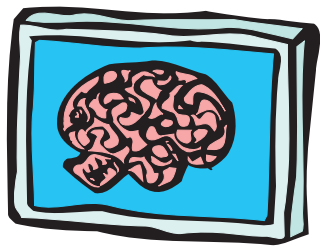
à la découverte des sciences avec EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

sciensationnel

CERVEAU ET CONSCIENCE

Le cerveau est une fabuleuse machine qui ne cesse de nous émerveiller. Chaque jour, les chercheurs dévoilent une part de mystère qui l'entoure, mais sa complexité est telle que son exploration ne s'épuisera sans doute jamais. Aujourd'hui, on comprend toujours mieux comment les quelque 100 milliards de neurones communiquent entre eux par signaux chimiques ou électriques; on perçoit toujours plus finement quelles sont les zones stimulées par une activité cérébrale ou corporelle. Mais on ne sait toujours pas comment naît la conscience. Les techniques modernes d'imagerie cérébrale et d'électroencéphalographie mettent en évidence l'absence de chef d'orchestre. A l'inverse de l'ordinateur, le cerveau n'a pas de processeur central qui coordonne l'ensemble de ses activités comme la vision, l'écoute, la coordination des mouvements, la mémorisation. Et pourtant, nous le savons, la conscience existe : nous sommes capables de réagir aux stimuli de l'environnement en intégrant notre expérience; nous savons penser, conceptualiser, établir des plans d'action, nous projeter dans le futur. Les recherches actuelles s'emploient à décrypter l'incroyable fonctionnement du cerveau.



L'intelligence collective des robots

Conseil scientifique : Alcherio Martinoli

Observez des fourmis. Si elles paraissent avoir une volonté à toute épreuve et un objectif clair – par exemple chercher de la nourriture – elles commencent souvent par se déplacer sans plan précis, un peu au hasard. Et puis, peu à peu, quand un pot de confiture mal fermé est découvert, c'est un véritable défilé qui s'installe entre celui-ci et la fourmilière. C'est en observant ce genre de processus auto-organisés que les scientifiques ont compris le parti qu'ils pourraient en tirer pour faire travailler ensemble des robots.

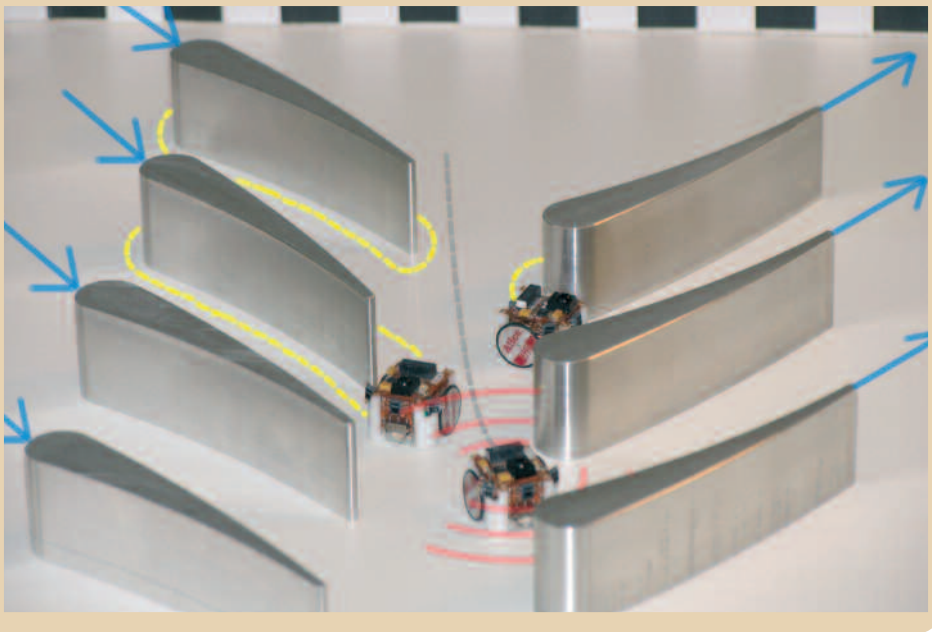
Les chercheurs ont constaté que les interactions entre les fourmis sont très rudimentaires et qu'elles se limitent dans l'espace à quelques centimètres. Mais cela leur suffit pour réussir à atteindre ensemble leur but : transporter le maximum de confiture dans leur réserve. En fait, elles communiquent entre elles par des contacts d'antennes, par des échanges de nourriture et en déposant sur le sol des phéromones – des traces chimiques. Chaque fourmi laisse une trace si bien que la quantité de phéromones augmente au fur et à mesure des passages. Et plus il y a de phéromones, plus le chemin est balisé et plus les fourmis sont incitées à emprunter le passage.

Les scientifiques qui utilisent des mini-robots comme Alice (voir l'encadré) s'inspirent de ce type d'observation pour faire travailler ensemble leurs petites machines. Pour l'heure, ils leur donnent des missions apparemment simples, comme se regrouper pour déplacer ensemble un objet. Ils les programment également pour se déplacer de façon cohérente sur une surface, tout en évitant les collisions avec les autres robots. Bien sûr, ici, il n'y a pas d'antennes, pas de traces chimiques. Les premières sont remplacées par des capteurs de proximité et les deuxièmes par d'autres formes de balisage et de communication, par exemple en utilisant des signaux infrarouges ou électromagnétiques.

Le Groupe de recherche sur les systèmes collectifs intelligents de la Faculté Informatique et Communication de l'EPFL s'emploie aujourd'hui à améliorer l'auto-organisation de ces petites machines. Ainsi les prochaines générations pourront par exemple déceler de façon précise mais économique les défauts d'une surface ou d'une structure. On pourra déceler des problèmes dans une turbine ou le long d'une conduite de gaz et, de ce fait, prévenir des accidents.

Alice, un des plus petits robots autonomes à roue du monde

Ce mini-robot a été créé à l'EPFL par les chercheurs du Laboratoire des systèmes autonomes. C'est un petit cube de 2 cm de côté qui se déplace à 4 cm/seconde au maximum. Il abrite 3 piles bouton, 4 capteurs infrarouges, 2 micromoteurs et un microcontrôleur. Le tout pour un poids de moins de 5 grammes !



Réalisé à l'occasion du festival Science & Cité 05 avec la collaboration de l'Université de Lausanne

UNIVERSITE DE LAUSANNE

Science et Cité
festival05.ch
Espace Arlaud

La lutte contre les dépendances passe par une meilleure connaissance des activités du cerveau

Pourquoi certains sont-ils attirés par un produit comme le tabac, la cocaïne ou un médicament à tel point qu'ils utilisent une grande partie de leur énergie pour la recherche et la consommation de ce produit ? Pourquoi certains disent-ils qu'ils ne peuvent pas se passer de chocolat ou de course à pied ? La réponse à ces questions est étroitement liée à la dopamine. Une substance qui est libérée dans le cerveau lorsqu'on consomme ou lorsqu'on pense à un produit qui a su se faire apprécier; lorsqu'on exerce – ou s'imagine exercer – une activité physique intensive que l'on aime.

Conseil scientifique : Daniele Zullino

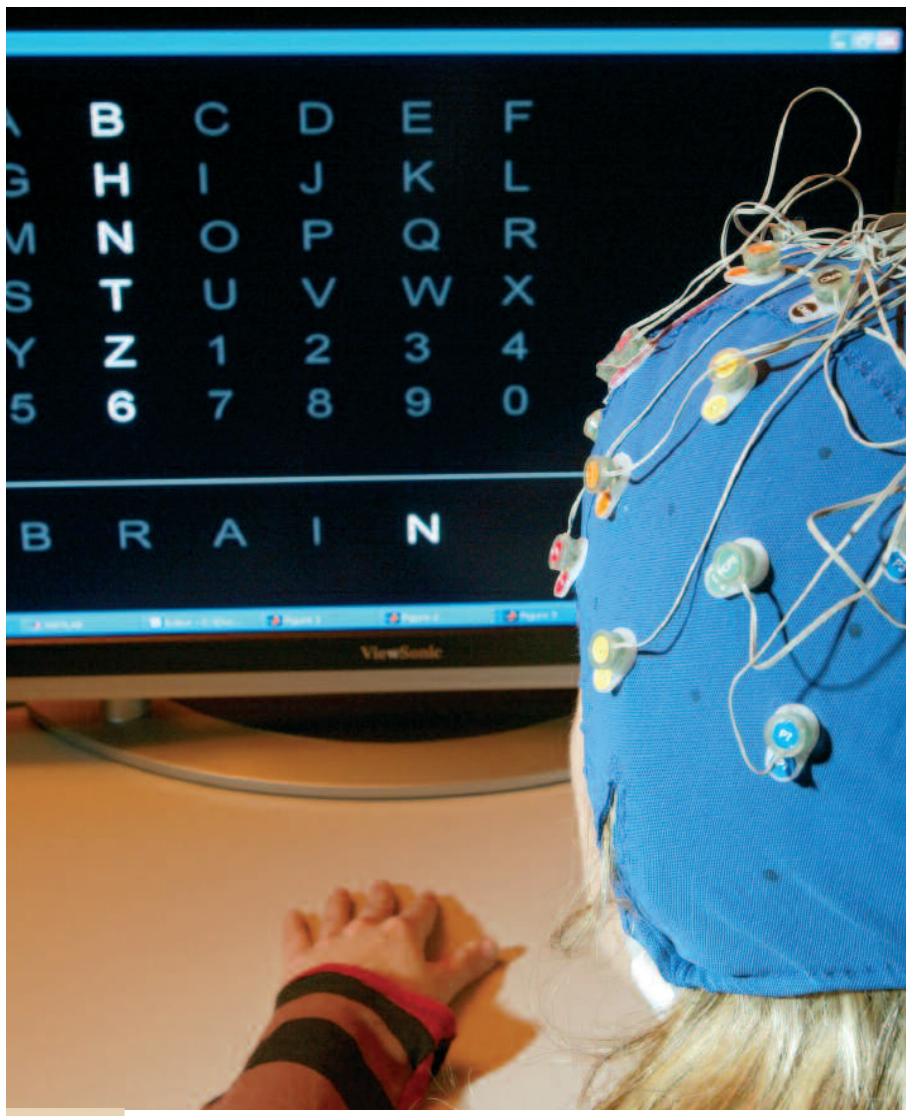
Tout comportement, tout produit qui fait envie et vers lequel on se sent attiré provoque une réaction que les spécialistes appellent l'addiction. Il s'agit d'un phénomène que l'on peut comparer à une ornière : lorsqu'un véhicule passe près d'une ornière, il a bien plus de chance de tomber dedans que de l'éviter. L'ornière attire, tout comme un produit ou un comportement peut exercer un attrait sur une personne. Et plus l'ornière est grande, plus le risque d'y tomber augmente. Plus l'attrait pour un produit ou une conduite est fort, plus il sera difficile d'y résister.

C'est ici qu'intervient la dopamine. Cette matière chimique excite, dans le cerveau, des cellules qui gouvernent le comportement et la motivation. Elle renforce les connexions liées à la mémorisation et à la récompense : lorsque, par exemple, un fumeur pense à sa cigarette ou qu'il en voit une, son cerveau produit de la dopamine, ce qui a pour effet de renforcer son envie de fumer et de l'inciter à « en allumer une ». Et plus une personne est habituée à avoir un taux de dopamine élevé, plus elle aura tendance à vouloir retrouver ce niveau et donc à répéter son geste de consommation. Dans l'image de l'ornière, on pourrait dire que la dopamine accentue la profondeur du creux et rend donc plus difficile encore la possibilité de l'éviter.

Les chercheurs du Département de psychiatrie adulte de l'UNIL travaillent à décoder encore mieux ce phénomène. Leur souhait est de trouver des moyens pour créer des « ornières alternatives » : si une grande partie des addictions est néfaste – les drogues, le tabac, la surconsommation d'alcool ou de médicaments – il en est d'autres qui, comme l'activité sportive intense, devraient pouvoir prendre le relais sans dommage pour la santé. Plusieurs types de thérapies tentent aujourd'hui de favoriser de telles activités de substitution… en attendant le développement de médicaments qui permettront la libération de dopamine dans les « bonnes situations » et l'empêcheront dans les comportements à risque.

Faire travailler une machine par la seule forc

Un homme sur une chaise roulante. La chaise se déplace, tourne à gauche, à droite et s'arrête sans que son passager n'ait fait le moindre mouvement, ni même bougé la plus petite phalange. Et, pourtant, c'est bien lui qui la guide. Cet épisode est encore du domaine du futur, mais il n'est plus utopique.

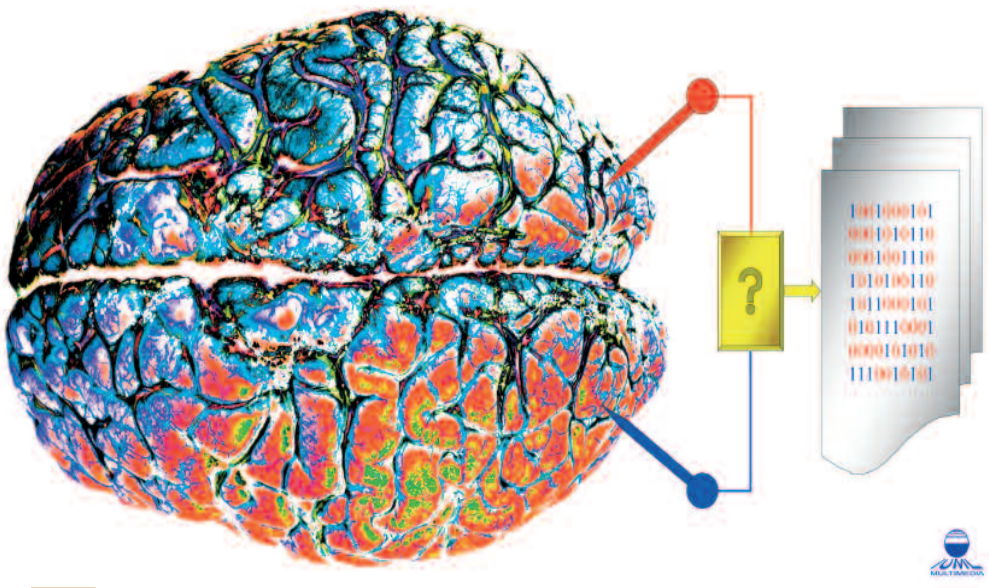


Les électrodes placées sur la tête perçoivent les ondes émises par le cerveau.

Les scientifiques planchent en effet sur la possibilité de donner des ordres à des machines grâce aux ondes qu'émet le cerveau. Ils ont donné un nom à cette discipline nouvelle : Interfaces cerveau-ordinateur. Quand une personne pense, son cerveau émet des signaux électriques. L'amplitude est extrêmement faible : de l'ordre de quelques dizaines de millionièmes de volt. Mais cela suffit juste pour que des électrodes placées sur la tête puissent la percevoir. Dans le cerveau, cela se passe ainsi : quand nous pensons à faire un mouvement du bras gauche, des courants électriques s'établissent entre les neurones de certaines zones du cerveau. Ces courants ne sont pas les mêmes lorsqu'il s'agit de déplacer le bras droit. Les scientifiques savent aujourd'hui associer la pensée du déplacement du bras droit à un réel déplacement d'un véhicule à droite et la pensée du déplacement du bras gauche à un réel déplacement du même véhicule vers la gauche. Les

Un détecteur de mensonge fiable à 100 % ?

L'assassin présumé ment-il lorsqu'il affirme être innocent ? Le prétendu terroriste ment-il quand il dit n'avoir jamais posé de bombe ? Le sportif de pointe s'est-il oui ou non dopé ? Depuis longtemps, on cherche à trouver des moyens scientifiques pour confondre les coupables.



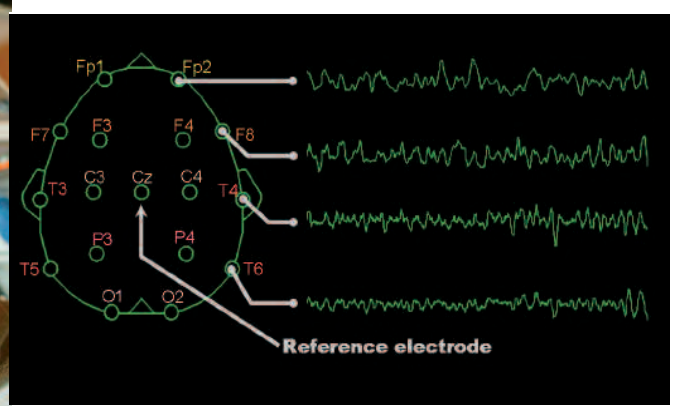
Le détecteur de mensonge de l'avenir ?

Le premier détecteur de mensonge a été créé en 1921. Il mesure l'activité cardiaque, l'activité respiratoire et détecte la sudation. Sous l'effet du stress, la tension artérielle, le rythme cardiaque, la fréquence et l'amplitude de la respiration augmentent; de plus, la transpiration devient plus forte. Or il est connu qu'une personne qui ment a tendance à être stressée. Le problème, c'est que face à une situation, tout le monde ne réagit pas de la même manière : quelqu'un d'émotif passera facilement pour un menteur, même s'il dit la vérité; celui qui apprend à maîtriser ses émotions pourra donner l'impression qu'il dit la vérité alors qu'il ment. Pour faire face à cette difficulté, on a développé des instruments comme le détecteur de stress vocal ou la caméra qui enregistre les moindres mouvements des muscles du visage. Mais l'efficacité de ces procédés reste moyenne.

De nouvelles générations de détecteurs de mensonge sont en train de voir le jour. Ces systèmes font directement appel à l'activité du cerveau, source du mensonge. L'un d'entre eux est baptisé « empreinte cérébrale » : on mesure les ondes produites par le cerveau avec des électrodes placées sur un bandeau autour de la tête d'une personne. On lui projette ensuite une image. Si l'information est connue de la personne, les ondes de son cerveau se font plus amples que si l'information est absente. Le pic survient après 300 millisecondes, soit un temps beaucoup trop court pour que la personne puisse « se fabriquer » une autre réponse. Ainsi, si on présente à un suspect l'arme d'un crime, son cerveau réagira de façon différente s'il l'a tenue une fois dans ses mains ou s'il ne l'a jamais vue.

...te de son cerveau

Conseil scientifique: Touradj Ebrahimi



volontaires qui font les tests peuvent apprendre à manier leurs états mentaux pour multiplier les possibilités d'action par la pensée: aller tout droit, s'arrêter, reculer…

Mais cela leur demande pour l'heure pas mal d'entraînement. C'est que les parasites sont nombreux: un léger froncement de sourcils, par exemple, perturbe complètement les enregistrements réalisés par les électrodes. Et l'environnement n'est pas en reste: on constate ainsi que les émissions électriques produites par un ordinateur sont des centaines de fois plus élevées que celles émises par le cerveau. Les chercheurs du Laboratoire de traitement des signaux de l'EPFL sont d'avis cependant qu'on devrait à terme réussir à maîtriser ces parasites. De plus, l'amélioration des enregistrements des signaux électriques permettra de multiplier les possibilités de transmettre les ordres par la pensée. A terme, les perspectives sont riches. Ainsi, peut-être qu'un jour nous serons capables de transférer le texte d'une rédaction directement de notre cerveau sur l'ordinateur. Restera sans doute à régler d'une autre manière la question des fautes d'orthographe!!!

Conseil scientifique: Beat Horisberger

D'autres techniques de pointe cherchent à cerner les zones du cerveau qui se mobilisent lorsqu'on dit la vérité ou lorsqu'on ment. Il apparaît en effet que ce ne sont pas les mêmes. Les recherches se concentrent sur les techniques capables de mettre en évidence ces zones sans contestation possible. On travaille aujourd'hui avec l'IRM (imagerie par résonance magnétique) qui permet de mettre en évidence les différences d'activité cérébrale ou avec des capteurs infrarouges placés sur la tête et capables de différencier l'afflux sanguin dans la zone «vérité» ou dans la zone «mensonge». Si de substantiels progrès ont été réalisés ces derniers temps, on manque encore de recul. Aujourd'hui, il est donc toujours impossible de dire qu'il existe un détecteur de mensonge fiable à 100%. Mais ce jour n'est peut-être plus très éloigné.

Le fonctionnement musculaire du corps est efficace et économique

Marcher, courir, tourner la tête, saisir un objet, lancer des dés ou un javelot… Chaque geste du corps fait intervenir toute une série de muscles qui sont eux-mêmes commandés par le cerveau. Un travail d'une infinie subtilité que les scientifiques cherchent à mieux comprendre. Ils observent comment s'organise la motricité. Ils tentent de définir les moyens les plus efficaces qui permettent notamment aux sportifs, handicapés, malades ou personnes âgées d'améliorer leurs performances et leur bien-être.

Mesure du temps de réaction en microgravité.

Conseil scientifique: Rose-Marie Repond

Les chercheurs de l'Institut des sciences du sport et de l'éducation physique de l'Université de Lausanne observent que, dans la plupart des situations, le cerveau fait fonctionner les muscles de telle manière que les mouvements sont à la fois efficaces et économiques du point de vue de la dépense d'énergie. Ainsi, l'homme qui marche se met naturellement à courir, s'il doit presser le pas. Il est en effet plus facile de courir lentement que de marcher vite. C'est ce que l'on appelle la règle de l'économie de moyens. En football par exemple, le bon joueur n'est pas nécessairement celui qui court le plus vite, mais celui qui sait être au bon endroit au bon moment. Son appréciation de la situation lui a permis d'identifier les bonnes informations, de se déplacer au bon endroit. Il donne ainsi l'impression d'avoir le temps.

Le bon joueur sait aussi feinter, donner l'impression de partir d'un côté avec le ballon, et s'échapper de l'autre côté. Pour réussir à tromper son adversaire, tout doit se passer très vite: d'abord il donne un premier signal – il part à gauche – pour que l'autre footballeur commence à sélectionner sa réponse dans son cerveau. Si le deuxième signal – le changement de trajectoire à droite – intervient dans un intervalle de 60 à 200 millisecondes, l'adversaire, qui a déjà mis en route sa programmation de réponse, ne peut pas revenir. Il est pris à contre-pied. La feinte a fonctionné. Si les deux signaux sont donnés dans un temps inférieur à 60 millisecondes, l'adversaire n'aura pas le temps de programmer la première réponse; il pourra partir dans la bonne direction; la feinte ne marchera pas.

La rapidité des transmissions neuromusculaires que l'on observe chez les sportifs de pointe s'explique par l'entraînement. En ne choisissant pas systématiquement les situations les plus simples, les plus confortables, ils créent dans leur cerveau de nouvelles connections synaptiques qui améliorent leurs conduites neuromusculaires. Ils augmentent ainsi leurs performances, améliorent leur coordination et trouvent de nouveaux équilibres. Un exemple que chacun peut suivre pour progresser sur le plan moteur.

Le processus stimulus-réponse

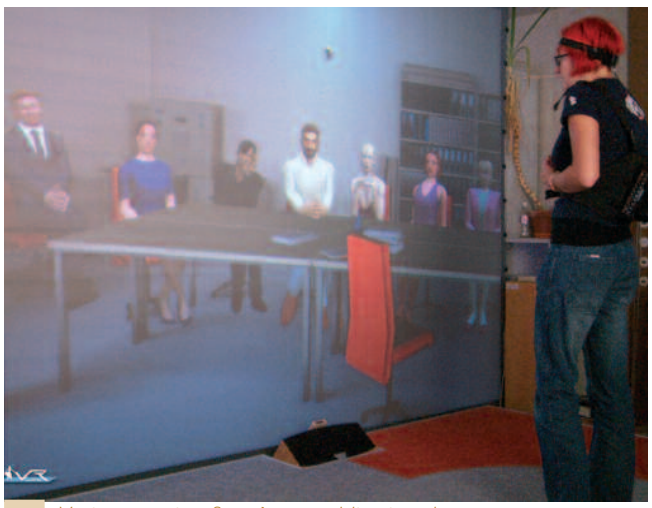
Vous circulez sur un scooter ou au volant d'une voiture. Le feu passe au rouge. Il vous suffit de 0,2 seconde pour réagir. Durant ce temps infime, votre œil prend en compte l'information et la transmet au cerveau qui l'identifie. Celui-ci sélectionne ensuite la bonne réponse, programme la réaction, puis envoie le programme pour que le geste se fasse. Cette succession de tâches est indispensable pour freiner et arrêter votre véhicule.

Cet enchaînement ultrarapide perd de son efficacité dès que l'on est occupé à plusieurs tâches. Lorsqu'on téléphone tout en conduisant sa voiture, par exemple, une partie de l'attention est concentrée sur la discussion et non sur la route. Le champ de vision diminue et le temps de réaction s'allonge. Il faut alors beaucoup plus de temps pour appuyer sur les freins. Les conducteurs débutants savent intuitivement qu'ils ne peuvent faire deux choses à la fois sans diminuer l'attention qu'ils portent à chacune d'elles. Ainsi, lorsque la route est droite, ils discutent volontiers avec les passagers. En revanche, ils se taisent à l'approche d'un rond-point.

La réalité virtuelle pour lutter contre les peurs

Conseil scientifique: Françoise Riquier, Bruno Herbelin

Le sentiment de peur, tout le monde connaît. La peur est positive quand elle permet de réagir de façon efficace contre une menace ou un danger. En revanche, elle peut gâcher la vie quand elle survient dans des situations relativement courantes, sans qu'il y ait un réel danger.



«Vraie» oratrice face à un public virtuel

Exemples fréquents: la peur des araignées ou celle de parler en public. Les symptômes sont à chaque fois les mêmes: mains moites, cœur qui paraît s'arrêter ou qui, au contraire, bat la chamade, gorge nouée, respiration bloquée, boule à l'estomac. Rien n'y fait: même en essayant de se raisonner, la peur est là et on se sent incapable d'y faire face.

Les thérapies comportementales et cognitives permettent de soigner ces phobies paralysantes: la personne concernée rencontre un psychiatre ou un psychologue spécialisé qui analysera avec elle comment se fonde le phénomène. Ensemble ils verront à quel point le danger est surestimé, ils réfléchiront au sentiment de vulnérabilité et seront amenés à interpréter les symptômes de peur. Cette manière de faire permet de regarder le problème en face et de remettre le danger réel «à sa juste place». Ainsi, pour lutter contre la phobie de l'avion, le patient va parler de la peur qu'il ressent; le thérapeute pourra préciser d'où provient cette phobie largement surestimée et pourtant très commune; il expliquera également comment fonctionne un avion; il s'attachera encore à démontrer combien le degré de sécurité des transports aérien est élevé.

Depuis peu, la réalité virtuelle est venue en appui à ces thérapies. Cette technologie recrée une réalité qui permet au patient de s'immerger dans la situation redoutée. Ainsi, muni d'un casque qui couvre les yeux et d'écouteurs, le patient peut avoir le sentiment de revivre de très près l'expérience traumatisante qu'il a déjà vécue. S'il a peur de parler en public, il aura devant les yeux un public virtuel et il pourra s'entraîner jusqu'à ne plus ressentir son blocage. Mieux, au fur et à mesure de ses progrès, il pourra affronter un public de plus en plus distrait et apprendre ainsi à se montrer convaincu même quand ce n'est pas gagné d'avance.

Les recherches menées par le Laboratoire de réalité virtuelle de l'EPFL et la Consultation spécialisée dans le traitement des troubles anxieux à Lausanne montrent que l'utilisation de la réalité virtuelle offre des perspectives importantes dans ce genre de phobies. Elle est souvent plus facile à mettre en place que la «réalité vraie»: ce n'est pas simple, par exemple, de disposer d'un public réel en permanence. Elle s'avère par ailleurs nettement plus efficace que les mises en situation où le patient s'imagine vivre la situation traumatisante.

Les expériences montrent que ce système de reconstitution par la réalité virtuelle peut fonctionner dans de nombreuses situations: peur d'entrer dans un bar, peur de l'atmosphère d'une disco, par exemple. Certains chercheurs travaillent sur la peur des araignées: au travers du visiocasque, ils incitent le patient à s'approcher peu à peu d'une araignée jusqu'à avoir virtuellement l'impression de la toucher. Il s'avère qu'ensuite, dans la «réalité vraie», la plupart des personnes voient leur phobie régresser de façon importante.

Les 5 sens, capteurs du monde extérieur

Nous sommes capables de percevoir le monde qui nous entoure grâce à nos sens. La vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût nous apportent en permanence des informations qui nous permettent d'élaborer une représentation du monde. Les sens sont en fait de véritables capteurs qui transmettent au cerveau des messages provenant de sources proches ou lointaines. Certains de ces capteurs sont excités par des informations chimiques (odorat et goût), lumineuses (vision) ou mécaniques (audition et toucher).

Le système des sens fonctionne ainsi: Les récepteurs sont stimulés par un message. La nature, l'intensité et la durée de la stimulation sont codées en signaux électriques. Ceux-ci sont transportés par les nerfs jusque dans les zones de réception spécialisées de l'écorce cérébrale. Les centres supérieurs du cerveau filtrent ensuite ces informations, les rassemblent, les analysent, les comparent avec d'autres stimuli et d'autres données antérieures, les reconnaissent, les interprètent, les classent et les stockent. C'est ensuite seulement que le cerveau peut réagir au stimulus et envoyer sa réponse. Tout cela en quelques fractions de secondes!
Si le fonctionnement général est le même, chaque sens apporte des informations différentes. Rapide passage en revue.

La vue détecte la lumière. Dès qu'une source lumineuse (soleil, lune, lampe…) éclaire un objet, celui-ci renvoie des radiations lumineuses. Ce sont ces rayonnements que les récepteurs de la rétine de l'œil perçoivent. Certains récepteurs sont spécialisés dans la réception quantitative de la lumière et d'autres dans la nuance des couleurs.

L'ouïe détecte les sons. Autrement dit les vibrations que certains objets transmettent dans l'air. Il peut s'agir de cordes vocales, d'instruments de musique, de moteurs, du bruissement des feuilles d'un arbre,… Ces vibrations sont transmises jusqu'à l'oreille interne qui est capable de distinguer la hauteur du son – du grave à l'aigu – son intensité et sa durée. Le reste du travail d'interprétation se fera par le cerveau.

Le toucher détecte les stimulations – comme une caresse ou une pression plus appuyée – exercées directement sur le corps. Il est également capable de percevoir les différences de températures. Les récepteurs du toucher se trouvent sur l'ensemble du corps; ils sont particulièrement nombreux au bout des doigts. Lorsque les stimulations sont excessives, le cerveau se met à les interpréter comme des signaux de douleur. Il peut ainsi organiser la défense contre l'agression.

Le goût détecte les substances introduites dans la bouche. La langue contient de nombreux récepteurs regroupés en papilles gustatives. On sait aujourd'hui que les saveurs perçues sont au nombre de cinq. Outre les quatre énoncées classiquement – sucré, salé, amer, acide – il y a l'umami (un mot qui signifie savoureux, délicieux en japonais et que l'on peut associer au glutamate). Enfin, la bouche est capable de reconnaître la texture d'un aliment, son fondant, son moelleux ou sa rugosité.

L'odorat détecte des substances qui se trouvent en suspension dans l'air. Par la respiration, ces substances sont amenées dans les fosses nasales qui contiennent des récepteurs chimiques spécifiques. Les cellules olfactives ont une caractéristique que n'ont pas les autres systèmes sensoriels: elles se renouvellent constamment. L'odorat est un sens intimement lié à celui du goût. C'est leur association qui permet au cerveau de reconnaître avec précision de quel aliment il s'agit. On s'en rend compte lors d'un rhume: lorsque le nez est bouché, la perception du goût des aliments est très perturbée.

Les émotions se lisent sur le visage

A chaque instant de la vie, nous sommes traversés par des émotions: la joie, la fierté, le soulagement, la tristesse, le désespoir, la colère, la rancune, la peur, l'étonnement, le dégoût sont quelques-uns des sentiments que nous pouvons ressentir. Le français, l'anglais, l'allemand et la plupart des autres langues disposent de 200 à 300 mots pour figurer les émotions.

Conseil scientifique: Tanja Bänziger

Pour rendre compte de cet univers aussi complexe que subtil, certains scientifiques parlent aujourd'hui de familles d'émotions. La famille de la colère recense par exemple l'agacement, l'irritation, l'énervement, l'exaspération ou encore l'indignation. Autant de sentiments qui s'extériorisent à travers la voix et les expressions du visage notamment. Le Groupe de recherche sur les émotions de la section de psychologie de l'Université de Genève étudie ces manifestations. Ses chercheurs se sont rendu compte qu'il existait une quasi-infinité de possibilités d'exprimer ses émotions. Chaque personne a ses propres façons qui dépendent de la mobilité de son visage, de son expressivité, de la sûreté de sa voix ou encore de ses intentions.

La diversité peut aussi se manifester en comparant l'expression des traits du visage et l'expression de la voix. Certaines émotions sont très clairement communiquées par le visage. Un sourire signale par exemple qu'une personne est contente. D'autres émotions, par exemple la colère, sont plus facilement communiquées par la voix.

La façon dont nous exprimons nos émotions est donc d'une extraordinaire finesse. En un éclair, nous transmettons à nos interlocuteurs des renseignements d'une grande précision sur nos états d'âme alors qu'il faudrait peut-être un long discours pour exprimer la même chose avec des mots.

Les chercheurs pensent que l'on pourra bientôt modéliser l'expression des émotions à l'aide d'ordinateurs bien mieux que ce que l'on est capable de faire aujourd'hui. Dans les jeux, les personnages de synthèse pourraient même montrer des émotions qui évoluent en fonction du scénario; du coup, le scénario pourrait lui aussi évoluer en fonction de leurs réactions et donc de leurs émotions! On peut même envisager l'apparition de jeux qui, dans un souci de plus grande interactivité, évoluent en fonction des émotions du joueur. Pour les percevoir, l'ordinateur enregistrera les réactions de son visage et les intonations de sa voix avec une webcam et un micro. L'analyse informatique permettra ensuite de mettre en évidence les émotions qu'il aura exprimées.

http://sciensationnel.epfl.ch

Projet: Nathalie Pichard (EPFL), Maya Frühauf (EPFL)
Rédaction et suivi éditorial: Marie-José Auderset et Jean-Blaise Held
Illustrations: Albin Christen (www.albin.ch) Design graphique: antidote, Lausanne
Impression: Graphstyle, Lausanne Tirage: 8'000 exemplaires ©EPFL, mai 2005