

Une vision simplifiée transmise au cerveau par la peau : retour d'expérience du projet 6^{ème} sens

Par Amaury BUGUET et Rémi DU CHALARD
Artha France

Dans les années 1970, un chercheur du nom de Paul Bach-y-Rita a mis en lumière le principe de substitution sensorielle, selon lequel le cerveau peut remplacer un sens par un autre. Cela est rendu possible par la plasticité neuronale, qui permet aux neurones du cerveau de se reconfigurer grâce à l'apprentissage. Ses recherches l'ont conduit à imaginer un appareil pour les non-voyants, dont le but était de remplacer la vue par le toucher à l'aide d'une matrice de picots pouvant dessiner sur la peau des images capturées par une caméra. En 2018, le projet 6^{ème} sens est reparti de ses recherches afin de mettre au point un dispositif au concept similaire, mais plus évolué et surtout portable grâce aux avancées scientifiques réalisées depuis. Il a donné lieu à la mise au point de trois prototypes et des non-voyants testeurs arrivent déjà à se déplacer en ville avec le dernier en date. Le projet est sur le point d'aboutir à une première version finale, dont on espère la sortie en fin de cette année.

Introduction à la substitution sensorielle

Une découverte...

L'histoire commence dans les années 1960, quand George Bach-y-Rita accomplit l'exploit de refaire marcher son père, Pedro, pourtant hémiparétique depuis un AVC. Ce dernier, après un an de rééducation, arrive même à danser et à jouer du piano, ce qui conduit son autre fils, Paul, à commencer à émettre pour la première fois l'idée d'une plasticité neuronale. Ce principe met en lumière le fait que les neurones du cerveau peuvent se reconfigurer grâce à l'apprentissage, et ce même chez l'adulte.

Les travaux de Paul Bach-y-Rita sur le sujet lui permettent ensuite de démontrer le principe de substitution sensorielle, grâce auquel le cerveau peut remplacer un sens par un autre. Ses études le conduisent à mettre au point en 1969 une machine, le TVSS (Tactile Vision Substitution System), qui consiste en une caméra couplée à un grand fauteuil dont le dossier est doté de picots. Le dispositif est ainsi capable de prendre en photo un objet, puis de transformer l'image qui en résulte afin de pouvoir l'afficher en relief à l'aide des picots.

... et des travaux complémentaires

De nombreuses études ont par la suite prouvé l'efficacité de cette méthode. Elles ont mis en lumière, d'une part, le besoin d'apprentissage et, d'autre part, la nécessité que

l'utilisateur puisse contrôler la caméra afin qu'il soit en mesure de mettre en relation ses actions et ses sensations.

Dans les années 2000, de nouvelles recherches et améliorations ont permis d'aboutir au TDU (Tongue Display Unit), un appareil qui permet de produire des impulsions électriques par le biais d'une grille comprenant 144 points de stimulation et située sur la langue.

Les récentes améliorations en termes de miniaturisation de caméra et de puissance des microcalculateurs ont conduit à penser qu'il était possible de créer aujourd'hui un dispositif fonctionnant sur la base du même principe que celui de Paul Bach-y-Rita, mais s'avérant plus performant et abouti, c'est ce qui a donné naissance au projet 6^{ème} sens.

Le projet 6^{ème} sens

Point sur la situation des non-voyants

Le nombre de personnes malvoyantes et non voyantes est estimé, en France, à environ 2 millions. À ce chiffre, il convient d'ajouter les personnes vieillissantes également concernées par la déficience visuelle car sujettes à des troubles de la vision, tels que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA).

Malgré les agencements mis en place pour tenter de pallier les difficultés de leur vie quotidienne (bandes podotactiles, feux sonores, cannes, chiens guides...), les per-

sonnes aveugles ou malvoyantes souffrent d'un manque d'aménagements, d'aide technique et d'accessibilité. Elles restent directement exposées notamment lors de leurs déplacements, encourageant des risques réels à l'occasion de simples trajets de proximité.

Les non-voyants sont affectés non seulement dans leur vie quotidienne mais également dans leur vie professionnelle : on sait qu'environ 50 % d'entre eux sont sans emploi du fait de leur handicap.

C'est dans le but de trouver une solution à toutes ces problématiques que l'entreprise Artha France et son projet 6^{ème} sens ont vu le jour.

Artha France

Créée en octobre 2018, Artha France a pu se lancer notamment grâce à sa victoire à un concours de projets d'étudiants organisé par Sopra Steria. Depuis ce jour, elle alterne phases de développement et phases de tests afin de pouvoir proposer un dispositif ayant une utilité certaine, déterminée grâce aux retours des testeurs.

L'appareil développé est assez similaire dans son principe à celui conçu par Paul Bach-y-Rita. Il est composé d'un afficheur, d'un calculateur et de capteurs servant à acquérir en temps réel des données sur l'environnement. La partie Calculateur se charge de récupérer les images provenant de la partie Capteur, puis de générer une carte de profondeur 3D à partir de ces dernières. Enfin, elle transmet cette carte à l'afficheur, qui se présente sous la forme d'une grille de solénoïdes ou picots (petits actionneurs linéaires pouvant se lever ou s'abaisser), intégrée dans une ceinture dorsale.

Artha France en est actuellement à la troisième version de son prototype, lequel est complètement portable et dispose de nouvelles fonctionnalités pratiques. En effet, il peut maintenant se connecter à d'autres sources que la caméra, comme un ordinateur ou un téléphone portable, ce qui ouvre le champ à de nouvelles applications, comme la lecture de textes ou l'utilisation de jeux vidéo.

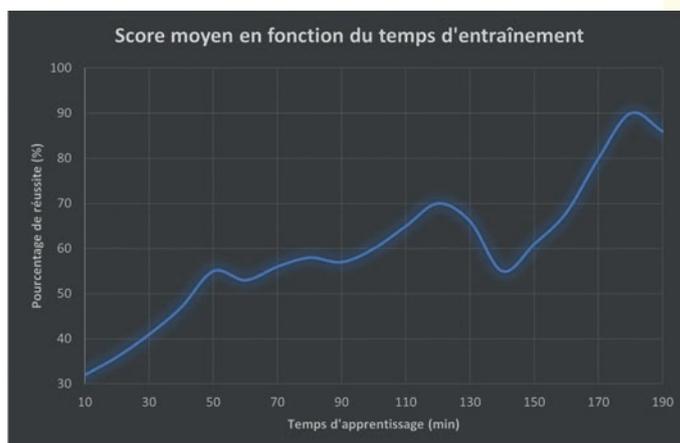
L'entreprise est sur le point d'aboutir en ce début d'année 2021 à une version finale, et espère pouvoir commencer la production d'un produit fini à la fin de celle-ci. Après cette étape, un travail d'amélioration en continu pourra prendre place grâce aux retours des premiers utilisateurs, et, en parallèle, de nouvelles fonctions seront développées pour étendre l'utilité de l'appareil.

Essais cliniques et résultats

Essais de validation du concept

Les premiers essais cliniques effectués avaient pour but d'évaluer la pertinence du concept de substitution sensorielle. Ils ont été effectués avec le premier prototype (comportant une matrice de 4 x 4 picots placée sur le bras) et consistaient en de petits exercices simples, comme reconnaître l'affichage d'un sens de balayage ou d'une forme.

Ces tests ont prouvé l'efficacité de la substitution de sens et ont mis en lumière la nécessité d'une phase d'apprentissage afin de pouvoir utiliser tout le potentiel de la solution.



Source : Artha France.

On constate par ailleurs qu'après 2 h d'entraînement, cet apprentissage est affecté par un phénomène de saturation, plus ou moins fort selon les testeurs.

Essais en environnement virtuel

Pour la seconde phase d'essais, un environnement virtuel a été mis en place afin que les tests se déroulent en toute sécurité et dans des conditions telles qu'un utilisateur ne puisse pas « tricher » en faisant appel à ses autres sens (ouïe, sens des masses). Il se composait de quelques labyrinthes et de différents mini-jeux d'adresse et de précision, et a notamment servi à améliorer le système d'affichage du bracelet.

La difficulté technique liée à cet affichage réside dans le fait de reconstituer un environnement en 3D sur une matrice de picots en 2D. Le système retenu à ce stade du développement pour pallier ce problème consistait à diviser la carte de profondeur en plusieurs calques successifs : ainsi, les objets les plus proches sont d'abord affichés, puis les objets légèrement plus éloignés, et ainsi de suite jusqu'à arriver à la distance de vue maximale choisie (avoisinant généralement les 10 mètres). Ainsi, on dispose en quelque sorte d'un scan de l'environnement qui s'enfonce progressivement et qui affiche à chaque instant ce qu'il rencontre.

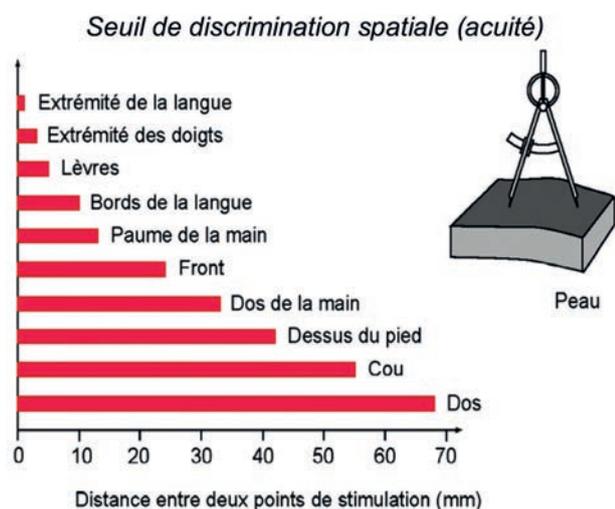
Essais en conditions réelles

La dernière phase en date des essais avait pour but de montrer l'utilité finale du dispositif, à savoir aider des déficients visuels dans leurs déplacements quotidiens. Elle s'est donc déroulée en conditions réelles, dans des rues et des parcs comprenant des obstacles, des passants, des escaliers et toutes les autres difficultés que peut rencontrer un non-voyant dans ses trajets. Elle a été effectuée avec le dernier prototype en date, dont la matrice de picots est située dans une ceinture dorsale et est couplée à une caméra stéréoscopique située sur un masque obstruant la vision (pour les tests avec les voyants et les malvoyants ayant encore un certain niveau de vision).

Les résultats ont prouvé qu'il est largement possible de se déplacer sans danger grâce à ce dispositif, qui permet de repérer la majorité des obstacles (voitures, poubelles, poteaux...), et ce sans avoir besoin d'un apprentissage

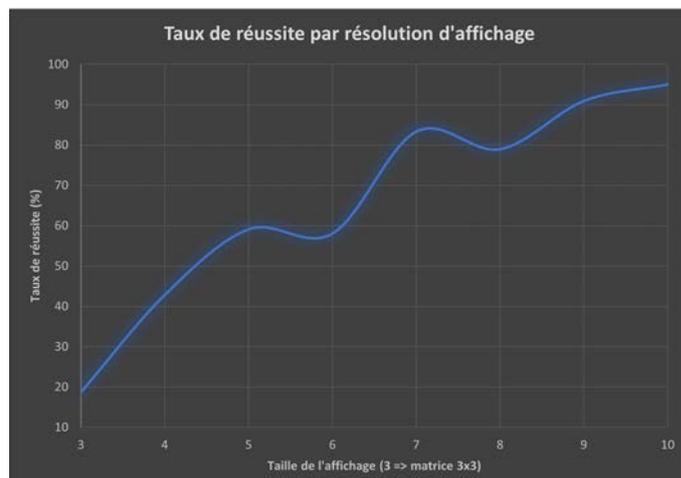
approfondi. En effet, sur une durée de test d'environ une heure, au bout d'un quart d'heure seulement les testeurs pouvaient correctement se déplacer dans la plupart des situations non complexes. L'apprentissage leur a servi par la suite à augmenter leur vitesse de déplacement, à se mouvoir de manière plus sereine et à comprendre des environnements plus encombrés.

Les capacités du corps humain



Les travaux de recherche estiment la précision de la sensibilité cutanée à seulement 7 cm pour le dos. Or, dans le dispositif d'Artha France, les solénoïdes de la matrice d'affichage ne sont éloignés que d'un centimètre de cette partie du corps et peuvent être différenciés par l'utilisateur si celui-ci a suffisamment de pratique. C'est la preuve qu'avec de l'apprentissage, il est possible d'améliorer grandement nos capacités sensorielles, et il est probable que les limites en la matière soient encore loin d'être atteintes.

Une autre expérience visant à confirmer ces capacités en termes de précision sensorielle a consisté en l'affichage de



Source : Artha France.

lettres avec des résolutions de plus en plus grandes. Elle a bien montré que le taux de réussite augmentait fortement avec la résolution, prouvant ainsi que le corps pouvait bien tirer profit de ces informations plus précises.

Comme Paul Bach-y-Rita l'a souvent dit, l'image optique ne dépasse pas les capacités de la rétine, laquelle est transformée en impulsions nerveuses transportées par les fibres jusqu'au cerveau. Toute l'idée de la substitution sensorielle réside dans le fait de remplacer ces impulsions par d'autres venant des capteurs sensoriels cutanés, que le cerveau pourrait interpréter de la même manière. C'est pourquoi, tout comme la lecture du braille, la vision par la peau sollicite le cortex visuel du cerveau.

Ces expérimentations laissent à penser que la piste de la substitution sensorielle reste encore jeune et inexploitée par rapport à son potentiel. Dans le futur, Artha France prévoit d'accroître le nombre de ses tests tout comme les améliorations apportées à son dispositif pour aller jusqu'aux limites de ce principe et peut-être un jour, grâce à lui, faire voir aux non-voyants le monde tel que nous le percevons !