n'est donnée aux sujets. On leur met un bandeau opaque sur les yeux avant qu'ils entrent dans la pièce ; sur le bandeau est accrochée la caméra sans qu'ils le sachent. On dit juste aux sujets qu'ils vont recevoir des stimulations via un dispositif nouveau pour eux. Les sujets manipulent un levier sur lequel est fixé l'objet filmé par la caméra. C'est cette image qui leur est transcrite sur l'index, sous forme de stimulations vibrotactiles. Ainsi, les sujets perçoivent l'objet selon les mouvements de leur tête et de leur main. Les résultats montrent que les sujets deviennent conscients de la relation entre leurs mouvements et les variations de stimulation. Mais ils ne développent jamais l'hypothèse d'une attribution distale : c'est-à-dire l'hypothèse que la cause ultime de leur expérience est due à la rencontre avec un objet de leur environnement.

Ces résultats sont liés à des scénarios proposés aux sujets à la fin de l'expérience, afin qu'ils les notent. Chaque scénario présente un dispositif différent : lequel est, pour l'utilisateur, le plus probable ? Le plus proche de ce qu'il vient de vivre ? Epstein a considéré que seul le choix, par les sujets, du scénario correspondant aux conditions expérimentales réelles (voir annexe IV) reflétait que les sujets avaient effectué une attribution distale. Or, dans une perspective sensorimotrice de la constitution de l'espace perceptif, tous les scénarios proposés par Epstein, sauf un, impliquent différents degrés d'attribution distale.

Nous proposons en effet que l'attribution distale ne peut être considérée comme un processus en tout ou rien. Nous dégageons trois composantes principales de la constitution d'un espace perceptif distal. En premier lieu, la compréhension de l'existence d'un couplage, c'est-à-dire l'extraction par les sujets des lois de co-variation entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante (ce qui correspond à notre étape contact). En second lieu, les sujets doivent comprendre l'existence d'un objet : ils doivent attribuer la stimulation obtenue à une cause extérieure et distante ; cette cause est alors identifiée comme objet. En troisième lieu, les variations de stimulations sensorielles doivent être comprises par les sujets comme correspondant à des variations spatiales en relation à cette source ; il s'agit de la constitution d'un espace. Lorsque les utilisateurs ont dégagé ces trois composantes, ils peuvent parvenir à effectuer une attribution distale.

Les scénarios proposés par Epstein, hormis un, comportaient une ou plusieurs de ces composantes, parfois les trois. Le doute induit par ce constat nous fait intégrer cette graduation aux scénarios de notre expérience. Nous déterminons également plusieurs conditions expérimentales de façon à vérifier si elles favorisent l'attribution distale. Le dispositif utilisé par Epstein, par exemple, ne permettait pas, peut-être volontairement, de mouvements en profondeur : ils pourraient être une composante importante de l'attribution distale. De la même façon, une condition de notre expérience instaure un couplage plus direct avec l'objet ; une autre, l'ajout de repères autour de l'objet (présence d'un décor) de façon à peut-être favoriser l'extériorisation, etc.

Nous nous proposons de modifier le protocole utilisé par Epstein afin d'étudier les différents degrés possibles de la constitution d'un espace perceptif distal. Il s'agit de comprendre et de systématiser les conditions nécessaires pour que les sujets effectuent une attribution distale. Nous équipons des sujets avec un dispositif de substitution sensorielle sans les en informer. Ce dispositif convertit les images vidéo, filmées par une caméra située sur la tête des sujets, en sons. Nous explorons plusieurs conditions expérimentales : les sujets utilisent ou non un dispositif technique associé à l'objet qu'ils doivent extérioriser ; un décor est ajouté à l'objet que les sujets doivent percevoir ; les sujets manipulent directement l'objet. Toutes ces conditions sont reprises alors qu'un système permet aux sujets d'interrompre activement la stimulation.

Les résultats obtenus devront refléter, pour chaque condition, quels stades de la constitution de l'espace perceptif distal les sujets ont atteint. Ont-ils dégagé des lois de co-variation stables entre leurs mouvements et la stimulation qui en résulte ? Ont-ils déduit l'existence d'un espace produit par le couplage ? Ont-ils identifié des objets comme étant source de leurs sensations ?

III-2- Méthode Générale

III-2-1- Appareillage

Pour cette expérience nous utilisons le logiciel Vibe, développé en collaboration avec le Laboratoire Neurophysique et Physiologie du Système Moteur, Université René Descartes (Sylvain Hanneton) et le Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université René Descartes (Sylvain Haupt, J. Kevin O'Regan, Malika Auvray).

Le logiciel Vibe convertit des images vidéo en sons. Les images, filmées par une caméra, sont converties en échelle de gris, puis transformées en informations sonores. Le code implémenté dans le dispositif consiste en l'association d'une sinusoïde spécifique à chaque pixel de l'image en deux dimensions. Les lois de transformation de l'image en sons sont extrêmement simples.

- 1- Emplacement vertical. La position verticale est codée en fréquence. Plus le pattern visuel est haut, plus le son est aigu ; plus le pattern visuel est bas, plus le son est grave.
2. Emplacement horizontal. La position horizontale est codée en disparité inter-aurale. Le côté droit de l'image correspond à l'écouteur droit et le côté gauche correspond à l'écouteur gauche.
- 3- Luminosité. La luminosité est codée en intensité du son. Plus le pattern visuel est lumineux, clair, plus le son est intense. Par conséquent, un silence veut dire noir et un son fort veut dire blanc. Toutes les intensités intermédiaires correspondent à un dégradé de gris (voir figure III-14).

Le son résultant est composé des sons émis par des « sources » virtuelles possédant chacune un champ récepteur sur l'image. Chaque champ récepteur est un ensemble localisé de pixels. L'intensité du son de la source est déterminée par la moyenne de la luminosité des pixels du champ récepteur. La fréquence et le panoramique du son sont donnés par la position du barycentre des coordonnées des pixels du champ sur l'image.

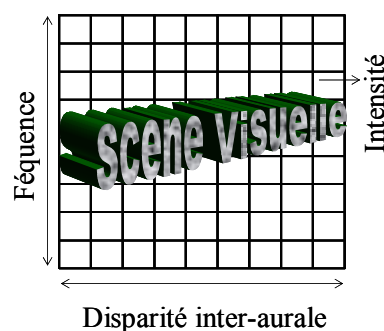


Figure III-14. Le logiciel de substitution sensorielle visuo-auditif Vibe.

III-2-2 Participants

Soixante sujets voyants ont participé à cette expérience. Aucun des sujets n'avait eu d'expérience avec un dispositif de substitution sensorielle. Les sujets effectuent deux sessions expérimentales. Chaque session dure en moyenne trente minutes.

III-2-3- Procédure

Les expériences sont effectuées dans une salle sans éclairage. Avant que les sujets entrent dans la salle expérimentale, nous plaçons sur leurs yeux des lunettes opaques. Nous leur disons simplement qu'ils vont entendre des sons inhabituels pour eux et qu'ils devront noter plusieurs explications concernant ces sons. Nous ne leur donnons aucune autre information sur l'expérience ou sur le dispositif employé. Une fois que les sujets sont assis dans la salle expérimentale, nous les équipons d'une paire d'écouteurs Sennheiser H280 pro, sur laquelle une *webcam* (Qcam 330) a été fixée de telle sorte que les sujets ne détectent pas sa présence. La *webcam* est reliée à un ordinateur personnel Sony PCG-FX401 dans lequel est installé le logiciel Vibe. Chaque image filmée par la *webcam* est traduite par le logiciel Vibe en sons que le sujet entend grâce aux écouteurs. La pièce est dans le noir et seul un objet lumineux, variant en fonction des conditions expérimentales, est manipulé par les sujets.

Pour s'assurer que les sujets effectuent les mouvements nécessaires en théorie pour comprendre le dispositif expérimental, nous leur demandons d'accomplir une succession de mouvements : mouvements de la tête uniquement, mouvements du bras uniquement, mouvements en opposition de la tête et de la main liée à l'objet, mouvements synchrones de la tête et de la main liée à l'objet. Puis nous leur laissons cinq minutes d'exploration libre de la scène. À la fin de l'exploration, nous demandons aux sujets de noter six scénarios correspondant aux explications possibles de l'expérience qu'ils viennent d'effectuer, sur une échelle de un à dix, en fonction de la plausibilité du scénario.

Dans une seconde partie de l'expérience, nous remplaçons les sujets dans les mêmes conditions expérimentales. Nous leur demandons d'effectuer une succession de mouvements, correspondant à la manipulation de l'objet lumineux. Ensuite, nous leur demandons de tenir une feuille rigide en face d'eux et d'effectuer des mouvements de haut en bas. Ces mouvements sont effectués de telle sorte que la feuille interrompt la stimulation auditive venant de l'objet lumineux. Nous demandons ensuite aux sujets de noter à nouveau les six scénarios en fonction de leur plausibilité.

III-2-4- Conditions expérimentales

Cinq groupes de douze sujets participent à l'expérience.

1- Un groupe de sujets manipule un levier sur lequel est fixé une forme lumineuse. Le levier peut être manipulé dans toutes les directions d'un plan (voir figure III-15).

- 2- Un groupe de sujets ne peut utiliser que les mouvements de leur corps (déplacement de la caméra) pour percevoir la forme lumineuse.
- 3- Un groupe de sujets manipule un levier sur lequel est fixé une forme lumineuse. Nous ajoutons la présence d'un décor, matérialisé par des petites lumières fixées au mur.
- 4- Un groupe de sujets manipule directement un objet lumineux : une balle lumineuse (voir figure III-16).
- 5- Un groupe contrôle est divisé en deux sous-groupes de six sujets. Six sujets sont placés dans les mêmes conditions expérimentales que les sujets de la condition un (levier) et six sujets sont placés dans les mêmes conditions expérimentales que les sujets de la condition deux (objet distant). Les sujets du groupe contrôle entendent des sons ne correspondant pas à leurs mouvements. Les sons sont pré-enregistrés et correspondent aux passages d'autres sujets dans les conditions expérimentales équivalentes.

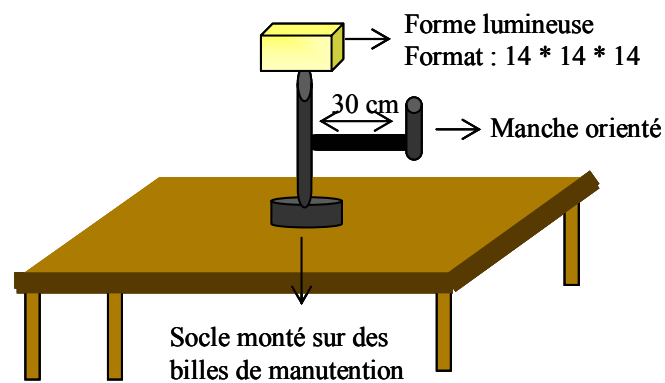


Figure III-15. Schéma de la condition expérimentale levier.

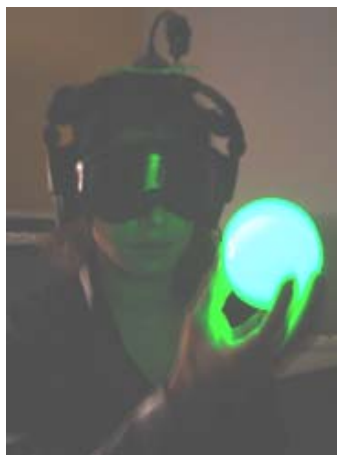


Figure III-16. Image de la condition expérimentale objet.

III-2-5- Plan expérimental

Chacun des soixante sujets effectue deux sessions, une sans manipulation de l'arrêt de la stimulation et une avec (par le passage d'une feuille de papier). Les sujets sont divisés en cinq groupes correspondant aux cinq conditions expérimentales.

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_{12} < C_5 > E_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où les facteurs principaux systématiques sont :

- C_5 : Conditions expérimentales ; C_1 : « levier » ; C_2 : « objet distant » ; C_3 : « levier, décor » ; C_4 : « objet » ; C_5 : groupe contrôle composé de deux sous-groupes de six sujets. Un sous-groupe « levier » ($C_5^{\cdot}$) et un sous-groupe contrôle « objet distant » ($C_5^{\cdot\cdot}$). Ces deux sous-groupes expérimentent un dispositif en recevant un son aléatoire non relié à leurs mouvements.
- E_2 : Session expérimentale ; E_1 : sans feuille ; E_2 : avec feuille

Les notes accordées à chacun des scénarios constituent nos variables dépendantes. Il existe cependant deux façons de considérer cette notation. On peut analyser les résultats obtenus en terme d'analyse de variance en introduisant un facteur de mesures répétées N (scénarios) à sept niveaux. D'un autre point de vue, les notes attribuées aux sept scénarios peuvent constituer les sept dimensions d'une même variable. La variable dépendante est alors multidimensionnelle et fera l'objet d'une analyse multivariée (MANOVA).

III-2-6- Scénarios

Les scénarios sont formulés de telle sorte que nous puissions déterminer quels sont les différents moments de l'attribution distale inférés par les sujets : existence d'un couplage (C), existence d'un objet source des sensations (O), existence d'un espace via le couplage, en d'autres termes, la position de l'objet dépend des mouvements effectués (E). L'objectif est que l'ensemble des combinaisons possibles se retrouve dans les scénarios. Nous soulignons que certaines des combinaisons sont impossibles comme avoir E et pas O, car nous avons défini l'existence de E en fonction de l'existence de O.

1- Un objet lumineux est situé au bout d'un manche que je manipule. Un dispositif optique, situé sur la tête, filme cet objet lumineux et convertit les images de cet objet en ensemble de sons (C, O, E).

- 2- Des capteurs situés sur ma tête et sur un manche enregistrent les mouvements de ma tête et de ma main. Ces mouvements permettent de me déplacer en face d'un objet dans un univers virtuel. Les images de cet objet sont converties en un ensemble de sons (**C, O, E en environnement simulé**).
- 3- Les mouvements de ma tête et de ma main permettent de contrôler les sons d'une sorte d'instrument de musique (**C, O, pas E**).
- 4- Des capteurs situés sur la tête et sur un manche enregistrent les mouvements de ma tête et de ma main. Les positions de ma tête et de ma main sont directement converties en un ensemble de sons (**C, pas O, pas E**).
- 5- L'expérimentateur contrôle les changements de sons en fonction des mouvements de ma tête et de ma main (**C, pas O, pas E**).
- 6- Un objet placé devant moi émet des sons sans lien avec mes mouvements. Ces sons sont transmis à mes oreilles (**pas C, O, pas E**).
- 7- Le dispositif est préprogrammé via un ordinateur afin de fournir des sons aléatoirement sans lien avec l'emplacement de mon corps ou mes mouvements (**pas C, pas O, pas E**).

Ces scénarios ont été adaptés pour les conditions expérimentales sans matériel et objet (voir annexe IV).

III-3- Résultats

III-3-1 Résultats en fonction des scénarios

Contribution globale des facteurs expérimentaux

Notre plan expérimental comporte un facteur catégoriel (facteur condition expérimentale) et deux facteurs de mesures répétées (facteur scénario à sept niveaux et facteur « session » à deux niveaux). Une analyse de variance préliminaire concernant l'effet de ces facteurs sur la variable dépendante « note » montre :

- Un effet significatif du facteur principal N ($F(6,324) = 9,08$; $p < 0,0001$)
- Une interaction significative entre le facteur N et le facteur C ($F(30,324) = 11,625$; $p < 0,0001$),
- Une interaction significative entre le facteur C et le facteur E ($F(6,324) = 3,3$; $p < 0,004$).

Cela signifie que les sujets affectent des notes différentes aux différents scénarios, mais que cette note dépend d'une part de la condition expérimentale et d'autre part de la session expérimentale. Pour détailler plus précisément les résultats, nous allons procéder aux analyses spécifiques pour chaque session.

III-3-1-1- Première session

Les sujets effectuant l'expérience dans les conditions « objet », « levier », « objet distant », « levier décor » ont attribué une note plus élevée aux cinq premiers scénarios, impliquant une relation entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante (5.3 ± 2.8), qu'aux deux derniers scénarios, impliquant une relation aléatoire entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante (1.4 ± 2.6) (voir figure III-17).

Les sujets placés dans la condition expérimentale « contrôle » effectuent une notation inverse. Les cinq premiers scénarios ont une note moins élevée (2.3 ± 0.9) que les deux derniers scénarios (6.7 ± 1.6).

Le premier scénario, correspondant aux conditions expérimentales réelles, n'est le mieux noté dans aucune des conditions expérimentales. Si nous effectuons une moyenne sur l'ensemble des conditions expérimentales, les deux groupes contrôles mis à part, les résultats sont les suivants : le scénario N°4 des capteurs est celui qui a la meilleure notation (6.4 ± 2.5). Puis viennent les scénarios N°3 l'instrument de musique (5.8 ± 2.9), N°2 la réalité virtuelle (5.3 ± 2.5), N°1 la substitution sensorielle (5.2 ± 2.7), N°5 l'expérimentateur (3.9 ± 3.2), N°7 le programme aléatoire (1.6 ± 2.5) et N°6 l'objet aléatoire (1.3 ± 2.1).

Condition expérimentale « levier ». On peut s'intéresser spécifiquement aux notations des scénarios dans cette condition en la comparant avec le contrôle associé. Une analyse de variance montre que, dans ce cadre, l'interaction N x C est significative ($F(6,96) = 9,13$; $p < 0.001$). La note attribuée au scénario dépend donc à la fois du scénario considéré et de la condition.

Condition expérimentale « objet distant ». Dans cette condition spécifique, l'effet de la condition expérimentale est significatif. Les résultats obtenus dans la condition « objet » sont donc significativement différents de sa situation « contrôle » ($F(1,16) = 15,62$; $p < 0,001$). L'interaction N x C est également significative ($F(6,96) = 15,14$; $p < 0,001$).

Comparaison des conditions expérimentales. Si nous considérons l'effet des conditions expérimentales sur la notation du premier scénario, la condition dans laquelle les sujets manipulent un objet améliore légèrement la notation des sujets (6.3 ± 2). La condition « objet distant » permet de meilleures performances (5.4 ± 2.6) que la condition dans laquelle les sujets manipulent un levier (4.4 ± 3.11). La condition dans laquelle nous ajoutons la présence d'un décor à la manipulation du levier améliore très peu les performances des sujets (4.7 ± 3). Si l'on conduit une analyse spécifique pour le scénario N°1, le facteur condition est significatif ($F(5, 54)=3,7198, p<0,006$). Les comparaisons des moyennes obtenues (test post-hoc HSD de Tukey) montrent que seule la condition « objet » est significativement différente des deux conditions « contrôles » (respectivement $p<0,03$ et $p<0,02$).

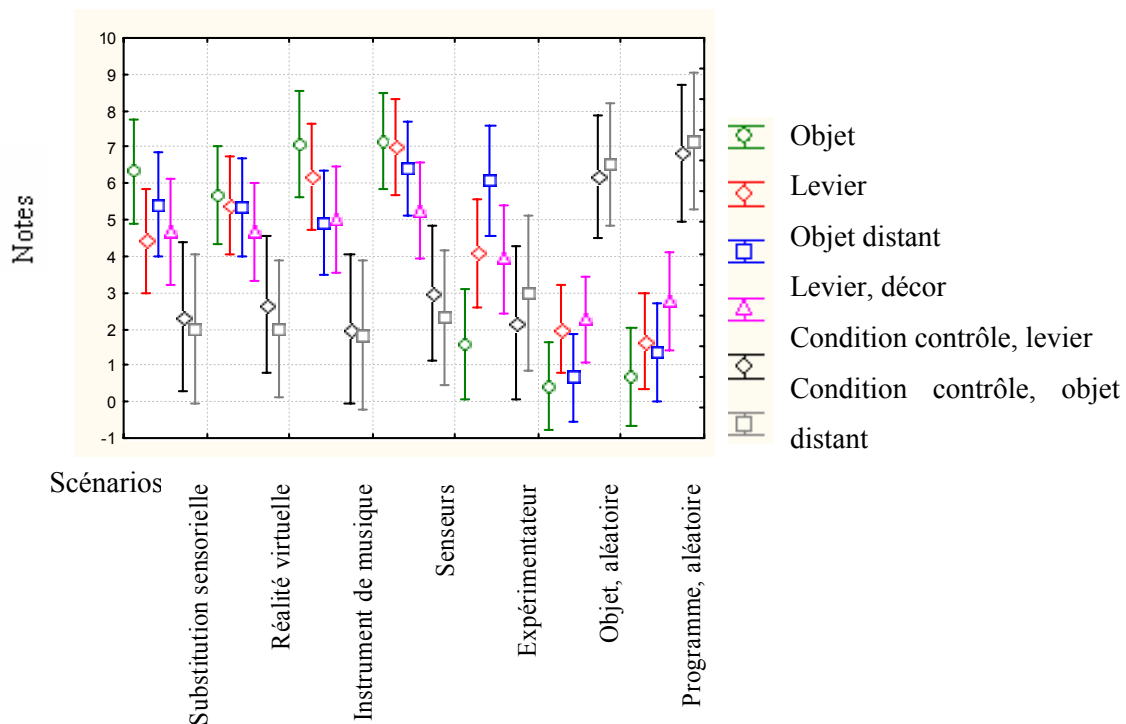


Figure III-17. Notes attribuées aux différents scénarios lors de la première session. Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets et des conditions expérimentales. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

III-3-1-2- Seconde session

Le passage de la feuille a un effet sur la notation des scénarios. Cette manipulation de l'interruption de la source de la stimulation accroît la notation du premier scénario et diminue la notation de tous les autres (voir figure III-18). Si l'on cherche à établir l'influence du

passage de la feuille et des conditions expérimentales sur la note du scénario N°1, une analyse de variance (ANOVA) montre un effet global significatif du facteur SE ($F(1,54) = 8,33$; $p < 0,006$) et du facteur CE ($F(5,54) = 10,6$; $p < 0,0001$).

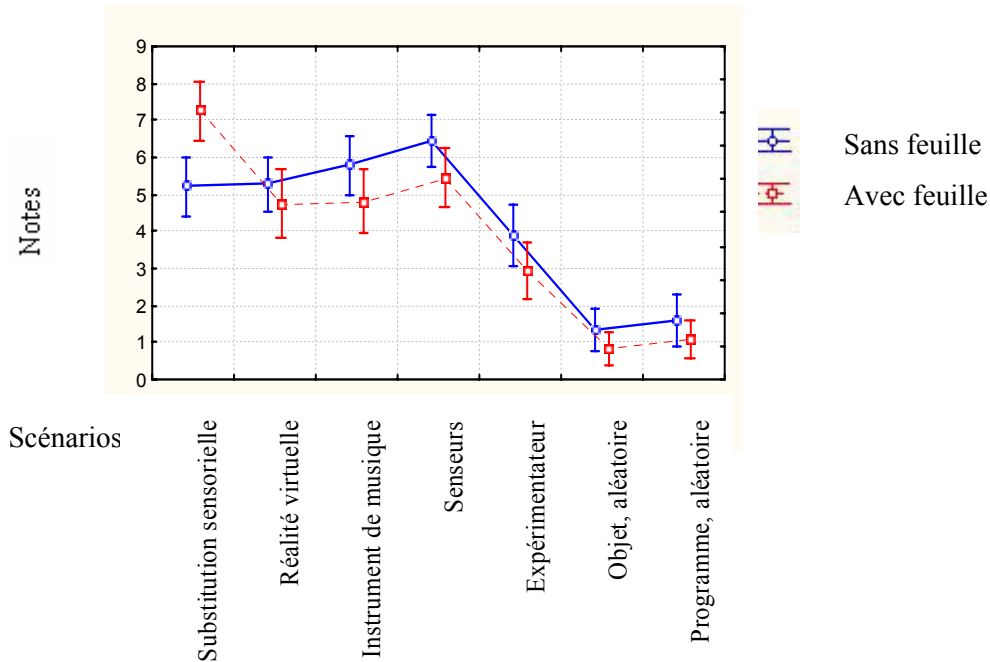


Figure III-18. Moyenne sur les conditions expérimentales : objet, levier, objet distant, levier décor des notes attribuées aux différents scénarios lors de la première session (en bleu) et lors de la seconde session (en rouge). Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

Les sujets placés dans les conditions expérimentales « objet », « levier », « objet distant », « levier décor » ont attribué une note plus élevée aux cinq premiers scénarios (5 ± 3.2) qu'aux deux derniers scénarios, impliquant une relation aléatoire entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante (1 ± 1.7) (voir figure III-19).

Les sujets placés dans la condition expérimentale « contrôle » effectuent une notation inverse. Les cinq premiers scénarios ont une note moins élevée (2.4 ± 0.9) que les deux derniers scénarios (7.5 ± 2.1).

Le premier, scénario correspondant aux conditions expérimentales réelles, est le mieux noté pour l'ensemble des conditions expérimentales. Si nous effectuons une moyenne sur l'ensemble des conditions expérimentales, les groupes contrôles mis à part, les résultats sont les suivants : le scénario réel est celui qui a la meilleure notation (7.3 ± 2.7), puis viennent les

senseurs (5.4 ± 2.8), l'instrument de musique (4.8 ± 3), la réalité virtuelle (4.7 ± 3.1), l'expérimentateur (3 ± 2.8), le programme aléatoire (1.1 ± 1.9) et l'objet aléatoire (0.8 ± 1.5).

Si nous considérons l'effet des conditions expérimentales sur la notation du premier scénario, les trois conditions expérimentales « objet », « objet distant » et « levier » permettent une bonne notation des sujets (« objet » : 7.5 ± 2.5 , « objet distant » : 7.8 ± 2.2 , « levier » : 7.6 ± 2.7). La condition dans laquelle un décor est ajouté semble diminuer la notation des sujets (6.2 ± 3.4).

Condition expérimentale « levier ». Nous effectuons ici une ANOVA concernant l'effet des facteurs C (deux niveaux), E (deux niveaux) et N (sept niveaux) sur la variable dépendante en considérant que les conditions expérimentales « levier » et le groupe contrôle correspondant. Les résultats de l'ANOVA ne montrent pas d'effet significatif du facteur principal E. La seule interaction significative est celle existant entre les facteurs C et N ($F(6,96) = 23,6$; $p < 0,0001$). Cependant, un test post-hoc (HSD de Tukey) montre une différence significative pour le scénario N°1 avant et après le passage de la feuille ($p < 0.05$). On observe bien une différence (dépendant du scénario) entre le groupe « levier » et son groupe contrôle, mais l'effet du passage de la feuille n'est significatif que pour le scénario N°1 qui passe en tête des notations.

Condition expérimentale « objet distant ». Nous avons effectué le même type d'analyse pour la condition « objet distant ». Nous retrouvons une interaction significative entre les facteurs C et N ($F(6,96) = 24,2$; $p < 0,001$). Mais cette fois-ci nous obtenons également une significativité de l'interaction de troisième ordre entre les facteurs C, E et N ($F(6,96) = 2,64$; $p < 0,025$). Même si le scénario N°1 se trouve également en tête de notation suite au passage de la feuille, un test de comparaison de moyenne post-hoc (HSD de Tukey) ne montre pas de différence significative. Ce même test montre cependant une diminution significative de la note du scénario N°5 ($p < 0,008$).

Donc pour ces deux conditions expérimentales, le passage de la feuille peut augmenter la note attribuée au scénario N°1 mais peut également diminuer celles attribuées aux scénarios alternatifs.

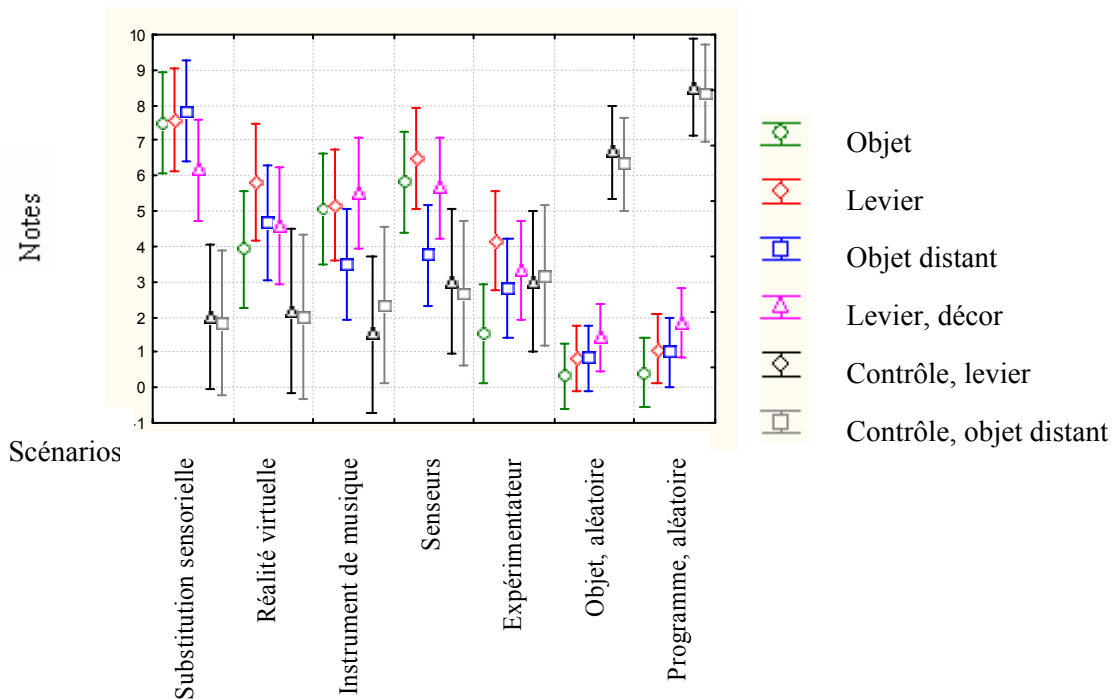


Figure III-19. Notes attribuées aux différents scénarios lors de la seconde session (avec feuille). Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets et des conditions expérimentales. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

III-3-2- Résultats en fonction des différentes composantes de l'attribution distale

Chaque scénario a été déterminé par la combinaison de trois facteurs : existence d'un couplage, existence d'un objet, existence d'un espace. Nous avons effectué une moyenne pondérée sur la notation des sujets en fonction de la présence ou de l'absence de ces trois facteurs. Cette moyenne a été effectuée de sorte à avoir une moyenne allant de -10 à +10. Une valeur positive signifie que les sujets ont attribué une note plus élevée aux scénarios contenant ce facteur qu'aux scénarios ne contenant pas ce facteur.

Une pondération séparée pour C, E et O est attribuée à chaque scénario. La somme des pondérations est nulle. La pondération des scénarios comportant l'élément considéré est positive, alors que la pondération des scénarios ne comportant pas cet élément est négative. La somme des poids positifs vaut 1 alors que celle des poids négatifs vaut -1. Ainsi, un sujet qui noterait de la même façon tous les scénarios obtiendrait une note nulle pour C, E et O. Un sujet qui donnerait la note maximale aux scénarios comportant l'élément et une note nulle aux scénarios ne le comportant pas obtiendrait la note de 10 (respectivement -10 pour le comportement inverse) (voir figure III-20).

Scénario	1	2	3	4	5	6	7
Composante							
C (couplage)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,5	-0,5
E (espace)	0,5	0,5	0,5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
O (objet)	0,25	0,25	0,25	-0,33	-0,33	0,25	-0,33

Figure III-20. Pondérations attribuées aux facteurs C, E et O pour chaque scénario.

III-3-2-1- Couplage

Les sujets semblent comprendre dès la première session qu'il existe un lien entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante et ce pour toutes les conditions expérimentales (3.9 ± 2.7), hors condition « contrôle ». Ce n'est pas le cas des sujets des deux conditions « contrôles » (-4.3 ± 2.5). La condition « objet » est celle qui permet le plus d'extraire ce lien (5 ± 1.2), suivie des conditions « levier » (3.6 ± 3.1) « objet distant » (4.6 ± 2.1) et « levier décor » (2.2 ± 3.3) (voir figure III-21).

Les notes moyennes obtenues pour les groupes contrôles sont très négatives et significativement différentes des notes positives obtenues dans les autres conditions (test post-hoc HSD de Tukey).

Le passage de la feuille n'améliore pas la compréhension du couplage (4.1 ± 2.2). Elle augmente légèrement et de façon non significative les résultats de la condition « levier » (4.9 ± 2.7) et « levier décor » (3.4 ± 3.1) et diminue les résultats des conditions « objet » (4.4 ± 2.6) et « objet distant » (3.6 ± 2). Une analyse de variance incluant les facteurs CE et SE montre que seul le facteur CE influence significativement la note obtenue pour C ($F(5,54) = 46,04$; $p < 0,0001$).

III-3-2-2- Objet

Lors de la première session expérimentale, la notion d'objet est très peu développée : les résultats sont très légèrement au-dessus de la moyenne, qu'il s'agisse des quatre conditions expérimentales dans lesquelles il y a un couplage (0.4 ± 2.1) ou les conditions « contrôles » (-0.9 ± 0.7) (voir figure III-21).

Une analyse de variance montre que le facteur C influence significativement la valeur moyenne de O ($F(5,54) = 6,31$; $p < 0,0002$) et que l'interaction entre les facteurs E et C est également significative ($F(5,54) = 2,95$; $p < 0,02$). Ainsi la valeur moyenne de O dépend à la fois de la condition expérimentale et de la session.

La seconde session permet l'amélioration des résultats de la notion d'objet dans la condition expérimentale « objet distant » (de -0.5 ± 2.4 à 1.7 ± 1.6). Un test post-hoc (HSD de Tukey) montre que cette différence est significative ($p < 0,02$). Les modifications des résultats des autres conditions expérimentales ne sont pas significatives. Les deux conditions expérimentales ayant les résultats les plus élevés concernant la notion d'objet sont « objet » (1.6 ± 1.5) et « objet distant » (1.7 ± 1.6).

III-3-2-3- Espace

Dès la première session, la notion d'espace obtient des résultats positifs (1.4 ± 1.6). Elle est plus développée pour les conditions expérimentales « objet » (2.6 ± 2.4) et « objet distant » (1.5 ± 2.6) que pour les conditions « levier » (0.7 ± 2.4) et « levier décor » (0.8 ± 2.7). Les conditions « contrôles » obtiennent des résultats négatifs (-1.9 ± 1.5) (voir figure III-21).

Une analyse de variance montre une influence significative du facteur C ($F(5,54) = 12,7$; $p < 0,0001$) et du facteur E ($F(5,54) = 2,1$; $p < 0,05$) sur la valeur moyenne de E. L'interaction entre ces deux facteurs n'est pas significative. La valeur moyenne de E dépend de la condition expérimentale concernée et est affectée par le passage de la feuille.

Lors de la seconde session, la notation des scénarios impliquant la notion d'espace est plus élevée (2.7 ± 2.4) que lors de la première session (1.4 ± 1.6). L'augmentation est importante essentiellement pour les conditions « objet distant » (3.1 ± 2.2) et « levier » (3.2 ± 1.6). Cependant, un test post-hoc (HSD de Tukey) ne met pas en évidence de significativité de cette augmentation. Les résultats des conditions « contrôles » sont plus faibles lors de la seconde session (-2.5 ± 0.8) que lors de la première session (-1.9 ± 1.5).

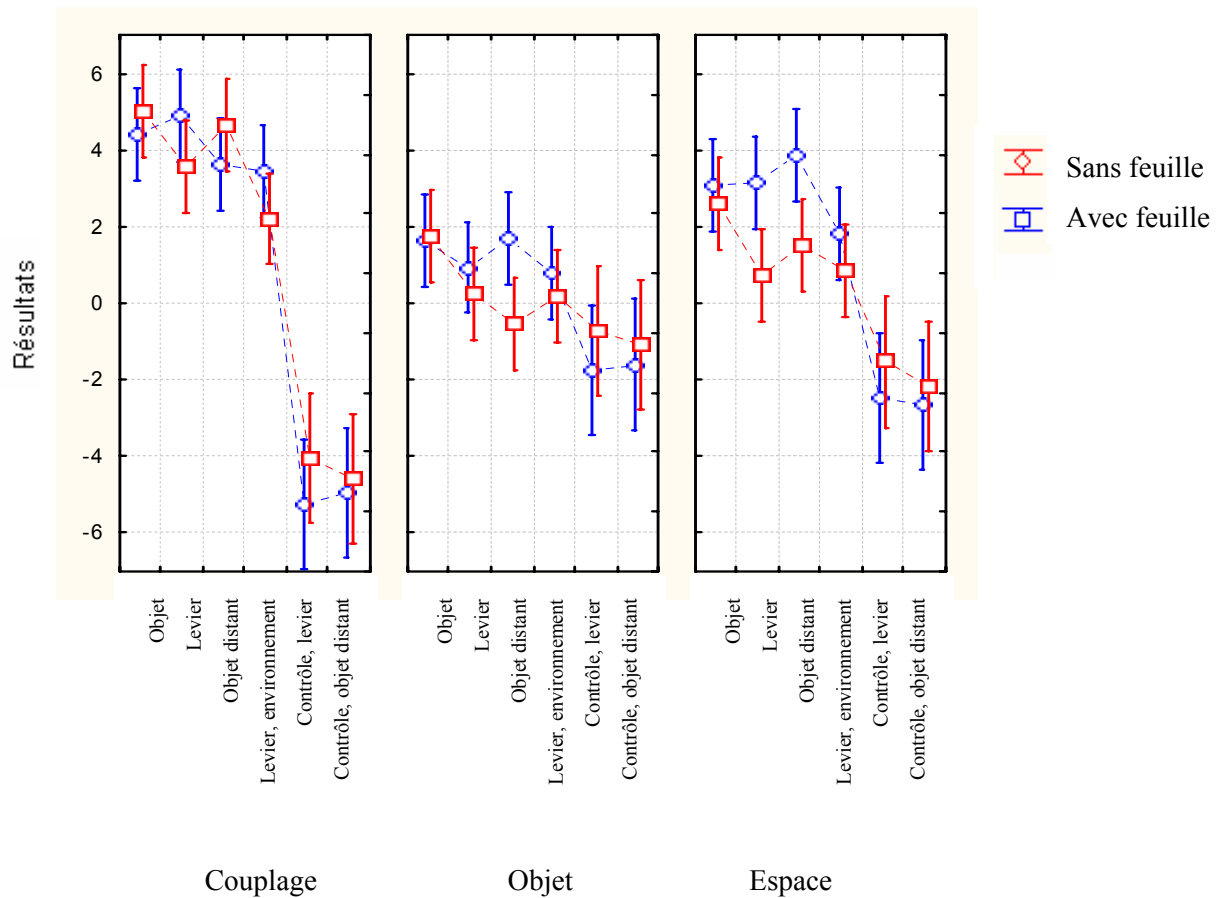


Figure III-21. Notes pondérées attribuées aux différents scénarios lors de la première session (en bleu) et lors de la seconde session (en rouge). Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets et des conditions expérimentales. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

III-4- Discussion générale

Les études présentées ont pour objectif d'étudier quels sont les degrés de la constitution d'un espace perceptif distal qu'il est possible d'atteindre lors de l'utilisation d'un dispositif nouveau de couplage avec l'environnement. Et ce, en l'absence d'une connaissance préalable du lien causal entre les mouvements exécutés et les stimulations sensorielles résultantes.

Les premiers résultats pertinents nous semblent être ceux issus des conditions « contrôles ». Les sujets des groupes contrôles entendaient des sons qui ne correspondaient pas à leurs mouvements. Or, à l'inverse des quatre autres conditions où le dispositif était opérant, les sujets ont bien noté les scénarios N°6 et N°7, ceux renvoyant à l'idée de sons émis aléatoirement, sans lien avec leurs mouvements. Les sujets ont bien compris qu'il n'y

avait pas couplage. Nous pouvons en déduire, en creux, que les mauvais résultats des scénarios N°6 et N°7 dans les quatre autres conditions signifient que les sujets ont extrait de leur expérience des lois de co-variation entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante (notre première composante de la constitution d'un espace perceptif).

L'autre enseignement apporté par ces conditions « contrôles » est relatif à la perception par les sujets des scénarios proposés : les bons résultats obtenus par les scénarios N°6 et N°7 dans les conditions « contrôles » - et les mauvais résultats obtenus par ces scénarios dans les autres conditions - correspondent à la réalité vécue par les sujets. Ils se sont fiés à l'expérience ressentie pour noter les scénarios, sans chercher à favoriser les scénarios qu'ils auraient pu déduire comme étant plus probables ou crédibles.

Dans les conditions une à quatre, les sujets ont effectivement compris l'existence d'un couplage entre leurs mouvements et la stimulation sensorielle résultante dès la première session. Cette compréhension se développe avant les notions d'espace et d'objet. Ainsi, comme prédit par les théories sensorimotrices de la perception (Gibson 1966, 1986 ; O'Regan & Noë, 2001 ; Piaget, 1936 ; Varela 1979), c'est seulement par l'extraction des lois de co-variation entre les actions et la stimulation sensorielle résultante qu'émerge la compréhension du lien entre la stimulation sensorielle et l'objet extérieur et distant.

Néanmoins, ce couplage est moins bien perçu dans la condition N°1 (utilisation d'un levier auquel est fixé l'objet) et encore moins bien perçu dans la condition N°3 (ajout d'un décor) que dans les conditions N°2 (objet distant) et N°4 (objet). Nous imaginions pourtant ces conditions favorables à la constitution d'un espace perceptif distal, puisqu'elles étaient supposées offrir un accès tactile indirect à l'objet ou des repères spatiaux. Visiblement, la complexité qu'elles induisent dans le dispositif défavorise la constitution d'un espace perceptif distal. Dans le premier cas, on peut supposer pourquoi en comparant les résultats de la condition « levier » à ceux bien meilleurs de la condition « objet » (l'objet est alors dans la main du sujet et non plus au bout du levier) : le levier limite la liberté d'action du sujet sur l'objet et perturbe l'appropriation du dispositif. Lorsque l'objet est dans la main, le sujet peut mettre en relation plus facilement les stimulations sensorielles reçues et les mouvements qu'il imprime à l'objet. Il y a en effet une forte proximité entre les informations spatiales concernant la position de la main dans l'espace (auxquelles le sujet accède notamment grâce à la proprioception) et celles concernant l'objet. En revanche, lors de l'utilisation du levier, le

sujet maîtrise mal la relation existant entre la position de sa main et celle de l'objet. Dans la condition N°3, le décor associé à l'objet perturbe encore plus l'appropriation du couplage. La notion d'espace induite ne s'avère pas encore utile, puisque les sujets n'ont que partiellement saisi l'existence d'un couplage, compréhension perturbée par la complexité du dispositif lui-même.

Si, dans les quatre conditions, la compréhension d'une corrélation entre les mouvements et la stimulation sensorielle résultante a été perçue, elle n'a pas engendré immédiatement la compréhension que la stimulation auditive fournie par le dispositif renvoie à un objet. De plus, elle donne lieu seulement partiellement à la compréhension que les variations de stimulation correspondent à des variations spatiales en relation à un objet. Nous pouvons supposer que, lors de la première session, les lois de co-variation extraites par les sujets consistent seulement en un contact local avec l'objet. Les sujets sont en quelque sorte asservis au couplage. Leurs actions ne sont pas encore comprises comme étant des déplacements relativement à un objet externe. Les changements dans la stimulation sensorielle ne sont pas encore compris comme différentes *positions* d'un objet.

Pour cela, les sujets doivent extraire une loi sensori-motrice plus générale. L'une des lois possibles est que la stimulation sensorielle peut être interrompue par un obstacle. Cet obstacle permet une différenciation entre la stimulation sensorielle (stimulation proximale) et la source distante qui engendre cette stimulation (stimulation distale). Ainsi, le contact étroit avec la stimulation est rompu. La source de la stimulation peut être comprise comme étant à distance parce que quelque chose peut s'interposer entre elle et l'observateur. Nous formulons l'hypothèse que c'est à ce moment que les sujets commencent à distinguer la stimulation proximale et la stimulation distale et qu'ils comprennent le caractère distal de l'origine de la stimulation.

La condition « objet distant » illustre au mieux cette hypothèse. Dans cette condition, aucune aide supposée n'était donnée aux sujets (levier, décor, objet en main) : les sujets n'avaient que les mouvements de leur corps (et donc de la caméra) pour percevoir la forme lumineuse. Lors de la première session, le nombre de sujets désignant le premier scénario (conditions réelles de l'expérience) dans la condition « objet distant » est moindre que dans la condition « objet » (objet en main). Par contre, les sujets sont aussi nombreux à désigner le premier scénario dans ces deux conditions lors de la seconde session (pour rappel, lors de

cette seconde session, le sujet fait passer une feuille rigide devant lui). De plus, dans la condition « objet distant », entre la première et la seconde session, on note une augmentation forte de la compréhension de la notion d'objet. L'écart de résultats est le plus ample obtenu, toutes conditions confondues.

Que signifie cette progression ? Les sujets soumis à la condition « objet distant » avaient déjà parfaitement compris la première composante de la constitution d'un espace perceptif lors de la première session (couplage). Lors de la seconde session, la possibilité d'interrompre l'interaction objet/caméra grâce à la feuille, favorise d'abord la compréhension de la notion d'espace, comme dans les autres conditions. Si la feuille peut faire écran entre l'objet et la caméra (entre l'origine de la stimulation et le sujet), une distance, un écart s'induit de fait. Dans le cas de la condition N°2, la feuille permet donc aux sujets de dissocier le dispositif de substitution sensorielle dont ils sont équipés de l'objet que le dispositif leur fait percevoir. Grâce à la feuille et à la possibilité qu'elle leur donne d'isoler momentanément l'objet, les sujets dissocient, dans leur interaction, un objet source et les mouvements leur permettant de faire varier cette source. Ainsi, les sujets attribuent l'origine de la stimulation à un objet distant et comprennent que leurs actions permettent des variations spatiales relativement à cet objet. Grâce à cela, les sujets s'approprient le dispositif de substitution sensorielle et accordent alors une note beaucoup plus importante au scénario N°1 (conditions réelles). La possibilité d'une interruption de la perception semble nécessaire à la constitution d'un espace contenant des objets disposés à distance devant soi, c'est-à-dire la constitution d'une perception à part entière.

Ce résultat est cependant pondéré et interrogé par le fait que dans la condition N°4 (objet en main), notre seconde composante de l'attribution distale (notion d'objet) était à un niveau équivalent dès la première session à celui obtenu dans la condition N°2 (objet distant) lors de la deuxième session. La comparaison de ces deux résultats ne confirme pas l'hypothèse que nous formulions (mais elle ne l'infirme pas pour autant), c'est-à-dire qu'un obstacle permet au sujet de distinguer la stimulation proximale et la stimulation distale et de comprendre le caractère distal de l'origine de la stimulation

L'étude de l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle permet ainsi de comprendre les différentes composantes de la constitution d'un espace distal. Dans notre expérience, comme dans l'expérience menée par Epstein, la notion de couplage est extraite

facilement par les sujets. En revanche, l'accès aux deux autres composantes, que sont l'objet et l'espace, est conditionné par la possibilité de manipuler l'objet ou de manipuler un obstacle entre soi et l'objet. Ces conditions sensorimotrices supplémentaires permettent aux sujets d'accéder aux trois composantes de la constitution d'un espace perceptif distal et d'identifier le scénario correspondant aux conditions expérimentales réelles.

Chapitre IV

APPROPRIATION ET SAVOIR DE SES ACTIONS

Les expériences présentées dans le chapitre III nous ont permis de montrer, parmi d'autres résultats, que lors de l'appropriation d'un outil, action et perception font boucle et se supposent l'une l'autre. Ainsi, il n'y a pas de perception sans action et inversement. Cependant, notre corps ne pourrait agir s'il ne possédait un « savoir » de ses propres mouvements, que l'on nomme proprioception. Cette question du savoir de ses actions se pose de manière cruciale et spécifique dans le cas de l'appropriation d'un dispositif technique. En effet, lorsque nous nous saisissons d'un nouvel outil, notre couplage sensorimoteur naturel est modifié. Nos moyens d'action et les sensations auxquelles nous avons accès sont transformés. Ainsi, notre boucle proprioceptive antérieurement acquise est modifiée par l'utilisation d'un nouveau dispositif. Comment les utilisateurs d'un nouveau dispositif technique parviennent-ils à s'approprier cet outil et à savoir ce qu'ils font dans l'espace perceptif ouvert par l'outil ?

Lors des expériences présentées dans le chapitre III, nous avons montré que les sujets, grâce à une interaction sensorimotrice avec la scène perçue, sont capables de constituer un espace perceptif distal. Ils parviennent à établir un contact perceptif avec la stimulation (contact), à comprendre leurs actions comme étant des déplacements dans l'espace perceptif distal et à comprendre les variations de stimulations comme changements de position relativement à un objet localisé dans l'espace perceptif distal (attribution distale). Ils parviennent à maîtriser les dispositifs afin d'effectuer des tâches de déplacement, de localisation et de reconnaissance d'objets (maîtrise de l'espace distal).

Cependant, dans ces expériences, nous avons remarqué que les utilisateurs ont des difficultés à savoir exactement ce qu'ils font dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. La mémoire de leurs actions et de leur posture corporelle pourrait être insuffisamment précise. Dans notre première expérience, lorsque les utilisateurs du dispositif The Voice perdent le contact avec l'objet à percevoir, ils ont du mal à revenir exactement à la même position ou à retrouver le contact avec la cible et ils doivent très souvent reprendre leur exploration depuis

le début. De la même manière, dans notre seconde expérience, les utilisateurs du dispositif minimaliste employé se perdent souvent dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Lorsqu'ils perdent l'accroche avec la forme à percevoir, ils éprouvent de grandes difficultés à la retrouver est à se souvenir de l'action qu'ils viennent d'effectuer.

Dans ce chapitre nous allons étudier la question du savoir de ses actions *dans* l'espace perceptif ouvert par un outil et, plus spécifiquement, le rôle des informations proprioceptives et extéroceptives sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste.

Dans les deux premières expériences de ce chapitre nous étudions, à l'aide d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste, une forme de « proprioception prothétisée ». Les informations sur les mouvements que les sujets effectuent sont modélisées sous la forme d'une stimulation vibro-tactile sur une matrice de stimulateurs (informations proprioceptives). Les informations sur les formes perçues dans l'environnement sont modélisées sous la forme d'une stimulation vibro-tactile sur une autre matrice de stimulateurs (informations extéroceptives). Ces informations extéroceptives peuvent être soit en tout ou rien, soit constituées de plusieurs champs récepteurs. Les utilisateurs de ce dispositif doivent effectuer différentes tâches d'exploration en s'appuyant à la fois sur les informations extéroceptives et sur les informations proprioceptives qui leurs sont proposées. Les résultats montrent que la possibilité d'utiliser un canal d'information spécialement dédié au savoir de ses actions n'améliore pas les performances des sujets. En revanche, l'augmentation du nombre de champs récepteurs accroît les performances des sujets. Ainsi, les informations extéroceptives permettent plus facilement aux sujets de comprendre leurs actions dans l'espace perceptif distal que l'utilisation d'une modélisation des informations proprioceptives.

Puisque les utilisateurs d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste semblent s'appuyer plus particulièrement sur les informations extéroceptives qui leurs sont offertes plutôt que sur une modélisation des informations proprioceptives, nous étudions, dans une dernière expérience, l'influence de la structure de ces informations extéroceptives. Nous étudions plus spécifiquement l'influence de la taille, du parallélisme et de la structure topologique des informations sensorielles sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle lors de tâches d'exploration.

I - Expérience IV

Substitution sensorielle et informations proprioceptives

I-1 Introduction

L'appropriation d'un nouveau dispositif technique suppose la connaissance par leurs utilisateurs des actions qu'ils effectuent *dans* l'espace perceptif ouvert par l'outil. Cette capacité à savoir ce que l'on fait dans l'espace perceptif atteint grâce à un nouveau mode de couplage est cruciale pour la réussite de l'immersion dans cet espace perceptif. En effet, les multiples médiations techniques présentes dans notre environnement, comme les divers systèmes de réalité virtuelle, tendent à toujours augmenter l'écart entre d'une part ce que l'on fait corporellement et qui est susceptible d'un savoir proprioceptif (serrer un bâton, déplacer la souris d'un ordinateur, tourner un volant, etc.) et d'autre part ce que l'on fait dans l'espace des possibles nouveaux définis par le dispositif ; ceci que ce soit un espace numérique simulé (réalité virtuelle) ou un espace d'action concrète (outil ou substitution sensorielle). Les actions effectuées dans l'espace perceptif distal sont essentiellement caractérisées comme des déplacements des points de vue relativement aux objets perceptifs distaux ou comme des actions d'inscription dans l'espace perceptif distal. La clé de l'immersion est d'oublier les actions que nous effectuons dans notre espace organique au profit des actions effectuées dans l'espace perceptif distal. Notre question est dès lors : quelles sont les conditions pour que ce transfert se réalise ? Autrement dit, comment savons-nous ce que nous faisons dans un espace perceptif distal ? Les connaissances proprioceptives naturelles suffisent-elles pour rendre transparente la médiation avec ce nouvel espace perceptif ?

I-1-1- Informations proprioceptives et réalité virtuelle

Les environnements de réalité virtuelle et particulièrement les jeux vidéo illustrent cette distinction entre action organique, susceptible d'un savoir proprioceptif, et action distale. Les données sur l'espace perceptif distal auxquelles l'utilisateur a accès sont partielles et ne concernent que les sens majeurs, la vue et l'ouïe essentiellement. Le sens proprioceptif en particulier n'est pas pris en compte. Un problème cognitif en situation de réalité virtuelle est

celui de la possible incohérence de l'ensemble des stimulations reçues par l'utilisateur. Si les mouvements dans l'espace perceptif distal sont discordants avec les mouvements corporels effectués pour les commander, l'information proprioceptive naturelle entrera en conflit avec les données du système de réalité virtuelle. Dans un jeu vidéo où le joueur manipule un avatar, les informations proprioceptives qu'il perçoit correspondent à la manipulation du joystick, alors que d'après l'environnement du jeu, elles devraient provenir de mouvements des bras ou des jambes. Il y a aussi incohérence entre la perception visuelle d'un coup qui a atteint son objectif et la sensation correspondante de la victime : la douleur provoquée est en général redirigée vers les modalités visuelles et/ou sonores. En général, malgré ces incohérences, nous sommes capables de gérer ces perceptions de manière pertinente, car la richesse des informations extéroceptives fournies par le retour visuel compense l'absence de savoir proprioceptif dans l'espace du jeu.

I-1-2- Informations proprioceptives et substitution sensorielle

Avec d'autres dispositifs, comme les systèmes de substitution sensorielle, le décalage des informations proprioceptives entre l'espace organique et l'espace perceptif distal est plus problématique. Lors de l'utilisation de tels dispositifs, nous ne pouvons plus, comme avec un jeu vidéo, compter sur la représentation visuelle extrêmement riche de l'espace perceptif distal pour savoir ce que nous y faisons.

La question du savoir de ses actions s'est posée avec une particulière acuité concernant le stylet tactile, dispositif de suppléance perceptive développé par le groupe Suppléance Perceptive (COSTECH, UTC). Ce système, décrit dans le chapitre I, est un dispositif de substitution sensorielle destiné aux non-voyants. Il permet de contrôler les stimulations sensorielles de l'utilisateur (stimuli tactiles, sonores ou visuels) en fonction des mouvements de champs récepteurs qu'il peut commander avec n'importe quel effecteur (souris, stylet, capteurs de mouvement, etc.). Les formes explorées sont des formes vectorielles. Les champs récepteurs peuvent prendre toutes sortes de formes combinant des cercles.

Le dispositif est constitué du stylet d'une tablette graphique (ou d'une souris) relié à une matrice de stimulateurs tactiles par l'intermédiaire d'un système informatique (voir figures IV-1 et IV-2). Le sujet explore avec le stylet la surface de la tablette graphique et reçoit des stimulations tactiles sur sa main libre, variant en fonction des formes rencontrées.

Plus précisément, le déplacement du stylet sur la tablette graphique détermine le déplacement d'un curseur dans l'espace bidimensionnel d'une image en noir et blanc affichée sur l'écran de l'ordinateur. Le curseur correspond à une matrice de champs récepteurs virtuels, c'est-à-dire fixés spatialement relativement aux mouvements du stylet de la tablette graphique. Lorsque le champ récepteur croise au moins un pixel noir, il déclenche l'activation d'une stimulation tactile sur la main libre du sujet (stimulation qui consiste en un déplacement d'un picot sur une cellule de barrette braille électronique).

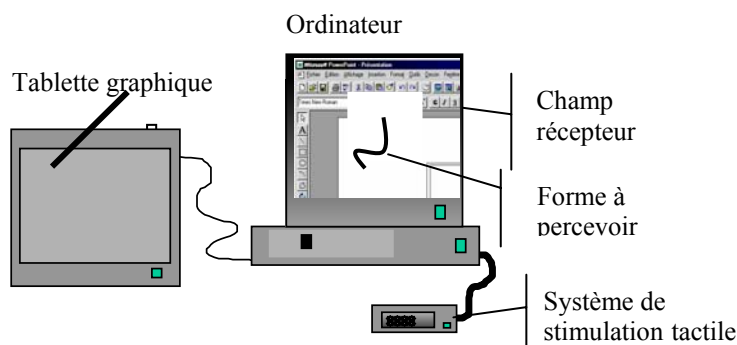


Figure IV-1. Schéma du stylet tactile.

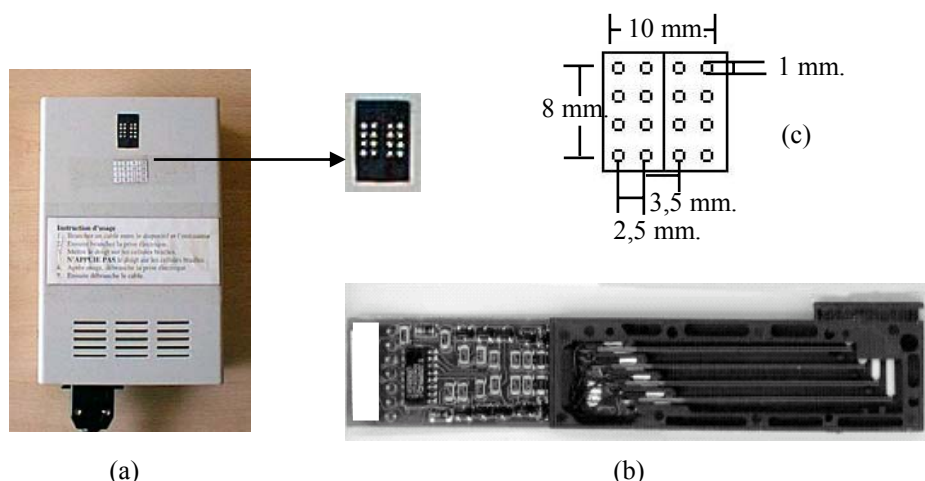


Figure IV-2. a) boîtier de cellules braille b) cellule braille standard c) taille de la matrice de stimulateurs tactiles (extrait de Sribunruangrit, 2004).

Avec ce dispositif expérimental, l'entrée sensorielle sur les données de l'espace perceptif ouvert par l'outil (les formes en noir et blanc sur l'écran) est extrêmement réduite. Dans une situation limite, l'utilisateur (aveugle ou voyant les yeux bandés) est réduit à commander les déplacements d'un unique petit champ récepteur dans l'espace bidimensionnel de l'écran. Il ne reçoit donc qu'une information en tout ou rien : une stimulation tactile si le

champ récepteur recouvre au moins un pixel noir ; une absence de stimulation tactile si tous les pixels sont blancs. Comme nous l'avons montré par de nombreuses expériences, même dans cette condition limite, l'utilisateur se révèle capable de résoudre des tâches perceptives simples (Hanneton et al., 1999). Mais, puisque l'entrée sensorielle est réduite au maximum, c'est seulement par son activité exploratoire qu'il peut localiser et reconnaître des formes (Lenay et al. 1997, 2002). Ainsi, le dispositif force une extériorisation maximale de l'activité perceptive, c'est-à-dire son déploiement spatial et temporel. Un déploiement qui permet une étude systématique de la dynamique des trajectoires perceptives et des stratégies qui les produisent.



Figure IV-3. Trajectoires perceptives enregistrées lors de la reconnaissance d'un P ou d'un S avec un seul champ récepteur. La courbe devient rouge lorsqu'il y a contact entre le champ récepteur et la forme présente sur l'écran.

Dans cette situation, savoir ce que l'on fait dans l'espace des formes à percevoir est bien crucial puisque c'est seulement à partir de ce savoir que pourront être localisées ou reconnues des formes. Or, non seulement les capacités des sujets à reconnaître des formes un peu complexes sont très limitées, mais on observe souvent qu'ils se perdent dans cet espace (voir figure IV-3). Dès que l'accroche avec la ligne est perdue, le sujet se révèle pratiquement incapable de la retrouver ou de comprendre quelle action il venait d'effectuer et où il se trouve maintenant.

I-1-3- Objectif des études présentées

Les dispositifs de substitution sensorielle minimalistes ont posé le problème du savoir de ses actions et ont notamment souligné la faiblesse de la proprioception naturelle via ce couplage. Nous proposons que deux types de solutions peuvent être envisagées. Soit nous

enrichissons les données sensorielles « extéroceptives » associées aux formes présentes en proposant des champs récepteurs plus complexes. Soit nous proposons des données sensorielles « proprioceptives » directement associées aux mouvements effectués.

I-2- Méthode générale

I-2-1- Appareillage

I-2-1-1- Le stylet tactile

Nous utilisons le logiciel « le stylet tactile » décrit précédemment. Ce logiciel a été modifié de telle sorte qu'il puisse donner accès à la fois à des informations extéroceptives et à des informations proprioceptives.

I-2-1-2- Les champs récepteurs

a- Les champs récepteurs extéroceptifs

Nous utilisons une matrice de seize champs récepteurs, d'une surface de seize pixels chacun qui se déplacent ensemble et sont organisés en carré. Afin d'étudier l'influence du parallélisme des champs récepteurs sur les performances des sujets, nous testons deux matrices de champs récepteurs extéroceptifs différentes : une matrice constituée d'un seul champ récepteur, ce dernier commandant une stimulation en tout ou rien des seize picots braille. Et une matrice de seize champs récepteurs correspondant respectivement à seize picots braille électroniques activés indépendamment (voir figure IV-4).

b- Les champs récepteurs proprioceptifs

Nous utilisons également une matrice de seize champs récepteurs, d'une surface de seize pixels chacun qui se déplacent ensemble et sont organisés en carré. Ces déplacements génèrent une trace à partir du centre du carré, trace dont la rencontre avec un des champs récepteurs commande une stimulation sensorielle spécifique des picots de la matrice de stimulateurs tactiles. Par exemple, si nous déplaçons le stylet en haut à gauche, les picots en bas à droite de la matrice vont s'activer. Ces champs récepteurs ne sont sensibles qu'à la trace générée par le mouvement et non pas aux formes présentes dans l'espace perceptif distal. Les stimulations tactiles sont donc distribuées sur une matrice de picots braille différente de celle dédiée aux champs récepteurs extéroceptifs. D'un point de vue pratique, l'extrémité du majeur est en contact avec les seize picots commandés par la matrice de champs récepteurs

proprioceptifs, et le bout de l'index est en contact avec les seize picots commandés par la matrice de champs récepteurs extéroceptifs.

Notons que la trace produite par les mouvements des champs récepteurs s'évanouit progressivement à partir de son extrémité, 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, et de rendre possible l'accès à une forme de vitesse du geste.

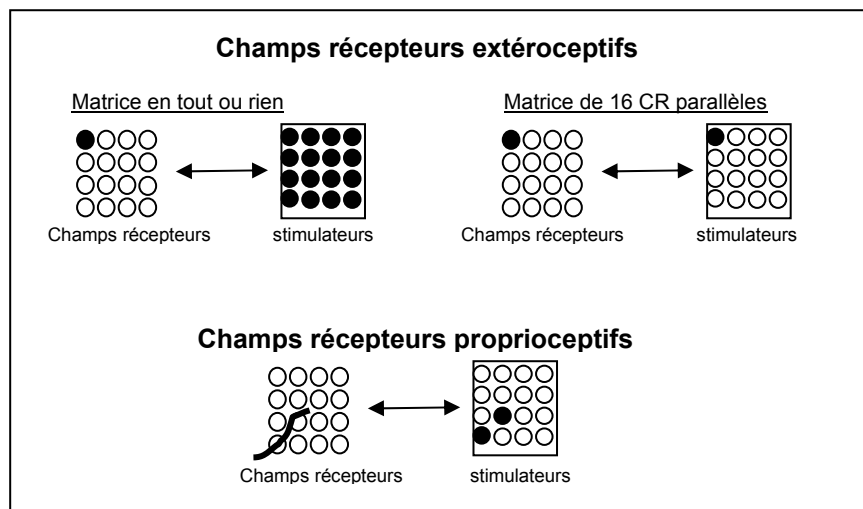


Figure IV-4. Schéma des champs récepteurs extéroceptifs (sensibles aux formes rencontrées) et proprioceptifs (sensibles aux mouvements effectués). Les cercles noirs représentent les champs récepteurs et picots activés.

I-2-1-3- Les effecteurs

Ces expériences ont été réalisées avec deux effecteurs différents, une tablette graphique et une souris, correspondant à une richesse décroissante des connaissances proprioceptives naturelles des déplacements effectués. En effet, avec le stylet, le codage des commandes des actions du curseur est un codage en « positions » : il y a une bijection entre l'espace de la tablette graphique et l'espace de l'écran ; à chaque position du stylet sur la tablette correspond une seule position des champs récepteurs sur l'écran. Dans le cas de la souris, il s'agit plutôt d'un codage en « déplacements » : les déplacements de la souris commandent des déplacements équivalents du curseur sur l'écran, indépendamment de la position de la souris. Dans ce cas, il ne peut y avoir de connaissance proprioceptive de la position des champs récepteurs.

I-2-2- Tâches

Nous étudions l'influence d'une prothétisation des informations proprioceptives et du parallélisme de la stimulation à travers trois tâches : prolongement de mouvement, production de formes semblables, exploration et reproduction de formes.

I-2-3- Participants

Seize sujets voyants, tous droitiers, participent à ces expériences. Aucun participant n'était familier avec le dispositif. Chaque participant a effectué deux sessions d'évaluation. La durée moyenne, pour chaque session est d'une heure trente.

I-2-4- Plan expérimental

Seize sujets passent deux sessions d'évaluation, une avec proprioception, l'autre sans proprioception. Chaque session d'évaluation est constituée de trois expériences correspondant aux trois tâches définies précédemment : 1) prolongement de mouvement, 2) production de formes semblables, 3) exploration et reproduction de formes.

Les seize sujets sont répartis en deux groupes, en fonction des modalités du facteur effecteur, de telle sorte que la moitié d'entre eux réalisent les expériences avec le stylet tactile et l'autre moitié avec la souris. Chacun de ces groupes est divisé en deux, la moitié des sujets passent les expériences avec la matrice constituée d'un champ récepteur extéroceptif unique et l'autre moitié des sujets avec la matrice constituée de seize champs récepteurs extéroceptifs. Enfin, au sein de chaque sous-groupe, l'ordre de passation des conditions avec et sans proprioception est contrebalancé : la moitié des sujets commence avec la session avec proprioception et l'autre moitié des sujets commence avec la session sans proprioception. Ainsi, huit sous-groupes de sujets sont constitués à partir du croisement des facteurs effecteur, champ récepteur et ordre.

Le plan expérimental est donc le suivant : $\underline{S}_2 < E_2 * C_2 * O_2 > * P_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet, et où les facteurs principaux systématiques sont :

- P : Informations proprioceptives ; P_1 : sans proprioception, P_2 : avec proprioception
- E : Effecteur ; E_1 : stylet, E_2 : souris
- C : Champ récepteur ; C_1 : champ récepteur 16, C_2 : champ récepteur 1
- O : Ordre de passation des sessions ; O_1 : commencent sans proprioception, O_2 : commencent avec proprioception

Les facteurs E et C sont des facteurs inter-sujets, le facteur P est intra-sujet, et le facteur O est un facteur secondaire contrebalancé.

Pour chaque expérience décrite ci-dessous, les données ont été analysées séparément en réalisant à chaque fois quatre analyses distinctes ayant comme plan : $S_{16} * P_2$; $S_8 <C_2>$; $S_8 <E_2>$ et $S_8 <O_2>$.

I-2-5- Procédure

Les sujets, assis en face d'une table, portent un bandeau noir sur les yeux. Ils tiennent dans la main droite l'un des deux effecteurs choisi pour cette expérience : une souris optique (Labtec 400 dpi) ou le stylet d'une tablette graphique (Wacom Intuos2 9*12). Ils ont l'index de la main gauche sur une matrice de stimulateurs vibrotactiles sensibles aux formes rencontrées. Dans la session avec proprioception, ils ont le majeur de la main gauche sur une matrice de stimulateurs vibrotactiles adjacente à la précédente, sensibles aux mouvements qu'ils ont effectués. L'effecteur est connecté à un ordinateur personnel Sony PCG-FX401 dans lequel est installé le logiciel Tactos. Ce logiciel convertit les formes rencontrées et les mouvements du sujet en stimulations tactiles sur les matrices vibrotactiles.

Entraînement

Nous donnons aux sujets une explication verbale du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons la forme des champs récepteurs leur servant à explorer les formes à l'écran et la relation entre leur exploration et la stimulation sensorielle correspondante sur la matrice de stimulateurs vibrotactiles. Nous leur expliquons de même le principe des informations proprioceptives et la stimulation correspondante sur la seconde matrice de stimulateurs vibrotactiles.

Nous entraînons les sujets avec le dispositif. Avant la session P1, nous les entraînons avec le retour extéroceptif uniquement et avant la session P2, nous les entraînons avec les deux retours sensoriels. Nous demandons dans un premier temps aux sujets de parcourir deux segments de ligne en se concentrant sur les variations de stimulations des stimulateurs vibrotactiles. Puis, nous leur donnons deux pistes à parcourir. Le point de départ se fait sur le bord gauche de l'écran. Les sujets doivent parcourir des chemins simples, faits de quatre segments de trois centimètres. Leur tâche est de trouver le chemin qui se finit par un cercle. La session d'entraînement dure vingt minutes.

I-3- Expérience 1.1- Prolongation de mouvement

I-3-1- Méthode

Le sujet doit parcourir sept lignes d'orientations différentes, puis prolonger son mouvement « dans le vide » de façon à trouver la cible se situant dans ce prolongement. Nous laissons au sujet cinquante secondes d'exploration de la ligne, puis le sujet doit revenir au début de la ligne, la suivre et prolonger son mouvement. Les sept orientations possibles de la ligne sont : 0° , 18° , 34° , 45° , 56° , 72° , 90° . Ces orientations correspondent à des vibrations déterminées sur la matrice de champs récepteurs proprioceptifs. La ligne mesure 6,5 centimètres et la distance entre la fin de la ligne et la cible est de 6,5 centimètres. La cible est un disque de un centimètre de rayon. Le point de départ de la ligne est situé en bas à gauche de la tablette. Il est décalé de 1*1 centimètre par rapport au bord de la tablette (voir figure IV-5).

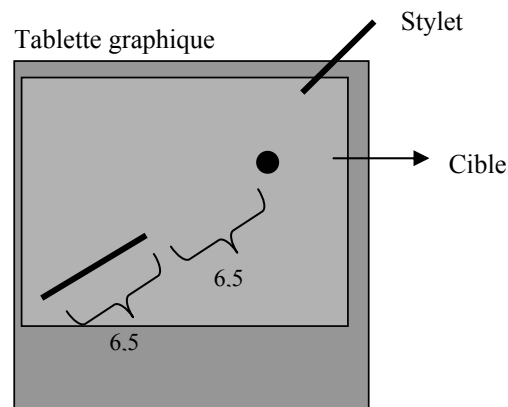


Figure IV-5. Schéma de l'expérience 1.1

Nous recueillons deux mesures : 1) le pourcentage de réussite de la tâche, c'est-à-dire le pourcentage de fois où la cible a été atteinte et 2) la distance des trajectoires des sujets par rapport à la cible.

I-3-2- Résultats

1- Pourcentage de réussite

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur effecteur, ni du facteur champ récepteur, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

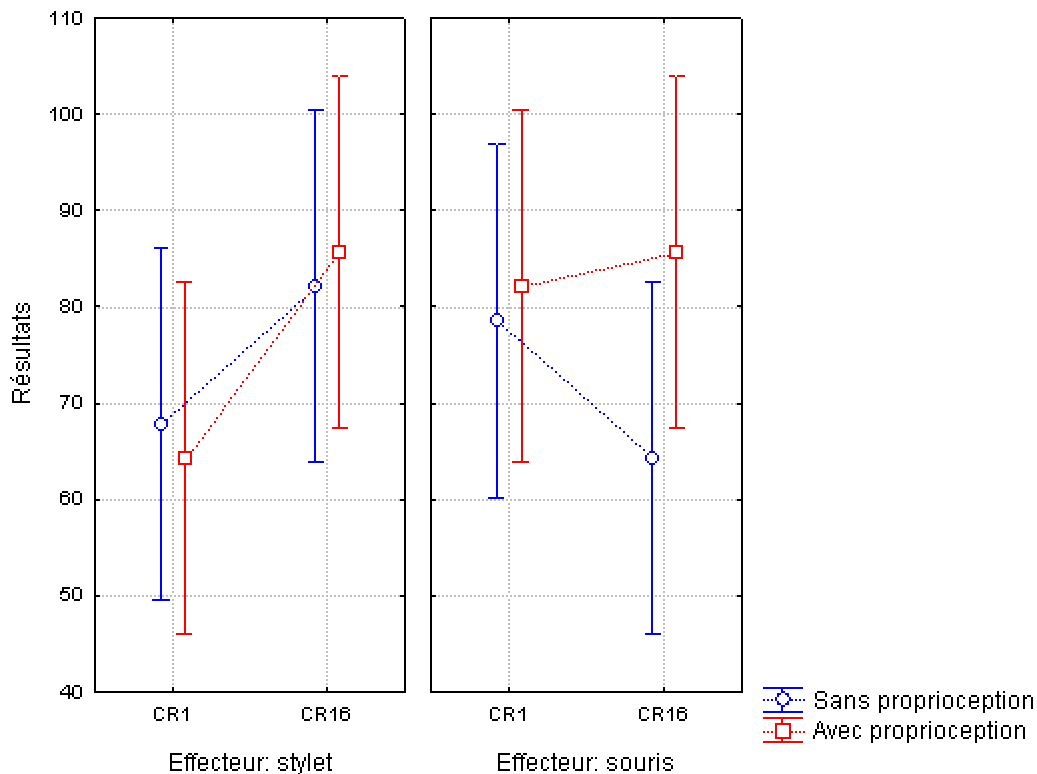


Figure IV-6. Expérience 1.1. Pourcentages moyens de réussite de la tâche (atteinte de la cible) en fonction du type d'effecteur (stylet et souris) et de la matrice de champs récepteurs (1 et 16) et pour les conditions avec proprioception et sans proprioception. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

2- Distance au centre de la cible

Afin d'obtenir des résultats plus précis, nous évaluons les performances des sujets en fonction de leur écart par rapport à la cible. Pour cela, nous mesurons la distance entre le centre de la cible et la position du sujet lorsqu'il est au plus proche de la cible. Cette seconde mesure confirme les résultats obtenus précédemment. Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur effecteur, ni du facteur champ récepteur, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

I-4- Expérience 1.2 - Production de formes semblables

I-4-1- Méthode

Nous demandons aux sujets de dessiner quatre fois la même forme de la manière la plus similaire possible. Nous leur demandons d'effectuer cette tâche pour trois formes composées de deux segments et pour trois formes composées de trois segments. Nous mesurons, en degrés, l'erreur d'angle absolu dans la reproduction des dessins. Pour cela, nous

calculons la variance des angles absolus dessinés par le sujet pour toutes les reproductions de l'angle d'un même segment.

I-4-2- Résultats

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur effecteur, ni du facteur champ récepteur, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

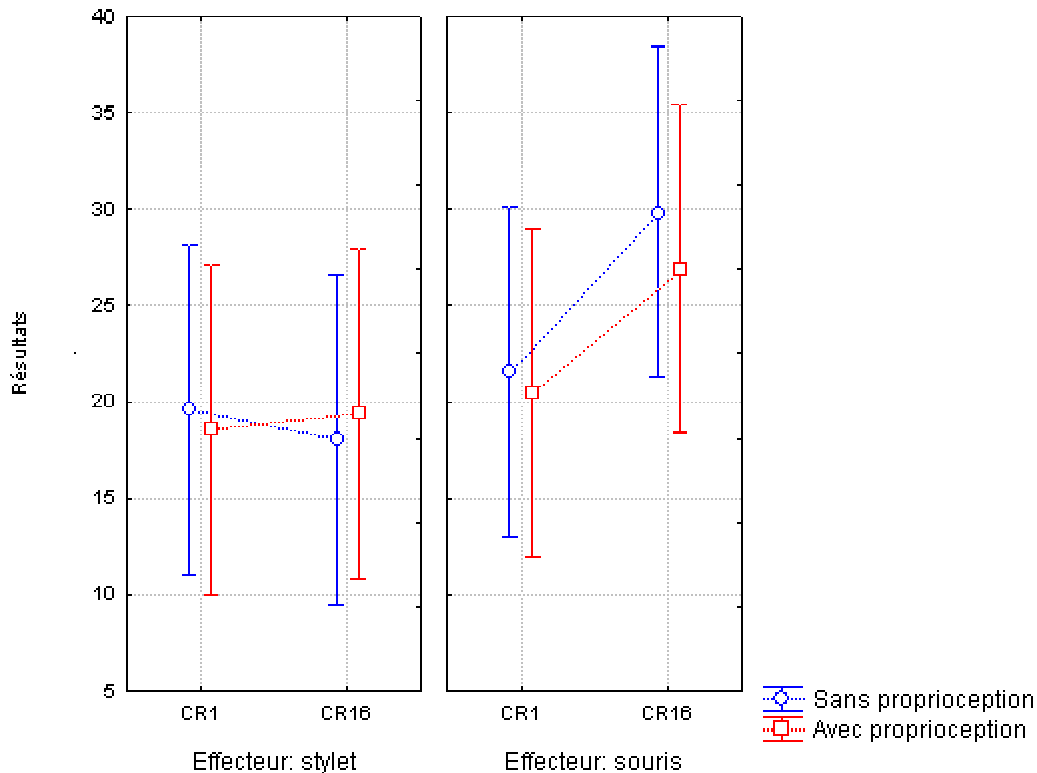


Figure I-7. Expérience 1.2. Erreur moyenne d'angle absolu dans la reproduction des dessins en fonction du type d'effecteur (stylet et souris) et de la matrice de champs récepteurs (1 et 16) et pour les conditions avec proprioception et sans proprioception. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

I-5 Expérience 1.3 - Exploration et reproduction de formes

I-5-1- Méthode

Nous demandons aux sujets d'explorer et de redessiner huit formes simples : quatre formes composées d'un segment et quatre formes composées de deux segments. Le sujet explore durant une minute trente les formes composées d'un segment et durant trois minutes les formes composées de deux segments. À la fin de l'exploration de chaque forme, nous demandons aux sujets de redessiner la forme explorée avec l'effecteur qu'il a utilisé pour l'exploration. Nous mesurons l'erreur d'angle absolu, en degrés, dans la reproduction des formes, par rapport aux angles des segments des formes parcourues.

I-5-2- Résultats

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur effecteur, ni du facteur champ récepteur, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

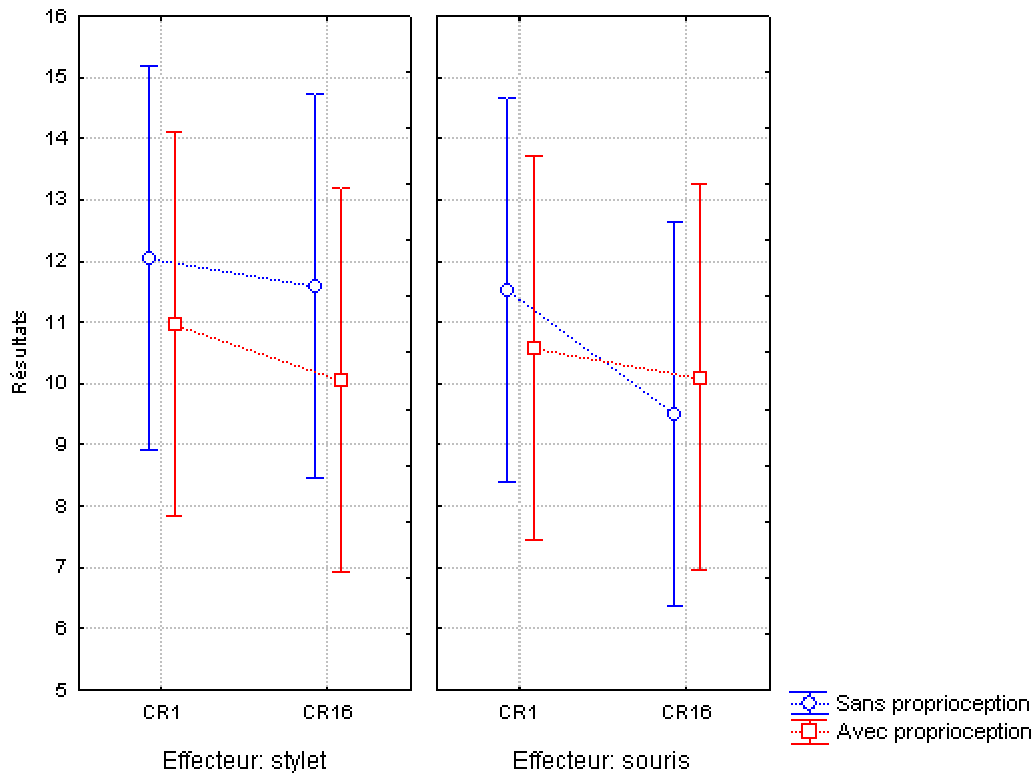


Figure I-8. Expérience 1.3. Erreur moyenne d'angle absolu dans la reproduction des formes en fonction du type d'effecteur (stylet et souris) et de la matrice de champs récepteurs (1 et 16) et pour les conditions avec proprioception et sans proprioception. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

I-6- Discussion générale

Ces premiers résultats ne semblent pas permettre de tirer de conclusions définitives concernant l'influence des différents facteurs explorés. Nous n'avons pas observé d'effets significatifs des facteurs considérés.

Cependant, lors de ces expériences, les sujets ont eu une session d'apprentissage du dispositif très restreinte. Il est par conséquent possible que l'absence d'influence des différents facteurs explorés soit due à une maîtrise insuffisante du dispositif. Nous décidons donc d'organiser une seconde série d'expériences permettant un plus grand temps d'apprentissage. Les sujets réalisent trois séances comprenant de multiples tâches susceptibles

de mobiliser un apprentissage de la proprioception prothétisée, séances réalisées à des jours différents.

Par ailleurs, nous décidons de travailler uniquement avec la souris. En effet, le léger avantage du stylet tient très probablement à la meilleure association qu'il permet entre la proprioception naturelle et les mouvements effectués dans l'espace virtuel. Puisque dans cette expérience nous cherchons à comprendre comment suppléer artificiellement au manque de connaissance proprioceptive naturelle, l'effecteur souris devrait être plus révélateur. De plus, pour vérifier s'il y a bien un apprentissage de la fonction proprioceptive de nos dispositifs, nous ajoutons une tâche de perception passive où les sujets devront reconnaître une trajectoire sur la seule base de la succession temporelle de stimuli tactiles.

II - Expérience V

Substitution sensorielle, informations proprioceptives et apprentissage

II-1- Introduction

Les expériences effectuées précédemment ne nous ont pas permis d'obtenir un effet significatif de l'utilisation d'une proprioception prothétisée, ni un effet de l'utilisation de champs récepteurs parallèles. L'objectif des études que nous allons présenter est d'étudier si ces deux facteurs peuvent avoir une influence après, non pas un simple entraînement, mais un apprentissage du dispositif plus conséquent.

II-2- Méthode Générale

II-2-1- Appareillage

Le matériel est identique à celui utilisé dans l'expérience IV à la seule différence que nous utilisons comme effecteur uniquement la souris.

II-2-2- Tâches

Nous étudions l'influence d'une prothétisation des informations proprioceptives et du parallélisme de la stimulation à travers un ensemble de sept tâches nous permettant de d'étudier l'influence de ces facteurs sur des capacités variées, telles que la capacité à ne pas se perdre et donc à mieux suivre une ligne ou une forme, qu'elles soient continues ou discontinues, la capacité à prolonger un mouvement, à retrouver une direction, la capacité à explorer et à reproduire des formes, ainsi que la capacité à comprendre des structures de changement (angles, arcs de cercles) et à les reproduire.

II-2-3- Participants

Huit sujets voyants, tous droitiers, participent à ces expériences. Aucun participant n'était familier avec le dispositif. Chaque participant débute par une session d'apprentissage dont la durée est de deux heures trente. Ensuite, il participe à deux sessions d'évaluation ; la durée moyenne de chacune est de deux heures trente.

II-2-4- Plan expérimental

Huit sujets passent deux sessions d'évaluation, une avec proprioception, l'autre sans proprioception. Chaque session d'évaluation est constituée de sept expériences correspondant à sept tâches différentes.

Les huit sujets sont répartis en deux groupes, en fonction des modalités du facteur champ récepteur. La moitié des sujets passent les expériences avec la matrice constituée d'un champ récepteur extéroceptif unique et l'autre moitié des sujets avec la matrice constituée de seize champs récepteurs extéroceptifs. Au sein de chaque groupe, l'ordre de passation des conditions avec et sans proprioception est contrebalancé de telle sorte que la moitié des sujets commence avec la session avec proprioception et l'autre moitié des sujets commence avec la session sans proprioception.

Le plan expérimental est donc le suivant : $\underline{S}_2 < C_2 * O_2 > * P_2$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet, et où les facteurs principaux systématiques sont :

- P : Informations proprioceptives ; P_1 : sans proprioception, P_2 : avec proprioception
- C : Champ récepteur ; C_1 : champ récepteur 16, C_2 : champ récepteur 1
- O : Ordre de passation des sessions ; O_1 : commencent sans proprioception, O_2 : commencent avec proprioception.

Le facteur C est un facteur inter-sujets, le facteur P est intra-sujet, et le facteur O est un facteur secondaire contrebalancé.

Pour chaque expérience décrite ci-dessous, les données ont été analysées séparément en réalisant à chaque fois trois analyses distinctes ayant comme plan : $S_8 * P_2$; $S_4 < C_2 >$; $S_4 < O_2 >$.

II-2-5- Procédure

Les sujets, assis en face d'une table, portent un bandeau noir sur les yeux. Ils tiennent dans la main droite une souris optique (Labtec, 400 dpi). Ils ont l'index de la main gauche sur une matrice de stimulateurs vibrotactiles sensibles aux formes rencontrées. Dans la session avec proprioception, ils ont le majeur de la main gauche sur une matrice de stimulateurs vibrotactiles adjacente à la précédente, sensibles aux mouvements qu'ils ont effectués. La souris optique est connectée à un ordinateur personnel (Sony PCG-FX401) dans lequel est

hébergé le logiciel Tactos, permettant de convertir les formes rencontrées et les mouvements du sujet en stimulations tactiles sur les matrices vibrotactiles.

Apprentissage

Nous donnons aux sujets une explication verbale du fonctionnement du dispositif. Nous leur expliquons la forme des champs récepteurs leur servant à explorer les formes à l'écran et la relation entre leur exploration et la stimulation sensorielle correspondante sur la matrice de stimulateurs vibrotactiles. De même, nous leur expliquons le principe des informations proprioceptives et la stimulation correspondante sur la seconde matrice de stimulateurs vibrotactiles.

Nous entraînons les sujets, lors d'une longue session dédiée, avec le dispositif. Nous leur faisons effectuer un ensemble de tâches. Elles ont pour but de les familiariser avec les matrices de champs récepteurs dont ils se serviront lors des sessions d'évaluation (informations extéroceptives et informations proprioceptives).

II-3- Expérience 2.1

II-3-1- Méthode

Le sujet doit effectuer trois allers-retours sur trois lignes différentes. L'extrémité de chaque ligne est signalée par un signal sonore. Les lignes parcourues sont sélectionnées aléatoirement parmi treize lignes de neuf centimètres d'orientations différentes allant de -90° à $+90^\circ$. Nous mesurons le temps de parcours pour trois allers-retours sur chaque ligne.

II-3-2- Résultats

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

Les sujets ont de meilleurs résultats avec le champ récepteur 16 (71.6 s.) qu'avec le champ récepteur 1 (134 s.) ($F(1, 7) = 16.56$; $p < 0.001$). Ce résultat est cohérent avec les travaux de Sribunruangrit sur l'influence du parallélisme des champs récepteurs (Sribunruangrit et al. 2004).

II-4- Expérience 2.2

II-4-1- Méthode

Le sujet doit effectuer trois allers-retours sur trois lignes en pointillé. Chaque ligne mesure quinze centimètres et est composée de quatre segments. Les extrémités de chaque ligne sont signalées par un signal sonore. Les extrémités de chaque segment sont signalées par un signal sonore différent. Les lignes parcourues sont sélectionnées aléatoirement parmi treize lignes d'orientations différentes allant de -90° à $+90^\circ$. Nous mesurons le temps de parcours pour trois allers-retours sur chaque ligne.



Figure I-8. Expérience 2.2. Parcours de lignes en pointillé

II-4-2- Résultats

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

Les sujets ont de meilleurs résultats avec le champ récepteur 16 (130.8 s.) qu'avec le champ récepteur 1 (268.6 s.) ($F(1, 7) = 10.1$; $p < 0.001$).

II-5- Expérience 2.3

II-5-1- Méthode

Le sujet doit parcourir sept lignes d'orientations différentes, puis prolonger son mouvement « dans le vide » de sorte à trouver la cible se situant dans ce prolongement. Nous laissons au sujet cinquante secondes d'exploration de la ligne, puis le sujet doit revenir au début de la ligne, la suivre et prolonger son mouvement. Les sept orientations possibles de la ligne sont : 0° , 18° , 34° , 45° , 56° , 72° , 90° . Ces orientations correspondent à des vibrations déterminées sur la matrice de champs récepteurs proprioceptifs. La ligne mesure 6,5 centimètres et la distance entre la fin de la ligne et la cible est de 6,5 centimètres. La cible est un disque d'un centimètre de rayon. Le point de départ de la ligne est situé en bas à gauche de la tablette. Il est décalé de 1×1 cm par rapport au bord de la tablette. Nous mesurons le pourcentage de réussite de la tâche, c'est-à-dire le pourcentage de fois où la cible a été atteinte.

II-5-2- Résultats

Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur proprioception, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

Les sujets ont de meilleurs résultats avec le champ récepteur 16 (87.5 %) qu'avec le champ récepteur 1 (62.5 %) ($F(1, 7) = 9.9$; $p < 0.005$).

II-6- Expérience 2.4

II-6-1- Méthode

Afin d'étudier la capacité des sujets à retrouver une direction après s'en être écartée, et non pas simplement prolonger un mouvement, nous proposons une tâche dans laquelle le matériel est équivalent au précédent, à cette différence que le sujet doit effectuer un cercle avec la souris après avoir quitté la ligne et avant de retrouver la cible située dans le prolongement de la ligne. Les sujets effectuent cinq essais sur cinq lignes d'orientations différentes. Nous mesurons le pourcentage de réussite de la tâche, c'est-à-dire le pourcentage de fois où la cible a été atteinte.

II-6-2- Résultats

Les analyses ne montrent pas d'effet du facteur proprioception, ni du facteur ordre, ni du facteur champ récepteur ($F_s < 1$).

II-7- Expérience 2.5

II-7-1- Méthode

Les sujets doivent parcourir trois fois un chemin fait de quatre segments en pointillé. La somme des quatre segments est de quinze centimètres. Les extrémités de chaque chemin sont signalées par un signal sonore. Les extrémités de chaque segment sont signalées par un signal sonore différent. Les sujets doivent ensuite redessiner la forme. Les sujets effectuent cette expérience sur trois chemins différents. Nous recueillons deux mesures : 1) le temps pour effectuer les trois parcours de cette forme et 2) que l'erreur angulaire absolue des segments de la forme redessinée.

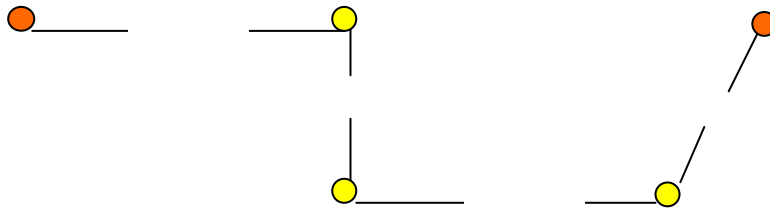


Figure I-9. Expérience 2.5. Parcours de chemins en pointillé

II-7-2- Résultats

1- Temps de parcours

Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur proprioception, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

Les sujets ont de meilleurs résultats avec le champ récepteur 16 (250.1 s.) qu'avec le champ récepteur 1 (372 s.) ($F(1, 7) = 25.6$; $p < 0.001$).

2- erreur moyenne absolue de direction (en degrés) :

Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur proprioception, ni du facteur ordre, ni du facteur champ récepteur ($F_s < 1$).

II-8- Expérience 2.6

II-8-1- Méthode

Les sujets doivent parcourir un arc de cercle, puis le dessiner. Ils effectuent ceci sur six arcs de cercle différents. Nous mesurons le temps de parcours de chaque arc de cercle ainsi que l'erreur sur le rayon de courbure des arcs de cercle redessinés. Les sujets partent toujours de la gauche vers la droite mais ignorent à la fois la courbure et si l'arc est montant ou descendant.



Figure I-9. Expérience 2.6. Parcours d'arc de cercle

II-8-2- Résultats

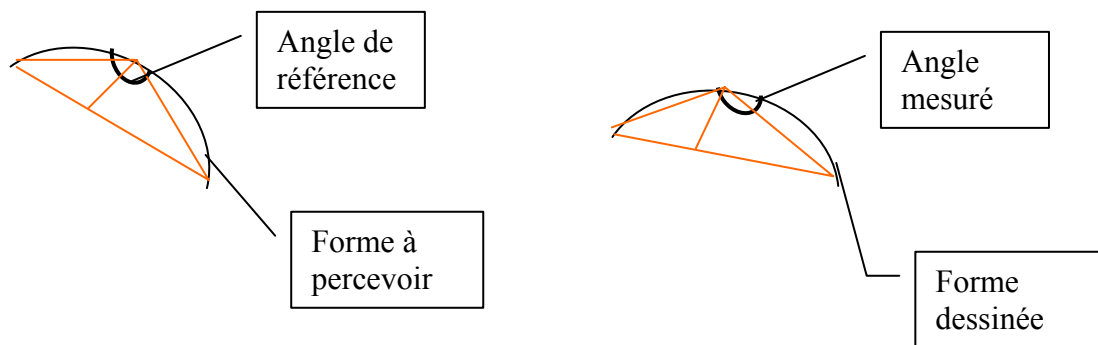
1- Temps de parcours

Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur proprioception, ni du facteur ordre ($F_s < 1$).

Les performances des sujets sont affectées par le type de champ récepteur utilisé ($F(1,7) = 42.01$, $p < 0.0001$). Les sujets ont de meilleurs résultats avec le champ récepteur 16 (14.9 s.) qu'avec le champ récepteur 1 (29.0 s.).

2- Erreur moyenne sur l'angle de courbure du segment redessiné :

Nous mesurons l'angle de courbure des formes dessinées de la façon suivante :



L'erreur est la valeur absolue de la différence entre l'angle mesuré et l'angle de référence.

Nous n'observons pas d'effet significatif du facteur proprioception, ni du facteur ordre, ni du facteur champ récepteur ($F < 1$).

II-9- Expérience 2.7

II-9-1- Méthode

La dernière expérience effectuée consiste en un suivi passif d'arcs de cercle. Les sujets ne sont en contact qu'avec le boîtier de stimulation tactile. Nous leur distribuons les successions de stimulations tactiles correspondant à l'exploration de trois arcs de cercles différents qu'ils doivent ensuite redessiner. Notons que les sujets utilisant la matrice composée d'un champ récepteur unique peuvent effectuer cette expérience dans la session

sans proprioception. Nous mesurons l'erreur sur le rayon de courbure des arcs de cercle redessinés

II-9-2- Résultats

Nous constatons que les sujets parviennent assez bien à redessiner la courbure de l'arc de cercle. Avec la seule proprioception, l'erreur absolue moyenne est de 10,9 °. Avec le seul parallélisme (champ récepteur extéroceptif 16, C16), l'erreur absolue moyenne est de 13,3°. Mais quand on combine les deux sources d'information, l'erreur absolue moyenne est de 18,4°. Nous allons revenir sur ces résultats dans la discussion générale.

II-10- Discussion générale

L'ensemble des résultats obtenus nous permet de dégager que, dans le cadre de ces expériences, la modélisation d'une proprioception prothétisée n'est pas efficace. La présence d'informations proprioceptives n'améliore pas les résultats des sujets. Dans deux des tâches proposées, elle constitue au contraire une gêne importante pour les sujets. Nous n'avons ainsi pas pu montrer une utilité spécifique de l'utilisation d'une proprioception prothétisée, que ce soit pour la maîtrise du geste, sa répétition ou sa prolongation, ou pour la reconnaissance ou la production de formes. Pourtant la proprioception est bien nécessaire quand on agit dans le vide, sans objet externe pour se repérer. Mais ici l'interaction avec la proprioception naturelle reste prévalente puisque dans cette expérience elle restait synchronisée avec les actions corporelles.

L'effet du parallélisme des champs récepteurs est en revanche massif. Les sujets ont de meilleurs résultats lorsqu'ils utilisent la matrice de champs récepteurs parallèles. Cette influence est particulièrement importante lors des tâches d'exploration, le temps passé à découvrir les formes varie parfois du simple au double selon le champ récepteur utilisé.

Cet avantage du parallélisme pour la facilitation des tâches perceptives proposées nous semble pouvoir s'expliquer de la façon suivante. Dans la mesure où le dispositif technique crée un découplage entre les actions dans l'espace organique et les actions dans l'espace perceptif distal, seule une extéroception donnant accès aux objets de cet espace distal permet de découvrir ce que l'on fait relativement à eux. Le parallélisme des champs récepteurs extéroceptifs permet un meilleur contrôle de ses actions, comme on le voit par les

performances nettement meilleures lors des suivis de ligne. Le parallélisme améliore la perception parce qu'il donne en entrée sensorielle une information plus riche sur la position et l'orientation des lignes à reconnaître, et donc une meilleure perception des mouvements effectués dans le voisinage de ces lignes. Autrement dit, le parallélisme a une fonction « proprioceptive » basée sur des capteurs extéroceptifs. Par exemple, lorsqu'il s'agit de suivre une ligne fragmentée en quatre segments (expérience 2.1), le parallélisme intervient certainement en donnant une meilleure perception de l'orientation à suivre dans les espaces entre les différents segments, mais cette perception est tout autant la perception de la direction de la ligne que la perception de la direction du geste de suivi. De même, dans l'expérience sur la perception de la courbure d'un arc de cercle (2.6), le parallélisme, en permettant un meilleur suivi (contrôle du changement progressif de direction) permet de mieux comprendre le geste global effectué et donc de mieux le reproduire quand il s'agit de le dessiner. D'ailleurs, après cet apprentissage, dans l'expérience suivante (suivi passif 2.7), les sujets se révèlent capables d'interpréter la séquence temporelle des stimulations sensorielles comme le passage de cet arc de cercle sous leur doigt. Dans la mesure où reconnaître la courbure d'un arc de cercle consiste à reconnaître le mouvement effectué pour le suivre, les sujets ont bien appris à reconnaître dans les informations reçues la nature du mouvement effectué.

De leur côté, les informations sensorielles délivrées par une proprioception prothétisée ne peuvent avoir une signification spatiale que de façon dérivée. C'est seulement par association entre un déplacement connu effectué et le retour sensoriel proprioceptif qu'il produit que celui-ci pourra être appris. Ceci signifie qu'il faut d'abord savoir ce que l'on fait dans l'espace perceptif distal pour seulement ensuite pouvoir comprendre que cette action sera associée à tel retour proprioceptif. Nous nous attendions à ce que la proprioception prothétisée se calibre progressivement sur les actions effectuées telles qu'elles sont reconnues dans l'activité perceptive via les capteurs extéroceptifs. Ce n'est pas ce que nous avons observé. Cet échec nous semble s'expliquer : dans notre dispositif expérimental, le couplage entre ce que l'on fait dans l'espace organique (mouvements de la souris) et ce que l'on fait dans l'espace perceptif distal (mouvements des champs récepteurs) reste suffisamment isomorphe pour que ce soit sur la base de la proprioception naturelle que se calibre la proprioception prothétisée. Or cette information sensorielle supplémentaire est très pauvre relativement à la proprioception corporelle. Elle est inutile dans la plupart des expériences où elle joue donc plutôt un rôle négatif en encombrant le sujet d'une information redondante. Ce n'est que dans la dernière expérience (2.7) que la proprioception prothétisée s'est révélée

utile. En effet, dans le suivi passif (avec champ extéroceptif unique) on ne peut s'appuyer que sur la seule information proprioceptive artificielle. On voit que celle-ci a bien été apprise. Mais puisque les sujets travaillaient ici avec un unique champ récepteur, on comprend que c'est bien essentiellement sur la base de la correspondance entre proprioception naturelle et proprioception artificielle que cette dernière a été apprise, certainement essentiellement lors de l'expérience précédente du suivi actif de courbure. Dès lors, lorsque les deux sources d'information sont présentes, parallélisme extéroceptif et proprioception prothétisée, les informations sensorielles à traiter simultanément sont trop complexes.

D'un point de vue ergonomique, l'idée d'une modélisation d'un retour proprioceptif sur ses actions via un canal d'information spécialement dédié devait nous permettre d'accroître la perception sans enrichir le flux des signaux relatifs à la figure elle-même. L'absence d'effet lié aux informations proprioceptives ne nous permet pas d'envisager l'amélioration du logiciel par ce biais.

Une piste à poursuivre, si l'on veut que la proprioception prothétisée se calibre plutôt sur les données extéroceptives apportées par le parallélisme, serait de proposer une autre façon de distribuer les informations proprioceptives. Si, pour un mouvement donné, les stimuli tactiles proprioceptifs ressemblaient suffisamment aux stimuli tactiles extéroceptifs produits par ce mouvement à proximité d'un objet, on aurait plus de chance d'obtenir l'apprentissage d'une relation directe entre ces deux types d'information.

III - Expérience VI

Influence de la taille, du parallélisme et de la structure topologique des champs récepteurs sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle

III-1- Introduction

Les deux expériences précédentes de ce chapitre, « Substitution sensorielle et informations proprioceptives » et « Substitution sensorielle, informations proprioceptives et apprentissage », ont montré que la possibilité d'utiliser un canal d'information spécialement dédié au savoir de ses actions n'améliore pas les performances des sujets. En revanche, ces expériences montrent que l'augmentation du nombre de champs récepteurs accroît les performances des sujets. Nous cherchons dans cette troisième expérience à confirmer cette influence du parallélisme des champs récepteurs et étudions l'influence de la taille et de l'organisation spatiale des champs récepteurs sur les performances des sujets.

Nous étudions l'influence de la taille des champs récepteurs dans l'idée de confirmer le déficit de mémoire proprioceptive des sujets lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle. En effet, une augmentation de la taille des champs récepteurs pourrait pallier l'imprécision des mouvements des sujets et ainsi améliorer leurs performances.

L'augmentation du nombre de champs récepteurs peut se comprendre comme une pluralité de points de vue organisés spatialement dans l'espace perceptif distal. L'information correspondante est donnée sur une matrice de stimulateurs dans l'espace organique. Une amélioration des performances des sujets, grâce au parallélisme, montrerait que les sujets ont appris à maîtriser l'organisation spatiale de leurs points de vue (de leurs champs récepteurs) dans l'espace perceptif distal grâce à l'organisation spatiale de la stimulation donnée dans l'espace organique.

L'influence de l'organisation spatiale des champs récepteurs nous permettra d'étudier si les sujets parviennent à reconstruire l'organisation spatiale de leurs points de vue dans

l'espace perceptif distal lorsque cette organisation n'est pas isomorphe à celle de la stimulation donnée dans l'espace organique.

Afin d'étudier l'influence de la taille, du nombre et de l'organisation spatiale des champs récepteurs sur les performances des sujets, nous examinons l'évolution de ces performances lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste dans le cadre d'une tâche d'exploration de formes. Les sujets utilisent différentes matrices de champs récepteurs. Pour étudier l'influence de la taille du champ récepteur sur les performances des sujets, nous utilisons deux matrices en tout ou rien de tailles différentes. Pour tester l'influence du nombre de champs récepteurs, nous utilisons une matrice de champs récepteurs parallèles. Et afin de tester l'influence de l'organisation spatiale des champs récepteurs, nous utilisons une matrice de champs récepteurs parallèles dans laquelle l'organisation spatiale des champs récepteurs n'est pas isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs.

III-2- Méthode générale

III-2-1- Appareillage

III-2-1-1- Le stylet tactile

Nous utilisons « le stylet tactile », dispositif expérimental décrit lors de l'expérience précédente. Ce dispositif est constitué du stylet d'une tablette graphique relié à une matrice de stimulateurs tactiles par l'intermédiaire d'un système informatique. Le déplacement du stylet sur la tablette graphique détermine le déplacement d'une matrice de champs récepteurs dans l'espace de l'écran. Lorsqu'un champ récepteur croise au moins un pixel noir, il déclenche l'activation de certains picots d'une matrice de seize stimulateurs tactiles. L'index de l'utilisateur est placé sur cette matrice.

III-2-1-2- Les champs récepteurs

Nous utilisons quatre matrices de champs récepteurs fonctionnant en tout ou rien.

La première matrice (M1) est constituée d'un champ récepteur unique de deux pixels de largeur et de huit pixels de hauteur. L'activation de ce champ récepteur déclenche l'activation d'une ligne de quatre picots de la matrice de stimulateurs.

La seconde matrice (M2) est constituée d'un champ récepteur unique de deux pixels de largeur et de trente-deux pixels de hauteur. L'activation de ce champ récepteur déclenche l'activation d'une ligne de quatre picots de la matrice de stimulateurs.

La troisième matrice (M3) est constituée de quatre champs récepteurs de deux pixels de largeur et de huit pixels de hauteur. La taille totale de la matrice est de deux pixels de largeur et de trente-deux pixels de hauteur. L'activation d'un des champs récepteurs déclenche l'activation d'une ligne de quatre picots de la matrice de stimulateurs.

La quatrième matrice (M4) est constituée de quatre champs récepteurs de deux pixels de largeur et de huit pixels de hauteur. La taille totale de la matrice est de deux pixels de largeur et de trente-deux pixels de hauteur. L'activation d'un des champs récepteurs déclenche l'activation d'une ligne de quatre picots de la matrice de stimulateurs. Dans cette matrice, l'organisation spatiale des champs récepteurs n'est pas isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs (voir figure IV-11).

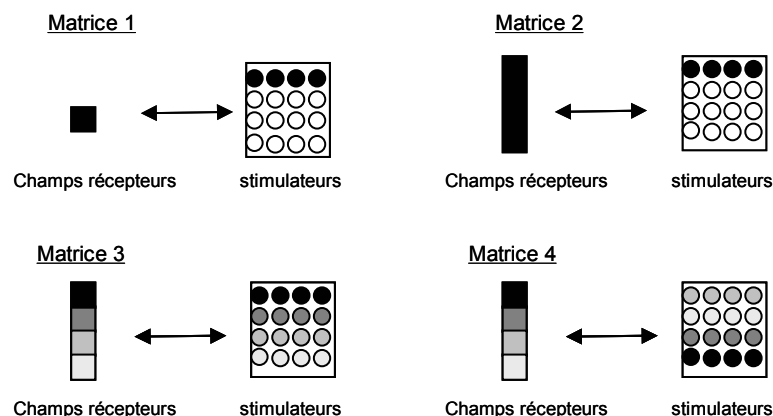


Figure IV-11 : Schéma des matrices de champs récepteurs et des activations correspondantes sur les matrices de stimulateurs. Les cercles colorés représentent les champs récepteurs activés et les stimulateurs correspondants activés.

III-2-2- Participants

Vingt-huit sujets voyants participent à ces expériences. Aucun participant n'était familier avec le dispositif. Chaque participant a effectué une session d'apprentissage et trois sessions d'évaluation. Chaque session dure en moyenne une heure.

III-2-3- Procédure

Les sujets, assis en face d'une table, portent un bandeau noir sur les yeux. Ils tiennent dans leur main dominante le stylet d'une tablette graphique (Wacom Intuos2 9*12). Ils ont l'index de l'autre main sur une matrice de stimulateurs vibrotactiles sensibles aux formes rencontrées. Le stylet de la tablette graphique est connecté à un ordinateur personnel (HP Vectra XE310) dans lequel est installé le logiciel Tactos (logiciel correspondant au dispositif « le stylet tactile »). Ce logiciel convertit les formes rencontrées et les mouvements des sujets en stimulations tactiles sur les matrices vibrotactiles.

Chaque sujet utilise l'une des quatre matrices de champs récepteurs et effectue une session d'apprentissage et trois sessions d'évaluation avec cette matrice. Les tâches de la session d'apprentissage et des trois sessions d'évaluation sont les mêmes. Nous expliquons aux sujets la relation entre leur exploration et la stimulation sensorielle correspondante sur la matrice de stimulateurs vibrotactiles. En revanche, nous ne leur donnons aucune information sur la taille, la forme et l'organisation des champs récepteurs qu'ils utilisent.

III-2-3-1- Apprentissage

Au début de chaque session, nous entraînons les sujets sur une tâche d'exploration de lignes. Les sujets doivent effectuer trois allers-retours sur six lignes différentes. L'extrémité de chaque ligne est signalée par un signal sonore (voir figure IV-12). Nous utilisons trois lignes de neuf centimètres et trois lignes de douze centimètres, d'orientations différentes allant de -20° à $+20^\circ$. Afin de favoriser le suivi de lignes, des lignes repères ont été tracées à quarante-huit pixels (soit 1.5 fois la longueur des matrices de champs récepteurs M2, M3 et M4) en dessous et au-dessus de la droite à parcourir. Lorsque le champ récepteur croise ces lignes repères, un signal sonore est émis. Les sujets ont pour consigne de ne pas dépasser ces lignes repères. À chaque session, les sujets suivent les mêmes six lignes. L'ordre dans lequel sont suivies les six lignes est choisi aléatoirement.

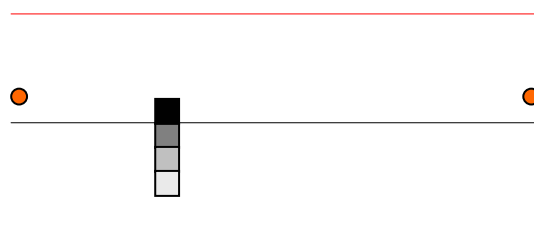


Figure IV-12. Schéma du matériel utilisé pour la session d'apprentissage.

III-2-3-2- Evaluation

Lors de l'évaluation, les sujets doivent effectuer trois allers-retours sur dix chemins différents. Les chemins sont composés de plusieurs arcs de cercles. L'extrémité de chaque chemin est signalée par un signal sonore. Des chemins repères, identiques au chemin à parcourir, ont été tracés à quarante-huit pixels en dessous et au-dessus du chemin cible. Lorsque le champ récepteur croise ces chemins repères, un signal sonore est émis. Les sujets ont pour consigne de ne pas dépasser ces chemins repères. À chaque session, les sujets suivent les mêmes dix chemins. L'ordre dans lequel sont suivis les dix chemins est choisi aléatoirement. Nous mesurons le temps de parcours pour trois allers-retours sur chaque ligne.

III-2-4- Plan expérimental

Chaque sujet utilise l'une des quatre matrices de champs récepteurs et effectue trois sessions d'évaluation avec cette matrice.

Le plan expérimental est le suivant : $\underline{S}_7 < M_4 > * E_3$

Où $\underline{S}$ est le facteur aléatoire sujet et où les facteurs principaux systématiques sont :

- M : Matrice de champs récepteurs
- E : Session d'évaluation

Le temps mis par les sujets pour effectuer trois allers-retours sur chaque chemin constitue notre variable dépendante. Cette variable est exprimée en seconde.

III-2-5- Résultats

Nous effectuons une analyse de variance (ANOVA) sur $\underline{S}_7 < M_4 > * E_3$.

Nous observons une amélioration de la vitesse d'exploration des sujets au cours des trois sessions ($F(2, 552)=24.308$, $p<0.0001$). Les performances moyennes des sujets s'améliorent en passant de 198.8 s (± 75.3) lors de la première session à 177.9 s (± 70.1) lors de la seconde session et à 165.1 s (± 63.7) lors de la troisième session (voir figure IV-13).

Les matrices utilisées ont une influence significative sur les performances des sujets ($F(3, 276)=140.65$, $p<0.0001$). La matrice M3 est celle avec laquelle les performances des sujets sont les meilleures (144.7 ± 50.9) puis viennent les matrices M2 (160 ± 50.5), M4 (175.5 ± 53.7) et M1 (252.4 ± 83). Nous observons une interaction significative entre le facteur M et le S ($F(6,552)=2.8$, $p<0.001$).

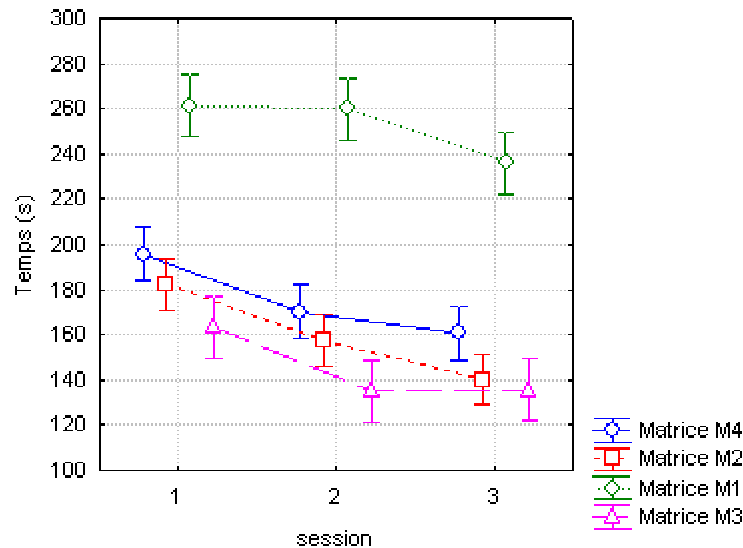


Fig. IV-13. Temps moyens pour effectuer trois allers-retours sur chaque chemin, en fonction des matrices utilisées et en fonction des sessions expérimentales. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95.

Nous comparons les résultats des sujets en fonction des matrices utilisées afin de voir l'influence de la taille, du nombre et de l'organisation des champs récepteurs.

Nous observons un effet de la taille du champ récepteur. Si nous comparons les deux conditions de champs récepteurs en tout ou rien, les sujets ont de meilleures performances avec le champ récepteur de grande taille M2 (160 ± 50.5) qu'avec le champ récepteur de petite taille M1 (252.4 ± 83). Un test de comparaison de moyenne post-hoc (HSD de Tukey) montre une différence significative entre les champs récepteurs M1 et M2 pour les sessions 1 ($p < 0.0001$) 2 ($p < 0.0001$) et 3 ($p < 0.0001$).

Nous observons un effet du nombre de champs récepteurs lorsque l'organisation spatiale des champs récepteurs est isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs. Les sujets ont de meilleures performances avec la matrice de quatre champs récepteurs (M3) (175.5 ± 53.7) qu'avec la matrice composée d'un champ récepteur unique de taille équivalente M2 (160 ± 50.5). Un test de comparaison de moyenne post-hoc (HSD de Tukey) ne montre pas de différence significative entre les champs récepteurs M2 et M3 pour la session 1 mais montre une différence significative entre ces deux champs récepteurs pour les sessions 2 ($p < 0.0001$) et 3 ($p < 0.0001$).

En revanche, l'accroissement du nombre de champs récepteurs n'améliore pas les performances des sujets lorsque l'organisation spatiale des champs récepteurs n'est pas isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs. Les sujets ont de meilleures performances avec la matrice composée d'un champ récepteur unique M2 (160 ± 50.5) qu'avec la matrice de taille équivalente composée de quatre champs récepteurs M4 (175.5 ± 53.7). Un test de comparaison de moyenne post-hoc (HSD de Tukey) montre une différence significative entre les champs récepteurs M2 et M4 pour les sessions 1 ($p < 0.03$) 2 ($p < 0.0001$) et 3 ($p < 0.0001$).

III-3- Discussion

Nous avons étudié, dans cette expérience, l'évolution des performances des sujets utilisant un dispositif de substitution sensorielle minimaliste. Nous avons plus particulièrement exploré l'influence de la taille, du nombre et de l'organisation des champs récepteurs du dispositif sur les performances des sujets lors d'une tâche d'exploration de formes.

III-3-1- Principaux résultats

En premier lieu, nous constatons une évolution des performances des sujets au cours des trois sessions, quelle que soit la matrice de champs récepteurs utilisée. L'apprentissage des sujets leur permet d'améliorer leur maîtrise du dispositif.

Nous observons un effet de la taille du champ récepteur utilisé sur les performances des sujets. Les sujets explorent les formes plus rapidement lorsque le champ récepteur leur servant à explorer les formes est plus grand. Nous pouvons expliquer cet effet de la taille du champ récepteur par le déficit de mémoire proprioceptive des sujets lors de l'utilisation d'un dispositif de substitution sensorielle. Ce déficit de mémoire proprioceptive est particulièrement important lors de l'utilisation de dispositifs de substitution sensorielle minimalistes. Nous avons détaillé ce problème lors de l'expérience précédente. Lorsque les utilisateurs du stylet tactile perdent le contact avec la forme qu'ils explorent, ils ont de grandes difficultés à comprendre quelles actions ils viennent d'effectuer et à retrouver le contact avec la forme. Un champ récepteur de grande taille permet donc de suivre une forme, tout en restant en contact avec elle, avec une tolérance plus importante des déviations du centre du champ récepteur sur la forme. Cependant, augmenter de manière trop importante la taille du champ récepteur entraînerait un problème de précision concernant la reconnaissance

de ces formes. En effet, l'augmentation de la taille des champs récepteurs augmente la vitesse d'exploration au détriment de l'exactitude du mouvement (Sribunruangrit, 2004). Etudier l'influence du parallélisme des champs récepteurs pourrait permettre de résoudre ce conflit entre vitesse et exactitude.

Nous observons une influence du nombre de champs récepteurs utilisés sur les performances des sujets. Lorsque nous comparons les résultats obtenus sur des matrices de tailles équivalentes mais contenant un nombre différent de champs récepteurs, nous observons que la vitesse d'exploration des formes est plus importante lorsque les sujets utilisent une matrice de plusieurs champs récepteurs. L'augmentation des performances des sujets grâce à l'augmentation du nombre de champs récepteurs ne se vérifie que lorsque l'organisation spatiale des champs récepteurs est isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs. L'influence du parallélisme, c'est-à-dire de l'augmentation des champs récepteurs, peut s'expliquer comme une amélioration de l'exactitude des mouvements effectués. Les sujets utilisant une matrice constituée d'un champ récepteur unique reçoivent une information leur permettant uniquement de savoir si ils sont ou non sur la forme. Ils n'ont aucune information leur précisant la position exacte du champ récepteur sur la forme. Il leur est par conséquent difficile de garder le contact avec la forme explorée. En revanche, les sujets utilisant une matrice constituée de plusieurs champs récepteurs ont une information sur la position du champ récepteur sur la forme. Ils peuvent ainsi corriger cette position afin de maintenir le centre du champ récepteur en contact avec la forme. Par exemple, les utilisateurs de la matrice de champs récepteurs M3 savent que lorsque les deux champs récepteurs du centre de la matrice sont activés, la matrice de stimulateurs est centrée sur la forme. Lorsque le premier ou le dernier champ récepteur est activé, les sujets savent que la matrice de champs récepteurs commence à dévier en dessous ou au-dessus de la forme, et peuvent alors réajuster la position de la matrice en conséquence. Le parallélisme permet ainsi aux sujets d'anticiper les possibles pertes de contact avec la forme et d'ajuster leurs mouvements en conséquence. Le suivi en contact de la forme s'en retrouve facilité, ce qui permet une augmentation de la vitesse d'exploration des sujets. Le parallélisme permet ainsi d'augmenter la vitesse d'exploration des sujets sans augmenter la taille de la matrice de champs récepteurs. Un ensemble d'études montre que le parallélisme augmente non seulement la vitesse d'exploration des sujets, mais aussi leurs performances de reconnaissance de formes. L'augmentation du nombre de champs récepteurs améliore la résolution spatiale et permet une meilleure précision lors de la reconnaissance de formes (Gapenne et al., 2001, Sribunruangrit, 2004). L'augmentation du

nombre de champs récepteurs permet ainsi d'augmenter à la fois la vitesse et l'exactitude du mouvement.

Nous observons un effet de l'organisation spatiale des champs récepteurs utilisés sur les performances des sujets. Lorsque l'organisation spatiale des champs récepteurs est isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs, une augmentation du nombre de champs récepteurs accroît la vitesse d'exploration des sujets. En revanche, lorsque l'organisation spatiale des champs récepteurs n'est pas isomorphe à l'organisation spatiale des stimulateurs, une augmentation du nombre de champs récepteurs n'améliore pas les performances des sujets et semble, au contraire, constituer une gêne. La vitesse d'exploration des sujets est affaiblie. Après un apprentissage de quatre heures, les sujets ne parviennent pas à reconstruire l'organisation spatiale de leurs points de vue dans l'espace perceptif distal lorsque cette organisation n'est pas isomorphe à celle de la stimulation donnée dans l'espace organique. Un apprentissage plus long avec cette matrice nous permettrait de déterminer si les sujets parviennent à une adaptation en dépit de ce cadre d'acquisition sensorimoteur complexe.

III-3-2- Parallélisme et constitution d'un espace perceptif distal

Dans notre perspective de la constitution d'un espace perceptif distal, le parallélisme de la matrice M3 donne accès aux objets dans l'espace perceptif distal via une pluralité de champs récepteurs. Avec cette matrice, la structure topologique des inputs sensoriels dans l'espace organique (espace proximal) est isomorphe à la topologie des activations des champs récepteurs dans l'espace distal. De plus, l'organisation spatiale des mouvements dans l'espace distal (déplacements de la matrice de champs récepteurs) est semblable à celle des mouvements dans l'espace proximal (déplacements du stylet sur la tablette graphique) (voir figure IV-14).

Nous pouvons formuler l'hypothèse que le parallélisme des champs récepteurs peut être compris comme un mouvement déjà réalisé dans l'espace distal, une diversité de points de vue simultanés et spatialement structurés. La matrice définit ainsi un corps percevant pouvant donner accès à une information instantanée sur les distances ou les formes de cet espace distal. Ainsi, pour une tâche simple comme le suivi d'une ligne ou d'un bord, on comprend bien que cette information aide à guider l'action exploratoire.

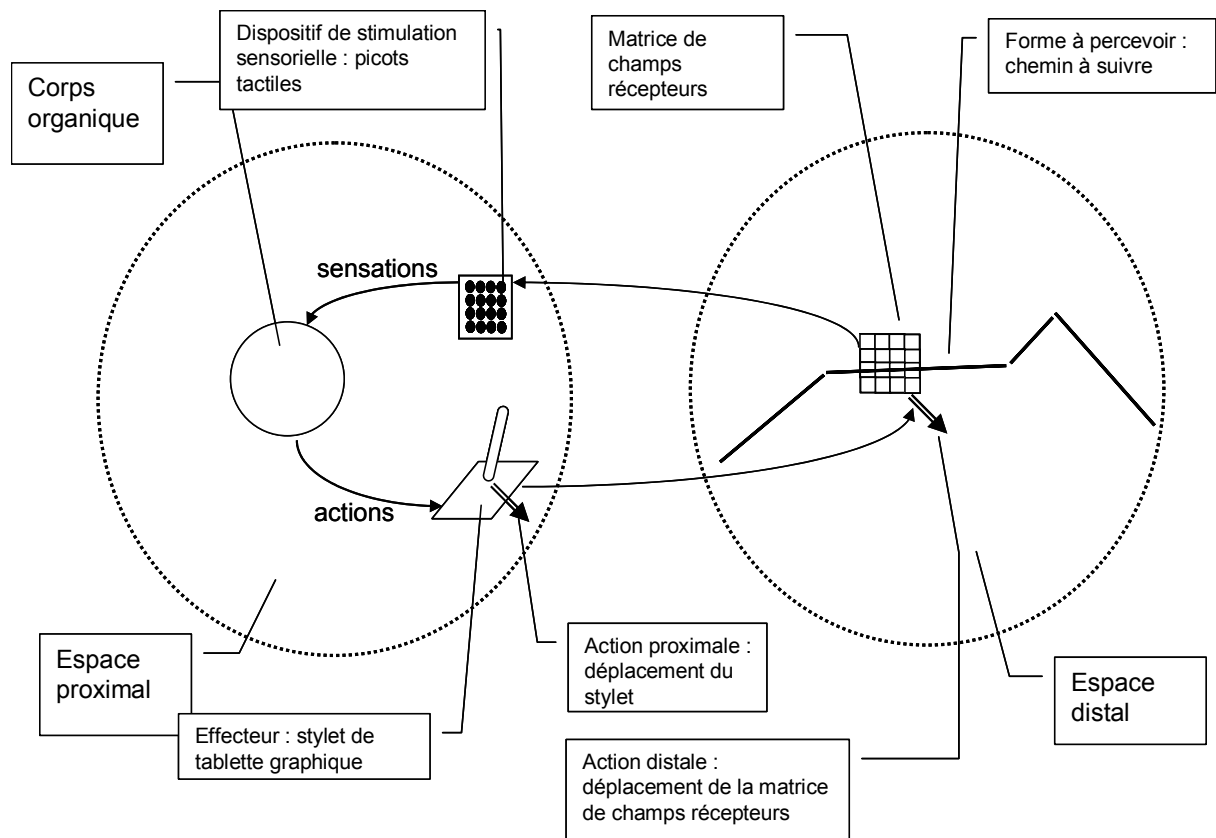


Figure IV-14. Schéma de la constitution d'un espace perceptif distal grâce au stylet tactile.

CONCLUSION

1- Synthèse des objectifs et des hypothèses

Notre travail avait pour objectif, en nous basant sur les outils particuliers que sont les dispositifs de substitution sensorielle, de définir l'immersion dans un espace perceptif ouvert par l'outil à travers son appropriation active et de déterminer les composantes de cette immersion. Les dispositifs de substitution sensorielle nous ont semblé exemplaires pour l'étude de la perception dans un espace d'action et de perception nouveau : ils questionnent à la fois ce qu'est une modalité perceptive et ce que l'on peut considérer comme un outil en général. Ils nous ont permis d'envisager l'hypothèse que perception médiate (grâce à un outil) et perception immédiate (grâce à un organe sensoriel) suivent des étapes d'appropriation similaires et préalables au même sentiment d'immersion dans l'espace.

Nous avons tout d'abord présenté une analyse de la littérature sur les dispositifs de substitution sensorielle. Cette étude nous a permis de dégager cinq étapes d'appropriation de l'outil menant à l'immersion dans l'espace perceptif ouvert par ces dispositifs particuliers. Nous avons regroupé ces étapes sous les appellations suivantes : contact, attribution distale, maîtrise de l'espace distal, localisation distale et expérience distale.

Après avoir expliqué notre choix de concevoir la perception comme constituée de boucles sensorimotrices inséparables de l'activité du sujet, nous avons étudié comment nos espaces d'actions et de perceptions se modifient lorsque nous utilisons un nouvel outil. Cette étude nous a permis à la fois de définir la perception et l'immersion dans l'espace perceptif ouvert par un outil, de catégoriser les différents dispositifs techniques et de préciser les composantes de nos cinq étapes d'appropriation.

Nous avons ensuite, à travers une série de six expériences, étudié les étapes de l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle.

2- Synthèse des principaux résultats

Notre recherche expérimentale visait à étudier nos étapes de l'appropriation d'un dispositif technique et à en préciser les composantes. Nous allons résumer les principaux résultats obtenus lors des six expériences présentées et discuter les implications de ces résultats expérimentaux sur les cinq étapes.

2-1- Contact

Nous avons défini la première étape, l'étape du contact, comme l'apprentissage, par les utilisateurs d'un nouveau dispositif technique, des régularités sensorimotrices nécessaires à stabiliser et à maintenir le contact perceptif avec le stimulus. Pour établir ce contact, les utilisateurs doivent extraire les régularités entre les actions effectuées et les stimulations sensorielles qui en résultent.

Le premier résultat fondamental des expériences présentées, résultat dégagé par les expériences II et III, est la nécessité d'une action pour qu'une perception via le dispositif soit possible. Grâce à ses actions, l'utilisateur du dispositif a la possibilité d'extraire les relations invariantes entre les mouvements qu'il effectue et les stimulations sensorielles résultantes. C'est sur la base de cette extraction que la compréhension de l'existence d'un espace distal et d'un objet distal, source des sensations, peut émerger.

Notre seconde expérience, « Attribution distale et reconnaissance de formes avec un dispositif minimaliste », étudie les modalités de constitution d'un espace perceptif distal dans le cas de l'utilisation d'un dispositif minimaliste. Dans les deux premières conditions (utilisation des touches du clavier d'un ordinateur), nous sommes partis de la situation expérimentale la plus difficile pour les sujets. Nous avons transformé leurs moyens d'actions de sorte qu'ils ne puissent être compris d'emblée comme correspondant à des déplacements dans un espace perceptif distal. Nous avons transformé les retours sensoriels de sorte qu'ils ne puissent d'emblée être compris comme référant à des points de vue sur un objet de l'espace perceptif distal. Nous avons montré que, dans une condition aussi extrême, les sujets ne parviennent ni à dégager des lois de co-variations stables entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante, ni à comprendre l'existence d'un espace perceptif distal. Ils ne

parviennent à dégager ni la possibilité d'un déplacement de leurs points d'actions dans cet espace distal, ni la possibilité d'avoir un point de vue sur un objet de cet espace distal. Dans une troisième condition, le déplacement des points d'actions des utilisateurs se fait par l'intermédiaire d'une souris d'ordinateur. Dans ce cas, grâce à leur apprentissage antérieur de l'utilisation d'une souris d'ordinateur, les utilisateurs ont compris à la fois l'existence de co-variations systématiques entre leurs mouvements et les stimulations sensorielles résultantes, l'existence d'un espace perceptif distal et l'existence d'objets à l'origine de leurs sensations, situés dans cet espace perceptif distal.

Ainsi, lorsque les utilisateurs ont la connaissance de leurs actions distales, c'est-à-dire lorsqu'ils comprennent que leurs actions physiques leur permettent le déplacement d'un point d'action dans un espace perceptif distal, ils n'ont pas de problème à attribuer l'origine de leurs sensations à une cause extérieure, existant dans l'espace perceptif distal. Dans cette expérience, la compréhension de l'existence d'un espace distal, la compréhension de la possibilité d'un déplacement dans cet espace distal et la compréhension de l'existence d'objets source des sensations dans cet espace distal ont eu lieu simultanément.

Notre troisième expérience « Attribution distale et substitution sensorielle » distingue l'ordre et les conditions des différents moments de la constitution d'un espace perceptif distal. Dans cette expérience, nous avons équipé des sujets, sans les en informer, d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif. Nous avons étudié les différents degrés de la constitution d'un espace perceptif distal qu'il est possible d'atteindre en l'absence d'une connaissance préalable du lien entre les mouvements et les stimulations sensorielles résultantes. Nous avons montré que, dans toutes les conditions expérimentales explorées, les sujets commencent par comprendre l'existence d'une corrélation entre leurs actions et les stimulations sensorielles résultantes. La compréhension de l'existence d'un espace perceptif distal et d'un objet source des stimulations dans cet espace perceptif distal ne survient qu'ultérieurement et partiellement.

Ainsi, lors de l'utilisation d'un nouveau dispositif de couplage avec l'environnement, c'est l'extraction des relations invariantes entre nos mouvements et les stimulations sensorielles résultantes qui permet d'amorcer le développement d'une attribution distale et, progressivement, du concept d'objet. Ces résultats concordent avec ceux issus de la recherche en psychologie du développement (Piaget, 1936, 1937) ; avec les prédictions des théories

sensorimotrices de la perception (Bergson, 1896; Gibson, 1979; Lenay, 2002; O'Regan & Noë, 2001) ; et avec les résultats de la littérature sur l'étude de l'utilisation des dispositifs de substitution sensorielle que nous avons présentés dans le premier chapitre.

2-2- Attribution distale

La seconde étape, l'attribution distale, consiste en la compréhension par les utilisateurs que l'origine de leurs *inputs* sensoriels est due à la rencontre avec un objet provenant de l'espace perceptif ouvert par l'outil. Pour accéder à cette compréhension, les utilisateurs doivent appréhender l'existence d'un espace perceptif nouveau. Ils doivent comprendre d'une part que les actions qu'ils effectuent dans leur espace organique leur permettent de déplacer, dans l'espace distal, des points d'actions (points de vue et / ou points d'inscription). Ils doivent comprendre d'autre part que les variations dans les stimulations sensorielles correspondent à des variations de points de vue sur des objets de l'espace perceptif distal.

La question cruciale, concernant l'attribution distale, est de savoir si elle résulte de la synthèse d'un espace perceptif propre à cette modalité perceptive prothétisée ou si cette attribution distale résulte d'un raisonnement déductif prenant pour appui des connaissances spatiales préalables, développées via d'autres modalités perceptives - en particulier la connaissance des règles de codage des informations reçues. Dans le premier cas, l'attribution distale serait intrinsèque à la nouvelle modalité perceptive. L'usage et l'appropriation du dispositif permettraient de reconstruire un espace perceptif propre, ayant sa cohérence, indépendamment des espaces des autres modalités perceptives avec lesquels l'espace perceptif construit par l'outil devra se synchroniser.

On ne saurait trop insister sur l'importance de cette question et sur le fait que ces deux conceptions de l'appropriation et de l'immersion sont associées à deux conceptions de la perception.

Le représentationalisme classique explique la construction de représentations internes par un chemin causal qui va depuis l'objet jusqu'aux représentations de celui-ci. Dès lors, comprendre l'appropriation de la médiation technique consiste à comprendre comment le sujet accède aux règles des transformations que produit la médiation technique dans ce chemin causal. On peut expliciter ces règles et supposer que le sujet réalise un calcul pour

déduire les positions et les formes des objets. On admet ensuite qu'avec l'habitude, ces règles au départ explicites deviennent implicites, bien que le calcul en question s'exécute toujours de façon sous-jacente.

Les théories sensorimotrices de la perception proposent une autre conception de la perception. Ces théories posent que la perception consiste en la constitution d'un espace perceptif et en la constitution d'objets dans cet espace perceptif. Cette constitution est réalisée par l'extraction de lois sensorimotrices suffisamment invariantes. On ne cherche pas alors à deviner les règles du codage transformant des informations captées par l'appareil en des informations accessibles au sujet. On cherche seulement à trouver des régularités sensorimotrices, puis à en extraire des groupes de déplacements, des positions relatives des objets, etc. Si on y parvient, c'est qu'il y a eu une appropriation réussie du dispositif technique. Savoir quel était le codage utilisé par le dispositif devient finalement une question secondaire.

Notre troisième expérience corrobore cette approche sensorimotrice en montrant que les notions d'espace distal et d'objet distal se construisent sur la base de la compréhension de l'existence d'un couplage sensorimoteur. Grâce à la compréhension du lien entre variation d'action et variation de stimulation, les utilisateurs peuvent appréhender leurs actions organiques comme déterminant le déplacement d'un point d'action distal, et les retours sensoriels comme engendrés par les variations de leur point de vue dans l'espace distal.

Cette troisième expérience nous a permis de préciser l'une des lois sensorimotrices permettant la compréhension d'un espace perceptif distal. Les lois sensorimotrices extraites lors de l'étape contact ne sont pas suffisantes à l'établissement de la notion d'espace perceptif distal. Elles ne suffisent pas à faire comprendre aux utilisateurs que leurs actions correspondent à des déplacements relativement à un objet situé dans l'espace perceptif distal. Pour accéder à cette compréhension, les sujets doivent extraire une loi sensori-motrice plus générale. L'une des lois possibles est que la stimulation sensorielle puisse être interrompue par un obstacle. Cet obstacle différencie la stimulation sensorielle (stimulation proximale) et la source distante qui engendre cette stimulation (stimulation distale). La source de la stimulation peut alors être comprise comme étant à distance car quelque chose peut s'interposer entre elle et l'observateur. Nous formulons l'hypothèse que c'est à ce moment que les sujets commencent à distinguer la stimulation proximale et la stimulation distale.

C'est à cet instant que les sujets comprennent le caractère distal de l'origine de la stimulation. La possibilité d'une interruption de la perception semble nécessaire à la constitution d'un espace contenant des objets disposés à distance devant soi, c'est-à-dire la constitution d'une perception à part entière.

2-3- Maîtrise de l'espace distal

La maîtrise de l'espace distal est l'étape au cours de laquelle les utilisateurs apprennent à contrôler les nouvelles régularités sensorimotrices introduites par l'outil. Cette maîtrise d'un espace perceptif distal ne peut émerger que sur la base d'une attribution distale. Ce n'est qu'après avoir effectué une attribution distale dans l'espace ouvert par l'outil, c'est-à-dire une fois que les utilisateurs ont compris l'existence d'un point d'inscription et d'un point de vue dans un espace distal, qu'ils peuvent apprendre à faire varier ces points de vue et d'inscription, en d'autres termes, qu'ils peuvent maîtriser ce nouvel espace.

Notre première expérience « Apprendre à percevoir avec un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif : localisation et reconnaissance de formes avec The Voice » montre que les utilisateurs d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif parviennent à s'approprier une telle prothèse en dépit des importantes modifications sensorimotrices que cet outil introduit. Les utilisateurs ont réussi à recréer des capacités perceptives qui ont des caractéristiques proches des capacités perceptives visuelles et à effectuer différentes tâches de déplacement, de localisation et de reconnaissance de formes.

Cependant, dans ces expériences, les utilisateurs ont des difficultés à savoir exactement ce qu'ils font dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. La mémoire de leurs actions et de leur posture corporelle semble insuffisamment précise. La possibilité de savoir ce que l'on fait dans l'espace perceptif ouvert par un outil est pourtant cruciale pour l'appropriation d'un nouveau dispositif technique. Comme nous l'avons vu, lorsque nous nous saisissons d'un nouveau dispositif technique, notre couplage sensorimoteur naturel est modifié, tout comme notre boucle proprioceptive antérieurement acquise. Savoir comment les utilisateurs d'un nouveau dispositif technique parviennent à construire ce nouveau couplage sensorimoteur, et comment ils parviennent à savoir ce qu'ils font dans l'espace perceptif ouvert par l'outil nous semble essentiel.

Nos quatrième et cinquième expériences, « Substitution sensorielle et informations proprioceptives » et « Substitution sensorielle, informations proprioceptives et apprentissage », étudient cette question du savoir de ses actions *dans* l'espace perceptif ouvert par un outil. Elles étudient plus spécifiquement l'influence des informations proprioceptives et extéroceptives sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste. Nous avons proposé aux utilisateurs d'un tel dispositif un accès aux actions qu'ils effectuent dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Ceci peut s'effectuer soit sous la forme d'un retour tactile modélisant ces actions (informations proprioceptives) ; soit sous la forme d'un parallélisme des champs récepteurs et donc de l'information sensorielle correspondante (informations extéroceptives). Nous avons montré que les informations extéroceptives permettent plus facilement aux sujets de comprendre leurs actions dans l'espace perceptif distal que l'utilisation d'une modélisation des informations proprioceptives. Le résultat fondamental de ces expériences est que l'accès au savoir de ses actions dans l'espace ouvert par la médiation technique s'effectue grâce aux formes perçues, dans l'activité même de perception de ces formes, et non pas par une information ajoutée qui demeurerait externe à l'activité perceptive.

Les utilisateurs d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste semblent plutôt s'appuyer sur les informations extéroceptives qui leur sont offertes que sur une modélisation des informations proprioceptives. Partant de ce constat, notre sixième expérience « Influence de la taille, du parallélisme et de la structure topologique des champs récepteurs sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle » étudie spécifiquement ces informations extéroceptives. Nous explorons l'influence de la taille, du parallélisme et de la structure topologique des informations sensorielles sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste lors de tâches d'exploration. Nous montrons que les performances des utilisateurs sont affectées par ces trois facteurs. Les utilisateurs mobilisent ces caractéristiques de leur corps percevant dans l'espace distal alors même qu'ils n'étaient pas informés sur elles. Ce résultat semble en accord avec une approche sensori-motrice de la perception.

2-4- Localisation distale

Nous avons défini la quatrième étape, la localisation distale, comme l'impression d'être dans l'espace perceptif ouvert par le dispositif technique. Cette étape implique, grâce à

l'apprentissage, une automatisation du nouveau couplage sensorimoteur. Une fois que les utilisateurs ont un accès direct aux effets de leurs actions, sans avoir à réfléchir sur le maniement de l'outil ou sur le code utilisé, ils peuvent se sentir entièrement là où ils agissent (point de vue et point d'inscription), c'est-à-dire dans l'espace perceptif distal.

Nous avons eu un premier aperçu de cette étape dès notre première expérience. Les utilisateurs du dispositif The Voice ont rapporté, qu'après un long apprentissage, ils se sentaient *dans* l'espace perceptif ouvert par l'outil. Ils n'avaient plus à réfléchir aux liens entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante, mais avaient un accès direct aux objets perçus. L'outil était devenu transparent. Il ne redevenait visible que sur le mode de défaillance. À chaque fois que les utilisateurs rencontraient un problème d'ajustement de leurs mouvements, à chaque fois que le lien entre leurs mouvements et les stimulations sensorielles résultantes ne correspondait pas à leurs schémas sensorimoteurs acquis avec ce dispositif, ils ne se sentaient plus dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Ils devaient effectuer un nouvel apprentissage sensori-moteur pour que le dispositif redevienne transparent.

2-5- Constitution d'une expérience distale

La cinquième étape que nous avons proposée, la constitution de l'expérience distale, correspond à la constitution d'une signification, de valeurs communes et à l'expérience d'émotions dans l'espace perceptif nouveau, notamment grâce au partage des expériences dans l'espace perceptif ouvert par l'outil.

Bien que nous l'ayons détaillé à travers une étude de la littérature (chapitre I), nous n'avons pas exploré durant ces six expériences l'étape de la constitution d'une expérience distale. Cette étape fait actuellement l'objet d'un projet de recherche. Celui-ci consiste en la mise en œuvre, à des fins didactiques, d'une application des technologies de substitution sensorielle sous la forme de jeux vidéo multi-joueurs en ligne, pour personnes voyantes et non voyantes. Ce projet est né de plusieurs constats. Le premier est la difficulté, mentionnée par nombre de personnes non-voyantes, à s'approprier un dispositif de substitution sensorielle. Le second est le manque, souvent exprimé par les non-voyants, de jeux accessibles. Le troisième vient de l'observation des réactions des sujets lors des tâches de pointage et de localisation effectuées avec le logiciel The Voice dans notre première expérience. Les sujets envisageaient rapidement ces tâches comme un jeu, motivés par un but simple et précis (localiser, pointer, le

plus rapidement possible). Les sujets recevaient aussi comme une gratification la réussite de l'appropriation de l'outil, en même temps qu'ils s'étonnaient d'avoir acquis si vite cette nouvelle modalité perceptive, souvent jugée proche d'un sonar. Les récits des expériences faite par les sujets étaient enthousiastes. Ils nous ont convaincus que créer un jeu à partir d'un dispositif de substitution sensorielle doterait l'utilisateur potentiel d'un tel dispositif d'une motivation forte pour l'acquérir. Surtout, ce jeu pourrait construire autour du dispositif une communauté composée aussi bien de voyants que de non voyants, et par là même rendre la prothèse plus commune et plus accessible.

Une bourse accordée par la Fondation de France nous aide aujourd'hui à mener à bien ce projet, développé en collaboration avec M. Sylvain Hanneton et M. Régis Jaulin. Ce jeu sera l'occasion d'observer et de favoriser la manière dont les joueurs partageront et enseigneront leurs connaissances du dispositif et leurs stratégies de jeu. La conception des étapes d'apprentissage du jeu sera aussi un moyen de mettre en œuvre les enseignements issus du présent travail.

3- Conclusion et prolongements

L'étude des conditions d'appropriation d'une nouvelle technique participe à une recherche générale sur la perception à la fois sur un plan appliqué et sur un plan fondamental. Sur un plan appliqué, elle vise à favoriser l'emploi des prothèses perceptives par des personnes présentant une déficience sensorielle. Sur un plan fondamental, elle interroge notre compréhension de ce qu'est une expérience perceptive.

Les dispositifs techniques peuvent être considérés comme des organes amovibles et interchangeables, qui ouvrent à la perception humaine une infinité de modalités perceptives nouvelles.

Une telle approche de l'appropriation technique permet de définir des étapes à même de guider la mise au point de techniques d'apprentissages ou la mise en place des conditions socio-organisationnelles appropriées pour l'acceptation des innovations techniques.

Précisons que cette recherche, qui vise à dégager des lois générales de l'appropriation d'une médiation technique, a rencontré des questions méthodologiques difficiles. En effet, l'étude des implications de la technique sur la perception humaine nous place immédiatement dans la situation paradoxale d'une recherche fondamentale sur la technique, classiquement comprise comme de la science appliquée. Notre recherche a donc mobilisé un grand nombre d'approches scientifiques, depuis des analyses générales, quantitatives ou qualitatives en situation quasi naturelle, jusqu'à la mise en place de conditions expérimentales extrêmement contraintes permettant une analyse fine des mouvements effectués et des sensations reçues. Les questions les plus délicates pour comparer différentes variantes de dispositifs techniques étant celles de l'apprentissage et de l'extrême variabilité interindividuelle des stratégies d'usage. Il nous semble donc que notre travail doit aussi se prolonger par une recherche proprement méthodologique, recherche nécessaire pour prétendre contribuer à ce qui pourrait être une « ergonomie cognitive fondamentale ».

Les quelques résultats et principes théoriques que nous avons développés à partir de l'étude des systèmes de substitution sensorielle doivent maintenant être généralisés à toute la variété des dispositifs techniques et des situations d'usage. Ce travail de généralisation sera bien sûr la principale mise à l'épreuve du cadre explicatif que nous avons adopté.

Précisons de plus que l'approche sensorimotrice ou éniationniste de la cognition et de l'activité perceptive, bien qu'elle nous semble avoir déjà montré sa pertinence pour guider notre recherche sur les médiations techniques, doit être encore approfondie et confrontée aux nombreuses données empiriques (depuis les neurosciences jusqu'à la sociologie).

Nous espérons ainsi contribuer à une recherche croisée, à la fois fondamentale et pratique, possiblement utile pour l'aide au handicap ou à la définition de produits fonctionnels, et en même temps animée par les enjeux théoriques et philosophiques les plus fondamentaux à propos de l'activité cognitive et de l'expérience perceptive.

BIBLIOGRAPHIE

- Aiello, G. L. (1998a). Multidimensional electrocutaneous stimulation. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 6(1), 95-101.
- Aiello, G. L. (1998b). Tactile colors in artificial sensory communication. *Proceedings International Symposium Information Theory Applied*.
- Ammons, C. H., Worchel, P., & Dallenbach, K. M. (1953). Facial vision: The perception of obstacles out of doors by blindfolded and blindfolded-deafened subjects. *American Journal of Psychology*, 66(4), 519-553.
- Apkarian, P. A. (1983). Visual training after long term deprivation: a case report. *International Journal Neuroscience*, 19(1-4), 65-83.
- Arno, P., Capelle, C., Wanet Defalque, M. C., Catalan Ahumada, M., & Veraart, C. (1999). Auditory coding of visual patterns for the blind. *Perception*, 28(8), 1013-1029.
- Arno, P., Vanlierde, A., Streel, E., Wanet Defalque, M. C., Sanabria Bohorquez, S., & Veraart, C. (2001). Auditory substitution of vision: Pattern recognition by the blind. *Applied Cognitive Psychology*, 15(5), 509-519.
- Auvray, M., & O'Regan, J. K. (2001). Influence of semantic factors on blindness to progressive changes in visual scenes (Abstract). *Perception*, 30(supplement), 44.
- Auvray, M., & O'Regan, J. K. (2003). L'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements progressifs dans les scènes visuelles. *Année Psychologique*, 103(1), 9-32.
- Bach-y-Rita, P. (1972). *Brain Mechanisms in Sensory Substitution*. New York: Academic Press.
- Bach-y-Rita, P. (1989). Physiological considerations in sensory enhancement and substitution. *Europa Med Phsm*, 25, 107-128.
- Bach-y-Rita, P. (1996a). Conservation of space and energy in the brain. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 10(1), 1-3.
- Bach-y-Rita, P. (1996b). Nonsynaptic diffusion neurotransmission and brain plasticity. *Neuroscientist*, 2(5), 260-261.
- Bach-y-Rita, P. (1997). Substitution sensorielle et qualia. In J. Proust (Ed.), *Perception et intermodalité: approches actuelles de la question de Molyneux*. Paris: PUF.
- Bach-y-Rita, P. (1998). Nonsynaptic diffusion neurotransmission and some other emerging concepts. *Proceedings of the Western Pharmacology Society*, 41, 211-218.
- Bach-y-Rita, P. (1999). Theoretical aspects of sensory substitution and of neurotransmission-related reorganization in spinal cord injury. *Spinal Cord*, 37(7), 465-474.

- Bach-y-Rita, P. (2002). Sensory substitution and qualia. In A. Noe & E. Thompson (Eds.), *Vision and Mind* (497-514). Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press.
- Bach-y-Rita, P. (2003). Theoretical basis for brain plasticity after a TBI. *Brain Injury*, 17(8), 643-651.
- Bach-y-Rita, P., (2003). Late postacute neurologic rehabilitation: Neuroscience, engineering, and clinical programs. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(8), 1100-1108.
- Bach-y-Rita, P., & Aiello, G. L. (1996). Nerve length and volume in synaptic vs diffusion neurotransmission: A model. *NeuroReport*, 7(9), 1502-1504.
- Bach-y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221(184), 963-964.
- Bach-y-Rita, P., Kaczmarek, K. A., & Meier, K. (1998). The tongue as a man-machine interface: A wireless communication system. *Proceeding of the 1998 International Symposium on Information Theory and its Applications*, 79-81.
- Bach-y-Rita, P., Kaczmarek, K. A., Tyler, M. E., & Garcia-Lara, J. (1998). Form perception with a 49-point electrotactile stimulus array on the tongue: A technical note. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 35(4), 427-430.
- Bach-y-Rita, P., Tyler, M. E., & Kaczmarek, K. A. (2003). Seeing with the brain. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 15(2), 285-295.
- Bach-y-Rita, P., & Kercel, S. (2003). Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 541-546.
- Bak, M., Girvin, J. P., Hambrecht, F. T., Kufta, C. V., Loeb, G. E., & Schmidt, E. M. (1990). Visual sensations produced by intracortical microstimulation of the human occipital cortex. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 28, 257-259.
- Bergson, H. (1896). *Matière et mémoire* (1997 ed.). Paris: PUF, Quadrige.
- Berkeley, G. (1709). Essay towards a new theory of vision. In M. David (Ed.), *Berkeley's philosophical writings*. New York: Mac Millan Publishing.
- Bermudez, J. (1998). *The Paradox of Self-Consciousness*. Cambridge: MIT Press.
- Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. Communication in the age of virtual reality. In F. Biocca & M. R. Levy (Eds.), (57-124). Hillsdale, NJ, USA : Lawrence Erlbaum Associates.
- Bliss, J. C., Katcher, M. H., Rogers, C. H., & Shepard, R. P. (1970). Optical-to-tactile image conversion for the blind. *IEEE Transaction Man-Machine Systems*, MMS-11(1), 58-65.
- Block, N. (1983). Mental pictures and cognitive science. *Philosophical Review*, 92, 499-541.

- Borenstein, J., & Iwan, U. (1997). *The guidance cane - a computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrian*. IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- Bower, T. G. R. (1977). Blind babies see with their ears. *New Scientist*, 73, 255-257.
- Brentano, F. (1874). *Psychologie du point de vue empirique* (1944 ed.). Paris: Aubier.
- Brindley, G. S., & Lewin, W. S. (1968). The sensations produced by electrical stimulation of the visual cortex. *Journal of Physiology*, 196, 479 - 493.
- Brooks, R. (1999). *Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI*. MIT Press.
- Burton, H., Snyder, A. Z., Conturo, T. E., Akbudak, E., Ollinger, J. M., & Raichle, M. E. (2002). Adaptive changes in early and late blind: a fMRI study of Braille reading. *Journal of Neurophysiology*, 87, 589-607.
- Caclin, A., Soto-Faraco, S., Spence, S., Kingstone, A., et al. (2002). Tactile "capture" of audition. *Perception and Psychophysics*, 64(4), 616-630.
- Cadoz, C. (1994). *Les réalités Virtuelles*. Paris: Flammarion.
- Cadoz, C., Luciani, A., & Florens, J. L. (1993). Cordis-Anima: A modeling and simulation system for sound and image synthesis-the general formalism. *Computer Music Journal*, 17(1), 19-29.
- Capelle, C., Trullemans, C., Arno, P., & Veraart, C. (1998). A real-time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, 45(10), 1279-1293.
- Cappelletti, L., & Ferri, M. (1998). *Vibrotactile colour rendering for the visually impaired within the videt project*. The International Society for Optical Engineering.
- Casati, R., & Dokic, J. (1994). *La philosophie du son*. Paris: Éditions Jacqueline Chambon.
- Churchland, P. M. (1989). *A neurocomputational perspective: The nature of mind and the structure of science*. Cambridge, MA, USA: Mit Press.
- Cohen, L. G., Celnik, P., Pascual-Leone, A., Faiz, L., Corwell, B., Honda M., Sadato H., Gerloff C., Catala M.D. & Hallett, M. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*, 389, 180-183.
- Cohen, L. G., Weeks, R. A., Sadato, N., Celnik, P., Ishii, K., & Hallett, M. (1999). Period of susceptibility for cross-modal plasticity in the blind. *Annals of neurology*, 45(4), 451-460.
- Collins, C. C. (1985). On mobility aids for the blind. Electronic spatial sensing for the blind. In D. H. Warren & E. R. Strelow (Eds.), *Mobility Aids for The Blind*. (35-64). Martinus Nijhoff, Dordrecht, Netherlands.

- Collins, C. C., & Madey, J. M. J. (1974). *Tactile sensory replacement*. Proceeding of the San Diego Biomedical Symposium, 15-26.
- Condillac. (1754). *Traité des sensations*. In *Corpus des oeuvres de philosophie en langue française* (1984. ed.). Paris: Fayard.
- Corker, K., Mishkin, A., & Lyman, J. (1980). *Achievement of a sense of operator presence in remote manipulation*: Technical Report 60, UCLA School of Engineering and Applied Science, Biotechnology Laboratory.
- Cotzin, M., & Dallenbach, K. M. (1950). Facial vision: The role of pitch and loudness in the perception of obstacles by the blind. *American Journal of Psychology*, 63, 485-515.
- Craig, J. C. (1976). Vibrotactile letter recognition: The effects of a masking stimulus. *Perception & Psychophysics*, 20, 317-326.
- Craig, J. C. (1980). Modes of vibrotactile pattern generation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 151-166.
- Craig, J. C. (1981). Tactile letter recognition: Pattern duration and modes of pattern generation. *Perception & Psychophysics*, 30, 540-546.
- Craig, J. C. (1983). Some factors affecting tactile pattern recognition. *International Journal of Neuroscience*, 19, 47-58.
- Cronin, V., Mc Laren, J., & Campbell, E. (1983). Sensory compensation in blind persons: a comparison of visual and tactual recognition. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 77(10), 489-490.
- Cronly-Dillon, J., Persaud, K., & Blore, F. (2000). Blind subjects construct conscious mental images of visual scenes encoded in musical form. *Proceedings of Royal Society of London, B* 267, 2231-2238.
- Cronly-Dillon, J., Persaud, K., & Gregory, R. P. F. (1999). The perception of visual images encoded in musical form : a study in cross modality information transfer. *Proceedings of Royal Society of London, B* 266, 2427-2433.
- De Vignemont, F. (2003). Ghost buster : The reality of one's own body. In N. C. University (Ed.), 7(1), 121-140.
- De Volder, A. G., Catalan Ahumada, M., Robert, A., Bol, A., Labar, D., Coppens, A., Michel, C., Veraart, C. (1999). Changes in occipital cortex activity in early blind humans using a sensory substitution device. *Brain Research*, 826(1), 128-134.
- Deleuze, G. (1983). *L'image-mouvement*. Paris: Les Editions de Minuit.
- Descartes, R. (1637). *Discours de la Méthode de René Descartes*. Paris: Chronique des Lettres Françaises.
- Descartes, R. (1641). *Méditations Métaphysiques* (1979 ed.). Paris: Garnier-Flammarion.
- Ditchburn, R. W. (1973). *Eye-movements and Visual Perception*. Oxford: Clarendon Press.

- Dobelle, W. H. (2000). Artificial Vision for the Blind by Connecting a Television Camera to the Visual Cortex. *ASAIO journal*, 46, 3-9.
- Epstein, W. (1985). Electronic spatial sensing for the blind. In D. H. Warren & E. R. Strelow (Eds.), *Amodal information and transmodal perception* (421-430). Dordrecht, Netherlands.
- Epstein, W., Hughes, B., Schneider, S. L., & Bach-y-Rita, P. (1989). Perceptual learning of spatiotemporal events: evidence from an unfamiliar modality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(1), 28-44.
- Epstein, W., Hugues, 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.
- Fanet, A. (2002). *Les croisements perceptifs*. Undergraduate Thesis, UTC Compiègne, France.
- Farnè, A. & Làdavas, E. (2000). Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use. *NeuroReport*, 11(8), 1645-1649.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 1030-1044.
- Fuchs, P., Moreau, G., & Papin, J. P. (2001). *Le Traité de la Réalité Virtuelle*. Paris: Les Presses de l'Ecole des Mines.
- Gapenne, O., Lenay, C., Stewart, J., Beriot, H., & Meidine, D. (2001). Prosthetic device and 2-D form perception: The role of increasing degrees of parallelism, *Proceedings of the Assistive Technology for Vision and Hearing Impairment (CVHI 2001)*, 113-118.
- Gergen, K. J. (1994). *Realities and Relationships: Soundings in Social Construction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gerrits, H. J. M., & Vendrik, A. J. H. (1970). Simultaneous contrast, filling-in process and information processing in man's visual system. *Experimental Brain Research*, 11, 411-430.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Giraud, A. L., Truy, E., Frackowiak, R. S. J., Grégoire, M. C., Pujol, J. F., & Collet, L. (2000). Differential recruitment of the speech comprehension system in healthy subjects and rehabilitated cochlear implant patients. *Brain*, 123, 1391-1402.
- Gregory, R. L. (1990). Recovery From Blindness. In *Eye and brain : the psychology of seeing* (191-200): Oxford University Press.

- Gregory, R. L., & Wallace, J. G. (1963). Recovery from early blindness: a case study. *Experimental Psychology Society, Monograph No. 2*.
- Griffin, D. R. (1958). *Listening in the Dark: The Acoustic Orientation of Bats and Men*. New Haven, CT : Yale University Press. Cambridge, MA.
- Griffin, D. R. (1959). *Echoes of Bats and Men*. Garden City, New York.
- Grossberg, S., & Mingolla, E. (1985). Neural dynamics of form perception: boundary completion, illusory figures and neon color spreading. *Psychological Review*, 92, 173-211.
- Guarniero, G. (1974). Experience of tactile vision. *Perception*, 3(1), 101-104.
- Guarniero, G. (1977). Tactile vision: A personal view. *Visual Impairment and Blindness*, 71, 125-130.
- Hanneton, S., Gapenne, O., Genouëlle, C., Lenay, C., & Marque, C. (1999). Dynamics of shape recognition through a minimal visuo-tactile sensory substitution interface. *Proceedings of the Third International Conference on Cognitive and Neural Systems*, 26-29.
- Hardy, B., Ramanantsoa, M. M., Hanneton, S., Lenay, C., Gapenne, O., & Marque, C. (2000). *Cognitive processes involved in the utilisation of a simple visuo-tactile sensory prosthesis*. Sixth International Conference on Tactile Aids, Hearing Aids and Cochlear Implants (ISAC'00), Exeter, England.
- Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace: la main et la perception tactile de l'espace*. Lille, France: Presses Universitaires de Lille.
- Havelange, C. (1991). Les pouvoirs du regard aux débuts de l'époque moderne. *Voir*, 3, 22-31.
- Havelange, V., Lenay, C., & Stewart, J. (2002). Les représentations : mémoire externe et objets techniques. *Intellectica*, 35, 115-129.
- Heil, J. (1983). *Perception and Cognition*. Berkeley, Ca.: University of California Press.
- Helmholtz, H. V. (1909). *Physiological Optics* (J. P. C. Southall, Trans. 1925 ed.). Rochester, New York: Optical Society of America.
- Henderson, J. M. (1997). Transsaccadic memory and integration during real-world object perception. *Psychological Science*, 8(1), 51-55.
- Henderson, J. M., McClure, K. K., Pierce, S., & Schrock, G. (1997). Object identification without foveal vision: Evidence from an artificial scotoma paradigm. *Perception & Psychophysics*, 59(3), 323-346.
- Heyes, A.D. (1984). Sonic Pathfinder: a programmable guidance aid for the blind. *Electronics and Wireless World*, 90, 26-29.

- Hirsh, I. J. (1988). Auditory perception and speech. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Eds.), *Handbook of Experimental Psychology* (2nd edition ed., Vol. 1, pp. 377-408). New York: John Wiley.
- Holmes, N. P., & Spence, C. (2004). *The body schema and multisensory representation(s) of peripersonal space*. *Cognitive Processing* 5, 94, 105.
- Hughes, B. (2001). Active artificial echolocation and the nonvisual perception of aperture passability. *Human Movement Science*, 20, 371-400.
- Husserl, E. (1907). *Chose et espace. Leçons de 1907* (1989 ed.). Paris: PUF.
- Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, 23, 420-456.
- Jansson, G. (1983). Tactile guidance of movement. *International Journal of Neuroscience*, 19(1-4), 37-46.
- Jansson, G., Bergamasco, M. & Frisoli, A. (2003). A new option for the visually impaired to experience 3 D art at museums : manual exploration of virtual copies. *Visual Impairment Research*, 5, 1-12.
- Jansson, G., & Brabyn, L. (1981). Tactually Guided Batting. *Uppsala University Psychological Reports*, 304.
- Kaczmarek, K. A. (1995). Sensory augmentation and substitution. *CRC Handbook of Biomedical Engineering*, 2100-2109.
- Kaczmarek, K. A., & Bach-y-Rita, P. (1995). Tactile displays. *Virtual Environments and Advanced Interface Design*, 349-414.
- Kaczmarek, K. A., & Haase, S. J. (2003a). Pattern identification and perceived stimulus quality as a function of stimulation current on a fingertip-scanned electrotactile display. *IEEE Transaction on Neural System Rehabilitation Engineering*, 11, 9-16.
- Kaczmarek, K. A., & Haase, S. J. (2003b). Pattern identification as a function of stimulation current on a fingertip-scanned electrotactile display. *IEEE Transaction on Neural System Rehabilitation Engineering*, 11, 269-275.
- Kaczmarek, K. A., Webster, J. G., Bach-y-Rita, P., & Tompkins, W. J. (1991). Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transaction on Biomededical Engineering*, 38(1), 1-16.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24(2), 175-219.
- Katz, D. (1925). *The World of Touch* (1989 ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kay, L. (1964). An ultrasonic sensing probe as a mobility aid for the Blind. *Ultrasonics*, 2, 53.

- Kay, L. (1980). Air sonars with acoustical display of spatial information. *Animal Sonar Systems*, 769-816.
- Kay, L. (1985). Sensory aids to spatial perception for blind persons: Their design and evaluation. In D. Warren & E. Strelow (Eds.), *Electronic spatial sensing for the blind* (125-139). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Khatchatourov, A., & Auvray, M. (2003). *L'outil modifie-t'il la perception ou la rend-il possible ?* Colloque des Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives, Paris, France.
- Kupers, R. (2003). Activation of visual cortex by electro-tactile stimulation of the tongue in early-blind subjects. *Neuroimage*, 19 (S65).
- Lemaire, L. (1999). *Approche comportementale de la question de Molyneux*, PHD Thesis. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- Lenay, C. (2002). *Ignorance et Suppléance : la question de l'espace*, HDR. Université de Technologie de Compiègne, France.
- Lenay, C., Canu, S., & Villon, P. (1997). *Technology and perception: the contribution of sensory substitution systems*. Second International Conference on Cognitive Technology, Aizu, Japan.
- Lenay, C., Gapenne, O., Hanneton, S., Marque, C., & Genouëlle, C. (2003). Sensory substitution: Limits and perspectives. In Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (Eds.), *Touching for Knowing* (275-292): John Benjamins.
- Levin, D. T., & Simons, D. J. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(7), 261-267.
- Leybaert, J. (1993). Reading ability in the deaf: the roles of phonological codes. In M. Marschark & M. Clark (Eds.), *Psychological Perspectives on Deafness* (269-309). Hillsdale, New Hersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Leybaert, J. (1996). La lecture chez l'enfant sourd : l'apport du Langage Parlé Complété. *Revue française de linguistique appliquée*, 1(1), 81-94.
- Locke, J. (1690). *An essay concerning human understanding*. New York: Anchor Books.
- Loomis, J. M. (1974). Tactile letter recognition under different modes of stimulus presentation. *Perception & Psychophysics*, 16, 401-408.
- Loomis, J. M. (1980). Interaction of display mode and character size in vibrotactile letter recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 16, 385-387.
- Loomis, J. M. (1981). Tactile pattern perception. *Perception*, 10, 5-27.
- Loomis, J. M. (1992). Distal attribution and presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 113-119.

- Loomis, J. M., & Lederman, S. J. (1984). *What utility is there in distinguishing between active and passive touch?* The Annual Meeting of the Psychonomic Society, San Antonio.
- Lotze, H. (1894). *Microcosmus: An essay concerning man and his relation to the world* (Vol. I, Book V). Edinburgh: T&T Clark.
- Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattentional Blindness*. Cambridge, MA, USA: The Mit Press.
- Mantovani, G., & Riva, G. (1999). "Real" presence: how different ontologies generate different criteria for presence, telepresence, and virtual presence. *Presence - Teleoperators and Virtual Environments*, 8, 538-548.
- Maravita, A., Husain, M., Clarke, K., & Driver, J. (2001). Reaching with a tool extends visual-tactile interactions into far space: Evidence from cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, 39(6), 580-585.
- Maravita, A., Spence, C., Kennett, S., & Driver, J. (2002). Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans. *Cognition*, 83(2), 25-34.
- Maravita, A., Spence, C., Sargent, C., & Driver, J. (2002). Seeing your own touched hands in a mirror modulates cross-modal interactions. *Psychological science: a journal of the American Psychological Society*, 13(4), 350-355.
- Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003). Multisensory integration and the body schema: Close to hand and within reach. *Current Biology*, 13(13), 531-539.
- Marescaux, J., Leroy, J., Gagner, M., Rubino, F., Mutter, D., Vix, M. (2001). Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature*, 413, 379-380.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: W. H. Freeman & Co.
- Matin, E. (1974). Saccadic suppression: a review and an analysis. *Psychological Bulletin*, 81(12), 899-917.
- Matin, E. (1982). Saccadic suppression and the dual mechanism theory of direction constancy. *Vision Research*, 22(2), 335-336.
- Matin, L. (1972). Eye movements and perceived visual direction. In D. Jameson & L. M. Hurvich (Eds.), *Handbook of sensory physiology*, Vol. VII/4: Visual Psychophysics, 331-380.
- Matin, L., Matin, E., & Pearce, D. G. (1969). Visual perception of direction when voluntary saccades occur. I. Relation of visual direction of a fixation target extinguished before a saccade to a flash presented during the saccade. *Perception & Psychophysics*, 5, 65-79.
- Meijer, P. B. L. (1992). An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39(2), 112-121.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *La phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard.

- Minsky, M. (1980). Telepresence. *Omni*, 2, 45-51.
- Morgan, M. J. (1977). *Molyneux's question. Vision, touch and the philosophy of perception*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Murray, C. D., Bowers, J. M., West, A. J., Pettifer, S., & Gibson, S. (2000). Navigation, wayfinding, and place experience within a virtual city. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 435-447.
- Murray, C. D., & Sixsmith, J. (1999). The corporeal body in virtual reality. *Ethos*, 27(3), 315-343.
- Mussa-Ivaldi, F. A., & Miller, L. E. (2003). Brain-machine interfaces: computational demands and clinical needs meet basic neuroscience. *Trends Neuroscience*, 26, 329-334.
- Nelkin, N. (1990). Categorising the Senses. *Mind and Language*, 5, 149-165.
- Niparko, J. K. (2000). *Cochlear Implants: Principles and Practices*. Lippincott: Williams & Wilkins.
- Noë, A. (1997). Perception and content. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(1), 154-155.
- Noë, A. (2001). Action in perception. *Canadian Journal of Philosophy*.
- Noë, A., & O'Regan, J. K. (2000). Perception, attention, and the grand illusion. *Psyche*, 6(15).
- Noë, A., Pessoa, L., & Thompson, E. (2000). Beyond the grand illusion: What change blindness really teaches us about vision. *Visual Cognition*, 7, 93-106.
- O'Regan, J. K. (1992). Solving the "real" mysteries of visual perception: The world as an outside memory. *Canadian Journal of Psychology*, 46(3), 461-488.
- O'Regan, J. K. (1998). No evidence for neural filling in - Vision as an illusion - Pinning down "enaction". *Behavioral and Brain Sciences*, 21(6).
- O'Regan, J. K. (2001). Thoughts on change blindness. In L. R. Harris & M. Jenkin (Eds.), *Vision and Attention* (281-302). New York: Springer.
- O'Regan, J. K., Clark, J. J. & Bompas, A. (2001). Implications of a sensorimotor theory of vision for scene perception and colour sensation (Abstract). *Perception*, 30(supplement), 94.
- O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J., & Rensink, R.A. (2000). Picture changes during blinks: Looking without seeing and seeing without looking. *Visual Cognition*, 7(1-3), 191-211.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001a). Acting out our sensory experience. *Behavioral and Brain Sciences*, 2(5), 955-975.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001b). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 939-973.

- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001c). What it is like to see: A sensorimotor theory of perceptual experience. *Synthese*, 129(1), 79-103.
- O'Regan, J. K., Rensink, R. A., & Clark, J. J. (1999). Change-blindness as a result of 'mudsplashes'. *Nature*, 398(6722), 34.
- O'Shaughnessy, B. (1995). Proprioception and the body image. In J. L. Bermudez, A. Marcel & N. Eilan (Eds.), *The Body and the Self (175-203)*. Cambridge: MIT Press.
- Pacherie, E. (1993). *Naturaliser l'intentionnalité - Essai de Philosophie de la Psychologie*. Paris: PUF.
- Pacherie, E. (1997). Du problème de Molyneux au problème de Bach-y-Rita. In J. Proust (Ed.), *Perception et Intermodalité, Approches actuelles du Problème de Molyneux*, 255-293. Paris: PUF.
- Paillard, J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation spatiale. *Cahiers de Psychologie*, 14, 261-316.
- Paillard, J. (1991). Motor and representational framing of space. In J. Paillard (Ed.), *Brain and Space*, 163-182. Oxford: Oxford University Press.
- Panovsky, E. (1957). *La Perspective comme forme symbolique*: Editions de minuit.
- Paradiso, M. A., & Nakayama, K. (1991). Brightness perception and filling-in. *Vision Research*, 31, 1221-1236.
- Pashler, H. (1988a). Cross-dimensional interaction and texture segregation. *Perception & Psychophysics*, 43(4), 307-318.
- Pashler, H. (1988b). Familiarity and visual change detection. *Perception & Psychophysics*, 44(4), 369-378.
- Pavani, F., & Castiello, U. (2004). Binding personal and extrapersonal space through body shadows. *Nature Neuroscience*, 7, 13-14.
- Pavani, F., Driver, J., Spence, C., (2000). Visual capture of touch: Out-of-the-Body Experiences with Rubber Gloves. *Psychological Science*, 11(5), 353-359.
- Philipona, D., O'Regan, J. K., & Nadal, J.-P. (submitted). Is there anything out there? How an organism can infer the nature of space. *Neural Computation*.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basics Books.
- Pimentel, & Teixeira, K. (1994). *La réalité virtuelle... de l'autre côté du miroir*. Paris: Addison-Wesley France.
- Poincaré, H. (1905). *La Valeur de la Science*. Paris: Flammarion.

- Poincaré, H. (1907). *La Science et l'Hypothèse*. Paris: Flammarion.
- Polanyi, M. (1964). *Personal Knowledge*. New York: Harper & Row.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. Garden City, New York: Doubleday.
- Polanyi, M. (1970). What is Painting? *British Journal of Aesthetics*, 10, 225-236.
- Previc, F. H. (1998). The neuropsychology of 3-D space. *Psychological Bulletin*, 124, 123-164.
- Ramachandran, V. S., & Hirstein, W. (1997). Three laws of qualia: What neurology tells us about the biological functions of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 4(5-6), 429-457.
- Renier, L., Laloyaux, C., Collignon, O., Tranduy, D., Vanlierde, A., & De Volder, A. G. (2003). Perception of visual illusions with a sensory substitution system. *Perception*, 32(supplement 9).
- Rensink, R. (2000). Dynamic Representations. *Visual Cognition*, 7.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.
- Rice, C. E. (1967). Human echo perception. *Science*, 155(763), 656-664.
- Rizzo, M., & Darling, W. (1997). Reaching with cerebral tunnel vision. *Neuropsychologia*, 35(1), 53-63.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (1997). The space around us. *Science*, 277(5323), 190-191.
- Roxbee-Cox, J. W. (1970). Distinguishing the Senses. *Mind and Language*, 79, 530-550.
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Deiber, M. P., Ibanez, V., & Hallett, M. (1998). Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain*, 121, 1213-1229.
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibanez, V., Deiber, M. P., Dold, G. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380(6574), 526-528.
- Sampaio, E. (1995). Les substitutions sensorielles adaptées aux déficits visuels importants. In A. B. Assimacopoulos & A. Saffran (Eds.), *Le déficit visuel. Des fondements neurophysiologiques à la pratique de la réadaptation*. Paris: Masson.
- Sampaio, E., & Dufier, J. L. (1988). Suppléance sensorielle électronique pour les jeunes enfants aveugles. *Journal Français Ophtalmologique*, 11(2), 161-167.
- Sampaio, E., Maris, S., & Bach-y-Rita, P. (2001). Brain plasticity: 'visual' acuity of blind persons via the tongue. *Brain Research*, 908(2), 204-207.
- Sampaio, E., & Philip, J. (1995). Influences of age at onset of blindness on Braille reading performances with left and right hands. *Perceptual Motor Skills*, 81(1), 131-141.

- Saunders, F. A. (1983). Information transmission across the skin: high resolution tactile sensory aid for the deaf and the blind. *International journal of neuroscience*, 19, 21-28.
- Sherrington, C. S. (1906). *The Integrative Action of the Nervous System* (1947 ed.). New Haven: Yale University Press.
- Shloerb, D. W. (1995). A quantitative measure of telepresence. *Presence, Teleoperators and Virtual Environments*, 4(1), 64-80.
- Sribunruangrit N., Marque C., Lenay C., Gapenne O. et Vanhoutte C. (2004). Speed-accuracy tradeoff during performance of a tracking task without visual feedback. *IEEE transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 12, no.1, 131-139.
- Sribunruangrit N. (2004). *Etude et développement de systèmes de suppléance perceptive tactile pour les personnes aveugles*, PHD Thesis. Université de technologie de Compiègne, France.
- Simons, D. J. (1996). In sight, out of mind: When object representations fail. *Psychological Science*, 7(5), 301-305.
- Simons, D. J. (2000). Current approaches to change blindness. *Visual Cognition, Special issue on change detection and memory*, 7, 1-16.
- Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), 1059-1074.
- Simons, D. J., & Levin, D. T. (1998). Failure to detect changes to people during a real-world interaction. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5(4), 644-649.
- Soto-Faraco, S., Lyons, J., Gazzaniga, M., Spence, C., & Kingstone, A. (2002). The ventriloquist in motion: illusory capture of dynamic information across sensory modalities. *Cognitive brain research*, 14(1), 139-146.
- Soto-Faraco, S., & Spence, C. (2002). Modality-specific auditory and visual temporal processing deficits. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 55(1), 23-40.
- Spence, C. (2001). Crossmodal attentional capture: A controversy resolved? *Attention, Distraction and Action: Multiple Perspectives on Attentional Capture*, 231-262.
- Spence, C., Nicholls, M. E. R., Gillespie, N., & Driver, J. (1998). Cross-modal links in exogenous covert spatial orienting between touch, audition, and vision. *Perception and Psychophysics*, 60(4), 544-557.
- Spence, C., Ranson, J., Driver, J., (2000). Cross-modal selective attention: On the difficulty of ignoring sounds at the locus of visual attention. *Perception and Psychophysics*, 62(2), 410-424.
- Stein, B. E. (1998). Neural mechanisms for synthesizing sensory information and producing adaptive behaviors. *Experimental Brain Research*, 123(1-2), 124-135.

- 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*. Elsevier: E. Kowler.
- Stewart, J. (1995). Cognition = life: Implications for higher-level cognition. *Behavioural Processes*, 35(1-3), 311-326.
- Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(2), 195-213.
- Tastevin, J. (1937). En partant de l'expérience d'Aristote les déplacements artificiels des parties du corps ne sont pas suivis par le sentiment de ces parties ni par les sensations qu'on peut y produire. *L'Encéphale*, XXXII(2), 57-84.
- Tipper, S. P., Phillips, N., Dancer, C., Lloyd, D., Howard, L. A., & McGlone, F. (2001). Vision influences tactile perception at body sites that cannot be viewed directly. *Experimental Brain Research*, 139, 160-167.
- Tyler, M., Danilov, Y., & Bach-y-Rita, P. (2003). Closing an open-loop control system: vestibular substitution through the tongue. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2(2), 159-164.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1992). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Van den Bos, B. E., & Jeannerod, M. (2002). Sense of body and sense of action both contribute to self-recognition. *Cognition*, 85, 177-187.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA, USA: Mit Press.
- Veraart, C., de Volder, A. G., Wanet-Defalque, M. C., Bol, A., Michel, C., & Goffinet, A. M. (1990). Glucose utilization in human visual cortex is abnormally elevated in blindness of early onset but decreased in blindness of late onset. *Brain Research*, 510(1), 115-121.
- Volkman, F. C. (1986). Human visual suppression. *Vision Research*, 26(9), 1401-1416.
- Volkman, F. C., Schick, A. M. L., & Riggs, L. A. (1968). Time course of visual inhibition during voluntary saccades. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 562-569.
- Von Fieandt, K. (1966). Perception of the Self Directly and as a Mirror Image. In K. Fieandt (Ed.), *The World of Perception*. Homewood, IL: Dorsey.
- Von Uexküll, J. (1934). *Mondes Animaux et Monde Humain* (1965 ed.). Paris: Denoël.
- Wanet Defalque, M. C., Veraart, C., de Volder, A., & Metz, R. (1988). High metabolic activity in the visual cortex of early blind human subjects. *Brain Research*, 446(2), 369-373.

- Watanabe, T., Kume, Y., & Ifukube, T. (2000). Shape discrimination with a tactile mouse. In K. J. I. Zasshi (Ed.), *Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers* (Vol. 54, Issue 6, pp. 840-847.).
- Weber, E. H. (1846). *Der Tastsinn* (1978 ed.). New York: Academic Press.
- Weissenberg, J.-L. (2003). Entre présence et absence, un virtuel toujours plus corporel. In S. Missonier & H. Lissandre (Eds.), *Le virtuel, la présence de l'absent*, 87-102. Paris: EDK.
- White, B. W., Saunders, F. A., Scadden, L., Bach-Y-Rita, P., & Collins, C. C. (1970). Seeing with the skin. *Perception & Psychophysics*, 7, 23-27.
- Yantis, S. (1993). Stimulus-driven attentional capture. *Current Directions in Psychological Science*, 2(5), 156-161.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16(1), 121-134.
- Zimmerman, G. J. (1990). Effects of microcomputer and tactile aid stimulations on the spatial ability of blind individuals. *Journal of visual impairment and blindness*, 541-546.

-ANNEXES-

Annexe 1 : Bergson. Une théorie sensorimotrice de la perception.....210

Annexe II : L'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements progressifs dans les scènes visuelles270

Annexe III : Matériel de l'expérience I.....294

Annexe III : Matériel de l'expérience III.....296

Psychologie et Histoire, 2003, vol. 4, 61- 100.

BERGSON UNE THÉORIE SENSORIMOTRICE DE LA PERCEPTION

MALIKA AUVRAY*

Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université René Descartes, Paris

Résumé

Bergson, prix Nobel de littérature en 1928, pose en 1897, dans son ouvrage *Matière et mémoire*, les bases d'une théorie sensorimotrice de la perception. Théorie radicalement neuve en cette fin de dix-neuvième siècle et remplaçant ainsi le cycle action/perception au centre même de l'activité perceptive.

Ainsi, Bergson, propose de considérer le corps comme un organe d'action et seulement d'action et la perception comme une fonction corporelle d'ordre pragmatique. L'action est la réponse motrice à un stimulus sensoriel. Elle peut être immédiate ou différée. Si elle est différée, le mouvement afférent ne se prolonge pas en action et se déploie dès lors dans l'intervalle comme perception — la conscience surgit lorsqu'il y a absence d'automatisme de l'action. L'action est sélection dans le monde de ce qui intéresse le corps. La perception n'est autre chose que cette action en tant qu'elle n'a pas trouvé son aboutissement. La sélection par l'action de ce qui est intéressant est donc une des conditions de la perception.

La perception est donc bien vision de détails triés en premier lieu par des mécanismes sensori-moteurs. Dès lors, elle retient de son origine sensori-motrice sa fonction discriminatrice. Son contenu est celui des choses mêmes : nous voyons directement dans les choses, aucune représentation interne ne se constitue. Ainsi, le corps envisagé en tant qu'organe uniquement d'action n'a rien d'un appareil qui servirait à fabriquer des représentations.

Matière et Mémoire, œuvre défendant avec ferveur une théorie de plus en plus d'actualité, n'a cependant pas été réactualisée avec la force de certaines autres telle *la phénoménologie de la perception* de Merleau-Ponty. Ce fait peut être imputé au spiritualisme de Bergson pour qui la question du rapport de la perception et de l'action est entièrement tournée vers le rétablissement d'une continuité entre faculté de perception et faculté motrice ; et ce, afin de mieux établir la solution de continuité entre facultés motrices en général et faculté de pensée, entre dès lors corps et esprit. En effet, Bergson centre l'étude du corps autour de la question de la perception, et ce dans une perspective qui manifeste l'incompatibilité de la perception et de la pensée. Or, la pensée est désintéressée. Il s'agit dès lors de montrer que la perception est foncièrement intéressée. La preuve en sera contenue dans sa thèse selon laquelle la perception est action.

Ainsi, d'une conception sensorimotrice de la perception Bergson infère une théorie spiritualiste de la mémoire. Dès lors l'invitation est claire, s'inscrire dans une telle démarche invite tout défenseur d'une théorie sensorimotrice soit à accepter un spiritualisme concernant la mémoire soit à proposer une alternative cohérente avec les hypothèses d'une telle théorie de la perception.

* Corresponding author

E-mail address: malika-auvray@univ-paris5.fr

Abstract

Bergson, winner of the Nobel prize of literature in 1928, establishes in 1897, in his book *Matière et mémoire*, the basis of a sensorimotor theory of perception. This theory, radically new for this end of the nineteenth century, replaced the cycle action/perception in the centre of the perceptive activity.

In particular, Bergson proposes to consider the body as an organ devoted to action and devoted only to action, and to consider perception as a bodily and pragmatic function. Action is a motor response to a sensory stimulation. This action can be immediate or deferred. If it is deferred, the afferent movement doesn't prolong itself as action, and then is deployed in this period as perception. Consciousness arises only when action is not automatic.

Action is selection in the world of what interests the body. And perception is only this action during the time when it hasn't found its outcome. Thus, the selection done by action of what interests the body is a condition of perception. So, perception is vision of details selected first by sensory-motor mechanisms. And it retains from its sensory-motor origin its discriminative function. Its content are things themselves: we see directly on things, no internal representation is constructed. Thus, the body, considered as an organ only devoted to action, has in no manner the function of construction of representations.

Matière et Mémoire is a book defending a very actual theory. But it hasn't been re-actualised with the same enthusiasm as others as *la phénoménologie de la perception* of Merleau-Ponty. This can be due to Bergson's spiritualism. For him, the question of the link between action and perception is aimed to re-establish the continuity between perceptive faculties and motor faculties. But this, in order to establish a better cut between motor faculties in general and thinking faculties, is between body and mind. In fact, Bergson studies the link between body and perception in a perspective that shows the incompatibility of perception and thinking. Perception is an interested activity. The proof will be contained in the assertion that perception is action. The next step is showing that thinking is not at all an interested activity.

Thus, from a sensorimotor theory of perception, Bergson infers a spiritualist theory of memory. There can be here an invitation. Defending such a sensorimotor theory of perception invites their defenders either to accept a spiritualism concerning memory or to propose an alternative which is consistent with the hypothesis of such a theory of perception.

"Le système nerveux n'a rien d'un appareil qui servirait
à fabriquer ou même à préparer des représentations"
Bergson, Matière et mémoire

Introduction

Afin de mieux comprendre le statut que Bergson accorde à la perception, statut peu commun pour un spiritualiste, il convient de resituer cette position dans l'économie de l'œuvre de Bergson et dans le contexte de cette fin du dix-neuvième siècle.

Que se passe-t-il en cette fin du dix-neuvième siècle ? A cette époque,

la crise historique de la psychologie coïncide avec le moment où il ne fut plus possible de tenir une certaine position : cette position consistait à mettre les images dans la conscience, et les mouvements dans l'espace. Dans la conscience, il n'y aurait que des images, qualitatives, inétendues. Dans l'espace, il n'y aurait que des mouvements, étendus, quantitatifs. Mais comment passer d'un ordre à l'autre ? (...) Il fallait à tout prix surmonter cette dualité de l'image et du mouvement, de la conscience et de la chose. Et, à la même époque, deux auteurs très différents allaient entreprendre cette tâche, Bergson et Husserl. Chacun lançait son cri de guerre : toute conscience est conscience *de* quelque chose (Husserl), ou plus encore toute conscience *est* quelque chose (Deleuze, 1983, p.83-84).

Reprenons cette explication à partir de la quadripartition aristotélicienne :

« Disons – et tel est le principe de notre recherche —, que ce qui distingue l'animé de l'inanimé, c'est la vie. Or, il y a plusieurs manières d'entendre la vie, et il suffit qu'une seule d'entre elles se trouve réalisée dans un sujet pour qu'on le dise vivant : que ce soit l'intellect, la sensation, le mouvement et le repos selon le lieu, ou encore le mouvement qu'implique la nutrition, enfin le dépérissement et la croissance » (Aristote, *De l'âme*, II, 2, 413 a.). Par ailleurs, on fait traditionnellement dans le vivant une distinction entre le corps et l'esprit. Si l'on recoupe la quadripartition aristotélicienne et le dualisme traditionnel, on pourra volontiers admettre que les facultés de locomotion et de nutrition sont le propre du corps tandis que les facultés sensibles et intellectuelles sont attributs de l'esprit. Mais, en ce dix-neuvième siècle, s'affermir une conviction : les sensations sont localisées dans le cerveau. Est-ce à dire dès lors que la faculté sensitive est d'ordre strictement corporel ? Si tel était le cas, seule la pensée resterait l'apanage de l'esprit. Et les spiritualistes sentent bien qu'à abandonner la main à cette progressive réduction corporelle de l'esprit, c'est le divin bras qui

risque de sombrer. Ils se raidissent alors mais entrent ainsi en manifeste contradiction avec les données les plus assurées de la science.

Bergson, lui-même spiritualiste, adopte pourtant une stratégie différente. Il accorde que la sensation est d'ordre corporel, plus précisément matériel. Il renoue donc la continuité entre facultés motrices et facultés sensibles. On objectera qu'il offre là, au matérialiste, matière à réjouissances : si la pensée, comme il le paraît, s'inscrit dans le prolongement de la perception, alors, en vertu du principe de transitivité, elle semble devoir être elle-même réinscrite au sein du corps. C'est ce que ne saurait accepter un spiritualiste. Mais l'originalité de Bergson est précisément de placer *entre la perception et la pensée* le coup d'arrêt donné au mouvement de réduction du spirituel au corporel. Cette solution de continuité a comme envers, cette fois, la réintroduction d'une continuité entre « le mouvement et le repos selon le lieu, ou encore le mouvement qu'implique la nutrition » et la perception. Seule cette réintroduction devrait en effet permettre d'attribuer à la perception des caractères qui se manifesteront comme incompatibles avec les caractères de la pensée. L'écart entre le corps matériel et l'esprit devrait pouvoir ainsi être définitivement maintenu.

Ce résultat ne pourra être obtenu qu'à la condition donc de polariser l'étude du corps autour de la question de la perception, et ce dans une perspective qui manifeste l'incompatibilité de la perception et de la pensée. Or, la pensée est désintéressée. Il s'agit dès lors de montrer que la perception est foncièrement intéressée. La preuve en sera contenue dans la thèse selon laquelle la perception est action. La possibilité¹ d'un spiritualisme cohérent avec les acquis les plus modernes de la science repose sur une confirmation de cette thèse.

Nous pouvons comprendre cette étude de la perception comme s'effectuant en 4 étapes, durant lesquelles Bergson va tenter de résoudre les difficultés qu'idéalistes comme réalistes n'ont pu dépasser.

1- Toute perception est perception de quelque chose. Toute théorie de la perception doit donc pouvoir rendre compte tout à la fois de l'union de la perception et de la chose et de l'écart entre cette perception *interne* et cette chose *externe*. Comprendre le lien qui unit perception et chose perçue amènera réalistes et idéalistes à réduire la distance entre extériorité et intériorité au profit de l'une ou de l'autre.

2- Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective. Toute théorie de la perception doit donc pouvoir rendre compte tout à la fois de l'union et de l'écart entre *ce qui m'apparaît* et *ce qui m'apparaît*, entre l'en soi et le pour moi, entre la chose en soi et le phénomène. Comprendre le lien qui les unit amènera réalistes et idéalistes à négliger l'un des deux termes, faisant respectivement du pour moi une subjective phosphorescence de l'en soi et de l'en soi une nécessaire illusion du pour moi née de l'indépendance entre perception et volonté consciente².

3- Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective variable. Toute théorie de la perception doit donc pouvoir rendre compte tout à la fois de l'union et de l'écart entre la perspective invariable corrélatrice de la subordination aux lois objectives de la science — objectives, c'est-à-dire universelles et nécessaires — et la perspective variable corrélatrice de la subordination à la fantaisie subjective du sujet percevant – subjective c'est-à-dire particulière et contingente. Comprendre le lien qui unit ce que Kant (1781) appelle l'ordre du temps et le cours du temps³ amènera réalistes et idéalistes à, « par une inconsciente prestidigitation intellectuelle, passer instantanément du réalisme à l'idéalisme et de l'idéalisme au réalisme, apparaissant dans l'un au moment précis où l'on va être pris en flagrant délit de contradiction dans l'autre » (Bergson, 1919, p. 196). L'idéaliste tout d'abord va, sur fond d'une intériorité soumise aux seuls caprices d'une subjectivité, retrouver la régularité qui, lui-même doit l'avouer, se manifeste au sein de nos représentations en la fondant sur un ordre transcendant, d'une extériorité donc absolue, pourtant refusée au départ, à savoir en Dieu. La dérivation de l'ordre du temps à partir du cours du temps se fonde bien sur une subreptice *ouverture* à une radicale *extériorité* divine. Le réaliste quant à lui, lorsqu'il s'agira de dériver le cours subjectif de l'appréhension des phénomènes à partir de l'ordre objectif des phénomènes, sera amené à réduire le fantaisiste mental ou fantaisiste champ des représentations à un ordonné équivalent cérébral et à faire comme si la *totalité* de son homologue mental était contenu dans ce cérébral observé. Or, le réaliste était précisément, contrairement à l'idéaliste, celui qui refusait de faire de la représentation une totalité suffisante à l'explication de l'émergence de chacune de nos représentations. La dérivation du cours du temps à partir de l'ordre du temps se fonde bien sur une subreptice *réduction* à la radicale *intériorité* cérébrale. Aucune de ces deux positions ne semble donc satisfaisante.

4- Toute aperception⁴ est perception consciente de quelque chose selon une perspective variable. Puisque l'aperception est perception de perception, toute théorie de la

perception doit pouvoir rendre compte tout à la fois de l'union et de l'écart entre perception et aperception, matière de l'aperception et acte formel de l'aperception, entre, en dernière instance, matière et esprit. Peu de possibilités s'offrent aux réalistes et idéalistes, et ce quelques soient les nuances ou la radicalité du propos. En première approximation, il est possible de réduire l'un des deux termes à l'autre et de camper ainsi sur sa propre position. Mais lorsqu'il s'agira de préciser le détail de cette réduction, réalistes et idéalistes échangeront une fois encore leurs positions respectives. Pour le réaliste, la matière de l'aperception sera sensations ou « impressions »⁵ formant, *au sein du cerveau*⁶, tourbillons éventuellement réglés dans l'immanence desquels se constituent perception de monde et perception de choses. La sensation interne au cerveau devient fondement, la matière environnante est, sinon, négligée, au mieux seulement déduite : la réduction de la conscience à l'immanence de la matière s'est convertie en la thèse d'une collection de sensations, ou « cerveau », transcendante et à l'origine de la genèse de l'aperception de la matière environnante. L'idéaliste, quant à lui, même en une forme atténuée, s'efforce, par définition, de trouver le fondement de l'aperception dans l'acte constituant et ordonnateur de la conscience, acte s'appliquant certes éventuellement à une matière, mais à une matière *indifférenciée*— car, sinon, ce serait la matière elle-même qui serait, au moins partiellement, au fondement de la forme de l'aperception. Mais lorsqu'il s'agira de rendre compte, non plus de l'accord des perceptions entre elles, non plus de l'accord des formes de toute expérience possible, mais de l'accord de la forme de la perception x au moment y avec la matière singulière qui vient la remplir, il faudra bien reconnaître en cet inconnaissable dès lors distingué le pendant des caractéristiques singulières ou spécifiques⁷ de l'aperception. Le fondement ultime de la possibilité de l'aperception d'un quelque chose ne réside dès lors plus dans l'acte intentionnel et constitutif de la conscience mais dans le champ d'une matière (de l'aperception) qui doit être toujours déjà caractérisée, en un mot ordonnée avant l'intrusion même de la conscience : la réduction de la matière à l'acte transcendant d'une intentionnalité s'est convertie en fondation de la possibilité d'une aperception dans l'immanence d'un résidu irréductible, et puisque ce résidu s'impose à la conscience comme nécessairement toujours déjà caractérisé et ordonné, dans l'immanence de ce que l'on pourra appeler une matière. Nous le voyons, réalisme et idéalisme ne peuvent penser radicalement l'aperception comme perception consciente qu'en passant subrepticement l'un dans l'autre.

Toute théorie de la perception doit donc pouvoir rendre compte de l'union et de l'écart entre la perception interne et la chose externe, entre le phénomène et la chose en soi,

entre le cours du temps et l'ordre du temps, enfin entre l'esprit et la matière. Les thèses idéalistes et réalistes ne semblent pouvoir nous satisfaire. Les thèses de Bergson le permettraient-elles, et ce sur ces quatre points ? Répondre à cette question devrait nous permettre d'examiner l'ensemble du premier chapitre de *Matière et mémoire*.

I- Toute perception est perception de quelque chose

Toute perception est perception de quelque chose. Mais nous avons vu que lorsqu'il s'agissait de déterminer l'union et l'écart entre la perception de la chose et la chose perçue, les solutions habituellement apportées ne pouvaient nous satisfaire. Quelle sera alors celle de Bergson ?

* * *
*
*

L'innovation de Bergson dans l'affirmation suivante « *toute perception est quelque chose* » (Deleuze, 1983, p.83-84). Que signifie cette proposition ?

Notons d'abord que la réciproque ne saurait, comme telle, être vraie : toute chose n'est pas une perception. A l'affirmer en effet, on rejoindrait bientôt les ornières de l'idéalisme. Le réel n'existe pas seulement lorsqu'il est actuellement perçu. Si je ferme les yeux, il n'en existe pas moins.

Cela signifie par contre que toute chose est de même nature qu'une perception. L'abandon du génitif dans l'expression « Toute perception est perception de quelque chose » est en effet *ipso facto* annulation de la transitivité qui offrait un espace pour la transformation de la chose en une perception hétérogène. C'est de cet espace que se saisissent les réalistes lorsqu'ils confèrent à une portion de la matière, le cerveau, le mystérieux pouvoir de transformer une matière en son tout autre, la perception. On ne les suivra donc pas dans cette voie et l'on affirmera que la matière est d'emblée de même nature que la perception. Son être est d'être perceptible. Qu'est-ce à dire exactement ?

Ce que nous percevons, ce sont des images. La matière, homogène à la perception, n'est donc pas composée de choses dont on se fera une image ; elle est composée des images

elles-mêmes. La perception, homogène à la matière, n'est donc pas l'image que l'on se fait d'une chose ; elle est la chose elle-même. « La perception est quelque chose » signifie que « les choses sont de même nature que la perception ». Cette nature commune est celle de l'image. La signification de ce terme est désormais à préciser.

* * *
*

« La matière, pour nous, est un ensemble d'“images”. Et par “image” nous entendons une certaine existence qui est plus que ce que l'idéaliste appelle une représentation, mais moins que ce que le réaliste appelle une chose, — une existence située à mi-chemin entre la “chose” et la “représentation” » (Bergson, 1896, p.1). Certes, en 1896, « la notion d'image désignait, chez des psychologues tels qu'Hyppolite Taine ou Théodule Ribot ce que désigne pour nous, aujourd'hui, celle de *représentation* (d'un objet) » (Worms, 1997, p.6). Mais, tout autant que la proximité de signification du mot “image” avec celle de celui de “représentation”, c'est aussi la distance entretenue entre ces termes qui intéressent Bergson, proximité et distance lui permettant en effet de tout à la fois jouer sur le registre de la perception et sur celui de la réalité. L'image peut dès lors échapper à l'alternative abstraite du réalisme et de l'idéalisme : il est vrai que la réalité en soi n'est pas distincte de ce que nous percevons, que, selon l'expression de Berkeley qui, sur ce point a raison, *esse est percipi*⁸, en somme que le réel n'est rien d'autre que son apparaître. Mais, et c'est ce que Berkeley n'a pas aperçu, il est faux d'en conclure que la matière coïncide avec notre esprit lui-même ; elle est aussi « ce que je ne perçois pas », ce qui subsiste comme perceptible alors même que je ne le perçois pas : un tableau, de ne point trouver son public, n'en est pas moins tableau susceptible de, bientôt, n'être plus méconnu. Et dès lors nous rejoignons le sens commun : « l'objet existe en lui-même et, d'autre part, l'objet est, en lui-même, pittoresque comme nous l'apercevons : c'est une image, mais une image qui existe en soi » (Bergson, 1896, p.2).

Insistons et ne nous laissons pas égarer par la comparaison avec le tableau : le tableau est image *de* quelque chose en tant qu'il est imitation re-présentative. Mais, précisément, il représente ce qui était déjà présenté comme image réelle ; cette dernière, en revanche, se présente en personne, elle n'est donc l'image de rien, elle est quelque chose, et ce de manière intransitive ou immédiate : elle est la chose même. La matière est pleine identité de l'être et

de l'apparaître, elle est l'être réel du perçu, et l'être perceptible du réel. La notion d'image est somme toute fort simple, elle est obtenue à l'issue d'une *epochè*, d'une mise entre parenthèses de tout ce qui n'est pas donnée de l'expérience commune, *epochè* dont la radicalité n'est d'ailleurs pas sans rappeler celle inaugurée par Descartes en ouverture des *Méditations métaphysiques*, *epochè* guidée par le souci de satisfaire à l'impératif suivant : revenons aux choses mêmes, revenons à la conception du sens commun, à la matière considérée « avant la dissociation que l'idéalisme et le réalisme ont opéré entre son existence et son apparence » (Bergson, 1896, p.2), revenons donc à une existence située à mi-chemin entre la chose des réalistes et la représentation des idéalistes, c'est-à-dire à une image, mais une image qui existe en soi.

Cette revendication d'un retour au sens commun ne peut cependant occulter les difficultés inhérentes à une telle conception. Berkeley répétait : « Je suis en toute chose du côté de la foule » (Berkeley, 1706, p.76), du côté de la foule « irlandaise », précisait-il même, croyant y trouver la garantie de son bon sens. Bien des pages de ses ouvrages heurtent pourtant le sens commun. Qu'en est-il ici ? Si la chose et la perception de la chose sont toutes deux des images, nous entrevoyons éventuellement d'aisées réponses à la question de leur union. Mais n'obscurcit-on pas alors le problème de, cette fois, leur écart ? Un détour va être nécessaire.

* * *
*

Depuis *l'Essai sur l'entendement humain* de Locke, on distingue à bon droit les qualités premières des qualités secondes. Les premières, dont nous acquérons une connaissance par différents sens, sont des caractéristiques internes de la chose. Il s'agit de la figure, de la taille, du mouvement et de la solidité des corps. Les secondes qui, en termes aristotéliens, procèdent d'un acte commun du senti et du sentant, sont perçues à chaque fois par un seul de nos sens dont elles reçoivent dès lors très fortement l'empreinte ; en ce sens, elles sont subjectives. Il s'agit des couleurs, des saveurs, des odeurs, des sons, de la chaleur et du froid. Nous les distinguons à bon droit, disions-nous, même si la question de leur répartition reste ouverte. La question est d'ailleurs pendante à un tel point que les nombreuses tentatives de réduction des caractéristiques qui sont internes à la chose (qualités premières)

aux caractéristiques qui sont internes à l'image que nous avons de la chose (qualités secondes), ou inversement, n'ont pu être conciliées. Locke par exemple s'efforce de réduire les secondes aux premières, Berkeley les premières aux secondes. Nous ne faisons en fait que retrouver ici sous d'autres termes l'alternative abstraite du réalisme et de l'idéalisme. Mais ces nouveaux termes nous aideront tout de même à préciser la position de Bergson.

Quelle est la stratégie de ce dernier ? Il s'agit non plus de réduire l'un des deux termes à l'autre mais de les identifier. La qualité première est qualité seconde et inversement. L'image est "image-mouvement" et le mouvement est "mouvement-image". « La découverte de l'image-mouvement, au-delà des conditions de la perception naturelle, était la prodigieuse invention du premier chapitre de *Matière et mémoire* »⁹, dit G. Deleuze (1983). Mais il faut alors immédiatement préciser que le mouvement n'est plus considéré comme déplacement dans un espace homogène et infiniment divisible. A défaut d'une telle précision, la proposition « l'image est image-mouvement » deviendrait incompréhensible. *L'Essai sur les données immédiates de la conscience* (Bergson, 1889) avait mené une féroce critique contre la volonté de faire de cet espace abstrait le fondement de la totalité du réel. Il n'est nullement question pour Bergson de revenir sur cette critique. Bien au contraire, il la reprend notamment dans le quatrième chapitre de *Matière et mémoire*, lorsqu'il s'agit de lever les paradoxes énoncés par Zénon d'Elée (Bergson, 1896, p.213, 214). Nous ne reprendrons pas ici le détail de l'analyse de Bergson. Comprendons seulement que, contre les associationnistes qui font de l'espace un simple ordre des atomes discrets, Bergson peut affirmer que l'étendue est continue. Elle est en effet mouvement-image ; elle a la continuité du mouvement. Comprendons également que contre les philosophes qui réduisent l'étendue à un espace homogène et dès lors indéfiniment divisible, Bergson peut affirmer que l'étendue est indivisible. Elle est en effet image-mouvement ; elle a l'hétérogénéité qualitative des images, images qui ne peuvent être divisées sans que leur quiddité n'en soit modifiée. L'étendue réelle est donc, précisément parce qu'elle est tout à la fois image-mouvement et mouvement-image, qualitativement hétérogène et continue. Nous avons donc raison de dire que le mouvement abstrait ne pouvait pas être considéré comme constitutif de la matière en sa totalité. Mais, nous le voyons, il ne le pouvait pas précisément parce que c'est le mouvement-image qui est constitutif de cette totalité. Le mouvement réel, distinct du mouvement abstrait, peut donc être tout à la fois qualité première (mouvement) et qualité seconde (image qualitative). Bergson peut soutenir cela dans *Matière et mémoire* sans pour autant entrer en contradiction avec son précédent ouvrage intitulé *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Si l'on essaie

de synthétiser les acquis de ces deux ouvrages, on obtient la phrase suivante : le mobile est la coupe longitudinale de la matérielle image-mouvement qui est une portion de l'étendue.

Notons que pour avoir non pas une explication ou une justification du point de vue de Bergson mais pour se faire une "image" de ce qu'est le mouvement concret selon Bergson, on pourra se reporter à la page métaphorique de G. Deleuze (1983) présentée en annexe.

Ceci précisé, il reste à établir la possibilité de l'écart de la perception, image-mouvement, et de la chose, mouvement-image. Ce détour nous a-t-il effectivement rapprochés de notre but ?

* * *
*

Récapitulons. La qualité première est qualité seconde. La qualité seconde est qualité première. Le mouvement est image. L'image est mouvement. Perception de chose et chose perçue sont des images-mouvements. La matière est constituée d'images-mouvements. Soit. Mais nous exprimer ainsi risque peut-être de nous exposer à l'objection d'un contradicteur. Le mouvement est certes image, dira-t-il, mais seulement en ce sens qu'il n'existe d'autre mouvement que l'image que nous nous en faisons. Le mouvement n'a en effet rien d'absolu. Le mouvement est relatif au point de vue que nous prenons sur la chose. Selon le référentiel choisi, le même objet, dont les qualités sont pourtant invariantes, est immobile ou en mouvement. Qualités secondes et qualités premières ont peut-être une proximité plus grande qu'on ne l'estimait au dix-huitième siècle. Mais ce ne saurait assurément être en ce sens que la qualité seconde est elle-même constitutive de la matière. Il faudrait bien plutôt affirmer que le mouvement est lui-même relatif au point de vue adopté, qu'il n'est finalement lui-même, comme vous le dites, qu'une qualité seconde, acte commun de l'objet senti et du sujet sentant. Comment dès lors prétendre en faire la matière même du réel !

Il nous faut répondre à cette objection. Peut-être nous approcherons-nous ainsi davantage de la solution proposée par Bergson à notre problème initial.

En fait, à nous en tenir à la thèse bergsonienne d'une identité du mouvement et de la qualité, il semblerait falloir dire qu'une même qualité est à la fois en mouvement et en repos. Une telle affirmation serait indéniablement contradictoire. Il nous faut nous efforcer de lever

une telle contradiction. Cela nous permettra peut-être, dans un premier temps, de nous acheminer vers la véritable définition de l'image. Mais il nous faut toutefois revenir d'abord sur l'objection proposée. Reconnaissons qu'une partie d'image (un individu sur un bateau) peut effectivement être considérée en mouvement par rapport à une autre partie (un individu sur la berge) et en même temps immobile relativement à une autre image en mouvement de translation uniforme par rapport à elle (le bateau lui-même). Cela est vrai. Le mouvement est effectivement relatif pour peu que l'on sélectionne à l'intérieur de l'image totale les objets que l'on dira en mouvement, les mobiles. On voit immédiatement que cette possibilité repose bon an mal an sur l'existence de tels mobiles. La mise en évidence d'une relativité du mouvement ne peut s'effectuer qu'en faisant fond sur une matière d'abord et absolument considérée comme mobilité.

Pour le dire dans les termes de Bergson, on peut reconnaître une relativité des trajectoires décrites par les mobiles. Mais que l'image totale, ou système solidaire de toutes ces images partielles, ne change pas, c'est-à-dire ne contient absolument pas, en son sein continu et qualitativement différencié, un mouvement, ne saurait être affirmé. « Qu'il y ait un mouvement réel, personne ne peut le contester sérieusement : sinon, rien ne changerait dans l'univers, et surtout on ne voit pas ce que signifierait la conscience que nous avons de nos propres mouvement » (Bergson, 1896, p.217). Notons que Bergson ne fait pas ici véritablement appel au témoignage de la conscience, à la manière de, par exemple, Maine de Biran qui voit dans l'effort le fait primitif à partir duquel s'ordonne la genèse d'une conscience qui émerge dans l'encontre d'une matière qui s'oppose à elle. Son argumentation peut être divisée en deux points, trouvant tous deux leur ressort dans non pas donc les données de l'expérience mais plutôt le principe de non-contradiction. Le sens obvie du propos de Bergson est qu'on ne peut pas accorder, sans se contredire soi-même, tout à la fois une absolue inexistence de mouvement dans l'être en sa totalité et l'existence de mouvements, serait-ce même en une région localisée de l'être, les vivants notamment. Mais, plus essentiellement encore peut-être, on voit que les objections faites à une identification *matérielle* de la qualité première et de la qualité seconde reposent en dernière instance sur la reconnaissance implicite de l'existence d'un mouvement qui déborde et fonde en même temps le mouvement étudié en physique. On ne peut sans contradiction découper dans le réel des mobiles afin de démontrer qu'aucun mouvement absolu n'existe, que rien ne change dans l'univers. Certes, dira-t-on, il ne s'agit là que d'un problème de définitions. On ne s'entend pas, dira-t-on sur le sens des mots « absolu » et « relatif ». Ainsi, le même contradictoire prétendra avoir dit seulement que la forme du mouvement est relative, non que la matière ne

contient absolument aucun changement. Mais ce n'est là rien d'autre que ce que demande Bergson. Il y avait effectivement seulement un problème de définitions. Mais, plutôt que les définitions d' « absolu » et « relatif », c'étaient les définitions de « mouvement » et « changement » qui posaient problème. La solution tourne à l'avantage de Bergson. Le mouvement, tel qu'il est étudié par les sciences, n'est pas la matière. La possibilité de se représenter un mouvement de mobiles repose sur le changement qui, quant à lui, est matériel. Le changement déborde considérablement le mouvement. Il le déborde, serons-nous tentés d'ajouter, de toute l'épaisseur des qualités secondes.

Ainsi, c'est bien parce que la thèse adverse entre en contradiction avec ses propres présupposés que Bergson est amené à la refuser. Nous aurons l'occasion de le voir à de nombreuses reprises : ce qui guide et justifie les propos de Bergson est bien souvent ce principe de non-contradiction, nullement les données de l'expérience. En fait, il faut bouleverser les catégories usuelles et s'avancer au-delà du tournant de l'expérience pour, si l'on ne veut pas se résigner à une philosophie critique, rendre toutefois compatibles les conceptions que l'on se fait habituellement des objets de cette même expérience¹⁰. Ainsi, il faut donc notamment remettre en cause la distinction des qualités premières et des qualités secondes. Il faut aussi repenser la perception, affirmer qu'elle est image, c'est-à-dire image parmi les images, image-mouvement en relation avec toutes les images-mouvements, tant il est vrai que « toutes ces images agissent et réagissent les unes sur les autres dans toutes leurs parties élémentaires » (Bergson, 1896, p.11).

Ainsi avons-nous tout à la fois répondu à l'objection proposée et en même temps renforcé la thèse selon laquelle perception et chose sont des images-mouvements. Ce que nous devons retenir en fait de ce passage est que le changement ne peut véritablement se comprendre en sa matérialité qu'à la condition de ne pas séparer les mobiles, qu'en se remplaçant du point de vue de la totalité changeante. Cette totalité est qualitativement différenciée, avons-nous dit. Il n'en reste pas moins que les liaisons entre parties ne doivent pas être rompues. Les images-mouvements doivent toujours être comprises comme sous parties d'une totalité plus vaste qui les englobe. Lorsque l'on dit que la perception est quelque chose, cela doit être avant tout compris en ce sens que la perception est une partie de l'image totale dont l'image perçue est elle-même une partie. Chose et perception sont des parties distinctes à l'intérieur d'un même tout. La compréhension de tout à la fois leur union et leur écart semble désormais envisageable.

* * *
*

L'exposé de la solution pourra être désormais succinct.

Si, par exemple, je perçois la couleur d'une chose, c'est que des rayons lumineux viennent frapper ma rétine et sont transmis au centre cérébral. Le mouvement qui va de l'objet au cerveau est lui-même image. Une partie de cette image est située à l'endroit de l'image-objet, une autre partie est située à l'endroit de l'image-cerveau. Si, pour aller vite, on appelle perception cette partie de l'image située en l'image-cerveau et couleur la partie de l'image située en l'image-objet, on conviendra, puisque toutes les images sont étendues et donc distantes les unes des autres, que la perception (dès lors dite perception de couleur) et la couleur (dès lors dite objet de perception) sont distantes. Partant de l'union de la perception et de la chose perçue du fait de l'identité du mouvement et de la qualité, nous aboutissons bien à l'écart entre perception et chose. C'est précisément ce que nous recherchions.

Réalistes et idéalistes, partant de l'écart de la chose et de la perception, devaient ensuite rendre compte de leur union. Nous avons vu que cette union ne pouvait être posée que par la réduction de l'un des termes au statut d'illusion, la perception devenant pour le réaliste une illusoire phosphorescence des mouvements cérébraux, la chose devenant pour le réaliste illusoire croyance née d'exigences toutes pragmatiques. Bergson, au contraire, part de l'union de la chose et de la perception, l'un et l'autre étant mouvements-images. Il restait à rendre compte de leur écart. Dans ce but, on aura montré, d'une part, que la perception et la chose sont, à titre d'images-mouvements, des portions (parties locales) de l'étendue, d'autre part, que l'espace est une coupe (partie longitudinale) de l'étendue, c'est-à-dire, à ce titre, que l'étendue contient la distance, enfin que l'étendue, et dès lors l'écart spatial, existent absolument. L'étude de ces trois points aura permis d'asseoir la fondation de l'écart entre chose perçue et perception de la chose dans la distance réelle qui sépare l'image-perception de l'image-objet. Ainsi aura été exposée la solution proposée par Bergson sur ce point.

* * *
*

Récapitulons : il n'y a que des images, il n'y a que du mouvement, il n'y a que des "images-mouvements". Le cerveau est une image-mouvement, la chose est une image-mouvement. Ils sont distants et a lieu une perception lorsqu'un mouvement se propage de l'un à l'autre. Ce mouvement est image. Il y a donc perception lorsque perception et chose entrent en solidarité au sein d'une seule et même image. Ainsi, cette théorie permet de rendre compte de l'union et de l'écart de la perception et de la chose perçue. Il convient à présent d'étudier les propositions effectuées par Bergson concernant de l'union et l'écart entre la chose perçue et la chose en soi.

II- Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective

La distance spatiale a suffi à fonder l'écart entre perception et chose. Par contre, elle ne semble pas pouvoir fonder l'écart entre phénomène et chose en soi. Il va falloir à présent déterminer le principe de cet écart.

Dès la première page de ce chapitre inaugural, Bergson, après avoir réduit la réalité aux images, constate que, parmi toutes ces images qui « agissent et réagissent les unes sur les autres dans toutes leurs parties élémentaires selon des lois constantes, que j'appelle les lois de la nature, (...) il en est une qui tranche sur toutes les autres en ce que je ne la connais pas seulement du dehors par des perceptions, mais aussi du dedans par des affections : c'est mon corps » (Bergson, 1896, p. 11). Or, puisque je ne me suis donné que ce qui existe, à savoir des images, il ne m'est possible d'avancer dans l'étude du corps vivant qu'en observant ce que je vois dans son image, image qui n'est elle-même qu'une partie de l'image totale qui va de la chose à mon corps. Or, je vois que cette image est singularisée par l'une de ses parties, l'image-affection. Dans cette dernière qui est en même temps image-mouvement, j'aperçois « des mouvements commencés, mais non pas exécutés, l'indication d'une décision plus ou moins utile, mais non pas la contrainte qui exclut le choix » (Bergson, 1896, p. 12). Autrement dit, cette fois dans l'image totale, j'aperçois un mouvement qui part de l'objet et, une fois dans le corps, s'y suspend, s'essaye éventuellement en de nombreuses directions,

sans immédiatement se décider en faveur de l'une ou de l'autre, avant de, éventuellement, par un mouvement définitif, prendre le cours des nerfs efférents, moteurs, pour se prolonger en action. Dans l'image totale, le mouvement qui court dans l'espace, entre images donc, est interrompu dans cette partie qu'est le corps, y prend une nouvelle direction, inhabituelle au vu des tracés régulièrement décrits par les mouvements, tracés dont l'habituelle régularité est précisément l'objet des lois scientifiques. « Ou bien donc toutes les apparences sont trompeuses, ou l'acte auquel l'état affectif aboutit n'est pas de ceux qui pourraient rigoureusement se déduire des phénomènes antérieurs comme un mouvement d'un mouvement, et dès lors, il ajoute véritablement quelque chose de nouveau à l'univers et son histoire » (Bergson, 1896, p. 12). Certes, Bergson fait ici appel au témoignage de la conscience et affirme vouloir s'en tenir aux apparences. Mais on aurait néanmoins tort de faire des « données immédiates de la conscience » la pierre de touche de cette argumentation. Admettons le, il s'agit de s'en tenir aux apparences mais, en réalité, nous n'avons pas le choix : nous ne nous sommes donnés que les images, images au niveau desquelles être et apparaître se confondent. Prendre en compte ce que l'on observe dans l'image-corps est donc avant tout une exigence née de la volonté de subordonner sa pensée au principe de non-contradiction. Cette prise en compte, dans la recherche d'un principe de la distinction entre phénomène et chose en soi, nous a déjà permis de relever une différence, immanente aux images-mouvements, entre deux modalités des mouvements : ceux qui obéissent aux lois de la nature et ceux qui, rompant avec ces dernières, introduit sa nouveauté au sein du champ de ces mêmes images-mouvements. Cela ne semble cependant pouvoir suffire à résoudre notre problème.

* * *

*

C'est de manière plus fouillée qu'il s'agit donc « d'étudier maintenant, sur des corps semblables au mien, la configuration particulière de cette image que j'appelle mon corps » (Bergson, 1896, p. 13). De cette étude, on pourra peut-être déduire la manière dont une perception peut être perception de quelque chose *selon une perspective*.

Que voyons-nous dans un corps semblable au notre ? Il se présente tout d'abord comme un système centré puisqu'il est constitué, d'une part, de centres nerveux (le cerveau,

lieu des ébranlements cérébraux) et, d'autre part, de ce que Bergson appelle la périphérie (en fait ce que l'on pourra appeler l'enveloppe corporelle). La zone intermédiaire est striée de nerfs qui, ébranlés conduisent des mouvements dans un sens ou dans l'autre. Un mouvement reste un mouvement. On pourra toutefois les distinguer selon la direction qu'ils suivent. Ceci indiqué, précisons ce que nous sommes susceptibles d'observer dans l'image-corps.

Il y a d'abord *un mouvement centripète* qui part de la périphérie vers les centres nerveux. Les images extérieures influent sur mon corps en lui transmettant du mouvement, elles produisent des ébranlements qui seront transmis par les nerfs afférents, de la périphérie de mon corps aux centres nerveux. Ce sont ces mouvements centripètes qui, selon les savants de l'époque, font naître la représentation du monde extérieur.

Il y a ensuite *un mouvement centrifuge* qui part du centre vers la périphérie. Les nerfs efférents conduisent donc des ébranlements du centre vers la périphérie et permettent de faire se mouvoir une partie du corps ou le corps tout entier. Ce mouvement du corps influera sur les images extérieures en leur restituant du mouvement. Ce sont eux qui sont action.

On peut observer également *les affections* qui viennent s'intercaler entre ces deux mouvements, autrement dit entre les mouvements reçus et les mouvements exécutés par le corps. L'affection, et en ceci elle se distingue de la perception que je peux orienter ou modifier, est toujours subie. Mais elle n'est pas seulement pur affect, sa fonction est d'être le moteur ou le frein de l'action. En quel sens pouvons-nous comprendre cela ? Nous avons dit précédemment que l'on pouvait observer dans l'image-affection la suspension et la bifurcation des mouvements afférents dans des directions originales. En cela, elle semblait déjà la marque de la liberté d'une action éclairée par la perception. Nous disons désormais que l'affection est subie. Cela n'est-il pas contradictoire ? On pourrait certes relever quelques ambiguïtés terminologiques dans le traitement par Bergson de cette question. Notons plutôt que l'ambiguïté des expressions est en réalité le corollaire du déséquilibre de l'affection, toujours située dans l'intervalle de la perception et de l'action, « entre une perception troublante à certains égards et une action hésitante » (Deleuze, 1983, p. 96). Selon que l'on privilégie le versant sensitif ou moteur, l'analyse de l'affection sera donc quelque peu différente. La suspension perceptive d'une action indécise pourra aussi bien devenir indécision active d'une perception suspendue. La première est cérébrale et signe de la liberté

de nos actions, la seconde davantage corporelle et signe de notre faiblesse devant les agressions externes. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point.

De *la conscience*, quant à elle, que pouvons-nous dire ? Nous voyons dans l'image totale des mouvements centripètes, des mouvements centrifuges et des suspensions de mouvements. Mais, apparemment, nous ne voyons nulle part une image (chose) qui serait susceptible d'être dénotée par le terme de conscience. En fait, celle-ci ne va être, à ce premier niveau d'analyse, que l'image-mouvement causée par la suspension du mouvement d'origine externe. Autrement dit, la suspension du mouvement observée au sein de l'image-affection est en même temps cause d'un ébranlement cérébral, ébranlement lui-même senti par le cerveau dès lors "informé" de cette suspension. La conscience est donc seulement une image-mouvement accompagnant l'image-affection, image-mouvement qui, en tant qu'elle est issue d'un ébranlement interne au corps, va rapporter la suspension du mouvement au corps singulier au sein duquel elle s'insère, va alors donner à ces affections « le sens d'une initiative ou d'un choix que je crois prendre » (Worms, 1997, p. 24). On pourra donc dire que la conscience est le témoin de l'action et de la liberté du corps mais seulement en ce sens qu'elle accompagne « toutes les démarches dont je crois prendre l'initiative, [qu']elle s'éclipse et disparaît dès que mon action, devenant automatique, déclare ne plus avoir besoin d'elle » (Bergson, 1896, p.12). On pourra dire cela mais cela reste métaphorique. Le corps n'a pas besoin de la conscience pour suspendre son mouvement. Celle-ci n'est pas tant le moyen d'une action libre que le signe de la liberté d'une action.

Le cerveau enfin, image partielle de l'image-corps, centre toutefois du système global, revêt évidemment une importance particulière. Il a, dit Bergson, la capacité d'orienter et de freiner le mouvement de l'excitation reçue et, en ceci, il est organe de choix. Mon corps, en tant donc qu'il est doté d'un cerveau et donc doué de la capacité à effectuer des choix, se distingue dès lors bien des images régies par les lois constantes de la nature. Il n'en reste pas moins de même nature qu'elles ; il est une image-mouvement, c'est-à-dire une image dans laquelle sont véhiculées de partielles images-mouvements. Certes, de toutes les choses de l'univers, seul le corps peut engendrer du nouveau, mais cela ne tient qu'à la particularité de son mode d'action, de ce qui reste, insistons, modalité d'une action et seulement d'une action.

Nous avons donc davantage approfondi notre observation du corps vivant. Nous n'y avons visiblement rien gagné puisque nous restons en possession de seulement des images-

mouvements, s'inscrivant dans une même continuité, et de notre distinction de deux modalités d'action. Nous ne sommes apparemment dès lors guère avancé dans notre recherche d'un principe qui puisse fonder l'écart entre phénomène et chose en soi, entre ce qui *m'apparaît* et *ce qui m'apparaît*.

* * *
*

En fait, nous devons d'emblée nous étonner. Nous avons quelque peu détaillé la structure du cerveau. Nous n'y avons vu d'activités que pratiques. Certes, il permet des actions libres, mais des actions seulement. Or, il semble d'usage d'accorder au cerveau une fonction théorétique ; on reconnaît généralement au cerveau la capacité de créer des représentations, représentations qu'il semble légitime de considérer comme étant d'un tout autre ordre que celui de l'action. Il n'en a pourtant pas été fait mention ici. Peut-être est-ce dès lors cette occultation de la différence entre fonctions pratique et théorétique qui ne nous a pas permis de trouver le principe recherché.

Il nous faut pourtant bien avouer que si nous observons une image-cerveau, ce que nous nous étions proposé, nous ne voyons que mouvements, nul tableau de choses, nulle perception de qualités¹¹. Peut-être est-ce seulement que nous n'y avons pas suffisamment prêté attention. Se dissimule-t-il en un sombre repli le pouvoir de transformer les mouvements observés en représentations ? C'est ce sur quoi il convient de s'interroger. Détaillons à présent non plus la structure de l'image-corps mais les modalités de fonctionnement de l'organe-cerveau, fonctionnement précédemment seulement évoqué.

Nous pouvons remarquer, dans un premier temps, que, qu'il s'agisse du mouvement de la simple masse protoplasmique de la monère ou de l'automatisme pur qui a son siège dans la moelle chez les vertébrés supérieurs, l'excitation se traduit aussitôt par une réaction. Dans cette action réflexe, « le mouvement centripète communiqué par l'excitation se réfléchit tout de suite par l'intermédiaire des cellules de la moelle en un mouvement centrifuge déterminant une contraction musculaire » (Bergson, 1896, p. 25). Mais chez le vertébré supérieur, il arrive que l'excitation reçue ne se prolonge pas immédiatement en mouvement accompli. Dans ce cas, « l'ébranlement périphérique, au lieu de se propager directement à la

cellule motrice de la moelle et d'imprimer au muscle une contraction nécessaire, remonte à l'encéphale d'abord puis redescend aux mêmes cellules motrices de la moelle épinière qui intervenaient dans le mouvement réflexe » (Bergson, 1896, p. 25). Par ce détour cette fois spécifiquement cérébral, l'ébranlement nerveux n'a pas pour autant puisé dans la substance cérébrale « la miraculeuse puissance de se transformer en représentation des choses » ; l'ébranlement ne s'est nullement spiritualisé en connaissance. Le cerveau est certes d'une immense complexité. Bien des mystères y restent enfouis. Mais la transformation d'un mouvement en ce qui serait son tout autre, la perception, ne serait pas seulement, à l'instar du schématisme kantien, « un art caché dans les profondeurs de l'âme humaine, et dont nous aurons de la peine à arracher à la nature les secrets du fonctionnement pour les mettre à découvert sous les yeux » (Kant, 1781, p. 887), mais elle serait tout simplement miraculeuse. La transsubstantiation est généralement considérée comme l'apanage de Dieu. En fait, cette réelle complexité du cerveau, complexité dont nous ne connaissons évidemment pas les détails mais dont on peut donc cependant postuler à bon droit l'homogénéité, confère au cerveau une fonction d'aiguillage (Philonenko, 1994, p. 127) : les configurations motrices du cerveau permettent aux ébranlements reçus de gagner par une pluralité de voies tel ou tel mécanisme moteur de la moelle épinière, et de produire des effets variés selon la route empruntée ; l'essai le plus convaincant est sélectionné et devient l'action effective. Cette variété de chemins possibles constitue le cerveau en instrument d'analyse et en organe de choix. L'activité du cerveau n'est que médiatrice, elle conduit les excitations reçues aux fonctions exécutrices du système nerveux, mais la structure du cerveau reste matérielle et motrice et la seule chose qui le différencie de la moelle épinière ou du système nerveux est sa capacité à exécuter des choix¹². L'exclusive fonction du cerveau permet donc à Bergson de comparer ce dernier à un bureau téléphonique central dont le rôle se borne à donner de la communication ou à la faire attendre sans rien ajouter à ce qu'il reçoit. « Le cerveau nous paraît être un instrument d'analyse par rapport au mouvement recueilli et un mouvement de sélection par rapport au mouvement exécuté. Mais dans un cas comme dans l'autre son rôle se borne à transmettre ou à diviser du mouvement » (Bergson, 1896, p. 26). Le cerveau, dont le rôle est entièrement rapporté à l'extériorité des autres images n'a donc pas d'autre contenu que des mouvements.

Nous nous étions demandé si une observation plus attentive du cerveau permettrait de découvrir un sombre repli dans lequel serait enfoui le pouvoir de transformer les mouvements afférents en représentation. Tel n'est pas le cas. Bergson ne refuse néanmoins

pas une telle hypothèse parce que la « quête de la glande pinéale » n'a pas encore abouti. Il la refuse simplement dans la mesure où une telle hypothèse entrerait en contradiction avec le principe directeur qui a présidé au développement de la science moderne, à savoir celui de l'homogénéité du réel. Il n'est pas de puissance capable de transformer une chose physique en une représentation non physique. Ce n'est donc pas l'existence d'un clivage cérébral entre fonction théorique et fonction pratique qui pourrait être principe de l'écart recherché. Le corps est seulement un organe d'action.

* * *
*

Récapitulons. L'observation de l'image-corps nous a permis d'apercevoir seulement un centre nerveux et sa périphérie, des mouvements reçus et renvoyés entre lesquels s'intercalent des affections, et une conscience certes mais qui n'est cependant que signe d'une suspension temporaire des mouvements en question. Il n'a pas été question de perception ici. Nous avons bien des images distantes les unes des autres mais pas de phénomène distinct d'une chose en soi. Qu'en est-il de cet écart ? Les données sont simples : nous avons seulement des images-mouvements en général et une image-mouvement particulière, le corps. Ces données nous permettent cependant de distinguer déjà deux modalités de l'action, à savoir l'action réglée et l'action libre. Comment, à partir de ces seules données, rendre compte de l'émergence de la perception comme perception de quelque chose selon une perspective variable ?

Il convient désormais de s'interroger non plus sur le corps et le cerveau en général mais sur l'action comme telle. Quelles sont les caractéristiques de cette dernière ? Remarquons d'abord que dans le cas de l'action d'un composé sur un autre composé, seules des parties de chacune d'entre elles entrent généralement en interaction. « L'acide chlorhydrique agit toujours de la même manière sur le carbonate de chaux —qu'il soit marbre ou craie » (Bergson, 1896, p. 177). L'action est soumise aux lois universelles et nécessaires établies en chimie car, ni l'acide chlorhydrique, ni le carbonate de chaux ne contiennent en leur sein le moyen de suspendre le mouvement de transformation qui se déclenche à leur contact. Par contre, dans le cas d'une interaction entre une chose et un corps vivant, une partie de la chose agit sur le vivant qui, cependant, contient la capacité de suspendre le mouvement

reçu. Cette capacité tient, nous l'avons vu, à la configuration singulière d'une partie de son corps, le cerveau. La suspension de ce mouvement est donc relation à la chose émettrice de mouvement, relation dont l'accomplissement naturel — poursuite du mouvement — est temporairement retardé. A la distance spatiale repérée comme premier écart entre perception et chose s'ajoute donc désormais un retard temporel.

Or, cet écart temporel n'est que le corollaire de l'écart spatial entre cette chose et le corps, dit Bergson. Encore faut-il préciser ce dernier point. L'attraction gravitationnelle s'effectue à distance, à distance même souvent considérable. Il n'y a pas pour autant délai de l'action à la réaction. Cette immédiateté permet au demeurant de caractériser la relation comme interaction ou « communauté réciproque », ce qui signifie qu'aucune des caractéristiques de l'un des deux objets ne peut être davantage déterminée comme cause que comme effet des caractéristiques du second. On ne parlera de causalité comme telle que lorsqu'il y a succession de la cause et de l'effet, et ce sans réversibilité possible. Notons déjà que le caractère successif de la causalité peut être considéré comme la première caractérisation nécessaire à une détermination du mouvement comme action, mais dès lors également, du fait du délai instauré par cette succession, comme une première ébauche du retard de réaction propre au vivant. Pourtant, pouvons-nous nous contenter de ces premières remarques ? La réversibilité est-elle ce qui, seule, permet de distinguer la « communauté réciproque » de la « causalité » ? En droit, la causalité ne peut-elle pas toujours se rapporter à la première ? N'est-ce pas la forme spatio-temporelle de notre mode d'appréhension du réel qui introduit de la succession là où il n'en est point ?

Mais ces questions nous ramènent déjà au problème de la perception, problème que nous ne pourrions espérer résoudre qu'en poursuivant l'analyse entamée des formes de l'action. Revenons dès lors à nos précédentes affirmations. Lorsqu'il y a action d'un corps sur un autre corps, une partie seulement du premier est en un premier temps dit réagir sur le second, disions-nous. Mais il reste à savoir ce que fait le reste de ce corps ? N'agit-il pas lui aussi ? Certes, il le peut. Or, les temps d'action et de réaction ne sont pas nécessairement les mêmes pour chacune de ces parties. En vertu de la vitesse de propagation de, d'une part la lumière, d'autre part le son, une partie d'un même événement, une décharge électrique par temps d'orage, me parvient un million de fois plus rapidement (l'éclair) que l'autre partie de l'événement (le tonnerre). Toutes choses égales par ailleurs, un objet distant impressionne ma rétine quasi immédiatement mais n'est susceptible d'ébranler mes nerfs tactiles que dans un temps à venir. Si donc on peut effectivement dire que « *la perception dispose de l'espace*

dans l'exacte proportion où l'action dispose du temps » (Bergson, 1896, p. 29), il n'en reste pas moins que la fondation de l'écart temporel dans l'écart spatial ne se fait que par la médiation d'un écart entre les différentes modalités sensibles. « En un mot, plus la réaction [ne] doit [pas] être immédiate, plus il faut que la perception [ne] ressemble [pas] à un simple contact, [sinon] le processus complet de perception et de réaction se distingue à peine alors de l'impulsion mécanique suivie d'un mouvement nécessaire » (Bergson, 1896, p. 28). Autrement dit, une partie de l'image-chose est susceptible d'avoir une action tactile sur mon corps, action à venir, menaçante ou prometteuse. Une autre partie de la même chose est une image-mouvement de lumière, partie qui, quant à elle, impressionne quasi immédiatement ma rétine, et ce en dépit de la distance. Dans l'écart temporel entre ces deux modalités d'appréhension, écart temporel actualisé par l'écart spatial, réside donc le principe de la perception : je perçois quelque chose (de distant) selon une perspective partielle puisque je ne perçois jamais que la partie *tout à la fois* immédiatement agissante (sous partie visuelle) et prochainement agissante (sous partie tactile). Si elle n'est pas immédiatement agissante, c'est-à-dire ne fait pas parvenir des photons en mouvement à mon œil, je ne la percevrais pas. Si une partie de son action n'est pas seulement à venir, la totalité du mouvement déjà parvenu s'épand par les nerfs efférents sous la forme d'une action motrice, tactile, et ne se laisse dès lors pas suspendre, suspension dont la réalisation eut alors pris la forme de ce que l'on appelle « perception ».

Insistons : le mouvement moteur est d'ordre tactile. Si le mouvement parvenu est d'ores et déjà tactile, il trouve immédiatement à se prolonger dans un mouvement qui lui est homogène, à savoir moteur. Par contre, s'il me parvient bien, mais sous une forme non tactile, il ne trouve pas de porte ouverte à son épanchement et se voit suspendu sous forme perceptive¹³. C'est l'homogénéité entre mouvement afférent et mouvement efférent qui est au principe de la continuité (immédiateté) de l'action-réaction. La gravitation s'effectue bien immédiatement à distance mais la cause est homogène à l'effet ; la relation de causalité peut être considérée dans les deux sens, elle est réversible. Tel n'est pas le cas dans un corps vivant qui supporte des actions demandant des laps de temps différents, et ce du fait de l'hétérogénéité des modes d'appréhension, hétérogénéité certes actualisée seulement lorsqu'il y a effective distance entre les corps (chose et vivant) en relation. La distance spatiale est au fondement de l'actualisation d'un écart temporel constitutif de la possibilité d'une distinction entre deux modalités d'actions, les unes étant libres, les autres nécessitées.

* * *
*

Nous disions précédemment que la distinction entre deux modalités d'action, l'une nécessaire, l'autre libre, ne pouvait suffire à fonder la distinction entre phénomène et chose en soi. Nous avons vu que la possibilité d'une telle distinction résidait en réalité dans un écart temporel entre mouvements afférents et mouvements efférents. Nous voyons désormais qu'au fondement de ce retard temporel se tient une distinction entre des modalités d'appréhension. Mais nous comprenons aussi que la différence entre les modalités d'appréhension ne permet l'actualisation du retard temporel que si un écart spatial est maintenu entre la chose perçue et le corps percevant. Nous retrouvons là une thèse bien connue et déjà établie. La boucle est bouclée et l'on peut, puisque la possibilité d'une différence entre modalités d'action se fonde en dernière instance sur une différence entre modalités d'appréhension, exprimer notre affirmation précédente en ces nouveaux termes : la différence interne aux *mouvements efférents* se fonde dans une différence interne aux *mouvements afférents*.

En quoi cependant cette fondation de la distinction des mouvements efférents dans une distinction interne aux mouvements afférents peut-elle suffire fois à fonder l'écart entre le phénomène et la chose en soi ? En fait, on peut ainsi comprendre que la perception est toujours perception de seulement une partie de la totale image-chose, de précisément la partie qui doit avoir comme caractéristiques d'être tout à la fois immédiatement et prochainement sentie. En ce sens, on comprend que toute perception est perception de quelque chose selon seulement une perspective. Toute perception est seulement partielle. Il n'est plus nécessaire d'aller chercher une distinction entre chose en soi et phénomène. La chose en soi n'est pas miraculeusement transformée dans le cerveau en un phénomène tout autre, phénomène dont la forme ressortirait essentiellement de la forme de l'appréhension, elle-même fonction de la structure du cerveau. Nous avons vu que les qualités secondes, généralement créditées d'un statut d'apparences, sont, selon Bergson, internes à l'image-chose, donc à la matière même. L'apparence phénoménale est donc la réalité de la chose en soi, ou mieux, elle est interne à la chose en soi, puisqu'il faut tout de même bien reconnaître qu'elle n'en est qu'une partie.

* * *
*

Récapitulons. Toute perception est pour Bergson action, action d'un être libre qui prélève sur la chose même une partie de l'image. L'apparence est seulement une partie de la chose en soi. On comprend dès lors que *ce qui* m'apparaît et ce qui *m'*apparaît sont à la fois unis et distinctes. Voici donc levées les difficultés rencontrées tout autant par réalistes et idéalistes quant à l'union et l'écart de la chose en soi et du phénomène, difficultés mentionnées au début de ce chapitre. Nous ne tardons pas à en voir cependant se lever de nouvelles. Car si l'apparence est une perspective sur la chose seulement en tant qu'elle est une partie de la chose en soi, elle ne semble plus pouvoir être trompeuse. Il faut bien avouer pourtant que nous nous trompons parfois. Il faut reconnaître que les perspectives que nous adoptons sur les choses sont éminemment variables, ne s'accordent généralement pas entre elles dans un système que l'on pourrait, en vertu de sa régularité, qualifier de scientifique. Tout cela est vrai et il nous faut désormais en rendre compte. Il nous faut désormais rendre compte de l'union et de l'écart entre système de la perception et système de la science.

III- Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective variable.

Nous nous sommes tout d'abord penchés sur les images et nous avons vu que la chose perçue et le corps percevant étaient spatialement distincts. Nous nous sommes intéressés au corps et nous avons vu que celui-ci prélevait une partie de l'image-chose. Nous étudierons les modalités de ce prélèvement. Nous parviendrons ainsi peut-être à mieux comprendre la variabilité des perspectives perceptives adoptées sur les choses.

* * *
*

La partie perçue est, avons-nous dit, celle dont l'action peut être menaçante ou prometteuse car elle est retardée. Elle est menaçante en tant qu'elle risque de briser l'intégrité d'un corps qui s'efforce de persévérer dans son être, prometteuse en tant qu'elle offre l'espoir

de venir combler un besoin de ce même corps. Le besoin, effort de réduction de l'altérité externe et « prometteuse » à l'identité interne ou, inversement, effort de protection de l'identité interne contre l'altérité externe et « menaçante », est donc ce qui intervient dans la délimitation de la partie de chose qui sera perçue. Le besoin est actuel mais sa satisfaction reste virtuelle ; cela signifie seulement qu'elle n'est pas actualisée aussi longtemps que le besoin se maintient comme besoin. L'écart constitutif de la perception se retrouve bien au cœur du besoin, pressant dans son urgence actuelle et s'étirant dans le délai de sa satisfaction virtuelle. Le besoin préside à la détermination de la partie perçue. On pourra donc dire que la perception est dès lors action d'une part en tant qu'elle est action virtuelle ou corollaire d'une action suspendue (confère ici notre I), d'autre part en tant qu'elle est mouvement ne serait ce que de, par exemple, les photons à l'origine de la perception visuelle (confère ici notre II), enfin, et c'est ce que nous allons étudier désormais, en tant qu'elle est le moyen de l'action vivante, en tant qu'elle se subordonne aux réquisits de l'action spécifique d'un corps vivant.

* * *
*

La perception aurait une dimension toute pragmatique, semble dire Bergson. Quels arguments peut-on invoquer en faveur de cette thèse ?

Ce qui est manifeste à travers la structure de l'argumentation proposée dans le premier chapitre de *Matière et mémoire*, argumentation qui, après quelques courtes lignes, s'appuie presque d'emblée sur une analyse du corps vivant, est que Bergson fait le choix d'étayer sa thèse par des considérations sur le vivant en général. Considérations qu'il estime légitime d'étendre à tous les phénomènes spécifiques du vivant, notamment à la perception, et ce en vertu du principe d'homogénéisation du réel, principe à l'origine de la science moderne. Celle-ci s'inaugurerait en particulier avec le projet cartésien d'une *mathésis universalis*, projet balayant l'aristotélicienne parcellarisation régionale du réel¹⁴. C'est bien ce projet que reprend à son compte Bergson lorsqu'il apostrophe le psychologue réaliste dans les termes suivants : « Que vous demandons-nous alors ? Simplement de renoncer à votre coup de baguette magique, et de continuer dans la voie où vous étiez entré d'abord. Vous nous aviez montré les images extérieures atteignant les organes des sens, modifiant les nerfs, propageant leur influence dans le cerveau. Allez jusqu'au bout. Le mouvement va traverser la substance

cérébrale, non sans y avoir séjourné, et s'épanouira alors en action volontaire. Voilà le tout du mécanisme de la perception » (Bergson, 1896, p. 38). Ce sont donc bien avant tout des exigences méthodologiques qui sont au principe de la déduction par Bergson de la subordination de la perception à l'action, exigence de se plier au principe d'homogénéisation du réel auquel se livre, depuis au moins Descartes, le mouvement même de la science, exigence aussi de se plier au principe du rasoir d'Ockham : puisque l'on *peut* se passer du recours à une fonction perceptive spécifiquement différente des fonctions actives, il *faut* s'en passer. Il restera à Bergson à montrer que c'est bien la réduction de la perception à l'action qui permet de conserver l'homogénéité du réel. C'est ce qu'il s'efforce rapidement d'établir lorsqu'il conteste le postulat d'une identification de la perception à une activité purement théorique. Ce postulat est en effet, dit-il, « démenti par l'examen, même le plus superficiel, de la structure du système nerveux dans la série animale » (Bergson, 1896, p. 24.), la possibilité de superficialité de cet examen étant au demeurant bien le signe que le ressort de l'argumentation tient avant tout à un principe méthodologique voire logique.

Retenons cependant que, reprenant le processus évolutif depuis la monère jusqu'au vertébré supérieur, Bergson s'efforce de montrer que, bien que l'on assiste à l'émergence de propriétés nouvelles, celles-ci ne ressortent pas tant de l'émergence de fonctions nouvelles, fonctions que l'on pourrait qualifier de différentes par nature, que d'un processus de complication par diversification d'une même fonction vitale commune à tous les vivants, processus qui aboutit à des différences de comportement qui, quoique « radicales », restent des différences de degré. La perception est bien en ce sens une action, subordonnée à l'exclusive fonction vitale motrice des vivants, subordonnée donc aux besoins du corps. La perception est dès lors toujours perception de la partie qui pourra *servir* à satisfaire un besoin, en un mot perception d'outils.

Notons que cette caractérisation de l'objet perçu n'est pas sans rappeler la thèse heideggerienne d'une constitution originaire de la chose comme « être-à-portée-de-main » ou outil. « Les Grecs avaient, pour parler des "choses", un terme approprié : *pragmata*, c'est-à-dire ce à quoi l'on a affaire dans l'usage de la préoccupation *praxis*. Cependant, ils laissèrent justement dans l'obscurité le caractère ontologique spécifiquement "pragmatique" des *pragmata* et déterminèrent "d'abord" ceux-ci comme "simples choses" [ouvrant ainsi des siècles de détermination de la perception comme lumineuse connaissance, au demeurant aussi de détermination de la connaissance elle-même comme inversement lumineuse vision].

L'étant qui fait rencontre dans la préoccupation, nous l'appelons l'*outil*. Ce que l'on trouve dans l'usage, ce sont des outils pour écrire, pour coudre, pour effectuer un travail manuel, pour se déplacer, pour mesurer. Le mode d'être de l'outil doit être dégagé » (Heidegger, 1927, p. 71.) afin de pouvoir dégager la structure du sujet percevant, sujet que Heidegger caractérisera comme *Dasein*. Précisons immédiatement que l'outil n'est pas seulement l'objet manufacturé, conçu et produit pour servir. Toute chose, selon ce philosophe, ne s'appréhende originairement que selon cette modalité. « Lorsque par exemple dans le travail des champs le vent du sud "vaut" comme signe de la pluie, cette "valeur" particulière, ou en général toute "valeur attachée" à cet étant n'est pas un supplément rajouté à un étant déjà en soi sous-la-main, à savoir le courant atmosphérique et une certaine direction géographique. Le vent du sud n'est *jamaïs de prime abord* sous-la-main à titre d'étant survenant sans plus et météorologiquement accessible en tant que tel, qui, après-coup, revêtirait à l'occasion la fonction d'un signe précurseur. C'est bien plutôt la circon-spection propre au travail des champs qui, tenant compte de lui, découvre justement pour la première fois le vent du sud en son être » (Heidegger, 1927, p. 79.). C'est donc bien la relation aux intérêts du sujet percevant qui constitue la chose comme « être-à-portée-de-main », c'est-à-dire comme phénomène susceptible d'être perçu. C'est donc bien, toutes choses égales par ailleurs, une même thèse que défendent ici Heidegger et Bergson : toute perception est toujours perception d'outils.

Une différence se maintient certes entre le phénoménologue qui déduit la forme du sujet percevant (*Dasein*) de la forme de la perception et Bergson qui déduit au contraire la structure de la perception de la structure du sujet percevant (corps vivant). Notons pourtant que, dans le second chapitre consacré notamment à la reconnaissance d'une perception grâce à la mémoire, Bergson est amené à privilégier directement la structure ustensilaire de la perception pour déduire les modalités propres au sujet se remémorant : « Reconnaître un objet usuel consiste surtout à savoir s'en servir (...). L'habitude d'utiliser l'objet a donc fini par organiser ensemble mouvements et perceptions, et la conscience de ces mouvements naissants, qui suivraient la perception à la manière d'un réflexe, serait, ici encore, au fond de la reconnaissance » (Bergson, 1896, p. 101). Les deux approches, heideggerienne et bergsonienne, peuvent ici être complémentaires. Elles le sont à l'intérieur même de *Matière et mémoire*. Mais surtout elles tendent toutes deux à confirmer la thèse du caractère pragmatique de la perception, ce que nous voulions précisément établir.

* * *
*

Ceci fait, comment désormais pouvons-nous comprendre le problème que nous nous étions proposé de résoudre, à savoir celui de l'union et de l'écart du cours du temps et de l'ordre du temps, celui de l'union et de l'écart des systèmes de la perception et de la science ?

J'ouvre les yeux, un monde m'est donné. Je les ferme, il disparaît. J'ouvre les yeux, la face rouge du dé m'est donnée. Je tourne autour de l'objet, la face bleue du dé remplace la précédente. Toute perception était perception selon une perspective. Il nous faut ajouter qu'elle est perception selon une perspective éminemment variable. J'ai fermé les yeux, ma perception du monde a disparu sans que pour autant le monde ait cessé d'exister. J'ai beau m'évertuer à les ouvrir le plus rapidement possible afin de devancer la réapparition du monde corrélatrice de mon regard. Je n'y parviens jamais. Ce n'est pas seulement qu'il est impossible de devancer son ombre. Le monde est toujours déjà là, indifférent aux regards jetés sur lui et ne se modifiant en rien au prétexte qu'il est observé. Le rouge ne s'est pas transformé. La face précédemment cachée est restée bleue. Le système de la nature n'a pas la versatilité du système de ma perception.

Nous ne devons pourtant pas nous en étonner. Toute perception est perception d'ustensiles médiats (le bâton pour décrocher la banane) ou immédiats (la banane). Toute perception est le corollaire d'un besoin, interne à un corps, corps qui change et se déplace. Tous les besoins sont issus de la différenciation interne à un seul et même élan de vie, différenciation s'effectuant sous le sceau de l'urgence interne (l'objet extérieur étant alors la promesse médiate d'une satisfaction interne) ou externe (l'objet extérieur étant alors la menace immédiate d'une agression externe). Produits d'une différenciation interne, les besoins sont donc tout à la fois homogènes et différents, ce qui est la double condition de leur hiérarchisation. Les besoins se hiérarchisent. Leurs corollaires ustensiliers s'ordonnent dès lors également autour du corps. Le cerveau était centre d'indétermination du corps. Cercle de ma perception et enveloppe corporelle sont homocentriques. La plasticité de l'enveloppe corporelle a pour corollaire la plasticité du cercle de la perception. Autrement dit, la plasticité du corps est, par homologie, principe de variation du système de la perception. La variabilité apparente de ma perception est produit de la bijection opérée entre corps et environnement.

Notons qu'une telle conception permet dès lors de lever l'apparente contradiction entre point de vue interne et point de vue externe, entre système de la perception particulièrement plastique et système de la science éminemment inflexible. Le point de vue de la science prend en effet en compte seulement une partie de la réalité, et ce en faisant abstraction d'une autre partie, celle que prend en considération le corps. Les deux parties sont réellement présentes dans l'image totale sans que cela implique contradiction. Prenons un exemple classique d'illusion de la perception : le bâton qui paraît brisé dans l'eau. Un point de vue, sinon scientifique, du moins externe et objectif amènera à affirmer que le bâton n'est pas brisé. Du point de vue de la perception, le bâton est brisé. Le bâton, en vertu du principe de non-contradiction, ne peut pas être à la fois brisé et non brisé.

Que dit dès lors Bergson ? Le point de vue objectif prend simplement en considération la partie tactile de l'image totale, partie qui reste en continuité en chacune de ses sous parties. Le point de vue subjectif prend en considération une autre partie de l'image, les photons réfléchis par l'objet, cette autre partie constituant une image qui est quant à elle discontinue. Il n'y a là nulle contradiction. Celle-ci n'apparaît que lorsque l'on rapporte abusivement continuité et discontinuité à une seule et même image considérée de manière substantialiste. C'est seulement une partie de l'image totale, bâton-eau, qui est discontinue — la partie visible —, une autre partie qui est continue — la partie tactile. On dira peut-être que points de vue visuels et tactiles sont là deux points de vue externes et objectifs, le pseudo point de vue subjectif et visuel étant négligé au profit de sa compréhension scientifique, compréhension au demeurant parfaitement quantifiable pour peu que l'on connaisse le degré d'inclinaison du bâton dans l'eau et l'indice de réfraction des deux milieux considérés (air et eau). Soit. Mais c'est précisément ce dont Bergson se donne les moyens en considérant que la qualité seconde est dans l'image-chose externe et non un produit de notre cerveau.

Voici dès lors levée la difficulté rencontrée. Système de la science et système de la perception sont compatibles dans la mesure où ils sont systèmes respectivement a-centré et centré *de parties différentes du réel*. Ces parties sont des sous parties d'une même totalité et l'on peut donc insensiblement passer d'un point de vue subjectif à un point de vue objectif, le point de vue subjectif prenant toujours peu ou prou en considération le point de vue objectif (le rapport entre le bâton qui servira à décrocher la banane est subjectif mais il contient un rapport entre le bâton et la banane qui, quant à lui, est objectif), le point de vue objectif gardant toujours peu ou prou la marque de son origine subjective, l'idée d'un système

radicalement a-centré restant dès lors une idée régulatrice de la recherche scientifique¹⁵. Mais l'écart subsiste malgré tout. On ne prend pas en considération la même partie de l'image lorsqu'on la rapporte à l'image plastique qu'est le corps ou lorsqu'on la rapporte à d'autres images non susceptibles d'apporter de nouveautés. Ainsi est comprise l'union et l'écart entre système de la perception et système de la science. Ils ne sont pas contradictoires car ils n'ont pas les mêmes objets.

* * *
*

Ceci dit, il nous faut de nouveau préciser les solutions usuellement proposées par réalistes et idéalistes, il nous faut également envisager d'autres solutions proposées au problème qui nous préoccupe, afin de mieux comprendre comment elles enferment toutes des contradictions qui ne sont pas susceptibles d'être levées, afin de comprendre également en quoi Bergson n'est pas susceptible de se les voir imputer.

Reprenons. Toute perception est perception de quelque chose. Un écart est maintenu entre la chose et la perception. La chose est présente comme telle puis, diront réalistes et idéalistes, est re-présente, c'est-à-dire présente en son absence, temporelle (souvenir) ou spatiale (perception qui est hors de l'objet perçu). Nous avons pour l'instant une image perceptive et une image scientifique. Plusieurs solutions s'offrent : le réaliste affirmera que l'image perceptive re-présente l'image scientifique qui présente la chose même ; l'idéaliste affirmera que l'image scientifique re-présente l'image perceptive qui présente la chose même. Toujours est-il que nous avons une chose et une copie. La copie, en tant que copie, doit exprimer fidèlement la chose même. Que ce soit l'image du bâton continu ou l'image du bâton brisé qui soit la chose même ou simplement sa copie, il n'en reste pas moins que seule l'une peut être réelle. L'autre doit être illusoire. Pour réalistes et idéalistes conséquents, il va donc s'agir d'exhiber la genèse de cette illusion. Le réaliste pourra sans difficulté expliquer l'illusion de la discontinuité aperçue dans le bâton : les rayons lumineux réfléchis par le bâton ne parviendront pas à la rétine avec le même angle d'incidence du fait d'une réfraction différente dans l'eau et dans l'air. Mais il restera silencieux concernant la question de la transformation des mouvements incidents en perception de couleurs séparées. La perception comme telle devient seulement épiphénomène des mouvements cérébraux. De même,

l'idéaliste parviendra sans peine à expliquer le motif pragmatique qui nous amène à supposer sous la perception qui est la chose même un substrat différent qui ne change pas avec les modalités de notre perception : l'étonnement d'un individu à la découverte de l'intégrité du bâton dont il saisirait à deux mains les deux parties qu'il considérerait séparées serait pour le moins risible. Mais lorsqu'il s'agit d'expliquer le fondement de l'efficacité de nos anticipations reposant sur l'habitude de considérer les choses comme, sinon invariables, du moins variant selon des lois de transformation invariables, soit il reste coi, soit il recourt à l'idée de Dieu. Remarquons seulement de nouveau que, au mieux, aucune solution n'est apportée, au pire ils rentrent en contradiction avec eux mêmes en adoptant subrepticement la position adverse.

On pourra certes, par exemple avec Dennett (1998, P. 50-51), considérer que les points de vue subjectifs (idéalistes) et objectifs (réalistes) n'ont de valeur que pragmatique, le fondement de l'efficacité des attitudes correspondantes restant nécessairement inconnu. Je prête par exemple une intentionnalité à un ordinateur parce que cela est beaucoup plus efficace lorsqu'il s'agit de jouer contre lui aux échecs. Il me faut en effet prédire ses coups pour gagner. Or, me représenter l'ensemble de ses connexions électriques afin de causalement parvenir à déterminer son prochain coup est une entreprise sinon impossible en droit du moins absolument inefficace. Il ne s'ensuit pourtant pas que l'ordinateur soit réellement doté d'une conscience calculant afin de gagner. Le point de vue externe est parfois efficace, le point de vue interne l'est d'autres fois. Il n'est nullement question de s'interroger sur le statut de ces points de vue. La proposition de Dennett est effectivement une solution. Elle satisfait cependant assez peu puisqu'elle supprime purement et simplement le problème, problème qui, pourtant, ne semble pas illusoire.

C'est du moins ce qu'affirme Nagel. La contradiction entre point de vue subjectif et point de vue objectif n'est pas seulement idéelle. Elle a un corollaire réel. Le point de vue interne n'est pas seulement quelque chose que je prête à autre chose, serait-ce même, de manière réflexive, à moi¹⁶. Je vis ce point de vue subjectif, et en ce sens cela me fait un effet de la voir de ce point de vue. L'effet singulier que cela me fait ne saurait être décrit en termes physiques. Il ne suffit même pas de dire que l'effet que cela me fait de voir la chose de tel point de vue est la représentation cérébrale que j'ai de la chose, représentation cérébrale qu'il serait possible d'étudier d'un point de vue objectif. « Le problème n'est pas seulement que quand je regarde la *Mona Lisa* mon expérience visuelle a une certaine qualité, dont on ne peut

trouver aucune trace si l'on regarde au fond de mon cerveau. Car même si l'on observait dedans une image minuscule de la *Mona Lisa*, on n'aurait aucune raison de l'identifier avec l'expérience » (Nagel, 1983, P. 203). On n'aurait en effet pas encore saisi ce que cela *me* fait que d'avoir cette représentation dans *mon* cerveau. Il est impossible de comprendre d'un point de vue objectif ce que cela fait de voir telle chose d'un point de vue subjectif tout simplement parce que cela reviendrait à vouloir comprendre le point de vue subjectif en le supprimant. L'irréductibilité entre point de vue interne et point de vue externe est donc patente, du moins du point de vue de Nagel. Mais, dès lors, comment saisir leur union ?

Reprenons. Nagel s'accorde avec Bergson à considérer que toute tentative de réduction du point de vue subjectif au point de vue objectif est illégitime. Cette réduction semble pourtant requise par l'entreprise scientifique dont l'ambition, de manière constitutive, semble être d'avoir une vision complète de l'univers. Il ne saurait donc être question de laisser hors de son champ quelque chose, serait ce seulement cette chose qu'est le point de vue subjectif. Que répondait Bergson ? Nous l'avons dit en note : Bergson considère que l'idée régulatrice de la science n'est nullement l'idée d'une connaissance complète mais l'idée d'une connaissance a-centrée. Une connaissance a-centrée est une connaissance qui ne prend pas en considération les parties de la matière qui sont en relation inconstantes avec le corps. Elle ne prend donc pas en considération les mouvements suspendus et bifurquant dans le cerveau. Elle ne prend donc finalement pas en considération les parties perçues. Certes, la science a une ambition d'universalité. Elle s'intéresse donc à toutes les portions de l'étendue mais selon une perspective a-centrée qui opère une coupe longitudinale dans l'étendue. Résumons : le point de vue objectif ne prend pas en considération les parties prises en considération par le point de vue subjectif. Point de vue subjectif et point de vue objectif seraient donc illégitimement réduits l'un à l'autre. Bergson et Nagel s'accordent là-dessus. Pourtant, relativement à leur union, ils restent fondamentalement en désaccord. En fait, Nagel considère que cette union est profondément mystérieuse. Ce mystère tient, selon lui, à ce que l'union a lieu entre deux parties substantiellement¹⁷ distinctes, le cérébral étant physique, le mental non-physique. Cette conclusion peut pour le moins nous surprendre. Nous comprenons rapidement pourquoi le point de vue subjectif n'est pas réductible à un point de vue objectif mais reste pour nous mystérieux, moins somme toute l'union du mental et du cérébral, que la nécessité de poser un caractère non physique à ce point de vue subjectif. Pour le saisir, il nous faut reprendre l'argumentation de Nagel.

Le fait que mes perceptions sont faites d'un point de vue subjectif a un *effet* sur cette perception : elle est mienne et personne d'autre ne pourra voir une chose du même point de vue que le mien (même s'il adopte ma position, la légère myopie d'un autre spectateur, le léger rayon de soleil qui vient se refléter ou toute autre chose fait qu'il n'aura pas la même perception que la mienne — nous ne prenons en considération qu'une "perception pure", mais l'intervention de la mémoire ne ferait évidemment qu'accroître cette subjectivité du point de vue). Autrement dit, ma perception n'est observable par personne d'autre que moi, elle n'est pas observable d'un point de vue objectif. Nagel en conclut, que puisque toute chose physique est observable, sinon en fait du moins en droit, d'un point de vue objectif, ma perception n'est pas physique. Où est le vice de forme ?

En fait, Nagel a le tort de réifier la perception. Il dit que ma perception est quelque chose qui ne peut être observée par autrui. Mais ma perception n'existe pas. Ce qui existe, c'est une chose que je perçois selon une certaine perspective. Il dit que ma perception est l'effet de l'adoption d'un point de vue singulier sur une chose. Puis il dit que ma perception est une chose qui est l'effet de l'adoption d'un point de vue singulier sur une chose. Mais cela est très différent. La musique entendue est l'effet de la rotation du disque sur le phonographe. Si la cause disparaît, l'effet disparaît instantanément. Le disque est la chose qui est l'effet du travail préalable d'un graveur. Lorsque la cause disparaît, l'effet continue à exister. Qu'en est-il dès lors ? De toute évidence, Bergson considère que ma perception, à l'instar de la musique, disparaît dès que sa cause disparaît : ma perception cesse d'exister dès lors que ce qui fait que ma perception est ma perception disparaît, à savoir mon point de vue singulier sur la chose. On ne s'étonnera dès lors plus que l'adoption de tout autre point de vue sur ma perception manque ce qui fait la singularité de ma perception — l'adoption de tout autre point de vue étant *ipso facto* abandon de mon point de vue, ma perception disparaît. De toute évidence, Nagel considère que ma perception, à l'instar du disque, perdure lorsque sa cause disparaît : ma perception subsiste alors même que ce qui fait que ma perception est ma perception a disparu. Ma perception reste donc une chose. A ce titre, elle devrait pouvoir être abordée d'un point de vue objectif. Pourtant, remarque Nagel, elle n'a pas retenu en son sein la marque subjective de son origine. L'observer d'un point de vue objectif ne permet donc pas de voir ce qui fait que ma perception est ma perception. Ma perception ne peut pas être observée comme telle d'un point de vue objectif. Elle est donc non physique. Mais l'on peut être surpris. Nagel coupe la perception de sa cause et s'étonne ensuite de ce que l'on ne retrouve pas ensuite la marque de cette cause au sein de la perception. Ou peut-être s'en étonne-t-il parce que subrepticement il passe d'une conception de la perception comme effet relié à sa cause à une

conception de la perception comme chose distincte de sa cause. Il voudrait que la perception retienne sa relation au point de vue singulier qui en est la cause et en même temps relâche cette relation pour se constituer comme chose. A cet égard d'ailleurs, l'hésitation du traducteur pour exprimer «*that there is something it is like to be that organism* » est pour le moins instructive. Pour une chauve-souris, traduit-il, « cela fait un effet d'être cet organisme », autrement d'avoir un point de vue subjectif. Mais il reconnaît qu'une traduction littérale eut été : « il y a quelque chose à quoi cela ressemble d'être cet organisme » (Nagel, 1983, p. 195). Le subreptice passage de la perception conçue comme effet à la perception conçue comme chose se retrouve donc dans l'ambiguïté de l'expression anglaise utilisée par Nagel. Ne nous laissons cependant pas aller à imputer à Nagel un subtil paralogisme fondé sur l'inadéquation ambiguïté du langage. Peut-être son opposition à Bergson repose-t-elle sur des raisons plus solides.

En fait, l'opposition de Nagel et Bergson se laisse circonscrire dans les respectifs termes suivants : « la perception est une re-présentation mentale interne au cerveau » et « la perception est une partie matérielle interne à la chose » ; « le cerveau produit la perception » et « la chose externe contient la perception » ; « la perception est une chose non-physique subsistante, susceptible au demeurant d'être rappelée à titre de souvenir, produite par le cerveau » et « la perception est un processus matériel non-subsistant n'existant présentement qu'aussi longtemps qu'il s'exerce de la chose perçue au cerveau percevant ». Est-ce à dire que ce qui est paralogisme de Nagel du point de vue de Bergson pourrait être considéré ne pas être tel du point de vue de la conception de Nagel, conception de la perception comme re-présentation interne au cerveau. Plutôt que paralogisme dans la philosophie de Nagel, il y aurait donc simplement opposition frontale de deux philosophies, celle de Nagel et celle de Bergson. On peut cependant en douter. La raison de ce doute est contenue dans les propos de Nagel. Nous avons en effet vu que le fait que la *Mona Lisa* soit également dans le cerveau ne change rien, selon Nagel, au fait que nul ne peut voir à ma place ce que cela fait d'avoir cette représentation dans mon cerveau. Le paralogisme semble donc se maintenir. Il semble inhérent à cette philosophie.

Ce paralogisme peut être formulé dans le langage du Cercle de Vienne, notamment de Schlick (1918), tout autant que dans celui de Bergson. Qu'obtient-on dans le premier de ces langages ? Nagel dit que il existe des états physiques qui peuvent être observés par tous ; ce sont les qualités premières. Nous pouvons tous voir que cette maison est haute de douze

mètres. Par contre il existe des états mentaux qui ne peuvent être observés comme tel état mental que de mon point de vue subjectif ; ce sont les qualités secondes. La maison *me* paraît rouge. La différence entre ces qualités secondes, qui ne peuvent être communiquées, et ces qualités premières, dont nous pouvons tous parler, tient à ce que « nous pouvons expliquer que quelque chose ait l'air rouge pour *moi* dans les termes du fait qu'elle est rouge, mais nous ne pouvons pas expliquer que les choses rouges aient généralement l'air rouge pour les êtres humains dans les termes du fait qu'elles sont rouges sans que cela soit vide de sens » (Nagel, 1993, p.124) tandis que nous pouvons utiliser le fait que la maison fait douze mètres pour expliquer que non seulement elle *me* paraît grande mais qu'elle paraît grande à tout individu faisant entre un mètre cinquante et deux mètres. Si donc la grandeur permet d'expliquer l'effet que cela fait de voir une grande maison, je ne peux utiliser la « rougeur » pour expliquer l'effet que cela fait de voir quelque chose de rouge. *La qualité première permet d'expliquer une apparence. Elle n'est donc pas une apparence.* Elle est objective.

Mais le vice de forme apparaît là aussi. Ce que fait le point de vue objectif ou science n'est pas de déterminer des qualités premières mais d'établir des relations entre vécus. Ce qu'étudient les sciences est seulement la relation qu'il y a entre la grandeur d'un mètre-étalon en platine iridié déposé au Bureau international des Poids et des Mesures au pavillon de Breteuil et la grandeur de la maison. Ce qu'est ce mètre, nul ne pourrait le dire. Tous les hommes s'accordent seulement à désigner par le mot « mètre » cet objet singulier. La grandeur est tout autant qualité seconde en ce sens mais la possibilité de sa division, de l'établissement de parties discrètes permet l'établissement d'un rapport entre deux grandeurs. Lorsque l'on explique l'effet que cela me fait, subjectivement, de voir l'immense (qualité seconde) maison par sa grandeur (qualité première), on établit en réalité seulement un rapport entre une partie discrète de grandeur et une autre partie discrète de grandeur. Pour peu que l'on s'entende sur non pas sur ce que c'est que la propriété soi-disant objective d'avoir un mètre mais sur la désignation par le mot « mètre » de cet objet que l'on peut certes tous voir mais pour chacun de manière toujours subjective, nous nous accorderons tous. Par exemple, peut-être est-il un individu qui ne voit, lorsqu'il regarde le mètre-étalon déposé à Breteuil, que quelque chose qui lui paraît être long de « cinquante-sept centimètres ». Néanmoins, puisque on lui a toujours dit que ce qu'il voit comme faisant « cinquante-sept centimètres » s'appelle « un mètre » et puisque par ailleurs il s'accordera à dire qu'on peut le reporter douze fois le long de la maison, il s'accordera à dire que ce qu'il voit comme faisant « six mètres quatre-vingt-quatre » fait douze mètres. On le voit : le point de vue objectif n'explique pas l'effet que cela me fait de voir telle chose par les qualités premières de ces choses. Il explique cet effet par la

mise en relation de ce que me fait cet effet avec l'effet que me fait une autre chose considérée comme étalon — et l'on comprend dès lors l'importance des mathématiques dans la science dont la vérité des propositions n'est jamais que celle d'un rapport. Pour peu que l'on parvienne à établir une couleur-étalon que l'on peut reporter (cela n'est somme toute rien d'autre que la détermination d'une unité de longueur d'onde), on expliquera l'effet que cela me fait mais aussi que cela fait à tous de voir ce rouge, non par la rougeur certes qui n'expliquerait effectivement rien — pas plus que la "douze-métréité" n'explique l'effet que cela me fait de voir une maison de douze mètres —, mais par l'établissement d'un rapport entre l'effet que me fait le rouge et l'effet que me fait l'étalon couleur. On le voit, il n'y a pas de différence entre qualité première et qualité seconde. La qualité première est tout autant seulement vécue que la qualité seconde. « Aussi paradoxal que cela puisse paraître, il est littéralement vrai que tous nos énoncés, des plus triviaux dans la vie de tous les jours aux plus complexes dans les sciences, ne reflètent que des relations formelles au sein du monde, et que n'entre en eux tout simplement rien de la qualité du vécu » (Schlick, 1918, p. 186). La qualité première ne peut pas davantage être observée d'un point de vue objectif que la qualité seconde. Le point de vue objectif établit *dans les deux cas* un rapport entre des états subjectifs. Nous ne parvenions précédemment pas à comprendre le fait que la thèse, à laquelle nous souscrivions volontiers, selon laquelle mes perceptions ne pouvaient être perçues par nul autre que moi nous menât à affirmer que l'effet que cela me fait de voir telle chose de mon point de vue, autrement dit ma perception, est non-physique. Nous comprenons désormais que, si ce que l'on appelle qualité première est physique, il n'y a aucune raison de considérer que ce qui est qualité seconde ou état mental ne l'est pas.

Il nous reste seulement à formuler ce paralogisme en langage bergsonien, langage qui s'efforce de maintenir la possibilité de parler du vécu en tant qu'il assume le fait de n'être pas scientifique ou objectif, langage qui reconnaît néanmoins que la seule alternative possible à la méthode scientifique qui ne parle pas des vécus mais des relations entre vécus est l'intuition. Il ne semble pas y avoir de véritable milieu entre ces deux alternatives. Mais revenons à notre propos. Comment peut-on formuler le paralogisme de Nagel en langage bergsonien ? Nagel réifie ce qui n'est en réalité que parties localisées et dès lors repérées d'un seul et même processus, d'une seule et même image-mouvement qui va de la chose au cerveau, image-mouvement qui n'est elle-même qu'une partie localisée et repérée de l'image totale. On tombe donc dans des impasses lorsque l'on sépare arbitrairement ma perception, non seulement du sujet percevant que je constitue, mais également de la place singulière de mon

corps au milieu de toutes les images-mouvements. A opérer des coupes immobiles dans le mouvement concret (qui n'est autre que l'image-mouvement), on aboutissait aux paradoxes de Zénon d'Elée. A opérer des parcellarisations dans l'image concrète (qui n'est autre que l'image-mouvement), on aboutit à l'impasse de Nagel.

Notons que la conception de Bergson n'est pas sans poser elle-même de nombreux problèmes. Comment comprendre la phrase selon laquelle la perception se fait dans les choses, comment comprendre, si la perception ne subsiste pas dans le cerveau, que je puisse néanmoins m'en souvenir ultérieurement. Nous reviendrons sur ces difficultés. Remarquons seulement que la philosophie de Bergson offre les moyens de ne pas souscrire à la théorie du double-aspect¹⁸, théorie qui présente cependant l'avantage de rester une forme de refus des positions réductionnistes des réalistes et des idéalistes.

Nous voyons donc que réalistes, idéalistes, mais aussi pragmatisme pur et théorie du double-aspect tombent dans des contradictions ou des impasses que ne saurait admettre Bergson. Il reste cependant à voir en quoi la philosophie de Bergson ne renferme pas de telles contradictions.

* * *
*

La solution que propose Bergson est simple : percevoir n'est pas connaître. Cela résout les difficultés en deux sens.

En un sens faible, on peut désormais dire que la perception ne peut avoir d'autre prétention que de servir l'action. Si elle est en désaccord avec la représentation scientifique, elle n'est donc pas tant fausse qu'inefficace. Et c'est d'ailleurs précisément pour remédier à cette inefficacité que la perception en vient, non plus à s'opposer, mais à se prolonger en une vision scientifique du réel, vision qui peut en effet présenter l'avantage de mieux mettre en évidence les lois constantes qui régissent les relations réciproques des images. Juger les images selon leur *degré* d'efficacité n'offre pas le flanc au tranchant du principe de non-contradiction, principe qui n'admet pas les *nuances* mais est en même temps principe du tiers-exclu.

En un sens fort cette fois, on dira qu'affirmer que *percevoir n'est pas connaître* revient à refuser à la perception le statut de re-présentation. C'est là l'essentiel, notamment relativement aux difficultés rencontrées par la théorie du double-aspect. Les apories rencontrées par réalistes, idéalistes, mais également par Dennett ou Nagel, peuvent dès lors non seulement s'évanouir mais également y trouver le ressort de leur manifestation. On peut en effet désormais dire que la perception est seulement une partie de l'image totale, celle qui est réordonnée autour du corps tandis que la représentation scientifique n'est qu'une autre partie de l'image, celle dont les sous parties sont en relation invariable. Dès lors système de la science et système de la perception n'ont de commun que d'être inhérents à un même système d'images. Aucun des deux n'étant la copie de l'autre, aucun des deux n'étant cause de l'autre, ils n'ont pas à covarier.

Entendons-nous bien : l'image objective de la chose (le bâton immergé dans l'eau mais qui servira à décrocher la banane) n'a pas à covarier avec la perception de la chose. Il reste néanmoins vrai qu'une image objective des mouvements de la lumière, image qui comprend donc le moment de leur réflexion sur le bâton et le moment de leur diversification dans le cerveau, covarie avec la perception, perception qui n'est en effet autre que ce mouvement total.

Peut-être s'étonnera-t-on encore : il n'y a ni relation de causalité ni relation de copie à copié entre la chose perçue et la perception. Comment cela est-il possible ? Rappelons que la qualité seconde est qualité première, que la couleur est réelle et non produite par le cerveau. On remarquera à juste titre qu'un travail est opéré par le cerveau dans le processus de la perception de couleur. Bergson le reconnaîtra volontiers : le tissu n'existe que par le travail du tisserand ; il n'en reste pas moins que les fils existent déjà et sont d'emblée couleurs qui se marieront à merveille une fois judicieusement sélectionnés et mêlés avec adresse ; il n'est point besoin de supposer un miraculeux bain teintant ce qui n'avait que triste existence pour rendre compte du merveilleux pull jacquard. Le cerveau est organe d'analyse, c'est-à-dire de sélection, et de synthèse, c'est-à-dire de recomposition de ce qui était déjà un dans la chose. Mais cela suppose que les qualités premières, la matière même, sont déjà qualité seconde. Percevoir n'est pas connaître précisément parce que l'objet de la "connaissance" est déjà dans la matière. Le processus perceptif n'est pas production d'une re-présentation mais seulement

“réorganisation” de ce qui toujours déjà existe dans la matière C’est ce qu’indique G. Deleuze (1983) :

Il y a là [dans la conception de Bergson] une rupture avec toute la tradition philosophique, qui mettait plutôt la lumière du côté de l’esprit, et faisait de la conscience un faisceau lumineux qui tirait les choses de leur obscurité native. La phénoménologie participait encore pleinement de cette tradition antique ; simplement, au lieu de faire de la lumière une lumière d’intérieur, elle l’ouvrait sur l’extérieur, un peu comme si l’intentionnalité de la conscience était le rayon d’une lampe électrique (« toute conscience est conscience *de* quelque chose »). Pour Bergson, c’est tout le contraire. Ce sont les choses qui sont lumineuses par elles-mêmes, sans rien qui les éclaire : toute conscience *est* quelque chose, elle se confond avec la chose, c’est-à-dire avec l’image de lumière.

Le cerveau est donc bien seulement un organe de sélection qui retient une partie de cette lumière déjà existante, laissant passer le reste et permettant dès lors à cette partie sélectionnée de se manifester sous les couleurs sélectionnées. Notons que dire que c’est le réel qui est lumineux est seulement dire que les qualités secondes sont dans le réel externe. Cela permet de comprendre que la perception n’est pas production. Se faisant dans la chose externe, elle a déjà toute la matière qu’on peut souhaiter. Cela permet d’expliquer que le matériau provient de l’extérieur comme possédant d’emblée toutes les qualités qui, une fois recombinaison, permettront d’obtenir l’image perçue. Mais cela n’explique pas encore le fait que l’opération de recombinaison s’opère tout à la fois dans le cerveau et là où est la chose. Nous comprenons désormais que la perception est réorganisation de la matière externe mais nous ne comprenons pas encore les modalités de cette action de réorganisation opérée par le cerveau à l’extérieur du cerveau.

* * *
*

Une dernière objection se maintient : si la perception n’est pas produite à l’intérieur du cerveau, si au contraire, comme le dit Bergson, elle se fait bien dans la chose, comment devient-il possible de soutenir à son instar que le cerveau et le corps homocentriques constituent un champ au sein duquel s’ordonnent les perceptions ? On comprendrait en effet cette proposition si la perception était chose dans notre cerveau, chose dès lors à notre disposition et susceptible d’être déplacée à notre guise. Mais tel n’est pas le cas. Comment peut-on alors affirmer que la perception s’ordonne sur les besoins de notre corps tout en maintenant qu’elle se fait dans la chose même ?

En fait, cette dernière phrase ne doit pas être sur-interprétée. Bergson utilise une telle expression pour s'opposer aux courants tant réalistes qu'idéalistes qui localisent perception et matériau de la perception, sensations, dans le cerveau. Lorsque je dis que mon travail est dans cet article, il ne faut pas entendre cela au sens d'une localisation matérielle. Cet article est tout à la fois le produit de mon travail et, en même temps, puisqu'une idée écrite appelle son développement, la cause de ce travail. Mon travail est dans l'article qui n'est lui-même que dans le mouvement d'actualisation de ce travail. Encore ne faudra-t-il pas entendre ce mouvement comme actualisation d'un possible qui lui préexiste. Je prends plaisir à ce travail d'écriture car j'écris des choses auxquelles, littéralement, je ne pensais pas auparavant. C'est en ce sens qu'il faut entendre la phrase selon laquelle la perception se fait dans la chose. La chose ou image-mouvement se constitue comme chose durant ma perception sans pour autant que ma perception produise la chose en un sens idéaliste. De la même manière, la chose ou mouvement-image constitue ma perception sans en être la cause en un sens réaliste. Etre perçu et se découper au sein de l'univers comme image partielle sont un seul et même processus. Rétrospectivement, on rapporte l'image partielle à la chose figée et l'activité perceptive au corps vivant. Mais on ne peut réellement les distinguer. Cela n'est pas sans poser problème.

Reprenons. Il n'y a initialement qu'une image-mouvement, sans chose ni corps, la somme de ces images-mouvements venant ensuite distinguer à l'intérieur de chacune d'entre elles un plus petit dénominateur commun, une image relativement fixe, mon corps, et des images variant éminemment selon les déplacements de cette image relativement fixe au milieu d'entre elles. Le corps en vient donc à se distinguer des choses perçues ou outils de ce corps. Mais cela ne vient qu'ensuite. Il n'y a d'abord qu'une image-mouvement, des relations matérielles sans termes de ces relations, des fils ne reliant rien, les choses venant bien au contraire se constituer à leurs entrecroisements. Comme le dit Deleuze (1990, p. 219) « ce n'est pas la ligne qui est entre deux points, mais le point au croisement de plusieurs lignes ». Soit. Mais cela n'est pas sans poser problème.

Il faut bien en effet que, dans ces images-mouvements, je puisse, ne serait-ce que rétrospectivement, reconnaître les mouvements indiqués. Que puis-je donc y reconnaître ? Je vois un rayon lumineux qui se propage, adopte un certain angle à un moment (je supposerai rétrospectivement qu'il fut réfléchi à la surface de la chose perçue) et finalement disparaît

quelque part pour se transformer en d'autres mouvements d'ordre électrique, mouvements qui se subdivisent en ce lieu (je supposerai rétrospectivement que ce lieu est le système cérébralement centré que j'appelle mon corps). Fort de cette image, j'admettrai donc aisément le mouvement qui, partant de la chose, "produit" la perception ou, mieux, agit de manière perceptive du fait de son passage par le cerveau. Mais on a vu que, inversement, la modification cérébrale impliquée par ce passage de mouvement devait elle-même être "productrice" d'une modification au niveau de ce qui rétrospectivement apparaîtra comme chose. C'est en ce sens seulement que la perception pourra être dite dans la chose comme mon travail est dans cet article. Bergson le dit très clairement : « Soit, par exemple, un point lumineux P dont les rayons agissent sur les différents points *a, b, c*, de la rétine (...) ; dès lors tout doit se passer comme si les rayons *Pa, Pb, Pc* étaient *perçus* le long de ce trajet et *projetés* ensuite en P » (Bergson, 1896, p. 39-40). La perception est bien le mouvement indivisible qui va de la chose au cerveau, mouvement dans lequel l'image *perçue* est bien dans l'*image* perçue, ce qui n'est pas une tautologie, mais signifie simplement que la perception, considérée non plus au sens d'une activité mais au sens d'une image, est dans la chose. Il reste pourtant que cette image est externe. Il faut donc que la perception, certes en partie modification de l'état cérébral, soit aussi modification au niveau de la chose. Or, nous ne voyons de mouvement que unidirectionnel, de la chose au cerveau. Seul ce mouvement semble agir sur le cerveau. Mais nous voyons que nous nous exprimons ici en termes de mécanique : un corps en mouvement agit sur un autre corps avec une intensité donnée. Il est pourtant bien des interactions qui s'effectuent sans qu'on ne puisse décrire le mouvement d'aucun mobile. Le passage d'électrons dans un circuit électrique agit d'un corps sur un autre corps. L'intensité mesure, pour ainsi dire, la quantité de ce mouvement. Mais ce passage modifie aussi le potentiel de la chose qui reçoit le courant, modification qui accomplit en retour, ou plutôt, puisqu'à peine nous pouvons dire en retour, immédiatement une modification du potentiel de l'objet émetteur. On nous objectera peut-être que ces affirmations n'ont pas de sens : seule la différence de potentiel entre les composants du circuit est réelle, différence de potentiel que l'on appelle tension. Le potentiel ou, selon l'expression de Cavendish, le degré d'électrisation, n'a pas de sens pour une chose considérée isolément des autres choses. Mais il apparaît en fait qu'affirmer cela revient à abonder dans notre sens : il n'existe pas de qualités internes aux choses — telles que un potentiel abstrait — qui préexistent à la relation établie entre ces choses (relation considérée comme tension). C'est la relation comme différence de potentiel qui est réelle, non les potentiels eux-mêmes¹⁹. C'est la relation entre les termes qui détermine les qualités internes aux termes. La relation perceptive

entre chose externe et cerveau détermine un état ou qualité interne du cerveau. Il n'y a aucune raison qu'il ne détermine pas également un état ou qualité interne à la chose externe. « Nous prétendons au contraire que la perception réfléchie est un *circuit*, où tous les éléments, y compris l'objet perçu lui-même, se tiennent en état de tension mutuelle comme dans un circuit électrique, de sorte qu'aucun ébranlement parti de l'objet ne peut s'arrêter en route dans les profondeurs de l'esprit : il doit toujours faire retour à l'objet lui-même » (Bergson, 1896, p. 114)²⁰. Il semble bien que ce soit la métaphore électrique qui permet de rendre compte du corollaire externe de la modification d'état cérébral engendré par le processus perceptif.

En fait, cette métaphore est constante dans l'œuvre de Bergson. Ce dernier se réfère à Maxwell lorsqu'il s'agit précisément de comprendre les modalités d'une interaction autrement que dans les termes de la mécanique. « Solidité et choc empruntent donc leur apparente clarté aux habitudes et nécessités de la vie pratique ; — des images de ce genre ne jettent aucune lumière sur le fond des choses » (Bergson, 1896, p. 224)²¹. Maxwell unifiait alors mécanique et magnétisme dans la théorie générale de l'électromagnétisme. On peut supposer que Bergson n'en était nullement ignorant. On dit souvent que les plus grands philosophes sont le produit d'une révolution scientifique. Certes, la psychologie découvrait alors que le mouvement n'est pas seulement externe, l'intériorité étant le domaine de la sensation, mais également interne à l'organe de la pensée. Cela est important. Nous l'avons mentionné. Mais la révolution scientifique qui serait au ressort de la pensée de Bergson est peut-être bien plus à chercher du côté de l'électromagnétisme que de celui de la psychologie. Bergson distingue fréquemment entre intensité et tension. On rapporte souvent la tension à l'effort de contention opéré par l'esprit. Le choix de ce mot semble souvent devoir être bien davantage rapporté à une différence de potentiel à l'origine des variations de l'intensité des mouvements. Cette voie d'analyse de la question de la perception chez Bergson semble plus éclairante que les métaphores parfois employées par Bergson lui-même : celle de l'écran noir, celle de la réflexion sur la zone opaque du cerveau qui réfléchirait les rayons incidents en leur lieu d'origine, la perception étant dès lors à la ressemblance de « ces phénomènes de réflexion qui viennent d'une réfraction empêchée ; c'est comme un effet de mirage ». Ces métaphores sont peu éclairantes. D'une part, elles expliquent peu — en réalité nous pouvons voir le rayon incident (cinématique) mais non le rayon réfléchi (en fait, de l'ordre d'une interaction "électromagnétique") —. D'autre part, elles peuvent induire en erreur : l'emploi de l'expression « l'effet de mirage » pourrait en effet abusivement laisser croire que la modification interne à la chose externe produite par la perception est illusoire.

Récapitulons. Le cerveau ne produit pas en son sein, une re-présentation c'est-à-dire un objet différent de la chose perçue, serait-ce même en ne lui ajoutant aucune propriété et en ne faisant qu'associer une matière importée intégralement de l'extérieur. Insistons. Le processus de recombinaison se fait dans la chose ou mieux le long du trajet qui, immédiatement, "passe en un sens, repasse en un autre sens", la "différence de potentiel" variant de telle sorte que la recombinaison dans le cerveau est en même temps recombinaison dans la chose qui dès lors fait parvenir mécaniquement un mouvement d'intensité moindre jusqu'à ce que bientôt la perception se stabilise c'est-à-dire jusqu'à ce que le mouvement circule de l'un à l'autre sans variation importante de la différence de potentiel. L'"objet-perception" se fait dans l'image-totale qui se découpe en image-chose dans le processus perceptif. Le travail s'actualise dans l'article qui se constitue comme article dans le travail.

* * *
*

Voici dès lors le problème résolu. La perception se fait dans la chose et l'ordonnement du système perceptif peut être réel sans que pour autant le réel soit dédoublé dans le cerveau. Certes, nous ne connaissons pas, et c'est le moins que l'on puisse dire, le détail de cette rétroaction du changement d'état cérébral sur l'image-chose mais du moins nous n'avons pas rompu l'homogénéité du réel et ne sommes pas entrés en contradiction en redoublant le réel, à l'intérieur du corps physique par une entité mentale non physique. Le réel dépasse infiniment ce que nous en connaissons mais le réel ne dépasse pas ce que nous lui imposons comme seule limite : ne pas être contradictoire. Nous avons donc des parties ou, mieux, portions de l'image totale (les choses) qui s'ordonnent autour d'une image, certes singulière mais image parmi les images, le corps, et ce de manière corrélative à la hiérarchisation des besoins. Nous avons une autre partie ou, mieux, coupe de cette image totale qui ne s'ordonne pas autour du corps mais, sinon ne se modifie pas, du moins change conformément à d'invariables lois. Une partie du bâton est discontinue, l'autre non. Cela n'implique aucune contradiction. L'erreur des réalistes et des idéalistes a consisté à concevoir le percevoir comme une activité théorétique et non pratique, à surtout dès lors considérer la perception comme une copie de la chose même. C'était là se condamner aux apories précédemment indiquées. C'était là également se vouer à d'autres insolubles problèmes, tous

effets de la localisation de la perception dans le cerveau. De forts arguments vont certes dans le sens d'une telle thèse. Ce sont eux qu'il convient désormais d'examiner afin de comprendre l'union et l'écart entre, non plus système de la science et système de la perception, mais entre, en dernière instance, conscience et matière.

IV- Toute aperception est perception consciente de quelque chose selon une perspective variable

Le pas qui reste à franchir semble de faible importance. Nous avons déjà rendu compte du fait que toute perception est perception de quelque chose selon une perspective variable. La conscience est pour ainsi dire immanente à la chose même puisque cette chose est déjà lumineuse ou perceptible par elle-même.

Pourtant, il nous faut bien reconnaître une distinction entre la perception et l'aperception. S'apercevoir, c'est percevoir que je perçois. Cela s'explique aisément lorsque l'on considère que la perception est interne au cerveau. Je perçois un objet c'est-à-dire j'en crée une copie qui repose dans mon cerveau. Ce nouvel objet peut lui-même être perçu. L'objet de la perception est ici la chose même, l'objet de l'aperception est la perception ou copie de cette chose. Les objets sont distincts. Perception et aperception se distinguent. Autrement dit, un tableau de la Scène est perception artistique de la Scène et peut de nouveau être perçu. Ses caractéristiques picturales n'en font néanmoins pas un trompe-l'œil qui oblitère sa différence d'avec l'original. De même une perception de quelque chose, considérée comme tableau de la chose distinct et distingué de la chose, peut elle-même être perçue. Mais nous comprenons que cette possibilité trouve ses conditions dans l'inhérence de la perception au cerveau, inhérence qui est la marque de sa différence d'avec la chose perçue²². Tel n'est pas le cas chez Bergson. La perception, en tant qu'image perçue, est dans la chose. Percevoir la perception est dès lors percevoir l'image-chose qui n'est autre que la chose-image. En ce sens, percevoir et apercevoir semblent avoir un seul et même objet. Comment comprendre dès lors la différence entre perception et aperception ?

* * *
*

Nous avons vu que sujet et objet, ici image-chose et image-corps, ne sont pas des données dont il s'agit de comprendre ensuite la relation. Bergson exhibe la genèse de la circonscription de ces images dans la totale image-univers. La conscience est d'abord anonyme avant de pouvoir être dite conscience d'un sujet. Les relations sont premières et les termes se cristallisent comme nœuds des fils ainsi tendus. La perception ne pourra être dite perception d'un sujet que dans un second temps.

Encore faut-il pouvoir rendre compte de ce second temps, exhiber la manière dont le sujet se rapporte à lui-même la perception. S'apercevoir, c'est notamment percevoir que l'on perçoit. Nous avons déjà des images que nous percevons. Nous avons déjà un corps que nous percevons comme image relativement stable autour duquel s'ordonnent les autres images variables. Il reste à établir la possibilité de l'aperception ou perception du rapport entre les perceptions de choses et le corps que je suis.

La perception et l'aperception semblent chez Bergson avoir le même objet, avons-nous dit. Il peut s'agir du bâton par exemple. Pourtant, s'apercevoir semble être percevoir une perception. Mais lorsque nous disons que l'aperception est perception de la perception, l'aperception est-elle véritablement l'image-bâton ? Cette dernière se circonscrit comme chose dans l'image totale qui va de la chose au cerveau. L'image-bâton est donc une partie de cette image du processus total, partie qui n'est autre que la perception. L'aperception ne l'a pourtant peut-être pas comme objet de sa perception. C'est peut-être une autre partie de l'image totale du processus que l'aperception a comme objet. Tel est évidemment le cas. Dans l'image totale du processus ou image-percevoir se délimitent une image-chose ou perception de chose et une image-corps ou aperception d'activité dans le corps. On ne dira donc plus que l'aperception est perception de perception ; on dira seulement que toute perception de chose covarie avec une perception d'activité corporelle, ces deux perceptions n'entretenant néanmoins pas de rapport d'expression ni de rapports de causalité mais partageant simplement leur inhérence à un troisième terme qui est l'image totale du percevoir, image dont les modifications induisent des variations concomitantes au sein de ses différentes parties.

Autrement dit, il nous faut nous rappeler que « les lois établies par ce procédé [la méthode des variations concomitantes] ne se présentent pas toujours d'emblée sous la forme de rapports de causalité. La concomitance peut être due non à ce qu'un des phénomènes est la cause de l'autre, mais à ce qu'ils sont tous deux des effets d'une même cause, ou bien encore à ce qu'il existe entre eux un troisième phénomène, intercalé mais inaperçu, qui est l'effet du premier et la cause du second. Les résultats auxquels conduit cette méthode ont donc besoin d'être interprétés » (Durkheim, 1894, p. 130). L'interprétation, plutôt que de se faire dans des termes de causalité lorsqu'il s'agit d'une véritable transsubstantiation — du cérébral en mental —, se fera parfois dans des termes d'entr'expression. L'âme et le corps sont deux substances distinctes ne pouvant dès lors entretenir de relation de causalité. Ils sont seulement deux horloges parfaitement réglés s'entr'exprimant puisque indiquant la même heure²³. C'est là établir un rapport symbolique entre conscience et matière. Ce n'est pas là établir le rapport spécifique qui existe entre perception ou modification matérielle et aperception qui reste chez Bergson modification matérielle. Qu'en est-il de ce dernier ?

Certes, Bergson semble parfois instaurer un rapport de correspondance entre modification dans la chose c'est-à-dire perception et modification cérébrale c'est-à-dire aperception. Ainsi affirme-t-il : « perception consciente [perception] et modification cérébrale [aperception] se correspondent rigoureusement ». Le mot « symbole » est d'ailleurs lui-même fréquemment employé. Et Worms (1997, p.58-59) de commenter dès lors : « le rapport entre le cerveau et la perception, qui paraît se fonder sur une dépendance, ou au moins sur une covariance, s'explique à présent : il y a une correspondance symbolique et naturelle entre leurs “contenus” respectifs ». Mais il faut alors bien s'entendre sur le mot de symbole. Nous avons toujours tendance à connoter les mots employés par Bergson. Ici, il faut seulement entendre que le symbole est, comme le veut son sens à l'origine, « *un objet coupé en deux*, fragments de céramique, de bois ou de métal. Deux personnes en gardent chacune une partie, deux hôtes, le créancier et le débiteur, deux pèlerins, deux êtres qui vont se séparer longtemps... En rapprochant les deux parties, ils reconnaîtront plus tard leurs liens d'hospitalité, leurs dettes, leur amitié (...). Le symbole sépare et met ensemble, il comporte les deux idées de séparation et de réunion ; il évoque une communauté qui a été divisée et qui peut se reformer. Tout symbole comporte une part de *signe brisé* ; le sens du symbole se découvre dans ce qui est à la fois brisure et lien de ses termes séparés » (chevalier, 1982, p. 13). Toute perception comporte de même un intervalle, zone d'indétermination ou de sériation des mouvements ; le sens de la perception se découvre dans ce qui est à la fois brisure et lien

de ses termes séparés, le mouvement externe et le mouvement cérébral. C'est en ce sens et en ce sens seulement que l'on peut parler d'une correspondance symbolique entre perception (interne à la chose) et mouvement cérébral.

* * *
*

Nous comprenons désormais ce qui sépare et unit perception et aperception. La perception est perception de chose externe, l'aperception est perception de chose externe accompagnée d'une perception d'un mouvement interne au corps. On voit là l'une des origines de l'erreur de ceux qui localisent la perception à l'intérieur du cerveau.

Prenant acte de la présence d'une perception interne, sinon au cerveau, du moins au corps, de manière cependant non distincte, ils considèrent que l'aperception est le matériau de la perception. Autrement dit, la sensation est matière de la perception. On médiatise ainsi le mystérieux "photocopiage" de la chose en une représentation par l'intermédiaire qu'est la sensation. Mais la transformation du mouvement réel en sensations homogènes à la perception est tout aussi mystérieux. Si l'on veut échapper à cet inintelligible mystère, il est en fait nécessaire de supposer que les mouvements sont déjà dotés de toutes les qualités que l'on accorde généralement à cette sensation. Le mouvement est déjà qualité seconde, déjà lumineux. La conscience comme ce qui fait voir ou luminosité est donc immanente à la matière même, notait G. Deleuze. La sensation est, pour ainsi dire, immanente au mouvement même.

Cette proposition peut certes surprendre. Bergson (1887) ne demande-t-il pas : « Quelle analogie entre des vibrations se communiquant à la rétine, au nerf optique et au centre nerveux d'une part, et, d'autre part, la sensation qui l'accompagne ? Tout ce qu'on peut dire, c'est que ce dernier phénomène se produit à la suite ou à l'occasion des premiers. Mais comment se produit-il ? C'est une question qui ne sera jamais résolue, attendu qu'aucune explication, aucun raisonnement ne comblera l'abîme infranchissable qui sépare le fait, le mouvement physique même le plus compliqué du fait de conscience même le plus simple ». Mais le mouvement physique dont il s'agit ici n'est nullement le mouvement dont nous parlions précédemment, mouvement qui est tout à la fois qualité première et qualité seconde.

Nous avons déjà vu qu'il fallait distinguer entre le mouvement physique qui se déploie dans un espace homogène et infiniment divisible et le mouvement qui est image-mouvement susceptible d'être découpé dans une étendue qui est tout à la fois continue et qualitativement différenciée. Le mouvement physique n'est qu'une partie ou coupe du mouvement total, partie dont les réalistes font pourtant le tout de la matière, s'obligeant ainsi à confiner dans le cerveau la sensation, du fait de sa spécificité, et s'interdisant ainsi de rendre compte de la transformation de ces mouvements tout abstraits en ce qui a la densité des qualités secondes. C'était précisément pour ne pas avoir à combler cet « abîme infranchissable » que Bergson posait d'emblée la sensation dans le mouvement ou image-mouvement. Les différentes propositions que nous avons pu trouver dans les textes de Bergson ne sont donc pas contradictoires. C'est seulement le lecteur qui attribue une même référence à, par exemple, le mot « mouvement », et ce en dépit des distinctions établies. La sensation est bien dans le mouvement.

* * *
*

La sensation, matière de la perception, est dans la chose. La sensation, matière de l'aperception, est dans le corps. Dans ce cas, on l'appelle « affection ». Nous ne développerons pas dans toute son ampleur la théorie que Bergson propose pour l'affection. Mais il nous faut tout de même en parler quelque peu puisque, d'une part, l'intériorité corporelle de l'affection, d'autre part, l'assimilation de toute sensation, comme matière de la perception, à une affection sont tous deux, à part égale, au principe de l'intégration dans le cerveau de toute perception. D'une part donc, on remarque que l'affection est intérieure au corps. Mais parfois on ne se contente pas de prendre acte de cette intériorité corporelle. On en induit une intériorité cérébrale. Certes, les affections sont généralement localisées de manière floue. Mais cette relative indétermination ne doit pas autoriser à induire une inextensivité de ces mêmes affections. Or, ceci est particulièrement important puisque, de l'inextensivité apparente de l'affection, on conclut à non seulement une intériorité corporelle mais même une intériorité cérébrale. On peut alors faire de cette affection le matériau qu'utilise le cerveau dans sa constitution de la perception. La thèse d'une perception qui se fait dans la chose même devrait dès lors être abandonnée. C'est ce que Bergson ne veut à aucun prix.

Il nous faut donc comprendre que l'affection n'est nullement inextensive. Elle est localisée dans le corps et elle est perception d'une activité corporelle corrélative, non pas tant de la perception comme perception de la partie bientôt agissante, que de la présence de l'objet ou "perception" de la partie déjà agissante. La douleur ressentie par exemple au contact d'une épingle n'est pas la matière dont est faite la perception tactile de l'épingle. La douleur est perception d'une activité inefficace de défense de l'épiderme, perception donc d'une activité motrice de ce qui généralement n'a de fonction que sensitive. Autrement dit, d'une part, la perception tactile comme telle s'effectue au contact de l'épingle du fait de la fonction *sensitive* de la peau ; d'autre part, l'affection comme telle se produit du fait d'un résidu de fonction *motrice* de cette même chair qui se défend. Il ne peut donc y avoir concomitance d'une perception et d'une affection que lorsqu'en un même lieu, il y a exercice d'une fonction sensitive et d'une fonction motrice. Il ne peut donc y avoir accompagnement d'une affection et d'une perception qu'au niveau de l'enveloppe corporelle, de ce que la phénoménologie appelle « corps propre », au niveau de ce qui a la spécificité d'être tout à la fois sentant et senti.

On notera que toutes les activités de notre corps ne sont pas perçues. Comment se fait-il que certaines le soient et soient dès lors désignées du terme d'affection ? Nous savons que, pour percevoir, une solution de continuité doit être instaurée. En général, elle est effectuée au niveau du cerveau par la suspension du mouvement. Ici, elle est effectuée au niveau du résultat. C'est parce que l'action de défense est inefficace qu'elle est perceptible. Ainsi s'explique les considérations de Bergson sur la spécialisation des organes comme organe sensitif ou moteur sur fond d'une indistinction première du sensori-moteur, spécialisation à l'origine de l'inefficacité motrice ou sensitive des organes devenus respectivement sensitifs ou moteurs.

On notera aussi que si l'aperception a lieu lorsqu'il y a perception d'une chose accompagnée de la perception d'une activité corporelle c'est-à-dire d'une affection, si par ailleurs l'affection n'est possible qu'au niveau de l'enveloppe corporelle, alors il ne semble pouvoir y avoir d'aperception que tactile. En réalité, l'enveloppe corporelle n'est pas l'épiderme mais le corps propre. Lorsque je vois un objet, je le vois bien à l'extérieur, là où il est, et je sens en même temps mes yeux. Lorsque j'entends un objet, je l'entends bien là où il est, de façon certes moins localisée, et je sens mon oreille, davantage que mes yeux d'ailleurs. Remarquons que la vivacité de l'affection atténue la distinction de la perception et de sa

localisation. Une lumière agressive (l'affection comme réaction de défense est importante) éblouit (la perception n'est pas distincte). L'aperception est un harmonieux équilibre entre affection et perception. Il peut y avoir aperception de tous les sens.

Nous comprenons désormais que l'affection n'est ni inextensive donc susceptible d'être localisée dans le cerveau, ni identifiable à la sensation dont se compose la perception de chose. Une affection peut accompagner une perception mais l'affection n'est pas le matériau de la perception. « Elle est bien plutôt l'impureté qui s'y mêle ». La perception s'accompagne parfois d'une aperception qui est perception d'une action inaboutie. Perception et aperception sont bien unies en tant que parties d'une seule image totale mais distincts en tant qu'elles ont des objets différents.

* * *
*
*

Pour rendre compte de l'aperception comme perception consciente de quelque chose selon une perspective variable, c'est-à-dire comme perception du fait que j'ai une perception de quelque chose selon une perspective variable, pour offrir donc une théorie complète de la perception, il n'est donc pas besoin de faire de la perception un objet interne au cerveau, produit par ce même cerveau. Pour Bergson, c'est bien là la thèse qu'il s'agissait, surtout, d'étayer. Elle interdit en effet de considérer la "représentation" perceptive comme le produit du cerveau.

Retenons ainsi que, pour étayer la thèse d'une localisation de la perception dans la matière externe, Bergson a utilisé la thèse d'une liaison de la perception et de l'action, et ce à au moins trois niveaux : la perception est une activité, la perception est une action virtuelle, la perception est une action virtuelle pratique et non pas théorique. Plus succinctement, on peut dire que la perception est mouvement interrompu sous une forme et pour des motifs pragmatiques.

Conclusion : La perception, miroir de la mémoire

Toute perception est perception de quelque chose, avons-nous dit. Toute perception est quelque chose. Toute perception est image-mouvement. Toute perception est matière et la conscience est immanente à cette matière. La matière constitue le présent. Le présent est l'actuel c'est-à-dire une partie du réel, le réel qui agit.

Toute pensée est pensée de quelque chose. Toute pensée est quelque chose. Toute pensée est souvenir-croissance. Toute pensée est esprit dont s'absente la conscience. L'esprit est le passé en tant qu'il grignote sur l'avenir. Le passé est le virtuel, c'est-à-dire l'autre immense partie du réel, le réel qui n'agit pas²⁴.

Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective. Toute perception est une portion de la matière c'est-à-dire une portion d'une coupe du réel. Elle est une portion du réel dont la fréquence entre dans les domaines de détection de l'un de nos cinq sens (directement ou par la médiation de ses effets sur une matière détectable par l'un de nos organes sensoriels). La matière correspond à un domaine de fréquences de longueurs d'ondes suffisamment élevées pour que ces dernières soient action-perception.

Toute pensée est pensée de quelque chose selon une perspective. Toute pensée est une portion de l'esprit c'est-à-dire une portion d'une coupe du réel. Elle est une portion du réel dont la fréquence est si basse qu'elle n'est pas détectable par l'un de nos cinq sens. Elle ne peut être détectée que par une « oreille mentale » (Bergson, 1896, p. 114)²⁵ qui ne constitue rien d'autre que notre sixième sens. L'esprit correspond à un domaine de si basses fréquences de longueurs d'ondes que ces dernières doivent être amplifiées dans le cerveau pour, devenant ainsi agissante, s'actualiser et ajouter dès lors dans un futur proche un souvenir à un esprit qui pourra dès lors être dit avoir crû.

Toute perception est perception de quelque chose selon une perspective variable. Les cinq sens sont les organes du corps. Ils se subordonnent entièrement à l'exigence de survie du corps. La variabilité de la perception est une fonction de la variabilité des besoins. La matière n'a d'autres fins que les fins intéressées qui lui sont partiellement assignées par un corps vivant.

Toute pensée est pensée de quelque chose selon une perspective variable. Le sixième sens est un organe du corps. Il se subordonne à l'exigence de survie du corps. La variabilité de l'actualisation de la pensée est une fonction de la variabilité des besoins. L'esprit a cependant

sa fin propre qui est une fin en soi : la croissance qui ne peut s'opérer que par un devenir actuel des souvenirs qui retournent ensuite au passé ainsi enrichis de l'octroi d'une quantité de mouvement matériel. L'esprit est désintéressé.

Toute aperception est pensée consciente de quelque chose selon une perspective variable. Je suis conscient de percevoir lorsque je perçois que je perçois. Je suis conscient de percevoir lorsque je perçois à l'intérieur de mon corps l'activité corporelle qui accompagne l'activité externe que je perçois. Le corps est, en outre de la chose perçue, le second terme de la relation perceptive ; la relation, non les termes de cette relation, est la donnée première ; le corps est l'objet d'une genèse. Le corps est action et meurt avec la décomposition de ses parties qui lui interdit la possibilité d'une poursuite d'action. Le présent passe ; le corps meurt.

Toute réflexion est pensée personnelle de quelque chose selon une perspective variable. Je réfléchis lorsque je pense que je pense. Je réfléchis lorsque je pense à l'âme personnelle que je constitue et qui pense à des objets qui en sont distincts. L'âme est, en outre du souvenir pensé, le second terme de la relation pensante. L'âme est l'objet d'une genèse. Mais peut-être pas l'objet d'une mort. L'âme ne peut plus s'actualiser par l'intermédiaire du corps dont les actions, devenant passées, ont délimité une âme à l'intérieur de l'esprit. Mais le passé est ce qui se conserve. L'âme ne peut plus croître par l'intermédiaire du corps dont il est le passé. Mais puisque le passé est le présent dont la "fréquence" a considérablement diminué sans s'annuler, l'âme est susceptible de poursuivre une activité à extrêmement basse fréquence. Il n'y a aucune raison de considérer que l'âme n'est pas immortelle.

Annexe

G. Deleuze, *L'image-mouvement*, p. 86-87

« Dans l'éclatant premier chapitre de *matière et mémoire* nous allons voir » que « nous nous trouvons (...) devant l'exposition d'un monde où IMAGE = MOUVEMENT. Appelons Image l'ensemble de ce qui apparaît. On ne peut pas dire qu'une image agisse sur une autre ou réagisse à une autre. Il n'y a pas de mobile qui se distingue du mouvement exécuté, il n'y a pas de mû qui se distingue du mouvement reçu. Toutes les choses, c'est à dire toutes les images, se confondent avec leurs actions et réactions : c'est l'universelle variation. Chaque image n'est qu'un « chemin sur lequel passent en tous sens les modifications qui se propagent dans l'immensité de l'univers ». *Chaque image agit sur d'autres et réagit à d'autres, sur « toutes ses faces » et « par toutes ses parties élémentaires^a ».* « La vérité est que les mouvements sont très clairs en tant qu'images, et qu'il n'y a pas lieu de chercher dans le mouvement autre chose que ce qu'on y voit^b. » Un atome est une image qui va jusqu'où vont ses actions et ses réactions. Mon corps est une image, donc un ensemble d'actions et de réactions. Mon œil, mon cerveau sont des images, des parties de mon corps. Comment mon cerveau contiendrait-il les images, puisqu'il en est une parmi les autres? Les images extérieures agissent sur moi, me transmettent du mouvement, et je restitue du mouvement : comment les images seraient-elles dans ma conscience, puisque je suis moi-même image, c'est-à-dire mouvement ? Et même puis-je, à ce niveau parler de moi, d'œil, de cerveau et de corps ? C'est par simple commodité, car rien ne se laisse encore identifier ainsi. Ce serait plutôt un état gazeux. Moi, mon corps, ce serait plutôt un ensemble de molécules et d'atomes sans cesse renouvelés. Puis-je même parler d'atomes ? Ils ne se distingueraient pas des mondes, des influences interatomiques^c. C'est un état trop chaud de la matière pour qu'on y distingue des corps solides. C'est un monde d'universelle variation, universelle ondulation, universel clapotement : il n'y a ni axes, ni centre, ni droite, ni gauche, ni haut ni bas...

Cet ensemble infini de toutes les images constitue une sorte de plan d'immanence. L'image existe en soi, sur ce plan. Cet en-soi de l'image, c'est la matière : non pas quelque chose qui serait caché derrière l'image, mais au contraire l'identité absolue de l'image et du mouvement. C'est l'identité de l'image et du mouvement qui nous fait conclure immédiatement à l'identité de l'image-mouvement et de la matière. « Dites que mon corps est matière, ou dites qu'il est image...^d. » *L'image-mouvement* et la *matière-écoulement* sont strictement la même chose ».

^a Bergson, *Matière et mémoire*, p. 34.

^b Bergson, *Matière et mémoire*, p. 18.

^c Bergson, *Matière et mémoire*, p. 36. : cf. atomes ou lignes de force.

^d Bergson, *Matière et mémoire*, p.14.

Bibliographie

- ARISTOTE. De l'âme, Paris, Les belles lettres, 1989.
- BARBARAS, R. (1998). Le tournant de l'expérience. Recherches sur la philosophie de Merleau-Ponty, Paris, Vrin.
- BERGSON, H. (1887). Leçons de psychologie et de métaphysique, Paris, PUF, 1990.
- BERGSON, H. (1889). Essai sur les données immédiates de la conscience, Paris, PUF, Quadrige, 1993.
- BERGSON, H. (1896). Matière et mémoire, Paris, PUF, Quadrige, 1997.
- BERGSON, H. (1907). L'évolution créatrice, Paris, PUF, Quadrige, 1996.
- BERGSON, H. (1919). L'énergie spirituelle, Paris, PUF, Quadrige, 1996.
- BERGSON, H. (1934). La pensée et le mouvant, Paris, PUF, Quadrige, 1990.
- BERKELEY (1706-1708). Notes philosophiques, dans *Œuvres*, t. I, Paris, PUF, Epiméthée, 1985.
- BUBNER, R. (1981). « L'autoréférence comme structure des arguments transcendants », Les études philosophiques, octobre-décembre 1981.
- CHANGEUX, J-P. (1983). L'homme neuronal, Paris, Hachette, Pluriel.
- CHEVALIER, J. (1982). Dictionnaire des symboles, Paris, Robert Laffont, Jupiter.
- DELEUZE, G. (1983). L'image-mouvement, Paris, Les Editions de Minuit.
- DELEUZE, G. (1985). L'image-temps, Paris, Les Editions de Minuit.
- DELEUZE, G. (1990). Pourparlers, Paris, Les Editions de Minuit.
- DELEUZE, G. (1966). Le bergsonisme, Paris, PUF, 1991.
- DENNETT, D. (1998). La diversité des esprits. Une approche de la conscience, Paris, Hachette.
- DESCARTES, R. (1641). Méditations métaphysiques, Paris, Garnier-Flammarion, 1979.
- DURKHEIM, E. (1894). Les règles de la méthode sociologique, Paris, PUF, Quadrige, 1990.
- FUNKENSTEIN, A. (1995). Théologie et imagination scientifique du Moyen Age au XVII^e siècle, Paris, PUF, Théologiques.
- HEIDEGGER, M. (1927). Etre et temps, trad. E. Martineau, Paris, La différence, 1985, hors commerce.
- HUME, D. (1739). Traité de la nature humaine, Livre I, « L'entendement », Paris, Garnier-Flammarion, 1995.
- JACOB, P. (1997). Pourquoi les choses ont-elles un sens ?, Paris, Odile Jacob.
- KANT, E. (1781). Critique de la raison pure, dans *Œuvres philosophiques*, t. I, Paris, Gallimard, La Pléiade, 1980.

- LEIBNIZ, G.-M. (1695). Système nouveau de la nature et de la communication des substances, Paris, Garnier- Flammarion, 1994.
- LEIBNIZ, G.-M. (1704). Nouveaux essais sur l'entendement humain, Paris, Garnier- Flammarion, 1990.
- LOCKE, J. (1690). Essai sur l'entendement humain
- MALHERBE, M. (1984). La philosophie empiriste de David Hume, Paris, Vrin.
- MISSA, J.-N. (1997). « Critique positive du chapitre II de *Matière et mémoire* », Bergson et les neurosciences, Le Plessis Robinson, Les empêcheurs de penser en rond.
- NAGEL, T. (1983). Questions mortelles, Paris, PUF, Philosophie d'aujourd'hui.
- NAGEL, T. (1993). Le point de vue de nulle part, Combas, L'éclat.
- NAGEL, T. (1995). Qu'est-ce que tout cela veut dire ? Une très brève introduction à la philosophie, Combas, L'éclat.
- PHILONENKO, A. (1982). Etudes kantiennes, Paris, Vrin.
- PHILONENKO, A. (1994). Relire Descartes, Paris, J. Grancher.
- PHILONENKO, A. (1994). Bergson ou de la philosophie comme science rigoureuse, Paris, Les éditions du Cerf.
- SCHLICK, M. (1919). « Le vécu, la connaissance, la métaphysique », Manifeste du Cercle de Vienne et autres écrits, Paris, PUF, 1998.
- WORMS, F. (1997). Introduction à Matière et mémoire de Bergson, Paris, PUF.

¹ C'est bien l'étude de la perception qui conditionne la possibilité d'un spiritualisme. L'étude de la mémoire aura charge de donner un contenu à ce spiritualisme. Ces deux études, quoique nécessairement liées, peuvent donc être menées séparément.

² Descartes notamment décrit la genèse de cette croyance en l'existence d'une chose extérieure cause de la représentation dans sa troisième des *Méditations métaphysiques*, aux pages 103-104 : « j'expérimente en moi-même que ces idées [c'est-à-dire, comme le veut le dix-septième siècle, ces représentations] ne dépendent point de ma volonté ; car souvent elles se présentent à moi malgré moi, comme maintenant, soit que je le veuille, soit que je ne le veuille pas, je sens de la chaleur, et pour cette cause je me persuade que ce sentiment ou bien cette idée de la chaleur est produite en moi par une chose différente de moi, à savoir par la chaleur du feu auprès duquel je me rencontre ». Pour l'idéaliste que n'est pas comme tel Descartes, la description de cette genèse suffit à rendre compte de cette croyance. On pourrait considérer dès lors que point n'est besoin, en outre, de recourir à la superflue affirmation d'une existence réelle de ces choses.

³ Notamment aux pages 928-929 de la *Critique de la raison pure*, Kant distingue la succession subjective de l'*appréhension* des phénomènes qui laisse ouvert à la fantaisie la détermination du cours du temps — « Dans l'exemple précédent d'une maison, mes perceptions pouvaient, dans l'appréhension, commencer par son faite et finir par le sol, mais aussi commencer par en bas, et finir par en haut, et elles pouvaient pareillement appréhender par la droite ou par la gauche le divers de l'intuition empirique » — de la succession objective des *phénomènes* qui impose au cours du temps (de l'appréhension) son ordre du temps (des phénomènes) — « Je vois, par exemple, un bateau descendre le courant. Ma perception de sa position en aval succède à la perception de sa position en amont du cours du fleuve, et il est impossible que, dans l'appréhension de ce phénomène, le bateau puisse être perçu d'abord en aval, ensuite en amont du courant. L'ordre dans la succession des perceptions dans l'appréhension est donc ici déterminé, et l'appréhension est lié à cet ordre ». Mais dans l'exemple de la maison, la dérivation du cours du temps à partir de l'ordre du temps reste pour le moins problématique. Le fondement de la possibilité d'une telle dérivation restera chez Kant, en dernière instance, inconnaissable.

⁴ Sur la différence et la continuité pourtant entre perception et aperception, cf par exemple Leibniz, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, II, IX, §4 : « J'aimerais mieux distinguer entre perception et entre s'apercevoir. La perception de la lumière ou de la couleur par exemple, dont nous nous apercevons, est composée de quantité de petites perceptions, dont nous ne nous apercevons pas, et un bruit dont nous avons perception, mais où nous ne prenons point garde, devient aperceptible par une petite addition ou augmentation. Car si ce qui précède ne faisait rien sur l'âme, cette petite addition n'y ferait rien encore et le tout ne ferait rien non plus ».

⁵ « impression » est l'expression utilisée par Hume pour désigner cette matière première de toute aperception. On verra volontiers chez Hume le modèle abouti de toute forme de matérialisme acceptant de se plier au principe du rasoir d'Ockham : si l'on refuse de supposer un en deçà certes matériel mais inconnaissable, donc absolument hypothétique, on ne peut guère qu'adopter la philosophie de Hume qui est, non pas bien sûr une ontologie matérialiste — elle excéderait le fait en direction du fondement —, mais bien peut-être le seul matérialisme possible, à savoir une « ontique matérialiste » (M. Malherbe, *La philosophie empiriste de David Hume*, p. 91). D'ailleurs, on trouvera aussi dans cette philosophie le ressort de la conversion subreptice en idéalisme de tout réalisme qui ne s'accepte pas sceptique.

⁶ On ne pourra certes pas, en toute rigueur, affirmer que l'impression humienne est intérieure au cerveau puisque ce dernier, objet parmi les objets, reste nécessairement une idée, elle-même dérivée des impressions. Faire du « produit » des impressions le contenant de ces mêmes impressions est évidemment problématique. Néanmoins, une récupération neuroscientifique de la philosophie humienne n'hésiterait pas, à bon droit probablement, à le faire.

⁷ C'est dans l'exigence d'un octroi à la chose en soi de caractéristiques spécifiques, octroi nécessaire à la possibilité d'une taxinomie, que l'on peut voir la résistance de la matière à son absorption dans le champ constitué par le sujet transcendantal kantien. Cf sur ce point A. Philonenko, *Etudes kantienues*, « Kant et la philosophie biologique ».

⁸ Plus précisément, et ce dès ses *Notes philosophiques* qui constituent un travail préparatoire aux futurs ouvrages, Berkeley écrit : « Exister c'est être perçu ou percevoir ». Remarquons que Bergson ne retient que la première partie de la proposition. Et cela se comprend puisqu'il n'y a pas, comme tel, d'acte perceptif de la part d'un sujet chez Bergson. Il y a seulement le mouvement perceptuel, précédant la distinction du sujet et de l'objet.

⁹ G. Deleuze, *L'image-mouvement*, p. 11. Dans ce même ouvrage, il présente le rapport entre mouvement abstrait ou « mouvement comme coupe mobile » et mouvement concret ou « changement qualitatif » sous la forme suivante :

$$\frac{\text{coupes immobiles}}{\text{mouvement}} = \frac{\text{mouvement comme coupe mobile}}{\text{changement qualitatif}},$$

la coupe immobile étant certes une image fixe découpée dans un mouvement mais aussi la coupe à laquelle recourrait Zénon et avec laquelle il ne parvient pas à reconstituer le mouvement tel qu'il est représenté dans une intégrale, le mouvement ou mouvement comme coupe mobile étant le mouvement étudié en sciences physiques. De la même manière que la coupe immobile est une partie du mouvement, le mouvement ou coupe mobile n'est qu'une partie du mouvement comme changement. Notons au passage que Bergson ne rapporte pas directement le mouvement abstrait étudié en sciences ou coupe mobile au mouvement tel qu'il est reconstitué par Zénon à partir des coupes immobiles. Bergson dit seulement que la possibilité d'une telle coupe immobile et de la survenue dès lors de tels paradoxes est contenue dans la réduction du mouvement concret au seul mouvement abstrait. On le voit : les critiques faites parfois à l'encontre de Bergson sur ce point ne sont pas justifiées.

¹⁰ « Telle est en effet la marche régulière de la pensée philosophique : nous partons de ce que nous croyons être l'expérience, nous essayons des divers arrangements possibles entre les fragments qui la composent apparemment, et, devant la fragilité reconnue de toutes nos constructions, nous finissons par renoncer à construire. — Mais il y aurait une dernière entreprise à tenter. Ce serait d'aller chercher l'expérience à sa source, ou plutôt au-dessus de ce tournant décisif où, s'infléchissant dans le sens de notre utilité, elle devient proprement l'expérience humaine », *Matière et mémoire*, p. 205. Nous citons intégralement ce long passage qui manifeste en effet clairement le caractère non seulement régulateur mais pour ainsi dire constitutif de la pensée de Bergson que revêt chez lui le principe de non-contradiction. On n'accède pas tant aux sources de l'expérience qu'on les déduit selon une démarche quasi-juridique similaire à celle traditionnellement employée par Kant. Sur la déduction transcendantale comme déduction de droit chez Kant, cf notamment R. Bubner, « L'autoréférence comme structure des arguments transcendants », *Les études philosophiques*, octobre-décembre 1981. Pour une analyse différente du tournant de l'expérience chez Bergson, cf R. Barbaras, *Le tournant de l'expérience*, chapitre II.

¹¹ Comme le remarque Thomas Nagel dans *Qu'est-ce que tout cela veut dire ?*, p. 30, « Si un scientifique décalottait votre crâne et regardait à l'intérieur de votre cerveau pendant que vous mangez la tablette de chocolat, tout ce qu'il verrait, c'est une masse grise de neurones. S'il se servait d'instruments pour mesurer ce qui se passe à l'intérieur, il détecterait différentes sortes de processus physiques extrêmement compliqués. Mais trouverait-il le goût du chocolat ? (...) Ce n'est pas seulement dû au fait que le goût du chocolat est une saveur qui, par conséquent, ne peut pas être vue. Supposons qu'un scientifique soit assez fou pour essayer d'observer votre expérience du goût du chocolat en léchant votre cerveau pendant que vous mangez la tablette de chocolat. D'abord, il n'aura probablement pas l'impression que votre cerveau a un goût de chocolat. Mais, même si c'était le cas, il n'aurait pas réussi à pénétrer dans votre esprit et à observer votre expérience du goût du chocolat », votre perception gustative du chocolat.

¹² Ce choix n'est pas ici le choix subjectif et libre des données immédiates de la conscience. Il est purement spatial et ne se fait qu'en explorant réellement les bifurcations possibles, l'effet résultant seulement des exigences internes de l'action du corps.

¹³ On objectera certes que nous avons des perceptions tactiles. Mais ces perceptions sont toujours en même temps proprioception. Autrement dit, la perception tactile est tout autant perception du corps que perception d'une chose. La perception tactile est en fait bien davantage affection, au sens défini par Bergson, c'est-à-dire « une espèce de tendance motrice sur un nerf sensible » (*Matière et mémoire*, p. 56).

¹⁴ Sur ce point, cf notamment A. Funkenstein, *Théologie et imagination scientifique*.

¹⁵ Notons que, à la différence de Kant, Bergson n'affirme pas que c'est l'idée d'une connaissance *complète* du réel qui peut présider à la recherche scientifique. C'est seulement l'idée d'une connaissance *a-centrée* qui est

idée régulatrice de la science. On objectera peut-être que les deux se rejoignent. La connaissance est partielle du fait de l'adoption d'une perspective sur le réel, perspective qui semble dépendante de la place occupée dans le réel, du centre à partir duquel s'ordonne donc la connaissance. Mais c'est précisément la nécessité d'une relation entre perspective et centre que Bergson remet en cause. Une connaissance a-centrée est une connaissance constituée dans la perspective d'une absence de centre. Il s'agit bien d'une perspective puisque le choix d'un regard a-centré exclut de son champ toutes les coupes du réel qui ne peuvent être perçues que d'un point de vue centré. Le regard centré sélectionne des portions (parties locales) du réel. Le regard a-centré sélectionne des coupes (partie longitudinale) du réel. Là est la seule différence. L'étendue par exemple n'est pas l'espace. Le regard a-centré met entre parenthèses les différences qualitatives internes à l'étendue, différences qui ne peuvent être appréhendées que dans l'approche intéressée c'est-à-dire centrée. Kant disait que la connaissance, de fait, ne sera jamais complète. Bergson ajoute qu'elle ne peut l'être de droit.

¹⁶ Pour le dire dans les termes de Dennett mais contre Dennett: l'octroi d'une intentionnalité dérivée à une chose ou un être vivant n'est possible que par un individu possédant lui-même une intentionnalité. La possibilité de l'intentionnalité dérivée réclame une intentionnalité primaire. Cf sur ce point Jacob, *Pourquoi les choses ont-elles un sens ?*, p. 12-14.

¹⁷ Nagel précise certes que « le fait que les états mentaux ne soient pas des états physiques puisqu'on ne peut pas les décrire objectivement comme on décrit les états physiques, ne signifie pas que ce sont des états de quelque chose de non physique. La fausseté du physicalisme n'exige pas que l'on fasse appel à des substances non physiques », *le point de vue de nulle part*, p. 38-39. Certes, les états mentaux ne sont pas nécessairement modes de substrats substantiellement distincts. Il n'en resterait pas moins qu'ils semblent devoir rester modes substantiellement distincts, cette fois certes, d'un même substrat.

¹⁸ « Le point de vue selon lequel le cerveau est le siège de la conscience mais que les états de conscience ne sont pas purement et simplement des états physiques est appelé théorie du double-aspect (...). On pourrait traduire ce point de vue en disant que vous n'êtes pas un corps plus une âme, mais un corps seulement, mais que votre corps, ou votre cerveau tout au moins, n'est pas un système physique uniquement », Nagel, *qu'est-ce que tout cela veut dire ?*, p. 34.

¹⁹ Notons que procéder à une extension de ce qui vaut pour le potentiel à toutes les qualités internes à une chose pourrait aider à se faire une image de ce que Bergson entend par l'image-mouvement. De même que le potentiel se circonscrit comme qualité interne d'une chose à partir de la seule réalité de la différence de potentiel, toutes les qualités internes (images) se circonscraient à partir de la seule réalité des relations (mouvement). La chose pouvant être considérée comme une collection de qualités, nous voyons donc bien se déployer la genèse dialectique des qualités comme qualités de choses et des choses comme collection de qualités, et ce sur la seule base des images-mouvements.

²⁰ Il s'agit certes ici de la perception réfléchie. Mais cela ne change rien quant à l'essentiel. Le passage du courant sera simplement de plus courte durée dans le cas de la perception pure.

²¹ Pour la référence à Maxwell, cf p. 223-224. Sur le même sujet, cf éloge à Faraday et Thomson p. 225.

²² En réalité, l'idée qu'il existe une marque dans la perception qui permette de la distinguer de la chose perçue ne va pas sans poser là aussi de nombreux problèmes. Hume, chez lequel nous avons dit voir la légitime forme d'un empirisme radical, le reconnaît : « former l'idée d'un objet et former tout simplement une idée, c'est la même chose, puisque la référence de l'idée à un objet est une dénomination extrinsèque dont elle ne porte ni marque ni caractère en elle-même », *Traité de la nature humaine*, I, I, VII, p. 65. A s'affirmer comme réalistes ou idéalistes néanmoins, et non pas comme sceptiques, l'un et l'autre restent obligés de supposer une marque intrinsèque qui permet de distinguer la copie du copié.

²³ Nous reprenons ici la métaphore de Leibniz : « Figurez-vous deux horloges ou montres qui s'accordent parfaitement. Or cela se peut faire de *trois façons* : la première consiste dans une influence naturelle (...). La seconde manière de faire toujours accorder deux horloges, bien que mauvaises, serait d'y faire toujours prendre garde par un habile ouvrier, qui les redresse et les met de d'accord à tous moments. La troisième manière est de faire d'abord ces deux pendules avec tant d'art et de justesse, qu'on se puisse assurer de leur accord dans la suite », *Système nouveau de la nature et de la communication des substances*, p. 82. La première solution est celle de Descartes qui trouve cependant désespérément la glande pinéale comme lieu de transsubstantiation d'une substance spirituelle en substance matérielle, la seconde celle de Malebranche et de la constante

intervention divine, cause réelle des modifications dans une substance, modifications dont le corollaire dans l'autre substance n'est que l'occasion ou *cause occasionnelle*, la troisième est celle de Leibniz pour lequel le *fiat divin* crée d'emblée parfaitement les choses de telle sorte que les modes d'une substance aient leur corollaire exact dans l'autre substance. Si l'on veut filer la métaphore, on parlera chez Bergson de deux cadrans d'une seule ou même horloge ou mieux, de la covariation des rythmes de pulsation sanguins en deux points distincts du corps par le seul fait de leur participation à un seul et même flux. Mais c'est certes là être sortie de l'hypothèse du *dualisme substantiel*.

²⁴ On le voit, c'est à une profonde modification des catégories du présent et du passé que procède Bergson. Pas plus que ne disparaissent les objets qui ne sont plus visibles parce que mes yeux se ferment ne disparaissent les objets qui ne sont plus visibles parce que, cessant d'agir, ils ne peuvent se suspendre sous forme perceptive. Le virtuel ne s'oppose pas au réel mais à l'actuel. Le réel déborde infiniment l'actuel qui n'en est que la fine pointe. La totalité du passé est là autour de moi comme les milliers de messages téléphoniques donnés par portables sont là autour de moi et demandent seulement, pour être actualisés en ce lieu où je me tiens, que je me mette sur la bonne fréquence. Les sédiments qui n'alimentent plus la vie sont la mémoire de la terre qui ne s'accroît que par le devenir sédiment des arborescences toujours renaissantes. Les sédiments n'en sont pas moins réels.

²⁵ Il nous semble que c'est là la seule thèse de Bergson la plus controversée. Les commentateurs la passent souvent sous silence. Elle est pourtant au centre de sa conception. Elle est, certes à titre d'hypothèse mais d'une hypothèse en droit falsifiable, la clef de voûte de son système. C'est à partir d'une telle thèse également que doit être rigoureusement déduit le contenu d'une conférence telle que « "Fantômes de vivants" et "recherche psychique" », *L'énergie spirituelle*, p. 61-84.

L'Année psychologique, 2003, 103, 9-32

MEMOIRES ORIGINAUX

*Laboratoire de Psychologie Expérimentale
Université René-Descartes, Paris 5
CNRS UMR 8581¹*

L'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements progressifs dans les scènes visuelles

Malika Auvray² et J. Kevin O'Regan

SUMMARY : Influence of semantic factors on blindness to progressive changes in visual scenes.

Several studies have shown that under some circumstances observers have difficulty detecting changes that occur in successive views of a visual scene. Recent work has confirmed this finding in situations where the change, instead of occurring abruptly, is made gradually but in full view.

This work suggests that observers only have access to a small portion of the information available in a scene. The question arises, what determines which information will be accessed?

The experiments reported here first confirm that change blindness can be obtained using progressive changes in full view. Second, they investigate the influence on change detection of two semantic factors: "interest" of scene elements and their "consistency" within the scene.

We show that change detection improves as a function of the "interest" of an element and as a function of its degree of "inconsistency" within the scene.

The general discussion provides possible explanations of these results and their implications to the study of the nature of our representations.

Key words : vision, change blindness, semantic factors.

¹ Institut de Psychologie, Centre Universitaire de Boulogne, 71 Avenue Edouard Vaillant, 92724 Boulogne-billancourt Cedex.

² E-mail : malika.auvray@univ-paris5.fr

Introduction

Notre expérience visuelle immédiate semble être celle d'un monde riche, détaillé et cohérent dans lequel tous les objets se présentent à nous de manière synchrone. De la vivacité et de l'indubitabilité supposée de cette expérience, nous inférons les propriétés de richesse et de cohérence, que nous attribuons non seulement au monde externe mais aussi à un monde interne, dans lequel sont censées se constituer des répliques plus ou moins identiques aux objets perçus. Au vu de ce qu'est notre perception consciente du monde visuel, nous pouvons alors penser que la perception d'une scène consiste en la possession d'un modèle interne détaillé de celle-ci. Cette idée trouve son expression prototypique dans le travail de Marr (1982) qui considère qu'un des problèmes de la vision est de reconstituer à partir des images rétiniennes bi-dimensionnelles un « modèle interne » tri-dimensionnel. Un certain nombre de travaux semblent suggérer que nous formons rapidement une représentation précise des scènes perçues. Il est ainsi possible de reconnaître un grand nombre d'images même si elles sont vues une seule fois (Shepard, 1967 ; Standing, 1973 ; Standing, Conezio et Haber, 1970).

Cependant, un ensemble de travaux sur la mémoire visuelle à court terme tend à remettre en question cette conception de la perception. Cette ligne de recherche, entamée dans les années 70, montre que les capacités de la mémoire visuelle à court terme sont limitées : seule une petite partie des informations présentes dans la scène visuelle est stockée et utilisable dans des tâches de restitution ou de comparaison (Sperling, 1960 ; Phillips, 1974 ; Coltheart, 1980, 1983 ; Haber, 1983 ; Pashler, 1995). Un ensemble de travaux suggère en complément que ces informations seraient stockées sous forme abstraite, selon un code non visuel (pour une revue, voir Irwin et Andrews, 1996).

Ceci remet en cause l'idée que notre perception d'une scène visuelle s'effectue par la médiation de l'intégration de tous les éléments de la scène dans un hypothétique « buffer visuel », ou modèle interne (Rayner et Pollatsek, 1983). Mais si nous ne stockons pas

l'intégralité des détails d'une scène visuelle, comment expliquer alors notre impression phénoménologique d'un monde visuel interne si riche ?

Une possibilité serait de considérer notre impression d'une présence visuelle riche comme une sorte d'illusion. Cette illusion s'expliquerait par l'existence d'un mécanisme spécial dans le système visuel, qui nous rend particulièrement sensibles aux signaux transitoires visuels (O'Regan, 1992 ; O'Regan et Noë, 2001). Ces signaux sont des changements abrupts de luminance ou de couleur qui accompagnent toute modification au sein du champ visuel. Ils sont immédiatement détectés et traités par des mécanismes de bas niveau du système visuel. Les signaux transitoires peuvent capter automatiquement l'attention du sujet et l'attirer sur le lieu du changement et ce, de manière exogène, c'est-à-dire indépendamment des buts ou intentions du sujet (Folk, Remington et Johnston, 1992 ; Yantis, 1993 ; Yantis et Egeth, 1999 ; Yantis et Jonides, 1990).

La cécité aux changements.

Un moyen de vérifier que les changements abrupts de luminance ont pour fonction d'attirer l'attention à l'emplacement du changement et d'en favoriser ainsi la détection a été d'utiliser, au cours d'expériences dites de « cécité aux changements », des protocoles qui permettent de noyer les signaux transitoires accompagnant le changement.

Une cécité aux changements a pu ainsi être induite lorsque le changement survient durant une saccade (Rayner et Pollatsek, 1983 ; Irwin, 1991 ; Henderson, 1997) ou un clignement de paupières (O'Regan, Deubel, Clark et Rensink, 2000), lorsqu'un écran blanc (« flicker ») est inséré entre l'image originale et l'image modifiée (Pashler, 1988 ; Simons, 1996 ; Rensink, O'Regan et Clark, 1997), lorsque des perturbations locales consistant en 6 petits rectangles ou ovales noirs et blancs (« mudsplashes ») sont dispersés à travers l'image au moment du changement sans pour autant recouvrir le lieu du changement (O'Regan, Rensink

et Clark, 1999), lors d'un changement de plan dans une séquence de film (Hochberg, 1986 ; Levin et Simons, 1997 ; Simons, 1996) ou encore lors d'une «interruption dans le monde réel» (Simons et Levin, 1998).

Ceci permet de déterminer que, lorsque les changements dans une scène visuelle ne peuvent plus capter automatiquement l'attention, les sujets ont beaucoup de difficultés à les détecter.

La cécité aux changements lents.

L'ensemble de ces études semble donc montrer une cécité aux changements lorsque ceux-ci surviennent entre deux vues successives de la même scène. Il est néanmoins possible de soulever une objection. Toutes ces études sur la cécité aux changements impliquent une interruption de la vision de la scène lors du changement. La cécité obtenue ne pourrait-elle pas être due à cette rupture dans la continuité de la vision de la scène ? L'interruption ne pourrait-elle pas engendrer un effacement ou une réinitialisation des informations contenues dans une représentation interne du monde visuel externe ? Pour évaluer cette possibilité, un nouveau protocole de recherches sur le sujet a été récemment mis en place : on y effectue un changement progressif dans un élément de la scène afin de produire une cécité sans aucune interruption de la vision de la scène.

Dans une étude exploratoire, Chabrier (1999) utilise sept images dessinées dans lesquelles il modifie très lentement un aspect de l'image. Le changement peut concerner les propriétés d'un objet, sa structure, sa couleur, sa dimension, son orientation ou bien l'objet lui-même. Précisons que le changement apparaît évident aux yeux du sujet si on lui présente successivement l'image originale et l'image finale. Les résultats montrent que le changement progressif est identifié entre 10% et 27% des cas. Ces expériences sont donc révélatrices d'une forte cécité aux changements progressifs dans les images dessinées. Simons, Franconeri

et Reimer (2000) confirment ces résultats avec des photographies de scènes naturelles : 61% des changements sont identifiés s'ils consistent en une apparition ou une disparition et 29 % des changements sont identifiés s'ils consistent en un changement de couleur. Ces résultats préliminaires semblent donc confirmer une cécité aux changements progressifs.

Facteurs déterminant la performance.

A travers l'ensemble des résultats de ces différents paradigmes, nous constatons que les observateurs parviennent difficilement à identifier un changement, même si ce dernier occupe une grande partie de l'image et que les observateurs savent qu'il va se produire. Ceci suggère qu'en l'absence d'une attention soutenue, les représentations mises en œuvre aux étapes précoces du traitement de l'information sont éphémères et insuffisantes pour identifier un changement (Rensink et al., 1997). Si l'attention est amenée sur le lieu du changement par un signal transitoire généré par une transformation dans l'image, le changement sera vu, sinon il demeurera inaperçu. En effet, en l'absence de signaux transitoires de mouvement, l'observateur n'a aucun indice provenant de mécanismes de bas niveau sur le changement. L'identification de ce changement, puisqu'elle ne peut plus être ascendante, va par conséquent requérir un examen sériel de l'image, élément par élément. Le temps moyen d'identification sera alors nécessairement long. L'identification plus rapide de tel ou tel élément résulterait de l'attraction de l'attention par des mécanismes de traitement de l'information descendants. Les différents facteurs favorisant la perception et la remémoration de certains aspects de l'image peuvent être des facteurs physiques, comme la saillance visuelle (taille, couleur, emplacement, contraste...), sémantiques (intérêt, cohérence...), contextuels ou encore liés aux préférences subjectives des sujets (O'Regan et al. 2000).

Parmi ces différents facteurs, les expériences proposées ici se focaliseront sur les facteurs sémantiques. L'objectif de ces expériences va être d'étudier quelle peut être

l'influence de deux facteurs sémantiques particuliers sur la perception. Nous reprendrons la variable appelée «**intérêt**», déjà explorée dans le paradigme des « Flickers » (Rensink et al., 1997), puis nous étudierons l'effet de la «**cohérence**», qui n'a pas été approfondi jusqu'ici dans le cadre de la cécité aux changements. Cette étude s'effectuera au moyen des techniques propres à la cécité aux changements progressifs, qui présente l'intérêt de n'impliquer aucune perturbation lors de la vision de la scène.

Le but de ces expériences est double : à la fois confirmer une cécité aux changements progressifs et déterminer si des facteurs sémantiques comme l'intérêt et la cohérence des éléments influent sur la détection des changements. Ceci a pour enjeu de mieux cerner la nature de nos représentations. En effet, des résultats confirmant une cécité aux changements progressifs et une différence véritable d'identification des changements en fonction de facteurs sémantiques cautionneront une théorie de la perception dépendante de l'attention. Si nous trouvons une telle différence, cela peut impliquer l'idée que toutes les informations présentes dans une scène visuelle ne sont pas encodées de manière équivalente et ne se présentent pas à nous de manière synchrone. Mais au contraire que nous ne percevons que le contenu des éléments sur lesquels se porte notre attention et ce, en fonction de leur intérêt et de leur cohérence.

Expérience 1 : le facteur intérêt.

Les expériences de cécité aux changements utilisant des « flickers », des clignements de paupières ou des « mudsplashes » ont établi qu'un changement concernant un élément «d'intérêt central» se détecte plus facilement qu'un changement concernant un élément «d'intérêt marginal» et ce, même si les deux éléments sont de saillance visuelle comparable. Rensink et al. (1997) définissent de manière opérationnelle la notion d'intérêt. L'intérêt d'un élément est déterminé lors d'une expérience indépendante et préalable. Il est demandé à

plusieurs observateurs de décrire brièvement chaque scène. Les éléments mentionnés par plus de la moitié des observateurs sont considérés comme étant d'intérêt central et ceux qui ne sont mentionnés par aucun sont considérés comme étant d'intérêt marginal.

L'expérience présentée ici a pour but de vérifier les résultats de Rensink et al. avec la technique des changements progressifs et concernant des éléments qui occupent une plus grande proportion de la surface de l'image. Pour pouvoir effectuer une comparaison entre des éléments de taille importante et équivalente, la définition d'intérêt central et d'intérêt marginal que nous avons utilisée diffère quelque peu de celle de Rensink et al. L'intérêt d'un élément a été déterminé lors d'une expérience préalable. Il a été demandé à cinq observateurs de décrire brièvement chaque scène. Un élément est considéré comme étant d'intérêt central si, lorsque les sujets décrivent l'image, ces derniers citent cet élément en premier. Un élément est considéré comme étant d'intérêt marginal si aucun sujet ne le cite en première position.

Méthode.

Matériel. Toutes les séquences de changements progressifs sont composées d'une image originale A et d'une image modifiée A'. L'image A' consiste en la modification d'un élément de l'image A. Les images sont présentées selon la séquence A, A', A : l'image A se transforme progressivement en l'image A' puis revient progressivement à l'image initiale. Afin d'éviter tout signal transitoire pouvant attirer l'œil, cette lente modification s'effectue sur plus d'une minute. Cette séquence aller-retour, que nous appellerons séquence ou animation, est présentée une seule fois. Nous avons choisi de réaliser uniquement des changements de couleur. Les modifications consistent donc en un changement de couleur qui peut concerner aussi bien une petite partie de l'image que sa totalité.

Afin de tester l'influence de la rapidité de la modification, les mêmes séries d'animations sont présentées à deux ensembles de sujets à deux vitesses différentes. Pour la

première moitié des sujets, la séquence AA'A a une durée de 400 s et pour la seconde moitié des sujets, la même séquence a une durée de 100 s.

Les changements dans les images ont été réalisés avec le logiciel Adobe Photoshop et animés avec le logiciel Macromedia Flash selon la technique de la transparence de calque. La transition visuelle s'opère donc comme un fondu. Les images, présentées sur un écran d'ordinateur, mesurent 20 cm sur 27 cm et ont une résolution de 72 pixels/pouce.

Procédure. Les sujets sont informés des types de changements possibles. Ils savent que ces derniers consistent en un changement de couleur et peuvent se produire dans n'importe quelle partie de l'image. Les sujets doivent localiser le changement aussi rapidement que possible. Ils doivent identifier l'élément qui a subi la modification et l'indiquer aussitôt. Ils ajustent la position de l'écran de la manière qu'ils considèrent la plus appropriée et se tiennent à la distance de l'écran qu'ils choisissent, en moyenne entre 30 et 60 cm. L'ordre de présentation des animations est aléatoire. Le temps entre le début de la présentation et l'identification de l'élément modifié est chronométré. Lors de chaque animation, tous les commentaires du sujet sont notés. Si, à la fin de la présentation, le sujet n'a pas découvert le changement, la succession de l'image originale et de l'image modifiée lui est montrée.

Participants. 24 sujets issus de milieux divers et âgés de 18 à 55 ans passent les deux séries d'expériences. 12 sujets passent les ensembles d'expériences de la série lente, et 12 autres sujets passent la même série d'expériences mais de la série rapide.

Images. Le matériel de l'expérience est constitué de 12 animations, divisées en 6 paires d'animations. Chaque paire d'animation est divisée en deux sous-ensembles. Dans le premier de ces sous ensembles, un élément apparaît comme étant d'intérêt central ; dans le second de

ces sous-ensembles, le même élément apparaît comme étant d'intérêt marginal. Pour ce faire, la seconde animation est simplement constituée de la première animation sur laquelle on a ajouté un ou plusieurs éléments qui constituent des centres d'intérêt plus fort (voir annexe 1). L'élément considéré est ainsi, autant que possible, physiquement identique dans chaque paire. Par conséquent, on ne pourra objecter que les performances du sujet sont influencées par des facteurs visuels de bas niveaux comme la taille ou l'emplacement (central ou excentré) de l'élément qui subit la modification (Hollingworth et Henderson, 2000).

Les images sont présentées aux sujets de telle manière que chaque sujet voie une seule image de chaque paire, mais de telle sorte que toutes les images aient été vues, dans toutes les conditions, une fois que tous les sujets ont passé le test.

Résultats et discussion

Si le sujet n'a pas identifié le changement à la fin de la présentation, ce dernier se voit attribuer comme temps la durée totale de la présentation, à savoir 100 s pour la version rapide et 400 s pour la version lente.

La figure 1 présente les moyennes globales de la proportion du temps total pris pour identifier le changement à travers l'ensemble des sujets et des images.

Pour rendre compatibles les temps d'identification pour les deux conditions de vitesse, nous avons renormalisé les temps de la manière suivante : les temps pour la condition de présentation rapide ont été divisés par 100 et les temps pour la condition de présentation lente ont été divisés par 400.

L'influence du facteur intérêt est présente pour les deux conditions de vitesse et pour la majorité des images, comme le confirme la figure 2. L'effet du facteur intérêt est significatif dans l'analyse de variance par sujet [$F(1,22) = 12.94$, $p = 0.002$] et est marginalement significatif dans l'analyse de variance par images [$F(1,4) = 7.47$, $p = 0.052$].

Le facteur vitesse semble ne pas avoir d'influence sur l'effet du facteur intérêt. Ce fait peut signifier que la vitesse rapide ne laisse subsister aucun signal transitoire et qu'au-delà de cette limite, la durée de l'animation n'a pas d'influence sur les autres facteurs.

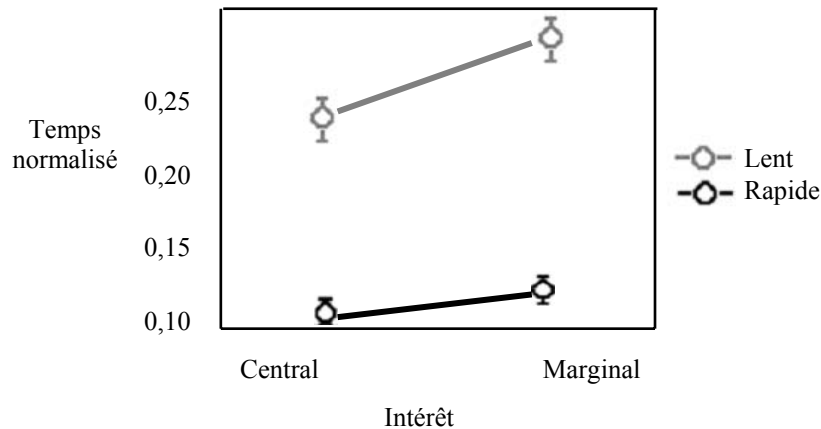


Fig 1- Temps moyen, exprimé comme proportion de la longueur de la séquence, pris par les sujets avant d'identifier le changement selon son intérêt, dans la condition de présentation lente (en bleu) et dans la condition de présentation rapide (en rouge).

La normalisation a consisté en la division du résultat par le temps total de la présentation, c'est-à-dire 400 s pour la condition de présentation lente et 100 s pour la condition de présentation rapide.

Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets et des images.

Les barres d'erreur indiquent un écart type au dessus et en dessous de la moyenne.

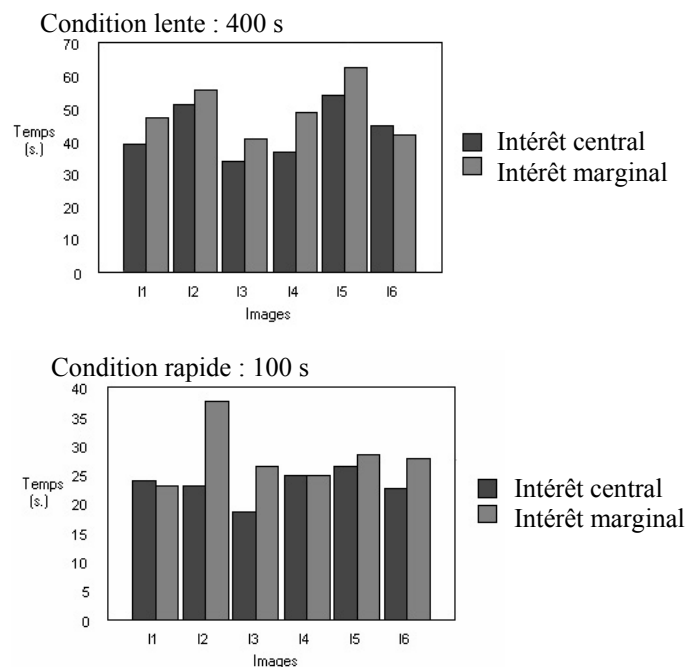


Fig 2. Temps moyen pris par les sujets avant de détecter le changement, selon son intérêt, en fonction des images, dans la condition de présentation lente et dans la condition de présentation rapide, pour les éléments d'intérêt central (en bleu) et pour les éléments d'intérêt marginal (en rouge). Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets.

Dans le cadre d'un changement progressif, un changement survenant dans un aspect d'intérêt central de la scène est donc identifié plus rapidement que s'il survient dans un aspect d'intérêt marginal et ce, même si les deux éléments sont de saillance visuelle identique et importante. Ce résultat est en conformité avec ceux obtenus par les paradigmes des « flickers » et des « mudsplashes ».

Expérience 2 : le facteur cohérence.

Il est établi que le contexte, nos connaissances et nos attentes ont une influence sémantique sur la perception des objets dans une scène du monde réel. La cohérence fait partie des facteurs sémantiques influant sur la perception. Comme définition opérationnelle du concept de cohérence, nous pourrions dire qu'un objet est en cohérence avec son contexte lorsqu'il est habituel ou fréquent pour le contexte considéré, c'est à dire qu'il est enclin à apparaître dans ce contexte. Un objet incohérent avec son contexte, à l'inverse, sera un objet inhabituel pour le contexte considéré, soit parce qu'il est peu enclin à apparaître habituellement dans la scène (Hollingworth et Anderson, 2000, placent par exemple une bouche d'incendie au milieu d'un salon), soit parce que l'objet considéré est peu habituel en soi (par exemple, une rose bleue). La question de l'influence de la cohérence d'un objet sur les performances du sujet se pose dans les termes suivants : est-ce qu'un objet inhabituel dans une scène naturelle fera l'effet d'un « pop-out » en attirant immédiatement l'attention du spectateur (Christie et Klein, 1995 ; Hollingworth et Henderson, 2000) ou, à l'inverse, est-ce que nous sommes davantage sensibles à la cohérence entre les traits d'un objet et son contexte ? Selon cette dernière hypothèse, une scène visuelle est rapidement associée à une catégorie sémantique et les prédictions découlant de cette catégorie permettent d'identifier l'objet par la suite (Friedman, 1979 ; Antes et Peland, 1981 ; Biederman, Mezzanotte, Rabinowitz, Francolini et Plude, 1981). Deux thèses différentes sont donc possibles : d'un

côté une facilitation de la perception amenée par un schéma des objets compatibles avec le contexte et de l'autre un pop-out perceptuel des objets incompatibles avec la scène.

Il semble cependant que ces deux approches ne soient pas mutuellement exclusives mais que leur pertinence dépende de la tâche à accomplir par le sujet. L'influence de la cohérence d'un objet peut varier selon qu'il s'agit de détection d'un objet, d'attention portée à l'objet, d'identification et de catégorisation de l'objet ou de reconnaissance mémorielle de l'objet. Friedman (1979) distingue le processus de détection de traits du processus d'analyse de traits. Le processus de détection de traits est facilité pour les objets en cohérence avec la scène par l'activation du cadre de traitement spécifique à la scène. En revanche, le processus d'analyse de traits, parce qu'il inclut un processus qui distingue la scène présentée des autres scènes, opère selon un schéma d'items incohérents. Ceci a pour conséquence que l'apparence physique des objets compatibles avec la scène est encodée plus en détail que l'apparence physique des objets incompatibles avec la scène. Cette distinction peut expliquer que, lors d'une tâche de reconnaissance mémorielle, les performances sont meilleures pour les objets incompatibles avec la scène alors que la perception et la compréhension d'une scène, à un niveau pré-attentionnel tout du moins, est largement guidée par un schéma lié à la familiarité relative des éléments composant habituellement la scène.

L'expérience proposée explore la nature de l'interface entre les connaissances et l'attention dans le cadre restreint de la cécité aux changements lents. La scène de départ ne comportant pas d'objets incohérents mais seulement susceptibles de le devenir, la question ne se pose pas de savoir quelle est l'influence de la cohérence sur l'encodage des éléments mais de déterminer si le processus attentionnel est influencé par ce facteur.

Méthode

L'appareillage, la procédure et les participants sont identiques à l'expérience précédente.

Images. Cette expérience est constituée de 12 animations, divisées en 6 paires d'animations. Dans une même image de départ, un élément a été modifié de deux manières différentes. L'une des modifications donne lieu à une couleur habituelle pour l'objet en question ; l'autre est considérée comme donnant lieu à une couleur inhabituelle, par exemple des yeux rouges (voir annexe 2). Afin de ne pas nous exposer à d'éventuelles objections, à savoir que l'identification plus rapide des objets qui ne sont pas en cohérence avec leur contexte n'est jamais attribuable qu'à une saillance visuelle plus importante de ces objets (Henderson et Holingworth, 1998), nous avons tenté de faire en sorte que la saillance visuelle des objets cohérents et incohérents soient comparables ⁽¹⁾.

Les animations sont présentées aux sujets de telle manière que chaque sujet voie une seule animation de chaque paire, mais de telle sorte que toutes les animations aient été vues, dans toutes les conditions, une fois que tous les sujets ont passé le test.

Résultats et discussion.

De même que pour l'expérience précédente, si le sujet n'a pas identifié la modification à la fin de la présentation, ce dernier se voit attribuer comme temps la durée totale de la présentation à savoir, 100 s pour la version rapide et 400 s pour la version lente.

La figure 3 présente les moyennes globales de la proportion du temps total pris pour identifier le changement à travers l'ensemble des sujets et des images.

Comme pour la première expérience, pour rendre compatibles les temps d'identification pour les deux conditions de vitesse, nous avons renormalisé les temps de la manière suivante : les temps pour la condition de présentation rapide ont été divisés par 100 et les temps pour la condition de présentation lente ont été divisés par 400.

⁽¹⁾ Ceci a été fait de façon approximative, le logiciel Adobe Photoshop ne permettant pas de quantifier précisément la saillance des objets.

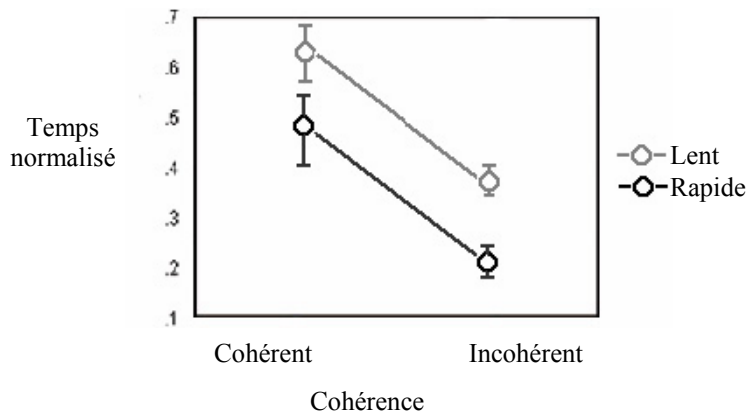


Fig 3- Temps moyen, exprimé comme proportion de la longueur de la séquence, pris par les sujets avant d'identifier le changement selon sa cohérence, dans la condition de présentation lente (en bleu) et dans la condition de présentation rapide (en rouge).

La normalisation a consisté en la division du résultat par le temps total de la présentation, c'est-à-dire 400 s pour la condition de présentation lente et 100 s pour la condition de présentation rapide.

Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets et des images.

Les barres d'erreur indiquent un écart type au dessus et en dessous de la moyenne.

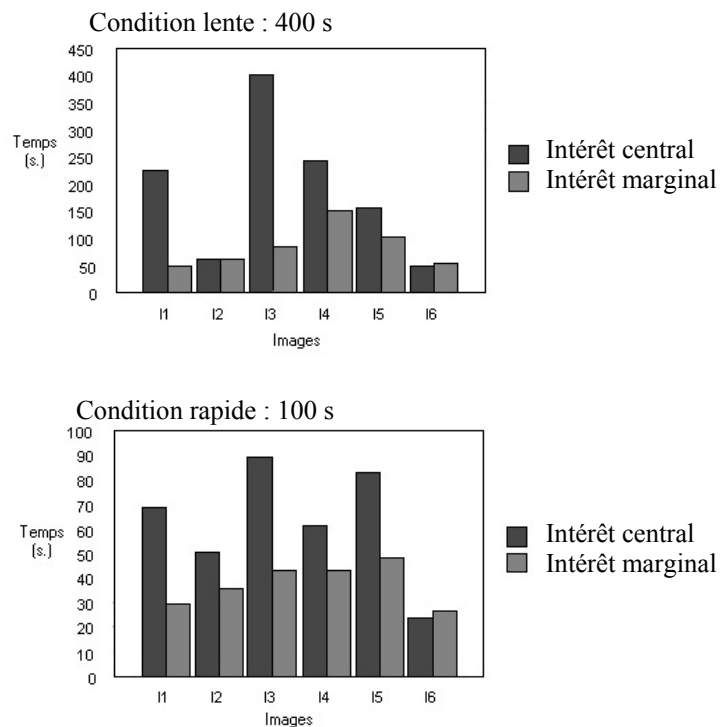


Fig 4. Temps moyen pris par les sujets avant de détecter le changement, selon sa cohérence, en fonction des images, dans la condition de présentation lente et dans la condition de présentation rapide, pour les éléments cohérents (en bleu) et pour les éléments Incohérents (en rouge). Les moyennes sont prises sur l'ensemble des sujets.

La détection d'un changement en cohérence avec l'ensemble de la scène est moins rapide que celle d'un changement qui ne l'est pas. Cette influence du facteur de cohérence est présente pour les deux conditions de vitesse et pour la majorité des images. La figure 4 le confirme. L'effet du facteur cohérence est significatif dans l'analyse de variance par sujets [$F(1,11) = 35.80, p < 0.0001$] et par images [$F(1,5) = 7.26, p = 0.043$].

Comme pour l'expérience précédente, le facteur vitesse semble ne pas avoir d'influence sur l'effet du facteur intérêt.

Les résultats montrent qu'un changement incohérent se voit plus rapidement qu'un changement cohérent. Le rapport verbal des sujets au cours de l'expérience permet d'appuyer ce résultat. Un nombre important de sujets a fait remarquer que dans le cas d'un changement non cohérent, ils ont été d'abord attirés sur le lieu du changement par l'incongruité de l'objet modifié. Puis, ils se sont dits que ce devait être cet objet qui a subi une modification sinon ils en auraient remarqué la couleur dès le départ. Et c'est dans un dernier temps seulement qu'ils essaient de se remémorer la couleur de départ. Il est intéressant de noter que dans les deux cas, les sujets parviennent difficilement à se souvenir de la couleur exacte de l'objet au début de la présentation. Ainsi, dans le cadre de l'identification d'un changement lent, le sujet remarque plus facilement un changement incohérent parce que l'objet ressort et capte son attention.

Ces résultats semblent contredire l'hypothèse du schéma selon laquelle la détermination de la catégorie d'une scène active un schéma qui fournit des informations descendantes pour faciliter l'identification des objets individuels de cette scène. Selon cette théorie, la connaissance des objets présents habituellement dans une scène donnée facilite la perception des objets en cohérence avec la scène. Mais cette catégorisation de la scène a lieu très tôt dans le traitement d'une nouvelle scène (Henderson, 1992) et la facilitation de l'identification des objets cohérents peut se restreindre à cette étape précoce d'identification de l'objet. Dans le

cadre de l'expérience effectuée, le changement d'un élément vers un élément cohérent ou incohérent avec la scène intervient une fois l'étape d'identification de l'objet achevée. Le but de notre expérience n'était donc pas de déceler dans quelle mesure l'encodage des éléments est influencé par leur cohérence au sein de la scène mais de déterminer si, une fois que les objets constitutifs de la scène sont identifiés, les processus attentionnels sont influencés par ce facteur sémantique. Les résultats confirment «l'hypothèse de l'attention» proposée par Henderson et Hollingworth et (1998) selon laquelle, une fois que l'objet a été identifié, l'attention se focalise préférentiellement sur les objets qui transgressent les contraintes imposées par le sens de la scène.

Discussion générale

Les résultats de ces deux expériences permettent à la fois de confirmer une cécité aux changements progressifs sur un échantillon important d'images et de sujets et de montrer l'influence des facteurs sémantiques sur l'identification des changements. La première expérience montre qu'un changement concernant un élément d'intérêt central est identifié plus rapidement qu'un changement concernant un élément d'intérêt marginal. Elle permet ainsi de confirmer que le résultat obtenu avec par exemple la technique des « flickers » (Rensink et al., 1997) et des « mudsplashes » (O'Regan, et al., 1999), se retrouve avec les changements progressifs. La seconde expérience montre qu'un changement donnant lieu à un élément incohérent est identifié plus rapidement qu'un changement donnant lieu à un élément cohérent. L'ensemble de ces résultats indique que deux facteurs sémantiques particuliers : l'intérêt des éléments et leur cohérence au sein de la scène, ont une influence sur l'identification des changements.

Les explications habituellement données sur la cécité aux changements impliquent des considérations sur la nature de nos représentations. Nous allons tenter de montrer quel peut être l'apport des résultats obtenus sur ces explications.

Le premier apport de ces expériences est de confirmer une cécité aux changements progressifs, ce qui permettra d'envisager les conséquences d'une telle cécité sans donner prise aux objections portées aux techniques de la cécité aux changements impliquant une interruption de la continuité de la vision de la scène. L'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements permettra d'appuyer la position théorique défendue.

Parmi les études menées sur la cécité aux changements, le phénomène de cécité obtenu est expliqué majoritairement par trois positions théoriques différentes. Dans ces explications, l'idée d'une représentation mentale de nature analogique, c'est à dire identique au percept, est remise en cause, soit en en faisant une entité incapable d'expliquer l'intégralité de notre expérience visuelle, soit en l'affaiblissant, soit en l'éliminant complètement.

Une représentation de nature analogique.

On conserve l'idée d'une représentation analogique ou iconique, mais insuffisante à l'explication du caractère continu et détaillé de notre expérience visuelle. Cette insuffisance peut avoir quatre origines possibles. Toute détection d'un changement semble être inférée à partir de tests de comparaison entre deux représentations d'un même objet. Il ne peut y avoir comparaison si l'un des termes ou les deux manquent. Suivant la classification de Simons (2000), on peut ainsi envisager que :

- Soit la première image manque : on considère que le stimulus qui précède le changement est simplement remplacé par le stimulus suivant.

- Soit la seconde image manque, auquel cas seuls les traits de l'objet initial ont été encodés et on échoue à encoder les traits de la scène modifiée.
- Soit les deux images sont retenues mais recombinaées, le produit du rapprochement n'est alors nullement la détection d'un changement mais seulement la création d'une nouvelle représentation qui combine différents traits de chacune des deux images originaires distinctes.
- Soit les deux images sont retenues mais maintenues séparées : une représentation de chaque vue est effectuée mais elles sont maintenues séparées de telle sorte que l'observateur ne peut avoir conscience de leurs différences.

Qu'il s'agisse de l'une ou l'autre de ces quatre alternatives, une explication de la cécité aux changements en termes de représentation analogique stricte, c'est-à-dire contenant l'intégralité des éléments de la scène perçue, pose problème lorsqu'il s'agit de rendre compte de l'influence des facteurs sémantiques sur la détection des changements. Si nous concevons la perception comme accès immédiat à l'intégralité des éléments extérieurs, comme si nous photographions la scène se présentant sous nos yeux, il devient difficile d'expliquer pourquoi nous percevons certains détails mieux que d'autres. Autrement dit, si les éléments sont encodés de manière équivalente et synchrone dans une représentation interne, comment se fait-il que nous ne détectons pas de manière équivalente des modifications physiquement comparables ? Pourquoi voyons nous plus facilement une rose blanche devenir bleue qu'une rose blanche devenir rouge ? Ou encore pourquoi ne voyons nous plus la même voiture changer de couleur alors que nous ajoutons simplement un nouvel élément dans l'image ? Cette explication de la cécité aux changements est donc problématique lorsque l'on introduit la question de l'influence des facteurs sémantiques. En effet, si pour l'une des quatre raisons décrites ci-dessus, la comparaison entre deux images, une image originale et une image modifiée, est impossible, il devient difficile d'expliquer comment l'identification d'un

changement est alors possible lorsque le changement concerne un élément d'intérêt central ou donne lieu à un élément incohérent. De même, comment expliquer qu'une identification de changements reste possible, même si c'est dans de moindres proportions, concernant des éléments cohérents ou d'intérêt marginal⁽²⁾.

Une représentation interne limitée.

On prend acte du fait que nos représentations internes sont volatiles et beaucoup moins détaillées qu'on peut le penser. Dans cette «théorie de la cohérence» (Rensink, 2000) le cerveau construit en un premier temps un arrangement sommaire et temporaire de la scène visuelle. Le rôle de l'attention sera de guider la construction d'un percept en sélectionnant un certain nombre de caractéristiques pertinentes et de stabiliser cette représentation afin qu'elle puisse former un objet individuel continu à travers l'espace et le temps. L'attention ne peut se focaliser que sur un petit nombre d'items à la fois (Pashler, 1988 ; Pylyshyn et Storm, 1988) et donc, à chaque instant, seuls un petit nombre d'items dans la scène auront une représentation stable. Ainsi nous ne formons pas une représentation complète et détaillée de l'ensemble des objets qui nous environnent mais, à chaque instant, nous ne formons de représentation détaillée seulement de l'objet de nos préoccupations immédiates et par conséquent, ne pouvons détecter de changement que concernant cet objet.

Cette théorie de la cohérence est assez proche de celle proposée par Kahneman, Treisman et Gibbs (1992). Selon ces auteurs, lorsque l'attention se focalise sur un objet, les différentes caractéristiques de cet objet constituent un « fichier objet » (object file), dans

⁽²⁾ En plus de ces quatre hypothèses, il serait possible d'envisager que l'information est préservée de manière détaillée mais que nous manquons d'accès conscient à la représentation ou au changement lui-même. Ceci empêche un report conscient du changement. Des travaux suggèrent ainsi l'existence d'une représentation implicite préservée sans conscience visuelle (Schacter, 1987), voir par exemple les travaux récents sur le « clignement attentionnel » (attentional blink) (Shapiro et al., 1997). Mais nous nous intéressons dans le cadre de cet article uniquement aux informations préservées consciemment et il faudrait, dans le cadre de cette dernière théorie, rendre compte de pourquoi nous avons un accès conscient dans certains cas (éléments d'intérêt central) et non dans d'autres (éléments d'intérêt marginal).

lequel, les différentes propriétés ou structures spatio-temporelles sont liées ensemble pour former, durant un instant, un objet unifié. A la différence de la théorie de la cohérence, ces « fichiers objet » peuvent contenir des informations sur des propriétés non-visuelles des objets et plusieurs « fichiers objet » peuvent se maintenir à la fois.

Elimination de l'idée d'image interne.

On fait passer au tranchant rasoir d'Occam l'idée même d'image interne en posant que la vision peut s'expliquer sans en passer par ces stimuli intermédiaires. Selon cette approche, le monde visible est une «mémoire externe» (O'Regan, 1992), mémoire puisque réserve d'objets subsistants et disponibles, à laquelle il est possible d'accéder instantanément et au moment voulu, via un mouvement des yeux. Il n'est ainsi nul besoin de reconstruire intérieurement le monde extérieur, il est déjà continuellement disponible à l'extérieur.

Dans une telle perspective, il est nécessaire d'expliquer comment nous avons accès à la scène visuelle externe. Si la perception n'est pas la constitution d'une réplique terme à terme de la chose, qu'est-elle alors ? Si nous n'encodons pas l'intégralité des détails d'une scène, qu'encodons-nous alors ?

Nous n'encodons, c'est-à-dire ne voyons, que les traits principaux d'une scène : sa substance sémantique. Par substance sémantique, nous voulons dire que nous ne formons que des représentations digitales ou propositionnelles de la scène visuelle. Et il n'est en aucun cas utile de postuler l'existence de représentation de nature analogique. La substance sémantique de la scène, son sens se délivre, ne serait-ce qu'approximativement, dès la première fixation. Aux fixations suivantes, pour peu que la substance soit semblable, nous ferons comme si les détails étaient les mêmes. Simons et Levin (1997) proposent l'exemple d'une rue très animée. Dans une telle situation, beaucoup de changements peuvent avoir lieu durant une saccade ou entre deux regards successifs. Un traitement visuel trop précis, traquant le moindre détail, se

retrouverait devoir faire face à une grande confusion. Au contraire, le fait que notre système visuel intègre seulement l'essentiel d'une scène d'une vue sur l'autre donne «l'impression d'une stabilité plutôt que d'un chaos». Autrement dit, c'est parce que notre système visuel n'intègre que l'essentiel de ce que nous regardons que le monde visuel nous paraît stable.

Les deux dernières théories présentées permettent à la fois de rendre compte de la cécité aux changements et de rendre compte de la différence d'identification des changements en fonction de facteurs sémantiques. Cette différence peut vouloir dire que toutes les informations présentes dans une scène visuelle ne sont pas encodées de manière équivalente et ne se présentent pas à nous de manière synchrone. Le système visuel ne forme pas de représentation interne persistante et détaillée du monde visuel externe, représentation qui constituerait ce qui est perçu. Nous ne percevons dans la scène que les éléments sur lesquels nous portons notre attention. Par conséquent, dans les conditions expérimentales empêchant une capture automatique de l'attention par l'apparition de signaux transitoires accompagnant les changements, nous ne percevons que les changements concernant les éléments sur lesquels s'était portée notre attention. Différents facteurs : physiques, contextuels ou sémantiques favorisent la perception et la remémoration de certains aspects de l'image.

Une autre question se pose à présent : si nos représentations ne sont pas complètes et détaillées, pourquoi avons-nous néanmoins la forte impression que c'est ce genre de représentation qui sous-tend notre expérience visuelle ? En d'autres termes, si notre vision du monde est une vision parcellaire de seulement un certain nombre de détails des scènes, comment se fait-il que nous ayons l'impression subjective de la richesse, de la précision et de la continuité du monde ?

Nous suggérons que si notre expérience visuelle est celle d'un percept détaillé du monde visuel, c'est à la fois parce que, dans des conditions normales de perception, notre sensibilité aux changements abrupts de luminance nous donne l'impression de pouvoir voir tous les changements qui se produisent dans la scène visuelle et donc d'être visuellement conscient à chaque instant de l'intégralité des informations présentes dans cette scène ; et parce que nous avons continuellement accès à l'intégralité des données qui nous sont offertes à l'extérieur. Ainsi notre impression d'un monde détaillé et cohérent est basée sur les propriétés du monde visuel externe et non sur les propriétés de représentations supposées qui sous-tendent notre expérience visuelle.

Bibliographie

- ANTES J.R., PELAND J.G. - (1981) Picture context effects on eye movement patterns, in D.F. FISHER, R.A. MONTY et J.W. SENDERS (Edit.) Eye movements : Cognition and visual perception, Hillsdale (NJ), Lawrence Erlbaum Associate, 157-170.
- BIEDERMAN I., MEZZANOTTE R.J., RABINOWITZ J.C., FRANCOLINI C.M., PLUDE D. - (1981) Detecting the unexpected in photointerpretation, Human Factor, 23, 153-154.
- CHABRIER R. - (1999) La cécité aux changements progressifs dans les scènes complexes (rapport polycopié), Diplôme d'études approfondies de sciences cognitives, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.
- CHRISTIE J., KLEIN R. - (1995) Familiarity and attention : Does what we know affect what we notice ? Memory and Cognition, 23, 547-550.
- COLTHEART M. - (1980) Iconic memory and visible persistence, Perception and Psychophysics, 27, 183-228.
- COLTHEART M. - (1983) Iconic memory, Philosophical Transactions of the Royal Society, London, B 302, 283-294.
- FOLK C.L., REMINGTON R.W., JOHNSTON C.J. - (1992) Involuntary covert orienting is contingent on attentional control setting, Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 18 (4), 1030-1040.
- FRIEDMAN A. - (1979) Framing pictures : The role of knowledge in automatized encoding and memory for gist, Journal of Experimental Psychology : General, 108, 316-355.
- HABER R.N. - (1983) The impending demise of the icon: A critique of the concept of iconic storage in visual information processing, Behavioural and Brain Sciences, 6, 1-54.
- HENDERSON J.M. - (1992) Object identification in context : the visual processing of natural scenes, Canadian Journal of Psychology, 4 (special issue), 319-341.
- HENDERSON J.M. - (1997) Transsaccadic memory and integration during real-world object perception, Psychological Science, 8 (1), 51-55.
- HENDERSON J.M., HOLLINGWORTH A. - (1998) Eye movements during scene viewing: An overview, in G. UNDERWOOD (Edit.), Eye guidance in reading and scene perception, Oxford, UK, Elsevier, 269-283.
- HOCHBERG J. - (1986) Representation of motion and space in video and cinematic displays, in K. R. BOFF, L. KAUFMAN et J. P. THOMAS (Edit.) Handbook of perception and human performances : Vol.1 : Sensory processes and perception, London, John Wiley & Sons, 22.1-22.64.
- HOLLINGWORTH A., HENDERSON J.M. - (2000) Semantic informativeness mediates the detection of changes in natural scenes, Visual Cognition, 7 (1/2/3/), 213-235.
- IRWIN D.E. - (1991) Information integration across saccadic eye movements, Cognitive Psychology, 23, 420-456.

- IRWIN D.E., ANDREWS R.V. - (1996) Integration and accumulation of information across saccadic eye movements, in T. INUI et J.L. MCCLELLAND (Edit.), Attention and performance XVI : Information integration in perception and communication, Cambridge, MA, USA, MIT Press, 125-155.
- KAHNEMAN D., TREISMAN A., GIBBS B. - (1992) The reviewing of object files : Object-specific integration of information, Cognitive Psychology, 24, 175-219.
- LEVIN D.T., SIMONS D.J. - (1997) Failure to detect changes to attended objects in motion pictures, Psychonomic Bulletin and Review, 4 (4), 501-506.
- MARR D. - (1982) Vision : A computational investigation into the human representation and processing of visual information, San Francisco, W.H. Freeman.
- O'REGAN J.K. - (1992) Solving the « real » mysteries of visual perception : The world as an outside memory, Canadian Journal of Psychology, 46 : 3, 461-488.
- O'REGAN J.K., DEUBEL H., CLARK J.J., RENSINK R.A. - (2000) Picture changes during blinks : Looking without seeing and seeing without looking, Visual Cognition, 7 (1/2/3/), 191-211.
- O'REGAN J.K., NOË A. - (2001) A sensorimotor account of vision and visual consciousness, Behavioral and Brain Sciences, 24 (5).
- O'REGAN J.K., RENSINK R.A., CLARK J.J. - (1999) Change blindness as a result of « mudsplashes », Nature, 398, p. 34.
- PASHLER H. - (1995) Attention and visual perception : Analysing divided attention, in S.M. KOSSLYN et D.N. OSHERSON (edit.), Visual cognition, an invitation to cognitive science, Vol. 2, Cambridge, Mass, MIT press, 71-100.
- PASHLER H. - (1988) Familiarity and visual change detection, Perception and Psychophysics, 44 (4), 369-378.
- PHILLIPS W.A. - (1974) On the distinction between sensory storage and short-term visual memory, Perception and Psychophysics, 16, 283-290.
- PYLYSHYN Z.W., STORM R.W. - (1988) tracking multiple independent targets : Evidence for a parallel tracking mechanism, Spatial Vision, 3, 179-197.
- RAYNER K., POLLATSEK A. - (1983) Is visual information integrated across saccades ? Perception and Psychophysics, 34 (1), 39-48.
- RENSINK R.A. - (2000) The dynamic representation of scenes, Visual Cognition, 7 (1/2/3/), 191-211.
- RENSINK R.A., O'REGAN J.K., CLARK J.J. - (1997) To see or not to see : The need for attention to perceive changes in scenes, Psychological Science, 8, 368-373.
- SCHACTER D.L. - (1987) Implicit memory : History and current status, Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition, 118, 501-518.
- SHAPIRO K.L., ARNELL K.A., RAYMOND J.E. - (1997) The attentional blink : A view on attention and a glimpse on consciousness, Trends in Cognitive Sciences, 1, 291-296.
- SHEPARD R.N. - (1967) Recognition memory for words, sentences and pictures, Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 6, 156-163.
- SIMONS D.J. - (1996) In sight, out of mind : When object representation fail, Psychological Science, 7 (5), 301-305.
- SIMONS D.J. - (2000) Current approaches to change blindness, Visual Cognition, 7 (1/2/3/), 1-15.
- SIMONS D.J., FRANCONERI S.L., REIMER R.L. - (2000) Change blindness in the absence of a visual disruption, Perception, 29 (10), 1143-1154.
- SIMONS D.J., LEVIN D.T. - (1997) Change Blindness, Trends in Cognitive Sciences, 1 (7), 261-267.
- SIMONS D.J., LEVIN D.T. - (1998) Failure to detect changes to people in a real-world interaction, Psychonomic Bulletin and Review, 5 (4), 644-649.
- SPERLING G. - (1960) The information available in brief visual presentations, Psychological Monographs: General and Applied, 74 (11), 1-29.
- STANDING L. - (1973) Learning 10,000 pictures, Quarterly Journal of Experimental Psychology, 25, 207-222.
- STANDING L., CONEZIO J., HABER R.N. - (1970) Perception and memory for pictures : Single-trial learning of 2500 visual stimuli, Psychonomic Science, 19 (2), 73-74.
- YANTIS S. - (1993) Stimulus-driven attentional capture and attentional control setting, Journal of Experimental Psychology : Human perception and Performance, 19 (3), 676-681.
- YANTIS S., EGETH H.E. - (1999) On the distinction between visual salience and stimulus- driven attentional capture, Journal of Experimental Psychology : Human perception and Performance, 25 (3), 661-676.
- YANTIS S., JONIDES J. - (1990) Abrupt visual onsets and selective attention : Voluntary versus automatic allocation, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16 (1), 121-134.

Annexe 1. Expérience 1 : détail des images.

		Scène	Changement
Image 01	IC	Une banque, surmontée d'un panneau « change », en lettres bleues.	Les lettres deviennent rouges.
	IM	Même chose, avec beaucoup de monde et un vendeur de marrons devant la banque.	
Image 02	IC	Une pharmacie.	Les lettres et la croix de la pharmacie deviennent rouges
	IM	Même chose avec une jongleuse et des amoureux se chamaillant en premier plan.	
Image 03	IC	Une voiture bleue	Devient rouge
	IM	Une femme nous fait un signe de la main à côté de la voiture, et un bus passe derrière la voiture.	
Image 04	IC	Une boîte à lettre de la poste	Prend une couleur rouge.
	IM	Deux amoureux marchent en se tenant la main en premier plan.	
Image 05	IC	Dans un appartement, deux pommes vertes sont posées sur une table.	Les pommes deviennent rouges.
	IM	Une femme est assise sur le canapé derrière la table et téléphone.	
Image 06	IC	Deux bananes sont posées sur la même table.	Les bananes deviennent rouges.
	IM	Sur le canapé, un homme est en conversation téléphonique.	

(IC : intérêt central, IM : Intérêt marginal)

Annexe 2. Expérience 2 : détail des images.

	Scène	Changement	
Image 01	Un grand arbre devant la Seine, le ciel est chargé de grands nuages blancs.	C	Les nuages deviennent bleus.
		NC	Les nuages deviennent rouges
Image 02	Un garçon aux yeux noirs en gros plan.	C	Ses yeux deviennent bleus.
		NC	Ses yeux deviennent rouges.
Image 03	Sous une arcade, un guitariste joue devant une plante dans un pot marron.	C	Le pot de la plante devient gris foncé.
		NC	Il devient violet.
Image 04	Dans un appartement, un garçon lit un journal, sur la table est posée une rose blanche dans un vase.	C	La rose devient rouge
		NC	Elle devient bleue.
Image 05	Vue de haut, une route séparée par une ligne blanche.	C	La ligne devient jaune.
		NC	Elle devient bleue.
Image 06	Image de bande dessinée, un lapin traverse un ciel bien bleu.	C	Le ciel devient jaune.
	Une rangée de bâtiments, sous un ciel bleu	NC	Le ciel devient jaune.

(C : Cohérent, NC : non cohérent)

RESUME

Les expériences proposées étudient la capacité à identifier un changement survenant progressivement dans un élément d'une scène visuelle. Nous montrons que la capacité d'identification des changements s'accroît en fonction de l'« intérêt » de l'élément et en fonction de son degré d'« incohérence » au sein de la scène. Ces travaux suggèrent qu'une partie seulement des informations présentes dans une scène est préservée en mémoire.

La discussion porte sur les explications possibles de ces résultats et leurs implications quant à l'étude de la nature de nos représentations.

Mots clés : vision, cécité aux changements, facteurs sémantiques.

Questionnaires de l'expérience I

I- Apprentissage

- 1- Au premier abord, avez-vous trouvé facile de vous approprier le dispositif ?
- 2- En combien de temps pensez-vous avoir acquis les bases ?
- 3- Avez-vous des problèmes à accrocher la cible et à la centrer ?
- 4- Avez-vous des problèmes pour vous déplacer par rapport à la cible :
 - par des petits mouvements
 - par des grands mouvements
 - Avez-vous l'impression que vos mouvements sont saccadés ?
 - Est-il plus simple de se déplacer verticalement ou horizontalement ? Pourquoi ?
- 5- Au niveau de vos mouvements, adoptez-vous une stratégie particulière ?
- 6- Comment faites-vous pour retrouver l'objet lorsque vous l'avez perdu ?
- 7- Trouvez-vous cette tâche difficile ?
- 8- Trouvez-vous cette tâche plutôt intuitive ou déductive ?
- 9- Avez-vous conscience du dispositif, de l'appareillage ou parvenez-vous à l'oublier ?
- 10- A quelle modalité sensorielle compareriez-vous votre expérience ?
 - Avez-vous des analogies à proposer ?

II- Expériences I-1 et I-2

- 11- Avez-vous des problèmes pour vous déplacer par rapport à la cible :
 - par des petits mouvements
 - par des grands mouvements
 - Avez-vous l'impression que vos mouvements sont saccadés ?
 - Est-il plus simple de se déplacer verticalement ou horizontalement ? Pourquoi ?
- 12- Au niveau de vos mouvements, adoptez-vous une stratégie particulière ?
- 13- Comment faites-vous pour retrouver l'objet lorsque vous l'avez perdu ?
- 14- Trouvez-vous cette tâche difficile ?
- 15- Trouvez-vous cette tâche plutôt intuitive ou déductive ?
- 16- Avez-vous conscience du dispositif, de l'appareillage ou parvenez-vous à l'oublier ?
- 17- A quelle modalité sensorielle compareriez-vous votre expérience ?
 - Avez-vous des analogies à proposer ?

II- Expériences I-3 et I-4

18- Avez-vous des problèmes pour vous déplacer par rapport à la cible :

- par des petits mouvements
- par des grands mouvements
- Avez-vous l'impression que vos mouvements sont saccadés ?
- Est-il plus simple de se déplacer verticalement ou horizontalement ? Pourquoi ?

19- Au niveau de vos mouvements, adoptez-vous une stratégie particulière ?

20- Comment faites-vous pour retrouver l'objet lorsque vous l'avez perdu ?

21- Essayez de décrire les stratégies employées pour reconnaître les objets

22- Lorsque nous avons introduit une nouvelle série d'objets, cela vous a-t-il perturbé ?

- Cela a-t-il gêné la reconnaissance des objets rencontrés lors de la première phase ?
- Avez-vous modifié votre stratégie ?

23- La comparaison entre des objets proches est-elle difficile ?

- Comment pensez-vous parvenir à distinguer ces objets proches ?

24- Trouvez-vous cette tâche difficile ?

25- Trouvez-vous cette tâche plutôt intuitive ou déductive ?

26- Avez-vous conscience du dispositif, de l'appareillage ou parvenez-vous à l'oublier ?

27- A quelle modalité sensorielle compareriez-vous votre expérience ?

- Avez-vous des analogies à proposer ?

Matériel de l'expérience III

Scénarios utilisés par Epstein et al. (1986)

Sensors, located on my head and hand, record the locations of my head and hand and produce different stimulation intensity levels whenever those locations change.

An optical device, located on my head, detects the pattern of an object on the end of the metal lever and converts that image to a pattern of vibration.

A device, located on my head, emits a light beam. When the beam is interrupted by some objects the device produces stimulation otherwise it does not.

A camera, located in front of me, detects both hand and head movements and sends a signal to the device whenever movement is initiated.

The metal lever acts as a vibration intensity control and is activated by the position of my hand.

The experimenter is controlling the vibrations according to my hand and/or head movements.

The device itself is preprogrammed via a computer to produce vibrations randomly irrespective of body-part location or movement.

Scénarios de la condition sans matériel

1- Un objet lumineux est posé sur une table devant moi. Un dispositif optique situé sur la tête filme cet objet lumineux et convertit les images de cet objet en un ensemble de sons.

2- Des capteurs situés sur la tête enregistrent les mouvements de ma tête. Ces mouvements permettent de me déplacer en face d'un objet dans un univers virtuel. Les images de cet objet sont converties en un ensemble de sons.

3- Les mouvements de ma tête permettent de contrôler les sons d'une sorte d'instrument de musique.

4- Des capteurs situés sur la tête enregistrent les mouvements de ma tête. Les positions de ma tête sont directement converties en un ensemble de sons.

5- L'expérimentateur contrôle les changements de sons en fonction des mouvements de ma tête.

6- Un objet placé devant moi émet des sons sans lien avec mes mouvements. Ces sons sont transmis à mes oreilles.

7- Le dispositif est préprogrammé via un ordinateur afin de fournir des sons aléatoirement sans lien avec l'emplacement de mon corps ou mes mouvements.

Scénarios de la condition objet

1- Je tiens dans la main un objet lumineux que je manipule. Un dispositif optique situé sur la tête filme cet objet lumineux et convertit les images de cet objet en ensemble de sons.

2- Des capteurs situés sur la tête et sur un objet que je manipule enregistrent les mouvements de ma tête et de ma main. Ces mouvements permettent de déplacer un objet dans un univers virtuel. Les images de cet objet sont converties en un ensemble de sons.

3- Les mouvements de ma tête et de ma main permettent de contrôler les sons d'une sorte d'instrument de musique.

4- Des capteurs, situés sur la tête et sur un objet que je manipule, enregistrent les mouvements de ma tête et de ma main. Les positions de ma tête et de ma main sont directement converties en un ensemble de sons.

5- L'expérimentateur contrôle les changements de sons en fonction des mouvements de ma tête et de ma main.

6- Un objet placé devant moi émet des sons sans lien avec mes mouvements. Ces sons sont transmis à mes oreilles.

7- Le dispositif est préprogrammé via un ordinateur afin de fournir des sons aléatoirement sans lien avec l'emplacement de mon corps ou mes mouvements.

IMMERSION ET PERCEPTION SPATIALE

L'exemple des dispositifs de substitution sensorielle

Comme tout dispositif technique, les dispositifs de substitution sensorielle offrent à leurs utilisateurs des espaces d'action et de perception nouveaux. Ces systèmes de suppléance perceptive visent à assister ou à remplacer une ou plusieurs fonctions d'un organe sensoriel à l'aide d'un autre organe sensoriel et ce, par exemple, pour aider les non-voyants à se déplacer, à reconnaître et à localiser des objets.

L'objectif de cette thèse est d'étudier comment les utilisateurs s'approprient une prothèse perceptive et comment ils constituent ces nouveaux espaces d'action et de perception ouverts par l'outil. Lors d'une première expérience, nous explorons les différents moments de l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle visuo-auditif. Deux autres dispositifs de substitution sensorielle sont utilisés dans les deux expériences suivantes : elles détaillent comment l'utilisateur constitue espace et objet via l'outil. Les trois dernières expériences étudient le rôle des informations proprioceptives et extéroceptives sur l'appropriation d'un dispositif de substitution sensorielle minimaliste.

Ces expériences nous amènent à définir la perception permise par un dispositif de substitution sensorielle comme une appropriation active, dont nous déterminons les conditions. Nous généralisons ces résultats à l'appropriation d'outils et étudions leurs implications sur la question de l'immersion dans l'espace ouvert par les dispositifs techniques, immersion que nous définissons en cinq étapes.

Mots clés : substitution sensorielle, prothèse, outil, immersion, théorie sensorimotrice, espace, objectivité, perception, action, non-voyants, modalités sensorielles, technique

IMMERSION AND SPATIAL PERCEPTION

The example of sensory substitution devices

Sensory substitution devices, as all technical devices, offer to their users new spaces of action and of perception. These systems of perceptual supplementation aim at supporting or replacing one or several functions of one sensory organ via another sensory organ in order to, for example, help blind people to move, to recognise and to localise objects.

This thesis aims to study how users appropriate a perceptive prosthesis and how they constitute the new spaces of action and of perception provided by the tool. In a first experiment, we explore the different stages of appropriation of a visual-to-auditory sensory substitution device. Two other sensory substitution devices are used in the two following experiments. These experiments study how users constitute space and objects via a tool. The three last experiments study the role of proprioceptive and exteroceptive information on the appropriation of a minimalist sensory substitution device.

These experiments enable us to qualify the perception allowed by a sensory substitution device as an active appropriation, and to determine its conditions. We generalize the results to the appropriation of a tool, and we study their implications for the question of immersion in a space opened by a technical device. We describe this immersion as occurring in five stages.

Key words: sensory substitution, prosthesis, tool, immersion, sensorimotor theory, space, objecthood, blindness, sensory modality, technique

Discipline : Psychologie Cognitive
Laboratoire de Psychologie Expérimentale, CNRS UMR 8581
Université René Descartes Paris V
71, Avenue Edouard Vaillant
92774 Boulogne-Billancourt, France