

Social Science Information

<http://ssi.sagepub.com/>

Médiations techniques des interactions perceptives: rencontres tactiles dans les environnements numériques partagés

Charles Lenay

Social Science Information 2008 47: 331

DOI: 10.1177/0539018408092576

The online version of this article can be found at:

<http://ssi.sagepub.com/content/47/3/331>

Published by:



<http://www.sagepublications.com>

On behalf of:



[Maison des Sciences de l'Homme](#)

Additional services and information for *Social Science Information* can be found at:

Email Alerts: <http://ssi.sagepub.com/cgi/alerts>

Subscriptions: <http://ssi.sagepub.com/subscriptions>

Reprints: <http://www.sagepub.com/journalsReprints.nav>

Permissions: <http://www.sagepub.com/journalsPermissions.nav>

Citations: <http://ssi.sagepub.com/content/47/3/331.refs.html>

>> [Version of Record](#) - Sep 5, 2008

[What is This?](#)

Downloaded from ssi.sagepub.com at BUTC on February 24, 2012

Charles Lenay

Médiations techniques des interactions perceptives: rencontres tactiles dans les environnements numériques partagés

Résumé. Dans quelles conditions une médiation technique permet-elle à des sujets de se rencontrer et de se reconnaître? Dans les réseaux numériques, les espaces virtuels de travail collaboratif et de jeu donnent lieu à des interactions entre des utilisateurs distants. Mais dans quelle mesure ces interactions permettent-elles à chacun de reconnaître la présence d'autres sujets percevants? Pour étudier cette question nous utilisons des dispositifs de suppléance perceptive (systèmes de substitution sensorielle). En effet, ces prothèses perceptives représentent une situation extrême, bien révélatrice de la façon dont les technologies transforment nos capacités perceptives. Ici, elles permettent l'étude des conditions d'existence du croisement perceptif, c'est-à-dire d'une situation qui donne aux sujets la possibilité de se reconnaître mutuellement. Pour mener cette recherche nous proposons un paradigme expérimental minimaliste construit à l'aide du système 'Tactus'. Ce dispositif de suppléance perceptive a été développé pour donner une perception tactile des formes numériques présentes sur l'écran de l'ordinateur. La mise en réseau de dispositifs de ce type permet aussi des interactions tactiles entre des utilisateurs distants (on parle de caresses distales). La version minimale de ce dispositif permet une étude expérimentale et une analyse précise des interactions perceptives. Ces expériences nous conduisent à suggérer quelques conditions nécessaires pour la constitution de l'expérience vécue de croisements perceptifs: la présence pour chacun d'un corps-image perceptible par les autres utilisateurs; un lien direct entre l'activité perceptive et la dynamique de ce corps-image; et l'absence de perception par chacun du corps-image qu'il présente aux autres utilisateurs.

Mots-clés. Croisements perceptifs (Perceptual crossing) – Environnements virtuels collaboratifs – Interactions perceptives – Suppléance perceptive – Substitution sensorielle

Abstract. *In what conditions does a technical mediation allow subjects to meet and to recognize each other? In digital networks, virtual spaces of collaborative work and play give rise to interactions at a distance between users. But to what extent do these interactions allow each partner to recognize the living presence of other perceiving subjects? In order to study this question, we use perceptual supplementation devices (more commonly known as sensory substitution systems). These devices for prosthetic perception represent an extreme situation, which is highly revealing as to the way that technological devices transform our perceptual capacities. Here, they make it possible to identify the conditions for the existence of perceptual crossing, i.e. a situation which makes it possible for two subjects to recognize each other. To carry out this research, we propose a minimalist experimental paradigm, constructed with the aid of the 'Tactos' system. This perceptual supplementation device has been developed in order to give a tactile perception of digital forms present on the screen of a computer. When two such devices are connected in a network, they also allow tactile interactions between users at a distance (one can speak of distal caresses). The minimal version of this device gives scope for an experimental study and a precise analysis of the perceptual interactions. These experiments lead us to suggest several conditions which seem necessary for the constitution of a lived experience of perceptual crossing: the presence for each partner of a body-image perceivable by the other participants; a direct link between the perceptual activity and the dynamics of this body-image; and the impossibility for each partner to themselves perceive the body-image they present to the other participants.*

Key words. *Perceptual crossing – Collaborative virtual environments – Perceptual interactions – Perceptual supplementation – Sensory substitution*

Le mode central d'interaction perceptive correspond aux situations de croisement perceptif, c'est-à-dire quand deux sujets se perçoivent mutuellement. L'exemple par excellence est le croisement de regard, mais il y a aussi la caresse pour le sens tactile, ou, pour l'audition, les différentes formes de conversation, depuis la proto-conversation multimodale de la mère avec son nouveau né, jusqu'au chant choral où les voix se mêlent et s'entendent mutuellement. Ces situations, porteuses de puissantes valeurs émotionnelles empathiques semblent donner un accès immédiat à la conscience de la présence d'autrui. A travers les réseaux et les médiations techniques comme le téléphone, le visiophone, ou les jeux de réalité virtuelle immersive, peut-on encore accéder à ce type de croisement perceptif? Et si oui, à quelles conditions?

Nous allons proposer ici une étude expérimentale qui donnera quelques éléments pour répondre à ces questions qui sont particulièrement importantes pour comprendre les conditions de la réussite sociale des dispositifs techniques proposés. Nous travaillons à partir d'un dispositif original qui permet des interactions tactiles à distance via le réseau. Pour le concevoir nous sommes partis des systèmes de perception prothésisée dits de 'substitution

sensorielle'. L'intérêt de ces systèmes est de permettre de bien dégager la façon dont une interface technique transforme notre façon de percevoir les choses et les autres. De plus, ils permettent de mettre en place un paradigme expérimental minimaliste dans lequel les inputs sensoriels et les actions effectuées sont bien contrôlés. Nous construirons ainsi un croisement perceptif exemplaire qui tirera sa généralité de sa simplicité. L'analyse de la dynamique perceptive particulière du croisement perceptif nous permettra alors de proposer quelques hypothèses sur les conditions de sa réussite et sur le sens qu'il peut avoir dans l'expérience vécue des sujets en interaction.

1. La perception prothétisée

1.1. Système de substitution sensorielle visuo-tactile

Développés pour les personnes aveugles dès la fin des années 1960, les systèmes dits de 'substitution sensorielle' consistent à transformer des informations propres à une modalité sensorielle (i.e. la vision) en des stimuli d'une autre modalité sensorielle (i.e. le toucher). Par exemple, le TVSS (Tactile Vision Substitution System) permet de convertir une image captée par une caméra vidéo en une 'image tactile'. Dans la version standard, l'image tactile est produite par une matrice de 400 stimulateurs tactiles (20×20 picots). La matrice est placée soit dans le dos, soit sur le thorax (Bach-y-Rita, 1982) soit plus récemment, sur la langue (Bach-y-Rita et al., 2005).

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

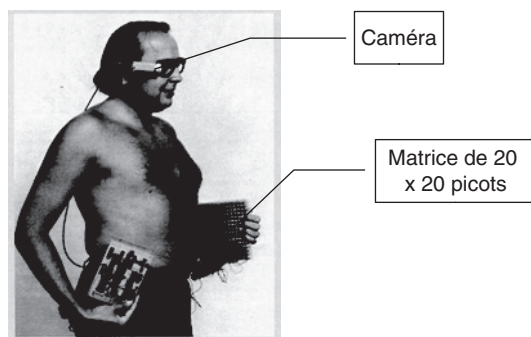


FIGURE 1
Tactile Vision Substitution
System (TVSS)

Note: L'image captée par la caméra est simplifiée en une matrice de 20×20 pixels noirs ou blancs qui correspondent à l'activation ou non de 20×20 stimulateurs tactiles placés sur le ventre du sujet.

Mais si, au contraire, l'utilisateur dispose des moyens de manipuler activement la caméra, il développe alors assez rapidement des capacités de reconnaissance de forme spectaculaires. Il commence par apprendre comment les variations de ses sensations sont liées à ses actions: quand il déplace la caméra de gauche à droite, sur sa peau les stimuli se déplacent de droite à gauche; quand il 'zoom' avant, les stimuli vont en s'écartant, etc. Après avoir appris à diriger la caméra vers une cible, il discrimine des lignes et des volumes, puis reconnaît des objets familiers de plus en plus complexes jusqu'à être capable de discriminer des visages. De plus, cette capacité de reconnaissance de forme s'accompagne d'une *mise en extériorité* des percepts en des objets placés dans un espace environnant. Au départ l'utilisateur sentait sur sa peau des stimulations qui se succèdent. Mais avec les progrès de l'apprentissage perceptif, il finit par oublier ces sensations de toucher pour percevoir des objets stables à distance, là-bas devant lui. Ainsi, les irritations proximales que peut provoquer la plaque tactile sont clairement distinguées de la perception proprement dite. Cette localisation subjective des objets dans l'espace se produit rapidement après 5 à 15 heures d'entraînement. On a pu montrer qu'il y a constitution d'un espace perceptif pour le sujet quand il comprend comment, par ces actions, faire revenir réversiblement de mêmes variations de sensations. En même temps qu'il localise des objets dans l'espace, le sujet se situe relativement à eux comme un point de vue en déplacement (Lenay & Villon, 1997). Il y a de nombreux systèmes de substitution sensorielle (Auvray, 2006). Cependant, ces systèmes ne permettent jamais de restituer exactement un sens absent. Ils donnent plutôt accès à des modalités perceptives nouvelles. Nous préférons donc parler de systèmes de 'suppléance perceptive' (Lenay et al., 2003).

1.2. Le système 'Tactos'

Les expériences présentées ici sont réalisées avec le système 'Tactos' que nous avons développé à l'Université de Technologie de Compiègne pour rendre accessible aux aveugles les images et graphiques présents sur l'écran de l'ordinateur (Hanneton et al., 1999; Sribunruangrit et al., 2004). Tactos consiste essentiellement en un système de commande de stimulateurs tactiles (cellule de barrette braille générant électroniquement le mouvement de petits picots) en fonction des déplacements du curseur sur l'écran d'un ordinateur. Une souris (ou le stylet d'une tablette graphique) commande les déplacements du curseur qui correspond par exemple à une petite matrice de 16 champs récepteurs. Quand un champ récepteur croise au moins un pixel noir il déclenche l'activation en tout ou rien d'un picot de la cellule braille.

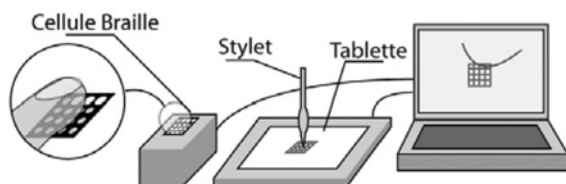


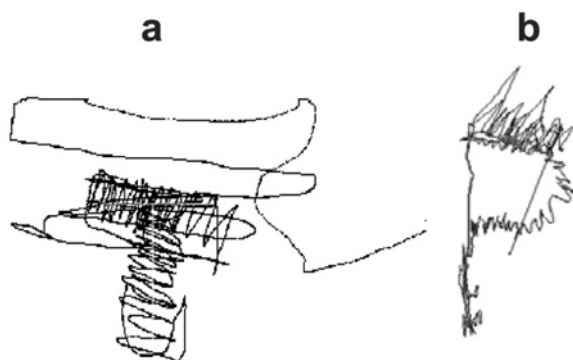
FIGURE 2
Le logiciel 'Tactos'

Note: Les formes inscrites dans l'espace numérique de l'écran sont perçues tactilement: leur exploration par une matrice de 16 champs récepteurs commande l'activation des 16 picots de deux cellules brailles.

Le sujet a les yeux bandés et le stimulateur tactile est installé sous sa main libre (l'autre tenant le stylet).

Ce dispositif de suppléance perceptive permet donc l'exploration d'une image tactile virtuelle. Pour les applications pratiques on peut encore augmenter le nombre de champs récepteurs et de stimulateurs tactiles, mais pour la recherche fondamentale il est au contraire plus intéressant de travailler dans le cas limite où l'information sensorielle est réduite à un seul stimulateur tactile correspondant à un unique champ récepteur. En effet, même dans cette version la plus simple on observe une capacité de reconnaissance de formes. Une forme n'est pas donnée d'un coup au système sensoriel comme un pattern qu'on appliquerait sur la peau. Il n'y a qu'un champ récepteur, donc seulement une sensation à chaque instant et donc aucune spatialité intrinsèque du signal d'entrée. Si les sujets réussissent à reconnaître des formes, ce ne peut être que par leur exploration active, en intégrant dans le temps leurs mouvements et les sensations tactiles. En ne donnant à chaque instant qu'une entrée sensorielle simple, on a forcé un *déploiement dans l'espace et le temps de l'activité perceptive* qui peut dès lors être facilement enregistrée et analysée (cf. Figures 3a et 3b).

Cette extériorisation de l'activité perceptive sous forme de trajectoires observables va nous être très utile. Notons tout d'abord que ces trajectoires laissent apparaître quelques invariants comportementaux. Le sujet commence par des mouvements exploratoires assez amples, mais dès qu'il traverse une ligne, il converge aussitôt vers un *microbalayage* de petite amplitude autour de la source de stimulation. Il s'agit là essentiellement d'une opération de localisation: la position d'une singularité spatiale immobile est constituée par une anticipation stable de la stimulation tactile en fonction des commandes des mouvements du stylet. C'est en intégrant la suite de ses déplacements que le sujet réussit à constituer la position de la forme et simultanément sa

**FIGURE 3**

Trajectoires perceptives lors de la reconnaissance de formes simples (lettres)

Note: Ici le sujet avait bien reconnu les lettres T et P.

position par rapport à cette forme. La succession temporelle des stimulations sensorielles n'est pensée comme une succession de contacts avec une forme extérieure que si le sujet peut réversiblement aller et venir autour de la singularité correspondant à cette stimulation tactile.

1.3. La perception active

Les deux systèmes que nous avons présentés montrent bien le rôle essentiel joué par l'action dans l'émergence progressive de perceptions structurées. Ce qui est perçu et reconnu, ne correspond pas tant aux invariants de la sensation, mais plutôt aux invariants de cercles sensori-moteurs inséparables de l'activité du sujet (Piaget, 1936; Gibson, 1986; Paillard, 1971; Varela, 1979).

Si la forme à percevoir est animée d'un mouvement lent, le sujet pourra toujours la spatialiser en allant et venant autour d'elle. Il pourra ainsi percevoir son mouvement par une anticipation réussie sur la dérive de ce balayage. Mais si la forme se déplace trop rapidement, elle sera immédiatement perdue, et sa spatialisation impossible. On ne peut percevoir une chose dans l'espace que si l'on peut se déplacer plus vite qu'elle pour la dépasser, la laisser venir ou la rattraper. Il y a un 'mur de la perception' (comme on dit qu'il y a un 'mur du son') correspondant à la vitesse maximale dont peut être animé le champ récepteur. Au delà, nous ne percevons plus d'objet spatial déterminé, comme nous ne percevons pas les pylônes qui défilent devant les vitres du train.

Lors de l'utilisation d'un système de suppléance perceptive, il faut distinguer, d'une part, la 'modalité sensorielle' mobilisée qui correspond au type d'entrée sensorielle vers le système nerveux central, et, d'autre part, la 'modalité perceptive' définie par le type de loi sensorimotrice auquel donne accès le dispositif (Noë, 2004). Par exemple, pour le TVSS, bien que les stimuli soient tactiles, on peut dire que la modalité perceptive est plutôt de type visuel puisque le système donne accès à la position et à la forme des objets à distance. Au contraire, avec le système Tactos la modalité perceptive est plutôt de type tactile puisqu'il y a coïncidence spatiale du lieu de perception (les champs récepteurs) et de l'objet perçu. D'ailleurs, dans sa version la plus simple, un seul champ récepteur connecté à un seul stimulateur sensoriel agissant en tout ou rien, l'activité perceptive est indépendante de la modalité sensorielle utilisée pour distribuer ce stimulus. Elle peut être tactile, sonore (un bip) ou visuelle (une diode qui s'allume), dans tous les cas les trajectoires perceptives seront les mêmes, et donc les contenus perceptifs semblables puisque correspondant aux mêmes lois liant actions et sensations (Gapenne et al., 2005). Cette conception de la perception active peut se schématiser ainsi:

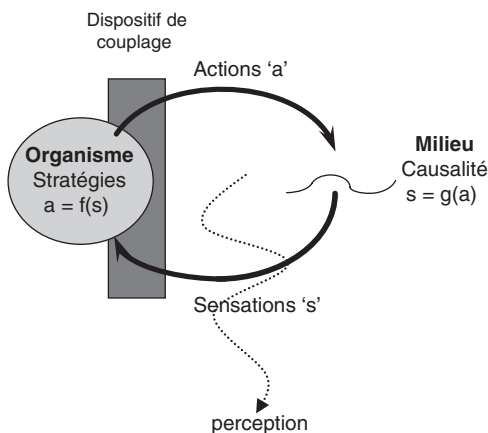


FIGURE 4
Schéma du couplage sensorimoteur

Note: Le système de perception prothésisée est un 'dispositif de couplage' qui modifie le corps propre en définissant les répertoires d'actions et de sensations accessibles au sujet. Via le milieu, les actions 'a' causent les sensations 's': $s = g(a)$; et l'organisme définit la stratégie qui détermine ses actions en fonction des sensations reçues: $a = f(s)$. Le contenu perceptif correspond aux régularités des 'lois de contingences sensorimotrices' (O'Regan & Noë, 2001).

La perception est active. Le corps propre, en tant que système des actions et sensations possibles, définit les perceptions accessibles. Les prothèses, comme tous les outils que l'on peut saisir, transforment les possibilités de ce corps propre et ouvrent de nouveaux champs de possibles perceptifs. Les systèmes de suppléance perceptive permettent donc une étude fondamentale à la fois sur la perception en général et sur le rôle constitutif des médiations techniques. D'une part, ils donnent un accès expérimental possible à des questions aussi importante que celle de la conscience de chose objectivées dans une extériorité, puisqu'ils permettent d'en suivre et reproduire la genèse chez l'adulte. D'autre part, en permettant des modifications systématiques des possibilités d'agir et de sentir, ils autorisent une analyse précise de la façon dont les médiations techniques sont constitutives de l'activité perceptive. Les systèmes de suppléance perceptive jouent ainsi le rôle d'exemple paradigmatique puisqu'ils permettent un contrôle clair et complet des répertoires de sensations (les stimuli sensoriels distribués) et d'actions (les mouvements autorisés des champs récepteurs).

2. Etude des croisements perceptifs

2.1. Environnement numérique d'interaction tactile

Le dispositif expérimental consiste simplement en la mise en réseau de deux systèmes Tactos semblables à celui que nous venons de présenter. L'espace numérique partagé via le réseau permet des rencontres tactiles entre les participants aveugles (ou voyant ayant les yeux bandés). Pour cela, il faut définir pour chaque utilisateur, à la fois un 'corps-percevant' et un 'corps-image'. En effet, la médiation technique joue le rôle d'un prisme qui sépare ce qui est habituellement lié. Le corps-percevant correspond au corps propre au sens de la phénoménologie, c'est-à-dire le corps vécu (*Leib*) en première personne comme pouvoir d'agir et de sentir. C'est le corps en tant qu'il est constituant de l'expérience et de l'objectivité spatiale. Ici, ce sont les champs récepteurs que je peux déplacer dans l'environnement numérique. Ce corps percevant doit être distingué du corps-image qui est le corps que peut percevoir autrui. C'est le corps (*Körper*) constitué comme objet dans l'espace. Il semble naturel de penser qu'il est impossible de posséder le pouvoir de toucher sans en même temps devoir être touchable, alors qu'il semble peut-être plus plausible que l'on puisse voir tout en restant caché, invisible. Mais ici, si l'on admet que nos prothèses donnent accès à une forme de toucher, il est techniquement très facile de réaliser une matrice de champs récepteurs, pur corps-percevant, non touchable par autrui, c'est-à-dire dénué de corps-image. Pour qu'il y ait interaction

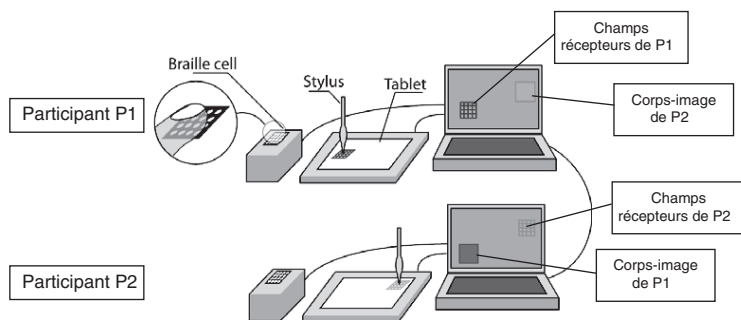


FIGURE 5
Réseau de deux systèmes 'Tactos'

Note: Les participants P1 et P2 partagent un même espace numérique bidimensionnel où chacun déplace ses champs récepteurs et son corps-image. Avec le stylet d'une tablette graphique le participant P1 a placé ici ses champs récepteurs en bas à gauche de l'écran. Son corps-image, dont la surface recouvre exactement ses champs récepteurs, est donc aussi en bas à gauche dans l'espace exploré par le participant P2. Au contraire, le participant P2 a placé ses champs récepteurs et donc aussi son corps-image en haut à droite de l'espace d'interaction. A cet instant les sujets ne se rencontrent pas. Mais si au cours de leurs déplacements ils se croisent en une même position alors, il y aura interaction perceptive: le participant P1 percevra le corps-image du participant P2 et réciproquement.

perceptive entre différents utilisateurs, il faut attacher au corps-percevant un corps-image que les partenaires pourront percevoir. Les mouvements du pointeur de chaque utilisateur commandent donc, en même temps, les déplacements de ses champs récepteurs et de son corps-image que l'autre utilisateur peut percevoir via ses propres champs récepteurs.

Chacun de son côté explore son espace d'action et entre en contact, soit avec des objets du milieu partagé, soit avec le corps-image de l'autre acteur. On pourrait décrire ce type de rencontre comme une sorte de toucher distal, de caresse sur le réseau, dans la mesure où la stimulation sensorielle est tactile. Cependant il s'agit plus justement d'une rencontre dans une modalité perceptive originale, qui d'ailleurs pourrait être mobilisée dans divers jeux en réseau. Nous ne présenterons ici que deux expériences exemplaires permettant d'éclairer la question de la rencontre entre différentes intentionnalités perceptives.

2.2. Dynamique des croisements perceptifs

Dans une expérience préliminaire, deux utilisateurs (étudiants ayant les yeux bandés) sont mis en réseau via deux postes de travail équipés du logiciel

Tactos. Chacun ne dispose que d'un unique champ récepteur couplé à un seul stimulateur tactile. Le corps image est un carré de même surface que le champ récepteur (9 pixels). Dans de telles conditions, comme pour le toucher, la perception est exactement réciproque: je ne peux toucher autrui sans être touché par lui. Un des deux protagonistes, 'A', se voit confié une mission très simple que l'autre, 'B', doit deviner. Le répertoire des missions possibles pour A est aussi connu de B: 'aller dans telle direction' (par exemple en haut à droite), ou bien plus surnoisement, 'suivre B'. Le sujet A doit être collaboratif et essayer au maximum d'aider B à deviner son intention. Les sujets n'ont aucun autre moyen d'interaction que le système lui-même.

La description de l'activité perceptive conjointe peut se faire à la fois en troisième personne, d'un point de vue externe objectif, et en première personne du point de vue interne, subjectif.

En troisième personne, on observe que les champs récepteurs des deux sujets sont animés d'une dynamique collective complexe, faite de synchronisation et de désynchronisation: balayage rapide, immobilisation après un contact, lents mouvements hésitants... Il semble que chaque sujet poursuive alternativement deux stratégies contradictoires. D'une part, rester en coïncidence spatiale avec le partenaire, et d'autre part, osciller autour de lui.

En première personne, dès que je rencontre un premier retour tactile, je cherche à le retrouver en revenant sur mes pas pour, si possible, tenter de bien spatialiser cette singularité par un petit balayage autour d'elle. Mais, bien sûr, mon partenaire aussi est engagé dans la même activité. Je ne le retrouve plus où je l'attendais et, si je l'ai perdu, c'est que lui aussi m'a perdu. Je m'immobilise pour l'attendre mais, si rien ne se passe, je reprends mon exploration en essayant de rester près de notre dernier point de rencontre. Si je le retrouve, cette fois je fais bien attention à ce qu'il ne me perde pas, ce qui est la meilleure façon de ne pas le perdre ... mais, si cette prudence est partagée, nous restons immobiles en contact. Et dans ce cas le



FIGURE 6

Trajectoires de deux sujets en cours de croisement perceptif bidimensionnel

Note: Le sujet A avait pour tâche de suivre le sujet B; le sujet B a pour tâche de deviner la tâche du sujet A.

sentiment de percevoir quoi que ce soit va en disparaissant. En effet, de deux choses l'une. Soit je ne suis pas sur une cible, il n'y a pas de stimulation tactile, rien ne change, il n'y a plus que le souvenir d'une perception qui va en s'estompant. Soit je suis sur la cible, il y a une stimulation tactile continue. Celle-ci s'impose à ma conscience comme pure sensation, et là encore il n'y a plus de perception d'un objet externe.

C'est seulement dans le changement actif des stimuli que la perception est présente. La réversibilité des actions est la condition de la constitution d'un espace de perception. Je me déplace donc doucement pour juste quitter la stimulation et revenir. Or, parfois ce mouvement nous l'exécutons ensemble et dans le même sens. Il y a alors une sorte de vertige: j'avance tout en restant en contact, la stimulation tactile ne cesse pas, autrui est partout et nulle part, il n'y a plus d'espace clair où je le percevrai comme objet, et d'ailleurs je ne suis même plus sûr de me déplacer moi-même puisque je n'ai plus de repère pour reconnaître mon déplacement.

En dépit de la difficulté de ce croisement perceptif limite, les résultats des expériences préliminaires sont étonnamment bons. Avec un peu d'expérience, le sujet A amorce son mouvement très lentement, en veillant bien à ce que B le retrouve, puis petit à petit, il prolonge son geste correctement suivi par B. Dès lors, le sujet B reconnaît dans son propre geste pour suivre A, la direction que celui-ci a adoptée. Comme plus haut, pour la perception de forme, on ne perçoit les gestes d'autrui qu'en les reproduisant. Il est clair ici qu'il n'y a compréhension des intentions d'autrui que par partage de ses intentions (Merleau-Ponty, 1945; Wilkerson, 1999).¹ Les conditions de restrictions techniques extrêmes de cette situation de référence permettent de comprendre l'équivalence nécessaire entre la perception de son propre geste et celle du geste d'autrui (Meltzoff, 2005). Il n'est pas besoin de mobiliser des 'neurones miroirs' pour l'expliquer (Rizzolati et al, 2002). Ou du moins, on aurait ici un principe de départ pour tenter d'expliquer la mise en place de ce type de structures neuronales.

Dans la condition bien particulière où A avait pour consigne de suivre B, il est un cas où B a su comprendre qu'il était imité (voir Figure 6). Dans les autres cas, B a cru deviner que A prenait une direction donnée. Mais cette perception d'une intention, qui n'existait pas au départ, était néanmoins valide: B croyant percevoir l'intention de A d'aller, disons vers le bas à gauche, le poursuit dans cette direction et tente de vérifier la justesse de son anticipation en le précédant légèrement. En même temps, A, qui doit le suivre adopte la même stratégie et comprend lui aussi qu'il s'agit pour B d'aller vers le bas à gauche, ce qu'il fait et, par là, valide l'anticipation de B. Apparaît ainsi un phénomène mimétique classique par lequel un comportement collectif qui au départ était tout à fait indéterminé émerge sous une

forme stabilisée. Notons bien que c'est parce que *c'est l'activité perceptive elle-même qui est mimétique* qu'un contenu commun de cette perception se constitue. Ces observations préliminaires nous ont conduit à mettre en place une expérience plus systématique sur les conditions de la reconnaissance d'autrui en tant qu'autre intentionnalité perceptive.

2.3. *Reconnaissance d'autrui*

La situation par excellence de la reconnaissance d'autrui nous semble être le croisement de regard. Une situation dont on sait combien elle est porteuse de valeurs émotionnelles (Argyle & Cook, 1976). L'intuition commune est que dans cette situation ne sont pas seulement perçus des yeux et un corps animé de mouvements déterminés, mais aussi surtout un 'regard', une présence intentionnelle tournée vers soi. Or, comment peut-on reconnaître dans les yeux d'autrui, la spécificité d'un regard? Il s'agit ici de donner un contenu empirique précis à cette question en la posant dans le cadre d'une perception prothétisée minimaliste. Ce faisant, nous voulons aussi montrer que la reconnaissance d'autrui peut se produire à chaque fois, de l'intérieur de chaque modalité perceptive, prothétisée ou non, sans en sortir ou mobiliser d'autres sources empiriques intermodales.

Pour épurier la notion de croisement perceptif et rendre possible une analyse précise des dynamiques croisées nous avons aussi réduit l'espace d'action des sujets à un monde unidimensionnel, et le répertoire de sensation à un seul stimulus en tout ou rien (un seul bit d'information à chaque instant). Comme on l'a vu plus haut, en limitant ainsi l'entrée sensorielle, on travaille sur une activité perceptive indépendante de la modalité sensorielle particulière des stimuli. Or, même dans cette situation simplifiée à l'extrême, une reconnaissance du croisement perceptif est possible (Auvray, Lenay & Stewart, 2008).

2.3.1. Méthode. Vingt participants ont pris part à cette expérience (moyenne d'âge de 29.4 ans). Les participants explorent avec une souris l'écran de l'ordinateur et reçoivent la stimulation tactile sur l'index de leur main libre. Les déplacements de la souris commandent les déplacements d'un champ récepteur de 4 pixels dans un espace unidimensionnel. Seuls les déplacements horizontaux de la souris sont donc pris en compte.

L'espace unidimensionnel consiste en une ligne de 600 pixels, formellement un tore pour éviter les singularités que des extrémités auraient pu introduire. Divers objets, constitués de pixels noirs sont placés sur cette ligne. A chaque fois que le champ récepteur recouvre un pixel noir, une

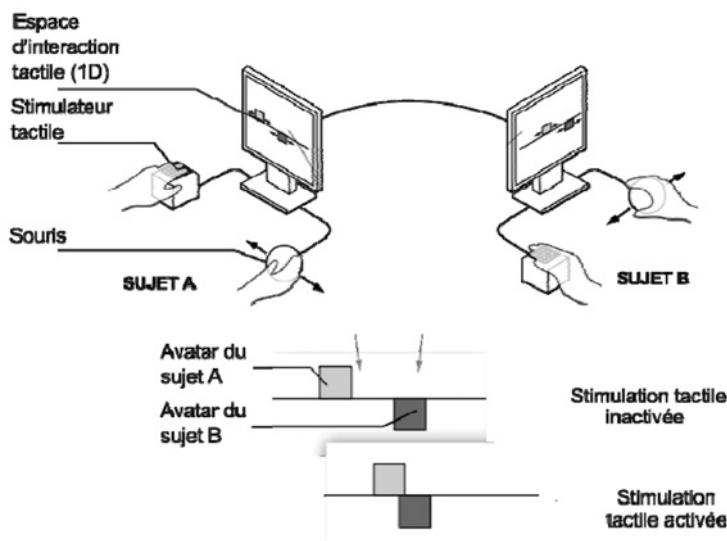


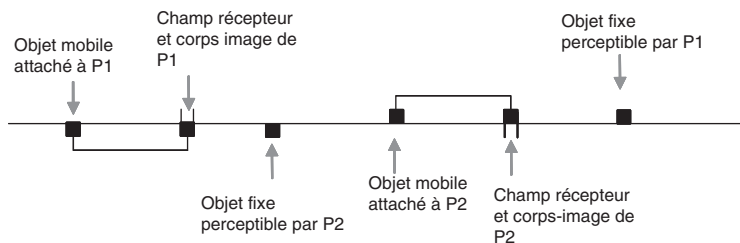
FIGURE 7
Espace unidimensionnel d'interaction perceptive

Note: Avec sa souris d'ordinateur chaque participant déplace un champ récepteur sur une ligne dans un espace numérique partagé. Quand les deux champs récepteurs se rencontrent, chaque utilisateur reçoit un stimulus tactile sous sa main libre. Nos remerciements à Barthélémy Maillat pour cette figure.

stimulation tactile en tout ou rien est déclenchée sur la cellule braille électronique (voir Figure 7).

Deux dispositifs de ce type sont mis en réseau de sorte à ce que deux sujets partagent le même espace unidimensionnel. Chaque sujet, grâce au déplacement horizontal de sa souris, parcourt cet espace. Chaque participant peut percevoir trois types d'objets:

1. Le corps-image de l'autre participant (4 pixels de longueur) qui recouvre exactement son champ récepteur. Lorsque les deux participants sont à la même position ($X_1 = X_2$), chacun reçoit une stimulation tactile en tout ou rien. C'est le 'croisement perceptif'.
2. Un objet fixe que nous appelons 'leurre fixe': segment de 4 pixels de largeur.
3. Un objet en mouvement, que nous appelons 'leurre mobile'. Pour assurer que le leurre mobile ait la même richesse de mouvement que le corps-image du partenaire, nous l'avons attaché, par un lien rigide virtuel, à 50 pixels à droite de ce corps-image. Le leurre mobile suit ainsi très exactement, à une

**FIGURE 8****Illustration schématique de l'espace unidimensionnel exploré par les participants**

Note: Le participant P1 reçoit un stimulus tactile quand il rencontre son objet fixe, le champ récepteur du participant P2, ou l'objet mobile attaché à ce champ récepteur.

distance constante, tous les mouvements qu'exécute le partenaire (voir Figure 8). Les participants sont informés de la présence de leurres mobiles, mais pas d'un lien possible entre le leurre mobile et le corps-image de l'autre participant. Une telle configuration expérimentale permet de vérifier au mieux notre hypothèse théorique: bien que le corps-image et le leurre mobile aient exactement les mêmes mouvements, les participants devraient parvenir à les distinguer sur la base de la seule spécificité du corps-image du partenaire qui est de correspondre à un champ récepteur sensible à ma présence.

Les participants ont les yeux bandés et sont placés dans deux pièces différentes. La consigne est de cliquer avec le bouton gauche de la souris lorsqu'ils estiment que les sensations tactiles reçues sont dues à la rencontre du corps-image de l'autre participant, et uniquement dans ce cas. L'expérience se déroule sur 3 sessions de 3 minutes.

2.3.2. Résultats. Nous avons tout d'abord calculé la distribution des clics en fonction de la distance entre les deux participants au moment du clic. Les résultats observés sur l'ensemble des participants et des 3 sessions montrent que la majeure partie des clics sont produits lorsque les deux participants sont effectivement en face l'un de l'autre ($d = 0$), c'est-à-dire en situation de croisement perceptif (62%). Nous observons aussi un léger pic de fréquence à une distance de 50 pixels, qui correspond aux clics effectués sur le leurre mobile (voir Figure 9).

Nous avons ensuite analysé la distribution des clics en fonction de leurs causes: 65.9% (± 13.9) des clics suivent des stimulations de croisement perceptif; 23.0% (± 10.4) des clics suivent des stimulations dues au leurre mobile; et seulement 11.0% (± 8.9) suivent des stimulations dues au leurre fixe. Notre hypothèse que le croisement perceptif est une situation

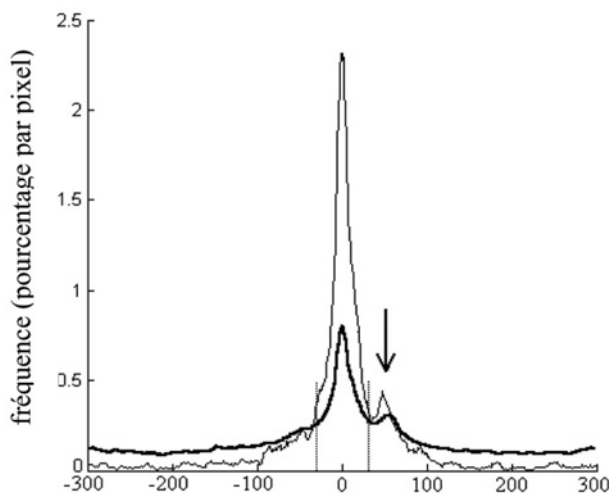
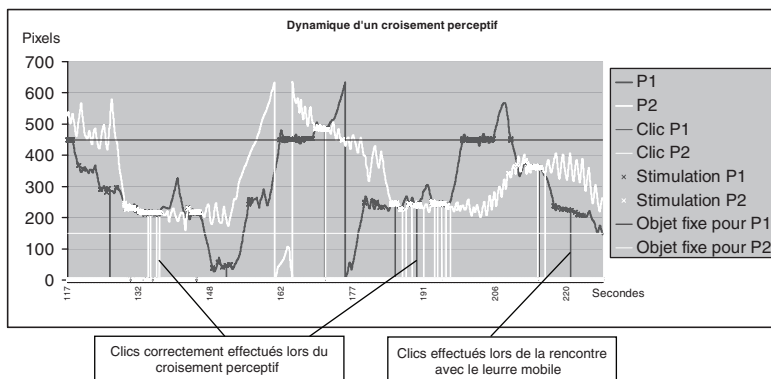


FIGURE 9
Distribution des fréquences en fonction de la distance entre les champs récepteurs des deux participants

Note: La ligne en trait fin représente la fréquence totale des clics effectués: 62% de la distribution s'étend entre ± 30 pixels. La ligne en trait épais représente la fréquence totale des stimulations reçues par les participants: 28% de la distribution se trouve entre ± 30 pixels. Dans les deux cas, il y a clairement un pic pour la distance de 0 pixel, c'est-à-dire dans la situation de croisement perceptif, ce qui montre bien l'existence d'un attracteur à ce point. Un petit pic subsidiaire à la distance de 50 pixels (marqué par une flèche), correspond au leurre mobile.

particulière reconnaissable semble confirmée. Ce qui est reconnu semble bien être l'activité d'un sujet percevant et non pas une simple structure objective des mouvements de l'objet, puisque le corps-image du partenaire et le leurre mobile sont animés de mouvements exactement semblables. L'analyse des trajectoires perceptives permet alors de faire des hypothèses sur les stratégies employées par les participants pour réussir cette tâche.

2.3.3. Analyses préliminaires. Nous avons tout d'abord effectué une comparaison entre la répartition des clics et la répartition des stimulations tactiles reçues. Les résultats sur l'ensemble des participants montrent que 52.2% (± 11.8) des stimulations proviennent d'un croisement perceptif, 32.7% (± 11.8) proviennent du leurre fixe, et 15.2% (± 6.2) proviennent du leurre mobile. En calculant le rapport clic/stimulation, nous trouvons 0.33 pour le leurre fixe, 1.26 pour le croisement perceptif et 1.51 pour le leurre mobile. Les sujets reconnaissent donc bien le leurre fixe puisque, bien qu'ils passent beaucoup de temps

**FIGURE 10**

Trajectoires perceptives dans un espace unidimensionnel d'interactions perceptives (600 pixels de longueur, les extrémités se rejoignant pour former un tore infini)

Note: La trajectoire foncée correspond aux déplacements du participant P1, et la trajectoire claire à P2. Le temps est en abscisse, et la position dans l'espace bidimensionnelle est en ordonnée. Les sautes des trajectoires correspondent au passage d'une extrémité à l'autre du tore. Les segments verticaux correspondent aux clics effectués, par P1 (noir) ou P2 (blanc). L'objet fixe pour P1 est à la position 450, et l'objet fixe pour P2 est à la position 150.

autour de lui (ils reçoivent beaucoup de stimulations dues à sa rencontre), ils cliquent très rarement dans cette situation. Mais les rapports clic/stimulation montrent qu'en moyenne, les participants ne semblent pas distinguer entre les stimulations dues au croisement perceptif et les stimulations dues au leurre mobile (1.26 vs. 1.51). Ceci est normal puisque le corps-image et le leurre mobile ne diffèrent ni par leurs formes, ni par leurs mouvements. La différence de clics sur le leurre mobile et sur le champ récepteur du partenaire (23.0% vs. 65.9%) est donc entièrement explicable par les stratégies de déplacement qui sont telles que les stimulations dues au leurre mobile sont moins fréquentes que celles dues au croisement perceptif (15.2% vs. 52.2%). Si les participants réussissent la tâche perceptive qui leur est proposée, c'est essentiellement parce qu'ils réussissent à se retrouver effectivement face à face, et non pas parce qu'ils reconnaîtraient dans les stimulations qu'ils reçoivent des indices discriminant le champ récepteur du partenaire. C'est dans l'interaction que réside la seule différence: seul le champ récepteur de mon partenaire réagit à moi, contrairement au leurre mobile.

Cette capacité des sujets à privilégier la situation de face à face peut assez facilement s'expliquer. Comme nous l'avons vu plus haut, toutes les observations

menées avec des dispositifs minimalistes montrent que la perception d'un objet en une position déterminée se réalise par son exploration active et réversible: les sujets vont et viennent autour de la singularité qui provoque un retour sensoriel. Quelles que soient les différences interindividuelles, la forme générale des stratégies perceptives consiste à revenir sur ses pas dès qu'une variation sensorielle est rencontrée. Quand un tel type de stratégie réussit, la succession temporelle des stimuli donne lieu à la perception d'un objet spatialement localisé. Or, cette même stratégie générale, quand elle est employée dans la situation de croisement perceptif, donne lieu à un attracteur de la dynamique globale; attracteur qui, cependant, ne correspond pas à un point fixe spatial mais à une région indéfinie, possiblement en déplacement.

Notre hypothèse est donc que les critères suivis par les sujets pour reconnaître un croisement perceptif correspondent à la reconnaissance d'un attracteur vers une source de stimulation qui pourtant résiste à sa localisation spatiale précise.

2.3.4. Discussion de l'étude expérimentale. Nous avons montré que la discrimination du croisement perceptif pouvait se réaliser en absence de différences entre les structures de comportement objectives d'un leurre mobile et du champ récepteur du partenaire. Elle devait plutôt trouver sa source dans une dépendance du comportement observé à la propre activité perceptive de l'observateur. Le contenu même de l'expérience perceptive de chacun est formé par cette dynamique essentiellement collective.

La double dynamique du croisement perceptif se comprend bien dès lors que l'on reconnaît que, paradoxalement, dans les conditions de cette expérience la perception d'autrui est une perception impossible ... et est une perception tout de même. Rappelons tout d'abord que la co-constitution d'un objet et d'un point de vue sur cet objet se réalise par le pouvoir d'aller et revenir relativement à cet objet. L'objet est ce par rapport à quoi je me déplace, c'est ce qui va moins vite que moi. Au contraire, ce qui se déplace avec moi fait par là partie de mon corps propre et est comme tel transparent. Cela me sert à percevoir et n'est donc pas perçu. A l'autre extrême, ce qui va plus vite que moi, ce qui change plus vite que je ne peux changer ne peut être spatialisé, mais est ou bien simplement invisible, ou au mieux purement temporel suivant la vitesse de la sensibilité (la capacité d'adaptation des capteurs sensoriels). C'est pourquoi nous avons parlé d'un 'mur de la perception'. Dès lors, il est clair que mon partenaire, s'il est engagé dans une activité perceptive, déplace son champ récepteur à une vitesse correspondant justement à ce mur de la perception. Je ne peux me déplacer plus vite que lui pour pouvoir par un balayage réversible l'objectiver dans un mouvement spatial déterminé. Or, il y a une perception tout de même.

La double dynamique des trajectoires perceptives présente un jeu de coordination et de subtils décalages entre des moments où les partenaires sont en opposition de phase ou en phase, en déphasage ou en re-phasage. Parfois, un des partenaires s'immobilise et se donne comme objet à percevoir avant de reprendre son statut de sujet actif, objectivant l'autre comme objet si ce dernier accepte de se laisser saisir.² Il nous semble alors que c'est paradoxalement cette impossibilité à réduire autrui à l'objectivité qui est perçue. Dans la mesure où la perception de la position et des mouvements d'un objet nécessite ici d'aller et venir autour de lui (et donc d'aller plus vite que lui) il n'y a pas de détermination précise de la localisation ou du déplacement d'un objet mais seulement un 'halo de présence' qui serait le signe d'un 'regard'. Les sujets cliquent en présence d'une source de stimulation qui se refuse à sa détermination spatiale précise tout en se maintenant présente. Au cœur du croisement perceptif nous sommes fixés l'un par l'autre, comme s'accrochent des regards.

Ce schème explicatif de la reconnaissance du croisement perceptif pourrait former une première base pour une approche nouvelle de la question de la reconnaissance d'autrui comme sujet intentionnel (Heider, 1958; Dennett, 1987). En effet, dans la mesure où cette capacité perceptive est spécifique, différente de la localisation ou de la reconnaissance de forme d'un objet, la reconnaissance de la présence du regard d'autrui ne peut pas être le résultat d'une inférence cognitive à partir de critères s'appliquant à des comportements objectivement déterminés (Premack, 1990; Gergely et al., 2003). On devrait plutôt définir la reconnaissance d'une intentionnalité perceptive directement au niveau perceptif et dans la situation originale des croisements perceptifs en général (croisements de regard, caresses, dialogue tonique, protoconversation), c'est-à-dire aux tout premiers moments d'une 'shared intentionality' (Tomasello et al., 2005). Avant même la mise en place d'une capacité à suivre le regard de l'autre pour reconnaître l'objet qu'il vise (Butterworth & Jarrett, 1991), ou pour développer des comportements mimétiques (Meltzoff, 2005), la spécificité d'un regard actif serait reconnaissable (Baron-Cohen & Cross, 1992). Plutôt que de demander au sujet de d'abord savoir reconnaître le regard d'autrui orienté vers des objets pour ensuite comprendre le cas particulier où ce regard est orienté vers lui, on pourrait s'appuyer sur la reconnaissance du croisement perceptif pour ensuite expliquer la compréhension du regard d'autrui quand il se tourne vers d'autres objets. Plutôt que d'attribuer d'abord à autrui tout un système d'états mentaux, d'intentions et de représentations (attribution d'une autonomie d'action, de buts déterminés, de plans rationnels, etc.), pour ensuite comprendre que ces états mentaux puissent justement concerner mes propres perceptions et représentations, on pourrait tabler sur une reconnais-

sance du croisement perceptif précoce pour ensuite comprendre la mise en place progressive de ces autres composantes d'une psychologie de sens commun.

3. Conclusion

Du point de vue des médiations techniques, l'intérêt des expériences présentées est de montrer que la reconnaissance d'autrui et de son activité intentionnelle ne résulte pas nécessairement de la mise en relation intermodale entre des signes de la présence d'autrui déjà connus et des phénomènes nouveaux. Ici, le canal d'interaction est parfaitement contrôlé et les sujets, naifs, n'avaient auparavant jamais pratiqué le système. Le mode d'interaction est tout-à-fait original et il n'y a donc aucune possibilité pour les sujets de se référer à un savoir inné ou anciennement appris. C'est, donc, de l'intérieur même de la modalité perceptive particulière utilisée par les sujets en interaction que se constitue cette perception de l'intentionnalité perceptive d'autrui.

La question pour les innovations technologiques proposant de nouveaux modes d'interactions interindividuelles est donc de savoir si elles permettront ou non de réaliser de telles rencontres perceptives. Ceci est important dans la mesure où il s'agit certainement d'une des conditions pour que l'expérience vécue nouvelle portée par ces dispositifs puisse être chargée de valeurs émotionnelles.

De telles rencontres ne sont possibles que si ce que je donne à percevoir à autrui (mon corps-image) est bien attaché à mon corps percevant. Considérons par exemple les espaces virtuels partagés des jeux multi-joueurs rémanents comme 'Second Life'. L'avatar qui nous représente a une expressivité très pauvre. Le problème ne nous semble pas résider dans la richesse des choix de comportements (il y a déjà 31 expressions accessibles en mode standard) et les modifications possibles de l'avatar sont infinies. La difficulté serait plutôt dans la structure du système d'interaction. Ceci pour deux raisons liées entre elles.

1. Le comportement de l'avatar est contrôlé par des commandes explicites qui ne peuvent refléter la dynamique de notre activité perceptive.
2. Les utilisateurs peuvent voir leur avatar. Le point de vue perceptif est différent et surplombe l'avatar qui nous sert à interagir avec l'environnement et les autres utilisateurs. Or, il n'y a un jeu d'échange de regards que si je ne peux percevoir tout ce que je donne à voir aux autres. En effet, normalement, je ne peux percevoir ce qui me donne à percevoir (je ne peux voir mes yeux). Or, chose remarquable, parmi ces perceptions

impossibles pour moi, il y a des perceptions possibles pour autrui et réciproquement (autrui voit mes yeux). Ceci prend une forme objective par la spatialisation respective des points de vue des différents sujets. Cette spatialisation permet à chacun d'articuler de façon régulière ce que je vois, ce que voit autrui, et ce qu'autrui ne peut voir parce que cela correspond à ce que je ne pourrais voir si j'étais à sa place. Cette échangeabilité des points de vue permet de passer de l'espace perceptif individuel égocentré à un espace objectif a-centré dans lequel nos points de vue peuvent être réciproquement situés.

Nous ne sommes dans un même monde que si nos points de vue sont différents sur de mêmes choses, et non pas le contraire. Une chose ne peut être la même pour vous et moi que si je comprends que vous êtes différent de moi, c'est-à-dire que votre perception est différente de la mienne. Au contraire, si l'on devait être dans un même monde parce que nous aurions le même point de vue, il n'y aurait plus de véritable point de vue. C'est ce qui se produit si, via les technologies de diffusion multimédia comme la télévision, nous sommes chacun chez soi en face d'une même scène filmée, partageant le même point de vue qui correspond à l'objectif de la caméra. Il n'y a plus de spatialisation du point de vue d'autrui, plus même de reconnaissance d'autrui comme tel. Au contraire, dans le croisement perceptif, le fait que nous ne nous voyons pas nous-mêmes est la garantie, au moins en principe, de la sincérité de l'expression que porte notre visage.

Face à la société de la reproduction numérique, le problème n'est pas l'uniformisation des contenus en tant que telle, qui d'ailleurs peut d'une certaine façon être évitée par la multiplication des combinaisons et des choix, mais le parallélisme des activités perceptives. La reproduction d'un même environnement pour différents sujets provoque l'isolement, le manque d'interactions spatialisantes telles que dans un même espace je puisse reconnaître le là-bas d'autrui comme un possible ici pour moi. S'il n'y a plus de présence d'un regard d'autrui sur moi qui me résiste, je perds mon visage, je ne peux plus me constituer comme sujet pour les autres. Les dispositifs techniques suivant leurs agencements peuvent donc ou bien conduire à la constitution de communautés et d'histoires, ou bien réduire les utilisateurs au parallélisme de l'isolement.

Charles Lenay, au cours d'un parcours assez libre dans les cursus universitaires (licence de biologie, de philosophie et de logique, maîtrise de biochimie, doctorat de philosophie et histoire des sciences, habilitation à diriger les recherches en philosophie et en histoire des sciences) s'est intéressé plus particulièrement aux technologies cognitives: comment les outils participent à l'activité cognitive au sens large: raisonnement, mémorisation, perception, interaction... Après avoir été vice-président de l'Association Française pour la Recherche Cognitive (ARCO), et avoir animé diverses équipes d'enseignement et de recherche

(Atelier Cognition de l'ignorance; Division Philosophie, Technologie, Cognition (PHITECO); Séminaire de sciences cognitives; Epistémologie et modélisation des Systèmes Multi-Agents), l'auteur a créé le Groupe Suppléance Perceptive (1995) de l'Unité de recherche EA2223 COSTECH (Connaissances, Organisation et Systèmes Techniques), dont il est depuis 2007, le directeur. *Adresse de l'auteur*: Groupe Suppléance Perceptive, COSTECH – UTC-Compiègne, BP60319 – 60206 Compiègne Cedex, France. [email: Charles.lenay@utc.fr]

Notes

1. 'La compréhension des gestes s'obtient par la réciprocité de mes intentions et des gestes d'autrui, de mes gestes et des intentions lisibles dans la conduite d'autrui. Tout se passe comme si l'intention d'autrui habitait mon corps ou comme si mes intentions habitaient le sien. Le geste dont je suis le témoin dessine en pointillé un objet intentionnel. Cet objet devient actuel et il est pleinement compris lorsque les pouvoirs de mon corps s'ajustent à lui et le recouvrent' (Merleau-Ponty, 1945: 215–16).

2. 'Ainsi suis-je renvoyé de transfiguration en dégradation et de dégradation en transfiguration, sans jamais pouvoir ni former une vue d'ensemble de ces deux modes d'être d'autrui ... ni me tenir fermement à l'un d'entre eux – car chacun a une instabilité propre et s'effondre pour que l'autre surgisse de ses ruines' (Sartre, 1943: 336).

Références

- Argyle, M. & Cook, M. (1976) *Gaze and mutual gaze*. London: Cambridge University Press.
- Auvray, M. (2006) 'Remplacer un sens par un autre: la suppléance perceptive', in P. Fuchs, G. Moreau & J.-P. Papin (eds) *Le Traité de la réalité virtuelle III*, Vol. 1, pp. 173–88. Paris: Les Presses de l'Ecole des mines.
- Auvray, M., Lenay, C. & Stewart, J. (2008) 'Perceptual interactions in a minimalist virtual environment', *New ideas in psychology* xx: 1–16
- Bach-y-Rita, P. (1982) 'Sensory substitution in rehabilitation', in L. Illis, M. Sedgwick & H. Granville (eds) *Rehabilitation of the neurological patient*, pp. 361–83. Oxford: Blackwell Scientific.
- Bach-y-Rita, P., Danilov, Y., Tyler, M. E. & Grimm, R. J. (2005) 'Late human brain plasticity: vestibular substitution with a tongue BrainPort human-machine interface', *Intellectica* 40(1): 115–22
- Baron-Cohen, S. & Cross, P. (1992) 'Reading the eyes: evidence for the role of perception in the development of a theory of mind', *Mind and language*, 7: 172–86
- Butterworth, G. & Jarrett, N. (1991) 'What minds have in common is space: spatial mechanism serving joint visual attention in infancy', *British journal of developmental psychology* 9: 55–72.
- Dennett, D. C. (1987) *The intentional stance*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gapenne, O., Rovira, K., Lenay, C., Stewart, J. & Auvray, M. (2005) 'Is form perception necessarily tied to specific sensory feedback?' Presented at the 13th International Conference on Perception and Action (ICPA), Monterey, CA, USA.

- Gergely, C., Szilvia, B., Orsolya, K. & György, G. (2003) 'One-year-old infants use teleological representations of actions productively', *Cognitive science* 27: 111–33.
- Gibson, J. J. (1986) *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hanneton, S., Gapenne, O., Genouel, C., Lenay, C. & Marque, C. (1999) 'Dynamics of shape recognition through a minimal visuo-tactile sensory substitution interface', in *Third International Conference on Cognitive and Neural Systems*, pp. 26–9. Boston, MD: Boston University Press.
- Heider, F. (1958) *The psychology of interpersonal relations*. New York: John Wiley.
- Lenay, C., Canu, S. & Villon, P. (1997) 'Technology and perception: the contribution of sensory substitution systems', in *Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Technology*, pp. 44–53. Aizu, Japan; Los Alamitos, CA.
- Lenay, C., Gapenne, O., Hanneton, S., Marque, C. & Genouel, C. (2003) 'Sensory substitution: limits and perspectives', in Y. Hatwell, A. Streri & E. Gentaz (eds) *Touching for knowing: cognitive psychology of haptic manual perception*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- Meltzoff, A. N. (2005) 'Imitation and other minds: the "like me" hypothesis', in S. Hurley & N. Chater (eds) *Perspectives on imitation: from neuroscience to social science*, Vol. 2, pp. 55–77. Cambridge, MA: MIT Press.
- Merleau-Ponty, M. (1945) *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard.
- Noë, A. (2004) *Action in perception*. Cambridge, MA: MIT Press.
- O'Regan, J. K. & Noë, A. (2001) 'A sensorimotor account of vision and visual consciousness', *Behavioral and brain sciences* 24: 5.
- Paillard, J. (1971) 'Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace', *Cahiers de psychologie* 14: 261–316.
- Piaget, J. (1936) *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchatel/Paris: Delachaux & Niestlé.
- Premack, D. (1990) 'The infant's theory of self-propelled objects', *Cognition* 36: 1–16.
- Rizzolati, G., Fadiga, L., Fogassi, L. & Gallese, V. (2002) 'From mirror neurons to imitation, facts, and speculations', in A. N. Meltzoff & W. Prinz (eds) *The imitative mind: development, evolution, and brain bases*, pp. 247–66. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sartre, J.-P. (1943) *L'être et le néant*. Paris: Gallimard.
- Sribunruangrit, N., Marque, C., Lenay, C., Gapenne, O. & Vanhoutte, C. (2004) 'Speed-accuracy tradeoff during performance of a tracking task without visual feedback', *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering* 12(1): 131–9.
- Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T., & Moll, H. (2005) 'Understanding and sharing intentions: the origins of cultural cognition', *Behavioral and brain sciences* 28: 675–735.
- Varela, F. (1979) *Principles of biological autonomy*. New York: Elsevier.
- Wilkerson, W. S. (1999) 'From bodily motions to bodily intentions: the perception of bodily activity', *Philosophical psychology* 12(1): 61–77.