

sensation de son bras dans le monde virtuel. De surcroît, le mouvement en réalité virtuelle est toujours un peu en retard sur le mouvement réel. Même les meilleurs systèmes ne fournissent pas de délais inférieurs à 50 millisecondes. En outre, il arrive que la vision stéréoscopique ne soit pas utilisée, auquel cas la notion de profondeur ne peut être rendue qu'à travers des images à deux dimensions. Enfin, pour des raisons techniques, il est difficile de calculer, en temps réel, le son provoqué par le déplacement du sujet dans l'environnement virtuel, et de le reproduire sans trop de retard. Le manque d'informations sonores est d'autant plus perturbant que l'ouïe prédomine dans nos prises de décisions lors d'un mouvement. Bref, les environnements virtuels manquent aujourd'hui de richesse. Si notre relation au monde repose essentiellement sur les informations visuelles, l'ensemble de nos systèmes sensoriels y contribue ; les mondes virtuels sont essentiellement des mondes visuels.

Toutefois, pour paraître réaliste, les mondes virtuels ne peuvent se contenter de reproduire les caractéristiques (l'aspect, l'odeur, le toucher, etc.) des environnements réels, ils doivent aussi se comporter comme tels. En 1973, Gunnar Johansson, de l'Université de Stockholm, a montré que nous savons reconnaître les mouvements naturels des animaux. En observant des points lumineux dans l'obscurité,

nous sommes capables de dire s'il s'agit de lumières déplacées de façon artificielle ou placées sur le corps d'un animal. Une main qui écrit, un animal qui court se déplacent de façon précise selon la «loi du mouvement biologique». Le réalisme d'une scène virtuelle repose sur le respect de cette loi. Cette règle est non seulement vraie pour d'éventuels animaux présents dans la scène, mais surtout pour la représentation du sujet lui-même. Dans un monde virtuel, le corps du sujet actif est parfois représenté sous la forme d'un avatar. Pour que le sujet s'identifie à son avatar, les mouvements doivent être parfaitement couplés aux mouvements de l'individu. Le cerveau compare en permanence les conséquences sensorielles de son action avec les prédictions sensorielles qu'il a anticipées. En l'absence de similitude entre les deux, le cerveau assimile l'avatar à autrui.

Au total, les limites de la réalité virtuelle sont de deux ordres : d'ordre technique, en particulier à cause du décalage entre les mouvements du sujet et l'affichage de l'image correspondante, et d'ordre qualitatif, car, même si l'on parvient à représenter avec précision le corps humain dans le monde virtuel, le corps virtuel ne sera qu'une ombre du corps réel. Ces limites empêchent-elles de s'imaginer dans une réalité fictive ? Non, mais elles entravent le réalisme de la reproduction. Selon leur importance, le sujet se sent plus ou



I. Viaud-Delmo, R. Jouvett / CHRS UMR 7593

1. DES DISPOSITIFS DE RÉALITÉ VIRTUELLE sont utilisés pour les recherches en neurosciences cognitives. On étudie notamment l'adaptation du cerveau à des stimuli contradictoires. Ici, on expose à un dilemme le système visuel et le système auditif de repérage dans l'espace. Le

sujet fait bouger des objets dans le monde virtuel, mais le déplacement du son qu'il entend ne correspond pas au déplacement visuel qu'il voit dans le casque. Le sujet n'a pas conscience d'être trompé, et la vue dans le casque influe sur sa perception de la provenance du son.

moins intégré à la scène. Rapidement après l'avènement des techniques de réalité virtuelle, on a tenté de mesurer le degré d'immersion par la notion de «présence». À l'origine, la présence a été définie comme l'expérience subjective d'être dans un environnement alors que l'on est physiquement dans un autre. Dans le cadre de la réalité virtuelle, une définition plus appropriée est celle du sentiment d'être dans l'environnement engendré par l'ordinateur plutôt que dans l'environnement physique local actuel.

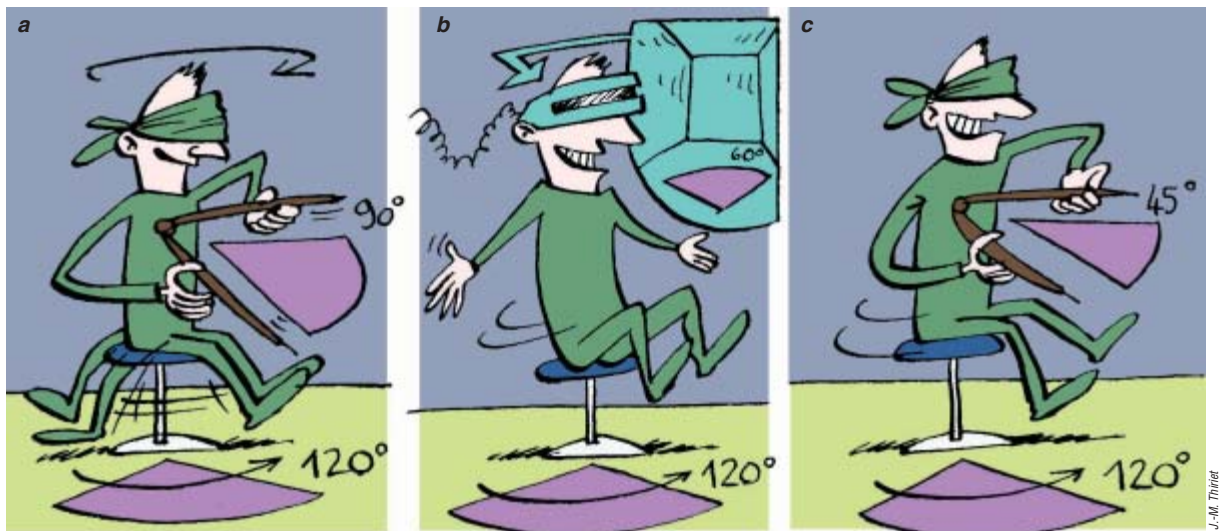
Un rappel au réel incontournable

Même lorsque la présence dans l'environnement virtuel est optimale, il n'empêche que nos appareils sensoriels nous rappellent de façon inéluctable les réalités physiques de notre environnement. En faisant participer des sujets à des expériences de réalité virtuelle, puis en les interrogeant sur le degré de présence ressenti, Bob Witmer et Michael Singer, de l'Institut de recherche de l'armée américaine pour les sciences sociales et comportementales, ont montré que le sentiment de présence est inversement lié à l'apparition de cinétose : plus le sujet a le sentiment d'appartenir au monde virtuel, moins il est malade. La cinétose est le mal des transports, dont les symptômes sont notamment la nausée, la somnolence, le mal de tête. Elle apparaît lorsque des informations différentes, voire contradictoires, parviennent aux sens. Par exemple, en voiture, où notre système d'équilibre (le système vestibulaire) détecte les légers mouvements du véhicule, que nos yeux ne perçoivent pas. Dans ce cas, les yeux et le système vestibulaire informent de façon contradictoire le cerveau, lequel perd ses repères et engendre une sensation de mal-être. D'autres effets secondaires surviennent pendant ou après l'exposition aux environnements virtuels, tels des troubles de l'équilibre ou des troubles oculaires. Ces symptômes dépendent souvent des techniques utilisées (qualité du rendu visuel, rapidité du couplage entre le mouvement et l'image), des

tâches que le sujet effectue lors de l'immersion dans le monde virtuel (mouvement de la tête par exemple), mais également de caractéristiques individuelles comme le sexe, l'âge et l'expérience. Quoi qu'il en soit, ce résultat – plus on se sent immergé dans l'univers virtuel, moins on est malade – montre qu'on ne s'immerge vraiment dans un monde virtuel qu'à condition de dépasser le rappel à la réalité exercé par le monde physique.

Ce nécessaire détachement de la réalité, qui ouvre les portes du virtuel, ne signifie pas que le cerveau oublie complètement les informations fournies par la présence physique dans le monde réel. Au contraire, de nombreuses expériences ont montré que le cerveau ne coupe jamais les ponts avec les différents sens. Max Ernst et Martin Banks, du Département de psychophysique cognitive et computationnelle de l'Institut Max Planck à Tübingen, ont mis en évidence cet effet sur le système visuo-haptique : ils ont projeté à des sujets l'image d'un objet d'une certaine taille, en leur faisant toucher un objet semblable, mais de taille différente, sans les informer de cette différence. Aucun sujet ne s'est aperçu de l'écart de taille entre l'objet visuel et l'objet tactile : ils avaient la sensation d'avoir en main l'objet qu'ils voyaient. M. Ernst et M. Banks ont ensuite reproduit la même expérience en faisant varier la taille des objets. Ils ont conclu que la taille estimée par les sujets lors d'informations contradictoires est intermédiaire entre celles que fournissent les yeux et celles que fournissent les mains. Le cerveau pondère les deux sources d'informations.

Cette prise en compte générale des sens est modifiée par les pratiques des individus. La cinétose qui se manifeste parfois la première fois que l'on voyage dans un train à grande vitesse, par exemple, disparaît au bout de quelques voyages. Des expériences réalisées dans le Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action (CNRS UMR 9950) au Collège de France sous la direction d'Alain Berthoz, ont permis d'étudier l'adaptation visuo-vestibulaire lors de l'immersion



2. UN CONFLIT VISUO-VESTIBULAIRE peut être étudié en plaçant un personnage dans l'obscurité (en lui bandant les yeux) et en le faisant tourner sur lui-même (a). Après l'avoir fait tourner de 120 degrés, on lui demande d'estimer avec un curseur l'amplitude de la rotation. Les sujets donnent des valeurs assez proches du bon angle. Dans un deuxième temps, les sujets, toujours assis sur le siège, sont immergés dans une pièce virtuelle au moyen d'un casque de réalité virtuelle. Ils reçoivent cette fois-ci une information visuelle

trompeuse sur l'amplitude de leur rotation : leur chaise tourne réellement de 120 degrés, mais l'image virtuelle leur fait croire que la rotation n'a été que de 60 degrés (b). Après 45 minutes passées dans cette situation de conflit visuo-vestibulaire, les sujets sont testés à nouveau dans l'obscurité (c). On constate que leur système vestibulaire a été «recalibré» : les estimations des angles dont ils tournent réellement sont deux fois plus faibles qu'avant l'habituation en réalité virtuelle.