

YEARBOOK / FAITS MARQUANTS

2024



institut
cognition



ÉDITION 2025

Sommaire

6

Cognition collective

10

Cognition et langage

24

Évaluations comportementales cognitives

32

Intelligence Artificielle

38

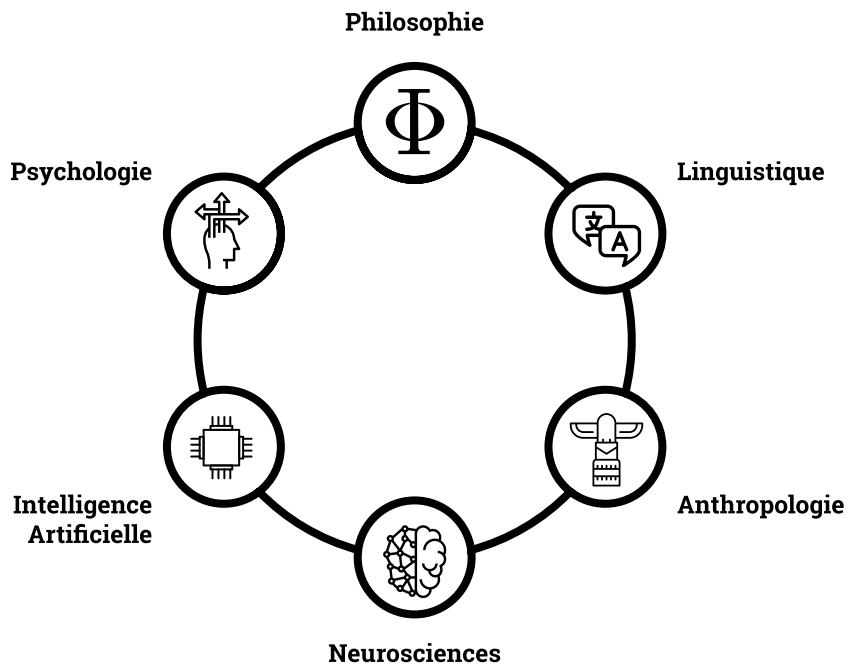
Technologies d'augmentation cognitive

52

Partenariats de recherche avec une entreprise

YEARBOOK / FAITS MARQUANTS

2024



institut
cognition



ÉDITION 2025

ÉDITO

2016-2024 : un premier bilan du partenariat de l'Institut Carnot Cognition



Célestin SEDOGBO

Directeur
de l'Institut Carnot Cognition

Nous avons le plaisir de vous proposer l'édition 2025 du *Yearbook* ou « Faits marquants » de l'année 2024 de l'institut Carnot Cognition créé en 2016. Huit ans d'une activité intense qui aura permis à l'Institut d'accomplir un sacré parcours, remarquable en de nombreux points :

- Plus grande (sans doute la première) structuration en France, Europe et à l'international sur la thématique de la Cognition.
- Une fédération de 21 laboratoires multidisciplinaires qui portent, en transverse, le champ thématique de la cognition.
- Une interdisciplinarité dans l'approche de la cognition : un réseau de près de 2000 chercheurs qui se parlent, se voient à travers les conventions scientifiques (une à deux par an) et la *Journée Recherche & Technologie* (un salon qui a lieu tous les 2 ans). Plus de 100 projets de ressourcement scientifique portés par au moins deux laboratoires de l'Institut et financés sur abondement de l'ANR.
- Un processus qualité fondé sur la connaissance des procédures de contractualisation des 21 labos et 26 tutelles, avec une revue annuelle de de direction.
- Une timide percée de la cognition comme enjeu stratégique auprès des entreprises, même si un long chemin reste à parcourir.

Ce Yearbook 2024 présente un ensemble non exhaustif des travaux de nos laboratoires qui peuvent constituer des sources d'inspiration pour l'innovation compétitive des entreprises.

4 axes scientifiques différenciateurs pour des synergies interdisciplinaires

L'Institut Cognition s'appuie sur un programme scientifique différenciateur articulé autour de quatre axes :

- Technologies d'augmentation cognitive
- Évaluations comportementales cognitives
- Cognition collective
- Cognition et langage

L'Intelligence Artificielle constitue un axe transversal pour toutes les analyses de données massives, notamment celles liées aux marqueurs cognitifs et comportementaux, et de ce fait n'apparaît pas ici comme un axe spécifique (on peut noter néanmoins que le quatrième axe est une composante de l'IA).

L'Institut se caractérise par une pratique originale de l'interdisciplinarité au travers d'appels à manifestation d'intérêt élaborés par les entreprises (AMI formalisant leurs besoins et attentes) suscitant des réponses impliquant au moins deux laboratoires. Une offre structurée de plateaux techniques de même qu'un portefeuille technologique (ressources) viennent compléter ce dispositif. Par son double maillage national et interdisciplinaire, l'Institut Cognition offre ainsi des **possibilités d'interactions transversales** fortes et pertinentes, qui n'ont pas, à notre connaissance, d'équivalent dans le monde.

Coordonné par le CNRS, l'Institut Carnot Cognition regroupe 21 unités de recherche réparties à l'échelle nationale (SCALAB, Lille - LISN, Orsay et Paris-Saclay - CHART, IJN, LSP, LSCP, ENSAD-Lab, Paris - Centre BORELLI, Paris Saclay - LaPEA, Boulogne Billancourt - COSTECH, Compiègne - LEAD, Dijon ; Gipsa-Lab, LIG, LPNC, Grenoble - IMS, Bordeaux - CeRCA, Poitiers - IRIT, CRCA, Toulouse - LIA, Avignon - LPL, Aix-Marseille - RPNC, Marseille). Le CNRS et Bordeaux INP ont constitué une unité interne mixte destinée à la gestion de l'Institut Carnot Cognition qui est l'UAR 2203 CNRS, qui a en charge la gestion opérationnelle d'équipe de support de même que le budget de fonctionnement.

Revenus de recherche partenariale avec les entreprises

Le revenu cumulé de recettes (facturées) de recherche contractuelle de 2016 à 2024 de l'Institut Carnot Cognition s'élève à **26 134 950€**, soit une **moyenne de 2,6 M€ par an**, avec environ 90 entreprises partenaires, représentant environ 770 contrats, d'un montant compris entre 10 000€ (les stages de Master encadrés) et 500 000€ (les chaires industrielles).

Une recherche partenariale de qualité pour l'innovation des entreprises

Pour organiser son positionnement local, national et international et se constituer comme le portail unique et l'interlocuteur naturel des entreprises françaises sur tout le spectre des enjeux cognitifs, l'Institut Cognition propose :

- Une orientation tirée par les besoins du monde socio-économique, en adéquation avec l'offre scientifique et technologique des laboratoires. Cette approche permet de proposer une réponse globale, couvrant l'ensemble des besoins d'une entreprise, en associant les compétences méthodologiques et l'expertise sur des fonctions cognitives spécifiques de plusieurs laboratoires.
- Une coordination structurante des actions de recherche contractuelle mises en place par les tutelles des laboratoires fondateurs de l'Institut Cognition, assurée via la gouvernance de l'Institut, son Directeur et un Bureau Opérationnel. Pour cela, chaque laboratoire impliqué mobilise dans cette action commune les ressources de gestion de contrats (SATT pour la gestion de la PI, départements de valorisation, structures de gestion...) actuellement engagées sur ce périmètre.
- Une mise en commun des plateformes, équipements et moyens de recherche des laboratoires de l'Institut Cognition, pour la recherche contractuelle.

Au nom des 21 Directeurs de laboratoires composantes de l'Institut Carnot Cognition et en mon nom personnel, je souhaite à toutes et à tous une bonne lecture.

Cognition collective



Étudier l'ensemble des interactions naturelles et artificielles dans différents contextes (émotionnels, culturels, etc.) afin de comprendre les processus sous-jacents (cognition sociale, croyance et régulation émotionnelle en contexte individuel et social, stéréotypes, effet du contexte social sur la cognition, interactions humain-humain/ animal/agents virtuels/robots).

Célestin SEDOGBO - Coordinateur scientifique

Les bases psychologiques de la gestion des déchets par les ménages

Frédérique AUTIN et Emilie GUICHARD (CeRCA)

Contexte scientifique

Face à l'augmentation des déchets, de nombreuses recherches ont étudié les déterminants psychologiques des comportements de gestion des déchets. Ces déterminants sont articulés dans différents modèles théoriques tels que la théorie du comportement planifié ou le modèle d'activation des normes. Sur la base de résultats méta-analytiques, nous proposons un modèle intégratif des déterminants principaux des comportements de gestion des déchets. Ce modèle intègre des influences situationnelles, normatives, attitudinales et liées au soi. Nous testons la valeur prédictive de ce modèle pour comprendre les habitudes et intentions comportementales envers deux comportements peu étudiés : le tri des déchets alimentaires et le dépôt en déchetterie.

Méthode

Un questionnaire a été administré à 2'814 personnes. Il permettait de mesurer les variables que nous cherchons à prédire (i.e., habitudes et intentions de tri des déchets alimentaires et de dépôt en déchetterie) et leurs déterminants. Ces derniers recouvraient des déterminants situationnels tels que les conditions matérielles facilitant ou entravant le tri, des déterminants normatifs tels que la perception de ce que font ou approuvent nos proches, des déterminants relevant des attitudes favorables ou défavorables envers le tri, et des déterminants liés au soi tels que l'identification à la cause environnementale.

Résultats principaux

Des modélisations en équation structurelles ont révélé une bonne adéquation du modèle intégratif aux données, expliquant entre 53 et 66% de la variance des intentions et habitudes de tri.

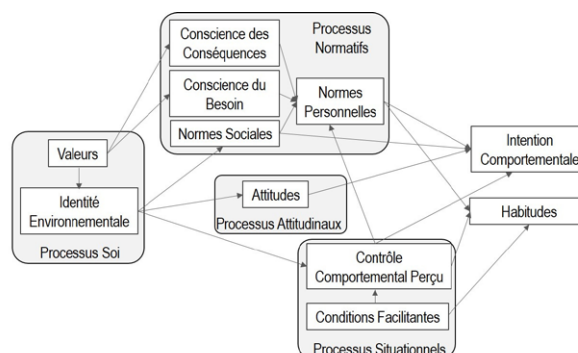


Figure 1 : Modèle intégratif des principaux déterminants du comportement de gestion des déchets

Discussion

Les quatre types de déterminants (situationnels, normatifs, attitudinaux, liés au soi) influencent les intentions et habitudes mais deux déterminants semblent particulièrement prépondérants : le sentiment d'obligation morale à trier, et le sentiment d'être en capacité de trier. Il s'agit de deux leviers importants pour infléchir les comportements de gestion des déchets

Rencontres tangibles à distance : soutien et contrainte

Charles LENAY, Florent LEVILLAIN, Krystelle GONZALEZ, et Vincenzo RAIMONDI (COSTECH)

Contenu scientifique

Interactions tangibles pseudo-haptiques

La perception tactile (haptique) n'est pas seulement le résultat des stimulations des récepteurs cutanés associées à des mouvements exploratoires. Le contact tactile est toujours aussi associé à la rencontre d'un objet tangible qui vient bloquer ou guider le geste exploratoire. Dans le cas d'interaction interindividuelles la rencontre mutuelle des corps tangibles devrait être directement porteuse de valeurs émotionnelles, positives ou négatives. Pour comprendre la spécificité de ce type d'interaction nous travaillons dans un environnement minimaliste où les interactions sont médiées par des interfaces techniques. Il s'agit de dégager les conditions qui donnent la perception de la rencontre d'autrui comme obstacle, alors même que les interactions s'effectuent à distance. Pour cela nous utilisons le principe de la perception pseudo-haptique que nous mettons en réseau.



Outils/méthodes

Les interfaces de communication tactile développées à l'UTC (équipe Intersubjectivité - laboratoire COSTECH), permettent une étude fondamentale des mécanismes d'interaction perceptive : couplage de boîtiers tactiles (piézoélectriques) avec les gestes exploratoires, mise en réseau, enregistrement des trajectoires perceptives, etc.

Principe démontré

Nous proposons une étude expérimentale minimaliste sur la capacité de paires de sujets à reconnaître qu'ils se font obstacle l'un à l'autre alors qu'ils se rencontrent à distance dans un environnement numérique. Les effets émotionnels sont évalués.

Exemples d'application

Principes directeurs pour la conception d'interfaces porteuses de valeurs émotionnelles positives (soutien/guidage)

Réalité virtuelle et créativité

Todd LUBART, Jiayin LIU et Samira BOURGEOIS-BOUGRINE (LaPEA)

Contenu scientifique

Nos recherches sur la réalité virtuelle et la créativité ont permis de démontrer l'impact d'un environnement optimisé sur la performance créative. A la fois, la nature de la "salle" et des avatars jouent sur la production créative. Nous étudions la nature de ces effets, les ressorts psychologiques, et les moyens d'optimiser le dispositif.



Outils/méthodes

En s'appuyant sur une plateforme de réalité virtuelle, nous mettons les participants dans un environnement virtuel configuré comme propice à la créativité. Les avatars sont également configurés afin de refléter le soi créatif des participants. Nous avons mis au point des techniques de recherche d'idées qui sont adaptées à cet environnement.

Principe démontré

Grâce aux effets de la réalité virtuelle sur la cognition, la créativité peut être augmentée et la production d'idées originales en bénéficie. L'environnement virtuel peut soutenir la créativité grâce à sa nature imaginaire, en dehors du monde réel et la nature transformée et relativement anonyme des avatars qui représentent des participants.

Exemples d'application

Il est possible de mener des réunions de recherches d'idées en salle virtuelle. Ces réunions créatives peuvent être organisées en entreprise ou en milieu scolaire. Les participants peuvent être en présentiel ou en distanciel.



Cognition et langage

10



Prendre en compte des processus cognitifs langagiers dans les systèmes de traitement automatique du langage pour améliorer l'interaction humain-machine (traitement de la parole, du langage et des langues, apprentissage, multimodalité, gestualité, multilinguisme, traduction assistée, affects, identification de la langue et du locuteur, agents conversationnels).

Didier SCHWAB (LIG) - Coordinateur scientifique

Vocabulaire et compréhension en lecture chez les enfants de 7 à 10 ans

Emilie DUJARDIN (CeRCA)

Contexte scientifique

Comprendre ce qu'on lit est une compétence centrale dans notre société. La compréhension en lecture serait une compétence déterminante de la réussite académique. La compréhension en lecture repose sur des compétences langagières annexes, comme la compréhension orale, ou encore la lecture de mots. Peu à peu, les chercheurs se sont interrogés sur l'implication du vocabulaire dans la compréhension en lecture. En effet, il faut avoir suffisamment de vocabulaire pour comprendre ce qu'on lit, savoir ce que les mots veulent dire, comment les utiliser, pouvoir les définir etc... Ainsi, nous avons examiné les liens entre le vocabulaire, la compréhension orale, la lecture de mots et la compréhension en lecture chez des enfants francophones âgés de 7 à 10 ans.

Méthode

L'étude a inclus 237 enfants, scolarisés de la CE1 à la CM2. Les enfants ont réalisés des petites tâches informatisées permettant d'estimer leur niveau de compréhension en lecture (lire un texte et répondre à des questions écrites) ; leur niveau de compréhension orale (écouter un texte et répondre à des questions posées oralement) ; leur niveau de lecture de mots (décider si des mots sont écrits de la même façon, se prononcent de la même façon ou font partie du même champs sémantique ou non), et leur niveau de vocabulaire (répondre à des questions de vocabulaire sur différents mots).

Résultats principaux

Le vocabulaire, la lecture de mots et la compréhension orale sont bien des compétences langagières distinctes influençant la compréhension en lecture (voir Figure 1). Les résultats montrent que le vocabulaire influence positivement et directement la lecture de mots et la compréhension orale, et positivement et indirectement la compréhension en lecture en passant par la lecture de mots et la compréhension orale. La lecture de mots a un effet plus important sur la compréhension en lecture que la compréhension orale.

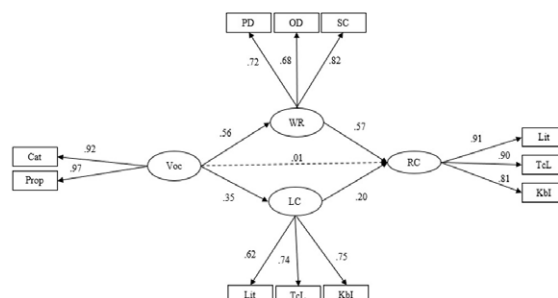


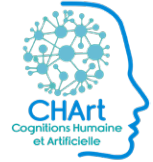
Figure 1 : Représentation graphique des relations entre le vocabulaire (Voc), la lecture de mots (WR), la compréhension orale (LC) et la compréhension en lecture (RC)

Discussion

La compréhension en lecture est une activité complexe, impliquant des compétences langagières différentes, ici la compréhension orale, le vocabulaire, et la lecture de mots. La lecture de mots est particulièrement importante pour bien comprendre un texte. Cela souligne l'importance de développer des compétences en vocabulaire et en lecture de mots pour soutenir la compréhension en lecture dès le plus jeune âge, car elles sont interconnectées.

The Artificial Boothmate, Simulation d'un assistant multilingue d'interprétation en réalité virtuelle

Leïla CHERROUK et Geoffrey TISSIER (CHArt)



Contenu scientifique

Considérée comme l'une des activités les plus complexes dont est capable le cerveau humain, la traduction orale en temps réel d'un discours, ou interprétation simultanée, requiert l'exécution concomitante d'une série de processus cognitifs de haut niveau. En raison de l'évidente difficulté de cette tâche, il est admis que les interprètes professionnels opèrent à la limite de leurs capacités, jonglant avec des exigences linguistiques, thématiques et culturelles qui varient d'un contexte à l'autre.

Afin de soutenir la prise de décision de l'interprète en formation et mieux définir la compétence à travers le prisme de la cognition située, un outil pédagogique a été conçu en réalité virtuelle.

Outils/méthodes

Le système offre une bibliothèque variée de scénarios d'interprétation photoréalistes reproduits dans un casque VR. Chaque environnement présente en surimpression l'interface d'un logiciel de reconnaissance vocale multilingue et de traduction automatique en temps réel des noms propres, des chiffres et des termes techniques.

Des données comportementales sont recueillies pour fournir à l'apprenant un retour instantané sur sa performance.

Principe démontré

Pensée comme un outil pédagogique d'entraînement à l'interprétation, notre technologie inclut un assistant multilingue ayant pour objectif principal de réduire le coût cognitif associé à la mémorisation à court terme du discours. Cette approche a pour but d'objectiver les apports de la réalité virtuelle à la formation des interprètes de conférence et de lier les variations comportementales observées au développement d'une compétence en communication interculturelle.

Exemples d'application

1. Notre dispositif est paramétrable pour modéliser divers environnements virtuels, tels qu'une assemblée d'organisation internationale, une salle d'audience ou un hôpital. Le système peut être personnalisé par les formateurs pour proposer des activités engageantes selon les objectifs pédagogiques à atteindre.
2. Une fois la tâche achevée, l'outil permet à l'apprenant d'écouter son interprétation en revêtant le rôle de l'auditoire. Ce changement de point de vue au sein du même environnement immersif favorise un apprentissage autorégulé.
3. L'application peut être élargie à l'acquisition de langues secondes.

Pyannote, Qui parle quand ?



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse

Hervé BREDIN (IRIT)

Contenu scientifique

La segmentation et le suivi de locuteurs (speaker diarization, en anglais) dans une conversation spontanée entre plusieurs personnes est un problème complexe qui n'est aujourd'hui toujours pas résolu.

Outils/méthodes

La bibliothèque libre « pyannote » a été développée au sein du CNRS et est aujourd'hui considérée comme la plus performante pour la tâche de segmentation et regroupement en locuteurs (speaker diarization, en anglais).

Principe démontré

Deux démonstrateurs de « pyannote » sont proposés : une version web (où l'utilisateur peut téléverser un enregistrement et obtenir une prédiction a posteriori) et une version mobile (où l'utilisateur peut obtenir une prédiction en direct à faible latence).



Exemples d'application

La bibliothèque libre « pyannote » est utilisée par de nombreux acteurs du monde industriel : du résumé automatique de réunion au doublage de contenus audiovisuels, en passant par l'entraînement de LLM multimodaux.

Erika GODDE (LEAD)

Contenu scientifique

Entraîner la fluence en lecture, en classe, de façon régulière et fréquente, tout en permettant à chaque élève de bénéficier d'un entraînement adapté à son niveau, est un challenge. Nous présentons ici Fluidili, une application de karaoké de lecture basée sur les principes les plus efficaces d'entraînement de la fluence : lectures répétées et variées, modélisation et indigage visuel. Les jeunes lecteurs lisent en se synchronisant avec l'audio d'un lecteur expert en suivant le surlignage apparaissant sur le texte sur la tablette. Ce karaoké a été utilisé de façon intensive avec des élèves de CE2/CM1 pendant 4 semaines. Nous avons évalué l'effet de cet entraînement sur les compétences en fluence des élèves.

Outils/méthodes

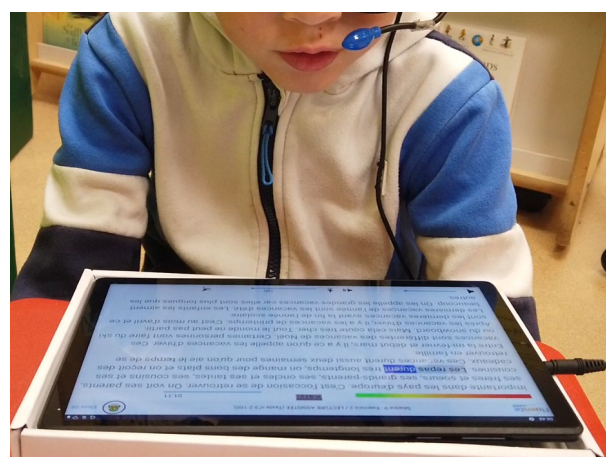
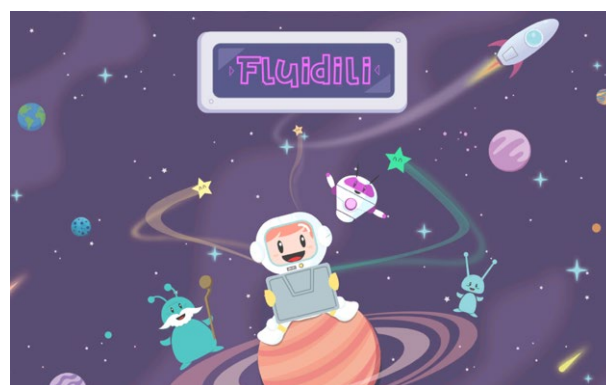
92 élèves de CE2-CM1 ont été répartis en 3 groupes : un groupe contrôle, deux groupes avec entraînement karaoké : un groupe surlignage mot à mot et un groupe surlignage groupe de souffle. Les élèves des groupes expérimentaux ont participé à 10 séances de 15 min avec le karaoké en 4 semaines. Ils se sont entraînés sur 3 textes de complexité croissante. Le groupe contrôle a fait de la fluence en classe avec l'enseignant. Avant et après les 10 semaines d'entraînement, tous les élèves ont été évalués en fluence de lecture sur les textes entraînés et sur un texte inconnu.

Principe démontré

Ce test a montré l'efficacité de l'application sur la fluence des élèves à la fois sur les textes entraînés et non entraînés.

- Les 2 groupes expérimentaux progressent plus que le groupe contrôle en expressivité sur les textes simples (entraînés ou non).
- Le groupe utilisant le surlignage groupe de souffle progresse en expressivité et phrasé que les deux autres groupes sur les textes complexes.
- A la fin de l'entraînement, le groupe utilisant le surlignage groupe de souffle a un meilleur niveau de conscience syntaxique.

L'entraînement avec le karaoké permet donc d'améliorer l'expressivité de tous les élèves et permet un meilleur phrasé et une meilleure expressivité dans les textes complexes grâce au surlignage.



Explication de la fabrication d'un xylophone géant. Un bricolage facile à faire dans la forêt.

Trouve deux longues branches bien droites. Pose-les au sol, à environ trente centimètres l'une de l'autre. Il faut qu'elles soient parallèles entre elles. Cherche ensuite un petit bâton bien sec et solide. Ce sera ta baguette.

Examine les alentours et ramasse des morceaux de bois de différentes grosseurs. Tape sur chaque morceau de bois que tu trouves, avec ta baguette. Ne garde que ceux qui font un joli son. Dispose les côte-à-côte, sur les deux longues branches.

Maintenant, il te faut les ranger. Tape sur deux bouts de bois posés, toujours avec ta baguette. Compare le son de chacun, plusieurs fois, pour pouvoir les ranger du plus grave au plus aigu. Recommence avec tous les morceaux.

Mission 3 - Karaoké

Exemples d'application

Fluidili est la version finale, prête à être utilisée en classe, du karaoké de lecture. Cette version contient 35 textes de niveau CE1-CE2, de complexité croissante, permettant de produire des parcours de 30 séances sur 10 textes. Cette utilisation intensive sur un temps plus long devrait permettre d'ancrer durablement les progrès réalisés par les élèves.

Fluidili a également été scénarisé et dispose d'un univers graphique permettant l'engagement des élèves sur ce temps long. Il peut ainsi être utilisé en classe pour permettre aux enfants de travailler la fluence au quotidien, en autonomie ou en remédiation pour les élèves en difficulté de lecture.

SUMMSci, un résuméur contextualisé de documents scientifiques au cœur des applications et des widgets spécialisés en recherche et médecine

Juan-Manuel TORRES (LIA)

Contenu scientifique

L'information scientifique est omniprésente et disponible en quantités trop importantes pour que les chercheurs et les professionnels de santé puissent rester informés de manière systématique sur leurs domaines. Il n'y a simplement pas assez d'heures dans une journée de travail de ceux qui travaillent dans l'économie de la connaissance, pour lire et comprendre les dernières publications scientifiques. Une des solutions évidentes est de se fier à des résumés d'études scientifiques pour leur donner un aperçu pertinent de chaque étude. Afin d'éviter tout biais (hallucination), les outils développés au LIA sont délibérément centrés sur le résumé extractif, qui ne rend que des phrases contenues dans les documents sources.

Outils/méthodes

En partenariat avec la société irlandaise SciencePOD, le LIA a fourni des solutions de résumés qui constituent le moteur de la solution ScioWire, fil d'actualités personnalisées distillant des résumés automatiques des dernières études scientifiques publiées en Open Access. Les mots clés sont générés et permettent de guider le résumé. Des algorithmes rapides d'analyse des formats pdf et centralité de graphes pour pondérer des morceaux pertinents de texte, ainsi que la contextualisation via des ontologies permettent de produire des résumés pertinents. Les utilisateurs peuvent aussi personnaliser les fils d'actualité pour ne recevoir que des résumés d'études scientifiques ayant trait direct à leurs sujets de recherche (<https://magazine.sciencepod.net>) et aussi utiliser le concept de ScioWire (<https://www.sciowire.com>).

Principe démontré

Nous avons montré la pertinence du résumé extractif contextualisé dans les documents scientifiques. Il s'agit de ne pas biaiser (à cause des hallucinations ou de texte non pertinent) l'information scientifique des documents.



Exemples d'application

L'objectif de ScioWire est d'accroître la culture scientifique et de combattre la désinformation sur internet. Le résumé automatique d'études scientifiques à grande échelle permet aux chercheurs et aux étudiants d'obtenir un gain de temps considérable. ScioWire permet aussi de faire de la veille sur les dernières études publiées en Open Access et de les tenir informés des dernières évolutions. La version magazine (<https://magazine.sciencepod.net>) en cours de développement est conçue pour attirer un public de professionnels de santé très ciblé en optimisant le SEO sur les pages spécifiques liées aux domaines thérapeutiques clés, afin de leur servir de plateforme d'information de référence dans les domaines thérapeutiques précis. Une version widget sera intégrée dans des sites tiers, grâce à quelques lignes de code, afin de diffuser des informations dans des communautés sur internet où sont rassemblés des spécialistes de domaines scientifiques et médicaux.

Visualisation/ explicabilité de modèles de traduction neuronale contextuelle pour les traducteurs

PORTEUR(S) : Gabriela GONZALEZ (LIG)
MARCHÉ(S) : IT/Média

Contenu scientifique

Dans leur méta-analyse, Doran et al. (2017) distinguent les systèmes opaques, interprétables et compréhensibles dans divers domaines. La traduction automatique neuronale (TAN) est classée comme système compréhensible, si un système de visualisation adéquat soit mis en place. Ils affirment que « la confiance dans un système d'apprentissage interprétable dépend de la capacité de l'utilisateur à comprendre le comportement de mappage entrée/sortie de la machine ». Suivant les quatre principes d'IA explicable de Phillips (2021), nous avons développé une plateforme offrant des explications significatives, précises et limitées par la connaissance : une visualisation claire pour les traducteurs, des données issues du fonctionnement interne du TAN, et des limites montrées par des métriques de qualité.

Outils/méthodes

Le visualiseur comprend des modules de traduction et d'analyse. Le module de traduction, génère le texte traduit et stocke les données internes du fonctionnement du système (ex. : poids d'attention, probabilités de génération). Une fois la traduction effectuée, le module d'analyse explique comment le modèle TAN arrive à cette traduction. L'explication comporte trois parties : l'entrée, le processus et la sortie, guidant l'utilisateur à travers chaque étape de la génération. L'analyse de l'entrée se concentre sur sa représentation et la sous-tokenisation. Le processus décrit le fonctionnement du modèle et son interaction avec l'entrée, reliant les données internes et caractéristiques du modèle à la sortie. Enfin, la sortie présente les alternatives générées et explique le choix de la traduction finale.

MAKE NMT-VIZ Home Inference Training Datasets

Select a model

id	name	source	target	
1	transformer.wmt14.en-fr	english	french	Selected
3	multi_encoder_transformer.wmt23.zh-de	chinese	english	Select
2	concat_transformer.wmt23.zh-en	chinese	english	Select

Model parameters:

beam = 5

Translate your text

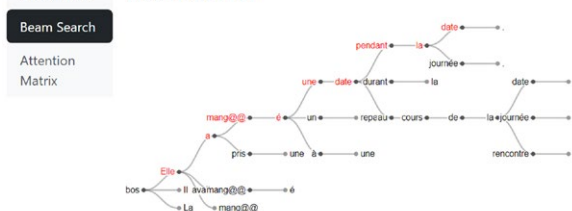
Source Target

Explanation Module

Probabilities Top 10 most probable tokens at each generation step.

	elle	a	mangé	é	une	date	pendant	la	date
Beam Search	Il	avait	pris	é	un	jour	dur	cette	jour
Attention Matrix	La	mangé	manger	e	a	dur	au	le	période
	Pendant	s	après	eu	A	pendant	certaine	que	dat
	Cette	en	consomme	es	la	bonne	à	qu	après
	Le	m	donc	ées	des	fois	de	son	réunion
	Mme	y	go	te	sa	autre	dans	les	manifestation
	L	après	est	alors	E	de	rencontre	en	sa
	Celle	prenait	fait	er	durant	petite	entre	sa	collecte
	A	se	aussi	e	en	des	lors	toute	session

Beam Search



Principe démontré

Le système MAKE NMTVis est un outil de visualisation visant à rendre explicables les modèles de traduction automatique neuronale (TAN) en suivant les principes d'intelligence artificielle explicable (XAI) définis par Phillips et al. (2021) : des explications significatives, précises et limitées par la connaissance. Ce projet regroupe les principaux acteurs du développement de la traduction automatique, favorisant la collaboration entre chercheurs et traducteurs professionnels. Il prend en compte leurs besoins et préférences tout en visant à améliorer la culture en matière de traduction automatique. En alliant recherche et pratique, MAKE NMTVis cherche à renforcer la compréhension des systèmes de traduction tout en offrant des outils adaptés à l'expertise des utilisateurs.

Exemples d'application

Cette plateforme offre aux traducteurs des explications significatives, précises et limitées par la connaissance des concernant les systèmes TAN. Grâce à notre outil, les traducteurs peuvent traduire, post-éditer et évaluer les textes tout en analysant et en expliquant simultanément les résultats des modèles TAN. Ainsi, elle permet d'aller au-delà des algorithmes complexes de l'intelligence artificielle et de favoriser une meilleure compréhension humaine de la traduction.

Prototype d'éditeur graphique de contenu en langue des signes

Michael FILHOL (LISN)

Contenu scientifique

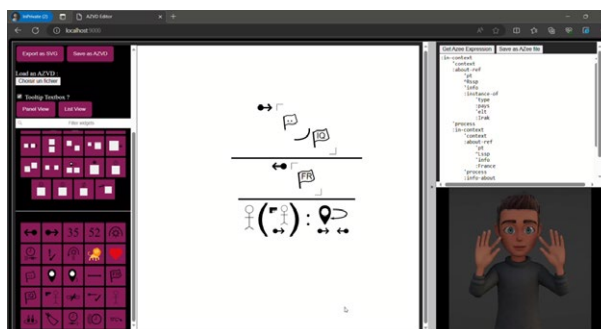
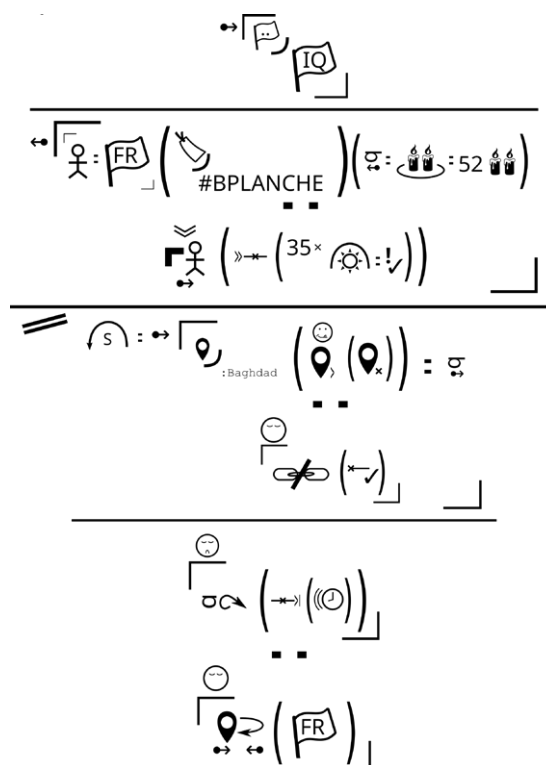
Nous présentons un prototype d'éditeur pour une représentation graphique d'énoncés en langue des signes, capable de déterminer les formes (gestuelles) à articuler. On peut donc créer un rendu de l'énoncé sous la forme d'une animation en 3D synthétisée par un avatar.

Outils/méthodes

Le système graphique est construit sur deux bases complémentaires. Premièrement le modèle AZee qui permet de représenter formellement les énoncés signés, couvrant même de nombreuses structures iconiques particulières aux langues des signes. Deuxièmement, l'étude de représentations graphiques spontanées que les natifs et professionnels de la langue (p. ex. traducteurs) produisent pour mettre leur langue sur papier.

Principe démontré

Avec le démonstrateur, on manipule un diagramme grâce à des icônes et dispositions graphiques que l'on dépose et déplace sur une zone graphique. Chaque modification sur le canvas est reflétée automatiquement par une mise à jour de l'expression AZee utilisable pour animer un avatar. Seul un petit sous-ensemble est aujourd'hui disponible, mais l'expérience démontre qu'il est possible, sans connaître de code ou langage de programmation, de contrôler la synthèse de langue des signes avec un système graphique lisible et interprétable sémantiquement.



Exemples d'application

Au minimum, un tel logiciel permet l'édition de contenu en langue des signes et son rendu anonyme, en s'affranchissant d'un enregistrement vidéo par exemple, par ailleurs identifiant du locuteur. Aussi, pour peu que les locuteurs signants et se l'approprient, par exemple comme proxy d'écriture, il pourrait rendre possible de publier du contenu, commenter des vidéos, échanger à la manière d'emails sous une forme économique, anonyme et indexable, contrairement à ce que permet la vidéo.

CQuAE, ou comment répondre en français à des questions de cours ?

Anne VILNAT, Thomas GERALD (LISN)

Contenu scientifique

Nous présentons un corpus CQuAE construit dans le but de créer un système d'assistant virtuel pour répondre à des questions sur des documents ou du matériel de cours. Afin d'être utile autant aux enseignants qu'aux étudiants, il est important de considérer des questions complexes ainsi que d'être capable de justifier les réponses sur du matériel validé. Nous présenterons aussi les différentes étapes de sa création avec aujourd'hui une phase d'amélioration des données. Enfin, nous présentons plusieurs expériences pour évaluer l'exploitation du corpus dans le cadre d'un système de questions-réponses automatique.

Outils/méthodes

Nous avons testé plusieurs modèles de langue pour tester leur capacité à générer les réponses attendues en utilisant le corpus recueilli.

Principe démontré

Il existe peu de corpus en français consacré au domaine éducatif, et nous montrons la difficulté de s'insérer dans ce domaine où non seulement les réponses doivent être vérifiées, mais aussi s'adapter à un contexte spécifique. Nous montrons aussi les limites du corpus actuel qui ne tient compte que du texte et pas des images qui accompagnent les cours et qui sont souvent très complémentaire, et indispensable pour produire des réponses correctes.

De l'Empire d'Autriche à l'Autriche-Hongrie

[Document source](#)

En cours

Après l'échec de la révolution populaire hongroise lors du Printemps des peuples, l'Empire d'Autriche et sa dynastie, les Habsbourg, sont restaurés dans toute leur puissance. Cependant, la montée des sentiments nationaux et la défaite face à la Prusse à Sadowa (1866) obligent François-Joseph Ier, l'empereur, à faire évoluer cet empire multinational, véritable mosaïque de peuples et de langues. Le pouvoir impérial tente alors de répondre à certaines demandes, notamment en accordant une autonomie politique et administrative à la Hongrie, tout en maintenant l'unité de l'Empire.

Vous devez disposer d'une connexion internet pour accéder à cette ressource.

L'Autriche, un assemblage bariolé

On prétend qu'on trouve en Autriche vingt nationalités différentes et dix-huit idiomes. [...] Aux environs de Temeswar, un propriétaire me disait qu'il avait absolument besoin de connaître cinq langues : le latin pour les anciennes pièces officielles, l'allemand pour ses relations avec Vienne, le hongrois pour prendre la parole dans la diète, enfin le valaque et le serbe pour donner des ordres à ses ouvriers. [...] L'Autriche forme un assemblage bariolé de groupes ethnographiques qui ne se sont pas mêlés, comme en France, de façon à constituer une seule nation ayant le sentiment d'une patrie commune. Chacun est attaché à sa province, nul ne l'est à l'Empire. Vous trouvez des Hongrois, des Croates, des Tchèques acharnés, mais pas d'Autrichiens.

Émile de Laveleye, « L'Allemagne depuis la guerre de 1866 », article paru dans la Revue des Deux Mondes, 1868.

Type : Cours

Question : Quelle est la conséquence de l'échec de la révolution populaire Hongroise.

Annotateur : thomas

Réponse rédigée :

L'échec de la révolution populaire hongroise a pour conséquence la restauration de l'Empire d'Autriche. Néanmoins, le pouvoir impérial accorde une autonomie politique partielle à la Hongrie.

Télécharger

Modifier

Supprimer

Type : Factuelle

Question : En quelle année la Prusse est-elle défaite à Sadowa ?

Annotateur : thomas

Réponse rédigée :

en 1866

Télécharger

Modifier

Supprimer

Type : Cours

Question : D'après l'extrait de "L'Allemagne depuis la guerre de 1866", comment résumeriez-vous le point de vue d'Émile de Laveleye sur l'unité de l'Autriche ?

Télécharger toutes les annotations

Ajouter une nouvelle question

Exemples d'application

Le domaine d'application est tout d'abord le domaine éducatif, mais on pourrait étendre les résultats obtenus à tout domaine, où les données fiables sont peu nombreuses.

RTS, Rising Tongue System

Thierry LEGOU et Lise CHARRIER (LPL)

Contenu scientifique

Bouche fermée, arrivez-vous à décrire où se trouve votre langue et quels sont ses appuis sur le palais ? Difficile, raison pour laquelle Rising Tongue System (RTS) est particulièrement pertinent dans la prise en soin orthophonique des troubles de la déglutition (où cette question prédomine). L'intérêt du biofeedback n'est plus à démontrer pour la rééducation fonctionnelle. Pour le geste lingual, le biofeedback apporté par RTS améliore la précision du geste lingual et il rend le patient plus autonome dans sa prise en soin.

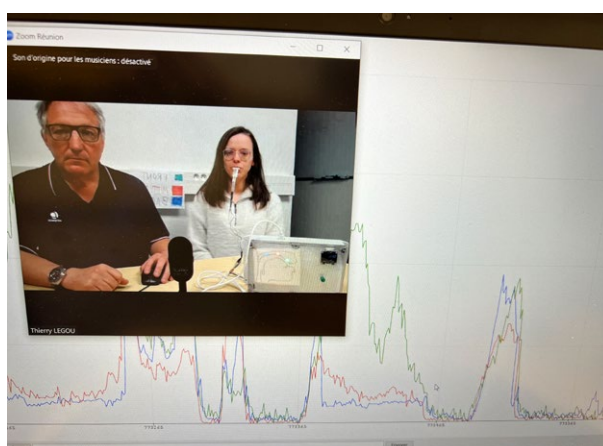
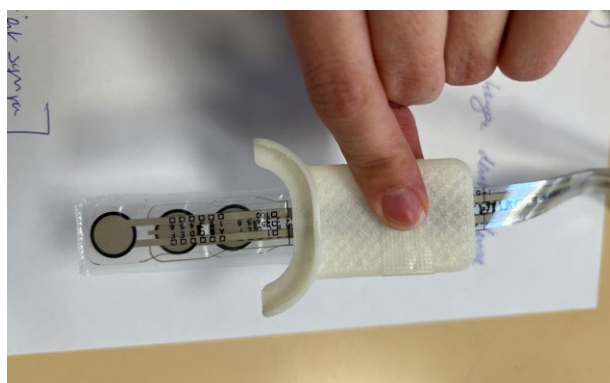
Dans le domaine de la santé, la rééducation peut s'appuyer sur la pratique régulière autonome (mais guidée) de tâches proposées par des spécialistes. Lors de ces séances en autonomie, le biofeedback permet ainsi au patient d'avoir un retour (feedback) objectif et rapide du geste effectué.

Outils/méthodes

Le dispositif développé RTS (Rising Tongue System) utilise des capteurs de force de contact qui permettent de mesurer les forces d'appui de la langue sur le palais en différents points. Bien en place en bouche grâce à un support de capteurs imprimé en 3D, les enregistrements de ces forces d'appui (appelés palatogrammes) permettent le suivi longitudinal de la rééducation orthophonique lors de la prise en soin des troubles de la déglutition. C'est une méthode objective qui donne de l'autonomie au patient et des informations en situation écologique à l'orthophoniste.

Principe démontré

- Le principe démontré est l'utilisation du biofeedback pour une meilleure réalisation d'un geste attendu (le geste lingual dans notre cas).
- Le recours à l'historique des enregistrements pour un suivi longitudinal d'une rééducation afin de valider ou de modifier les exercices proposés au patient lors de sa rééducation au cabinet et à domicile.



Exemples d'application

- Rééducation des troubles de la déglutition (dysphagie et déglutition dysfonctionnelle) ;
- Automatisation d'une position linguale de repos physiologique avec un rééquilibrage de la sphère orofaciale ;
- Dynamisation du geste lingual par l'utilisation de jeux de précision et/ou de rapidité proposés ;
- Amélioration de la perception de la localisation des contacts de la langue sur le palais après une glossectomie ou reconstruction partielle du palais ;
- Contrôle fin (analogique) d'un actionneur grâce aux appuis linguaux.

Deirdre BOLGER et Thierry LEGOU (LPL)

Contenu scientifique

Lors d'une interaction orale entre deux personnes, de nombreux éléments entrent en jeu pendant l'échange. Le contenu verbal a son importance bien sûr, mais aussi les gestes coverbaux (les gestes « joints » à la parole), mais également les aspects physiologiques et neurophysiologiques de chaque interlocuteur. Mesurer ces paramètres physiologiques renseignent sur la façon dont on prépare, vit (et parfois subit) une prise de parole, ou encore l'éventuelle synchronisation ou convergence avec son interlocuteur.

Outils/méthodes

La **mesure de la respiration** permet de mesurer l'instant où le locuteur inspire pour préparer sa prise de parole. La respiration précédant la prise de parole est parfois elle-même précédée d'un regard ou d'un geste pour signaler son intention de prendre la parole. Les systèmes de **mesure de la gestualité ou de l'expression faciale**, complètent ces informations recueillies pour l'étude de la communication verbale. La **mesure de la réponse électrodermale** de chaque interlocuteur peut aussi renseigner sur les émotions ressenties lors de cette échange. En effet la réponse électrodermale est modulée par le système nerveux autonome (SNA) impliqué dans la « gestion » des émotions. La **mesure de l'activité cérébrale (EEG)**, permet quand a elle en mesurant sa composition fréquentielle de notamment comprendre le niveau d'information traitée (lexicale ou sous lexicale) ou encore d'évaluer l'alignement temporel et l'éventuelle convergence entre les interlocuteurs.

Principe démontré

Le principe démontré est l'intérêt de considérer plusieurs natures d'information pour mieux comprendre les mécanismes de la communication orale en considérant les paramètres physiologiques et neurophysiologies.



Exemples d'application

- Améliorer la communication orale
- Mieux comprendre ses contraintes et celles de l'autre lors d'une interaction orale
- Accéder à des indicateurs pour évaluer la communication orale, comment est-elle préparée et « vécue ».

Un modèle multimodal pour prédire la position et le type de feedback pendant une conversation

Auriane BOUDIN, Roxane BERTRAND, Stéphane RAUZY, Magalie OCHS et Philippe BLACHE (LPL)

Contexte scientifique

Lors d'une conversation, il est très fréquent de produire des réactions comme « mh mh », de hocher la tête ou de sourire. Ces réactions, appelées feedbacks, jouent un rôle essentiel dans l'élaboration du dialogue, car ils permettent au locuteur de manifester sa compréhension et son intérêt. Malgré de nombreuses études ayant montré l'importance des feedbacks, il reste à ce jour difficile de prédire avec précision quand et comment ces réactions se produisent. Cet article vise à mieux comprendre le contexte d'apparition des feedbacks en développant un modèle d'apprentissage automatique (machine learning) capable de prédire leur position et leur type au cours d'une conversation.

Méthode

Le modèle que nous avons mis au point permet de prédire quand un auditeur va produire un feedback en fonction des éléments verbaux, vocaux et gestuels du locuteur principal. Il analyse l'évolution de ces informations pour un participant au fil du temps et apprend à prédire les moments où l'autre participant produira des feedbacks. Nous pouvons ensuite identifier les schémas et les éléments qui favorisent la production de feedback.

Résultats principaux

Nos résultats montrent que la production d'un feedback est souvent favorisée par la combinaison de plusieurs éléments informatifs (ex. intonation montante, rire ou sourire, adverbe, adjectif, etc.). Il est donc crucial de considérer à la fois les indices verbaux, vocaux et gestuels afin de prédire le moment d'apparition et le type de feedback produit par le locuteur.



Figure 1 : Une capture d'écran d'une conversation du corpus «Cheese!» (Priego-Valverde et al., 2020) qui a été utilisé pour construire le modèle.

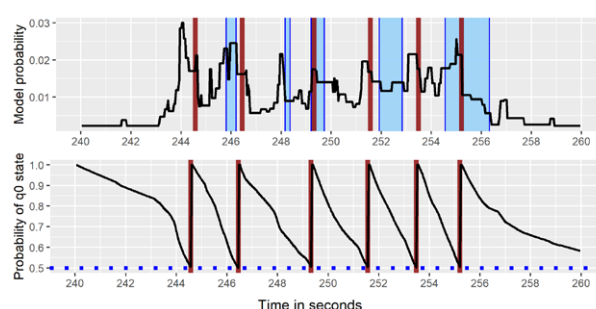


Figure 2 : Le modèle calcule la probabilité de feedback (représentée par la courbe noire dans le panneau supérieur) et prédit un feedback lorsque cette probabilité dépasse un seuil spécifique (indiqué par la ligne rouge verticale). Le feedback prédit est comparé au feedback observé (représenté par les zones bleues) pour évaluer la performance du modèle.

Discussion

Les feedbacks sont essentiels pour élaborer des conversations de qualité. Outre une meilleure compréhension de ces phénomènes, nos résultats permettront à terme de générer automatiquement des feedbacks dans des systèmes artificiels, comme des agents conversationnels ou des personnages de jeux vidéo.

Le bouquet Fluence, **4 applications** **numériques** **pédagogiques** **pour l'apprentissage** **des fondamentaux,** **la lecture et l'anglais**

Marie-Line BOSSE, Cynthia BOGGIO (LPNC)

Contenu scientifique

Quatre applications numériques evidence-based, nommées « le bouquet Fluence », ont été développées et scientifiquement validées pour faciliter l'apprentissage des fondamentaux. Elles sont issues de la recherche et d'un partenariat avec deux entreprises (les Editions Hatier et HumansMatter). Leur développement a été co-financé par les programmes e-FRAN (projet Fluence) et e-FRAN-vague3 (projet Trans3). Ces applications visent l'amélioration des performances en lecture (EVASION, ECRIMO et FLUIDILI) et en compréhension orale de l'anglais (FIREFLY).

Méthode

L'efficacité de ces 4 applications a été évaluée dans des expérimentations longitudinales, contrôlées et randomisées, à grande échelle. Un protocole pré-test (mesure du niveau initial) - entraînement (groupe expérimental vs groupe contrôle) - post-test (mesure du niveau final) a systématiquement été utilisé. L'entraînement était de 10 semaines, sur tablettes en contexte réel de classe.



Résultats principaux

Les résultats des dernières expérimentations montrent que s'entraîner avec EVASION en CP améliore les capacités d'attention visuelle impliquées en lecture. ECRIMO permet aux élèves en début d'apprentissage de la lecture, d'améliorer leur capacité d'encodage. Enfin, les élèves de CE1 entraînés avec FLUIDILI améliorent leur compétence en lecture expressive. Quant à FIREFLY, les élèves qui l'ont utilisée ont de meilleures performances en compréhension de l'anglais oral.



Évaluations comportementales cognitives

24



Les évaluations comportementales cognitives constituent le socle méthodologique des sciences cognitives permettant d'observer, d'étudier, de comprendre, de caractériser et le cas échéant de simuler les mécanismes sous-tendant le fonctionnement mental de l'homme, en interaction avec son environnement. Les évaluations comportementales cognitives s'appuient sur un ensemble de connaissances, de méthodes expérimentales, de mesures (quantitatives et qualitatives) et d'instrumentations issues d'une diversité de disciplines : psychologie, biologie, neurosciences, médecine, mathématiques, informatique, traitement du signal, linguistique, sciences de la communication, sciences de l'éducation, anthropologie cognitive, philosophie, etc.

Les méthodologies de mesure incluent des mesures subjectives, comportementales (e.g. mesures de performance, mesures non verbales et verbales, etc.), de psychophysique, d'oculométrie ainsi que des mesures de physiologie périphérique (ECG, activité électrodermale, EMG, EOG...) et d'imagerie cérébrale (EEG, NIRS, IRMf, MEG, électrophysiologie, etc.). À ces outils de mesures s'ajoutent d'autres méthodologies de traitement du signal, de modélisation et de statistiques avancées (classifications, machine learning, etc.).

Nathalie GUYADER (GIPSA Lab) et Liliana GARCIA-AUDOUIN (IMS) - Coordinatrices scientifiques

Une plateforme pour une performance durable : alliez bien-être et résultats

Nicolas EPINOUX (CERCA)

Contenu scientifique

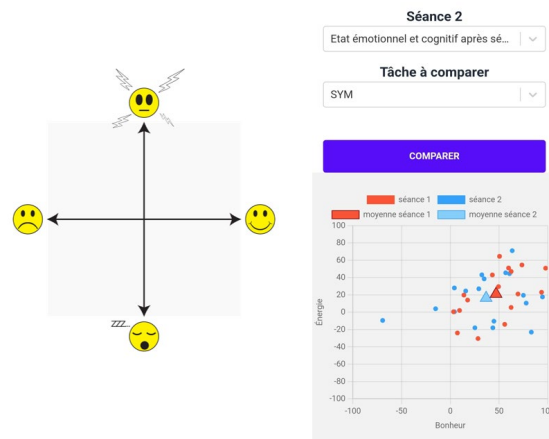
Les compétences psychosociales (CPS) s'imposent dans les discours publics internationaux que ce soit dans les politiques d'éducation et de formation (Morlaix & Nohu, 2019 ; Morlaix & Tavant, 2021), dans le monde du travail (Faure et Cucchi, 2020) mais aussi les politiques de santé en générale et de santé mentale en particulier (rapport de santé publique France (2022)). La question de la réussite durable des sportifs et de leur santé mentale questionne également avec, là aussi, la place des CPS (Gustafsson et al. (2008) ; Isoard-Gautheur et al. (2016)). Le rapport de santé publique France (2022) définit les contours de ces CPS. Le projet s'inscrit dans une dynamique de recherche internationale sur les sciences de l'intervention et plus spécifiquement dans le cadre du champ de la psychologie sociale du développement principalement. Notre ambition est de mettre en lumière la place de ces capacités ou ressources psychosociales dans la réussite des individus en situation réelle dans des contextes variés (plus ou moins exigeants émotionnellement, physiquement, cognitivement et socialement). Lochbaum et al. (2022) dans leur revue de littérature dans le domaine sportif montrent que ces ressources impactent la performance (ou réussite), avec une difficulté : la complexité d'évaluer la performance réelle. Dans cette perspective, nous développons un système de récolte de données de performance en contexte réel à partir de récolte de mesures globales, d'analyse d'images via de l'IA mais aussi en contexte virtuel (Casque VR) La proposition de ce stand porte sur la présentation d'une plateforme de récolte de données scientifiques variées (tests qualitatifs et quantitatifs) sur les ressources psychosociales (dimensions cognitives, émotionnelles et sociales) mais aussi sur des données de performance. Cette plateforme propose un processus d'aide à la décision s'appuyant sur cette récolte. Sur ce stand, nous illustrerons le lien entre des tests cognitifs et des mesures de performance dans un casque VR et de mesure de fréquence cardiaque.

Outils/méthodes

L'outil utilisé est une plateforme de centralisation de données, un casque VR et un capteur cardiaque.

Principe démontré

Le principe que l'on cherche à démontrer est le lien entre les mesures isolées sur des fonctions exécutives, d'humeur instantanée et les résultats en contexte immersif et « chaud » émotionnellement.



Exemples d'application

Un des exemples possible est le contexte sportif avec la nécessité pour les clubs de recruter, d'accompagner et de prédire des cinétiques de performance à la hausse ou à la baisse limitant les risques psychosociaux ou accompagnant la reprise de l'entraînement cognitivo-émotionnel après une blessure. Cette ambition s'appuie sur la possibilité de mesurer l'état cognitivo-émotionnel et positionnel (social) des sujets et des groupes.

Simuler le vieillissement sensorimoteur : un atout pour mieux comprendre les seniors

Jeremy VILLATTE (CeRCA)

Contenu scientifique

Le vieillissement normal se caractérise à la fois par des atteintes sensorimotrices (e.g., baisse de l'acuité visuelle, auditive, perte musculaire et d'équilibre...) et par un certain nombre de changements cognitifs susceptibles de mener à des plaintes (e.g., trouble mnésique, nécessité de plus de temps pour comprendre un problème). Le lien entre sensorimotricité et cognition dans le vieillissement est étudié depuis plusieurs années déjà, plusieurs résultats indiquent une relation entre capacités sensorimotrices et cognitives (Baltes & Lindenberger, 1997 ; Li et al., 1998). Il semble ainsi que les troubles sensorimoteurs permettent de prédire les performances des seniors à des tâches de raisonnement, de mémoire, de vitesse de traitement ou de connaissance générale. L'étude des troubles sensorimoteurs caractérisant le vieillissement normal pourrait donc permettre de mieux comprendre les modifications cognitives qui l'accompagne. Les simulateurs de vieillissement ont été développés dans le but de reproduire chez des adultes jeunes les difficultés sensorimotrices auxquelles sont confrontées les adultes âgés. Ils peuvent ainsi être utilisés pour déterminer si des atteintes périphériques influencent la réalisation de tâches cognitives. En outre, en mettant des individus jeunes « dans la peau » d'individus plus âgés, ils peuvent s'avérer utiles pour étudier les facteurs psychosociaux susceptibles d'influencer leurs performances cognitives.

Outils/méthodes

Les dispositifs simulant le vieillissement sont nombreux, mais tous ont même objectif : mimer au mieux les changements sensorimoteurs liés à l'avancée en âge. Pour cela, ils intègrent généralement quatre types de modules : le module de tête (vue, ouïe et motricité du cou), du torse (mouvements de la colonne vertébrale), des bras (toucher, mouvements des articulations et motricité fine) et des jambes (marche et motricité globale). Il est cependant important de noter que certains déclin sensoriels, notamment gustatifs et olfactifs, sont difficilement simulables.

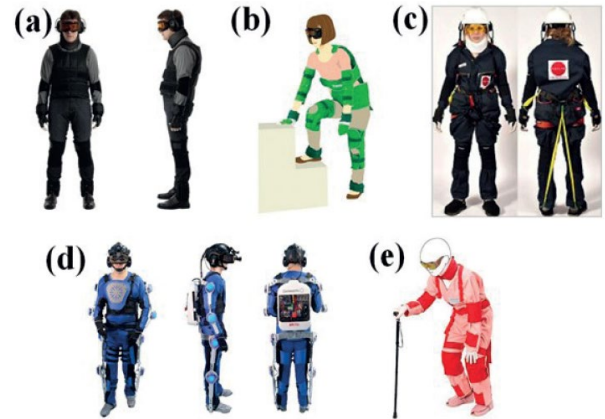


Figure 1 : Illustration de quelques modèles de simulateurs (a) Gerontological Test Suit (GERT), (b) The Aged Simulation Set LM-060, (c) Age Gain Now Empathy System (AGNES), (d) Genworth R70i et (e) Sakamoto Model M176

Principe démontré

On cherche à déterminer si la simulation des altérations sensorimotrices caractéristiques du vieillissement normal peut avoir pour conséquences des patterns d'altérations cognitives comparables à ceux observés chez les adultes âgés.

Exemples d'application

Les simulateurs de vieillissement permettent de faire en sorte que des sujets jeunes perçoivent et se déplacent dans des conditions plus proches de celles dont les adultes âgés font l'expérience. Le port du simulateur par des adultes jeunes lors de la réalisation de tâches cognitives habituellement difficiles pour des adultes âgés pourraient permettre de mieux comprendre à quel point ces difficultés sont causées par leurs atteintes sensorielles ou motrices.

Il est également envisageable d'utiliser les simulateurs de vieillissement comme des outils permettant aux adultes jeunes de mieux comprendre la réalité des altérations sensorimotrices caractérisant le vieillissement, ce qui pourrait être utile pour diminuer les stéréotypes négatifs vis-à-vis des personnes âgées.

Le matelas intelligent, un dispositif non intrusif pour la mesure des signaux physiologiques

Claude Elvire KENGOU (CHArt)

Contexte scientifique

Depuis sa découverte en 1877, la ballistocardiographie (BCG), qui mesure les mouvements corporels générés par l'éjection sanguine, a prouvé son efficacité pour le suivi non-intrusif de l'activité cardiorespiratoire. Grâce aux avancées technologiques, elle a évolué en systèmes intelligents, précis et robustes. Le dispositif développé dans ce projet transforme un matelas en un outil médical innovant, avec un potentiel de précision comparable aux dispositifs cliniques actuels. Les capteurs intégrés convertissent ces mouvements, transmis à la surface du lit, en informations exploitables, telles que les fréquences cardiaque et respiratoire. Ce système permet une surveillance discrète et sans contact, avec des applications prometteuses en recherche, médecine, télémédecine et sport.

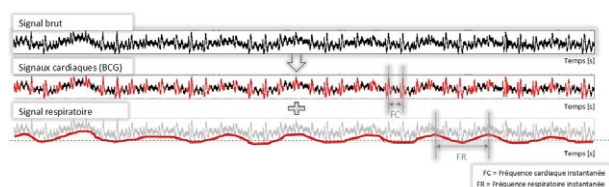


Figure 1 : Traitement des signaux physiologiques à partir d'un matelas intelligent. Le signal brut capté est décomposé en signaux cardiaques (BCG) et respiratoires, permettant l'extraction en temps réel des paramètres physiologiques, tels que les fréquences cardiaque (FC) et respiratoire (FR).

Méthode

Une approche mécanique en quatre étapes a été mise en place pour garantir la précision et la robustesse du dispositif sous diverses sollicitations (dans des contextes variés). La première étape a consisté à caractériser les propriétés mécaniques du matelas via des essais de compression et d'indentation, révélant sa nature visco-hyperélastique. Ensuite, des lois de comportement ont été établies, utilisant le modèle de Maxwell pour les propriétés visqueuses et celui d'Ogden pour les propriétés hyperélastiques, avec des paramètres ajustés au matériau. La deuxième étape a mesuré les mouvements corporels à l'aide d'émetteurs et récepteurs basés sur des microphones. La troisième étape a utilisé ces données pour simuler, via le logiciel ANSYS, les déformations du matelas causées par les impacts cardiaques. Enfin, des essais en conditions réelles sur plus de 1000 participants, de tailles et âges variés, ont validé ces simulations.

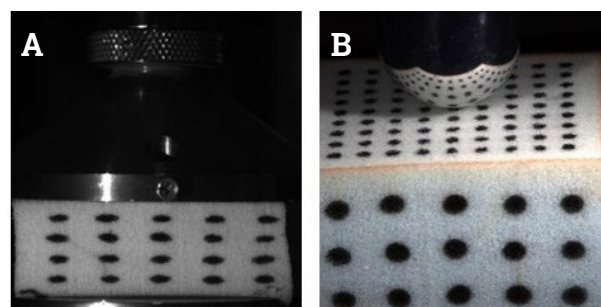


Figure 2 : Essais réalisés sur des échantillons de matelas utilisés dans le dispositif. (A) Compression uniaxiale à l'aide d'une plaque plane, et (B) Essai d'indentation pour caractériser les propriétés visco-hyperélastiques du matériau.

Résultats

Nous avons validé la faisabilité du dispositif sur une large population avec un protocole fiable. Le prototype, prêt pour les essais cliniques, permet de visualiser les signaux cardiaques, détecter les mouvements et extraire les paramètres cardiaques et respiratoires.

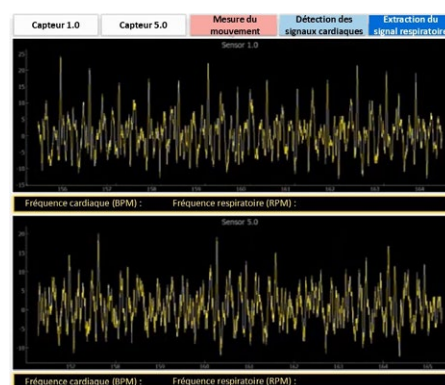


Figure 3 : Visualisation de l'interface présentant différentes options, telles que la visualisation des signaux cardiaques et respiratoires extraits des capteurs 1.0 et 5.0, la détection du mouvement et des événements cardiaques. L'interface affiche également les paramètres physiologiques, notamment les fréquences cardiaque (BPM) et respiratoire (RPM).

Discussion

La validation du dispositif sur une large population démontre son potentiel pour la surveillance cardiorespiratoire non-intrusive dans des contextes variés. La précision et la robustesse du prototype en font un candidat prometteur pour les essais cliniques. Cependant, des études supplémentaires, notamment longitudinales, sont nécessaires pour évaluer ses performances à long terme dans des environnements variés, tels que les milieux hospitaliers et domestiques. L'intégration de cette technologie en télémédecine offre de nouvelles opportunités pour le suivi à distance, mais nécessite des validations spécifiques. Enfin, l'amélioration continue des algorithmes, notamment par l'intelligence artificielle, pourrait affiner davantage la détection des paramètres cardiaques et respiratoires, élargissant ainsi ses applications dans la prévention et le suivi des maladies chroniques.

Apprentissage en réalité virtuelle dans un écosystème forestier

Noé MONSAINGEON et Jean-Michel BOUCHEIX (LEAD)

Contenu scientifique

La réalité virtuelle immersive permet de placer des apprenants dans un matériel d'apprentissage tridimensionnel, leur faisant voir et entendre ce qui ne pourrait pas être perçu dans la réalité. Cependant, l'apprentissage en RVI n'est pas toujours équivalent aux supports conventionnels (Coban et al., 2022). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences tels que la quantité de stimuli visuels, le niveau de contrôle de la tâche ou le degré d'immersion (Makransky et al., 2019). Afin d'améliorer l'ergonomie des environnements virtuels dans un contexte d'apprentissage, un champ de la recherche développe et évalue des principes issus d'études sur l'apprentissage multimédia (Albus et al., 2021, 2023 ; Makransky, 2021). Ces principes préconisent l'adaptation des environnements virtuels aux limites du système cognitif humain. Le présent démonstrateur a permis de tester l'effet de la multimodalité, du guidage visuel, ainsi que de feedbacks sur l'apprentissage et le comportement oculaire d'apprenants.

Outils/méthodes

Deux applications en réalités virtuelle sont présentées. La première application propose une leçon multimodale et interactive sur la compétition pour la lumière entre un hêtre et un chêne dans un environnement forestier. Une forêt virtuelle a été représentée avec les deux arbres placés au milieu d'une forêt environnante. Les apprenants avaient la possibilité de se déplacer et regarder à 360 degrés pour observer l'évolution des arbres. La seconde application permet de guider l'attention des apprenants et de leur faire visualiser l'effet de leurs actions sur des échelles de temps d'une dizaine d'années. Elle propose une tâche dédiée aux élèves des métiers de la forêt qui consistait à explorer des zones forestières et à déterminer l'emplacement le plus adapté pour accueillir des visiteurs. Les utilisateurs peuvent se déplacer, consulter des informations sur les éléments qui les entourent comme les arbres, les herbacés, la présence d'animaux, puis visualiser l'effet du passage des visiteurs sur 10 années. Dans les deux applications, les mouvements oculaires sur les éléments de l'environnement sont mesurés pour évaluer à quoi sont attentifs les apprenants. En particulier, cette méthode permet d'évaluer si les élèves sont plutôt attentifs à des éléments pertinents ou non pertinents pour l'apprentissage.



Principe démontré

Ces applications permettent d'évaluer des principes d'utilisation de la réalité virtuelle immersive dans le contexte de l'apprentissage. Elles permettent de comprendre l'utilité de favoriser des modalités auditives en plus de la modalité visuelle dans un environnement virtuel. Elles permettent également de comprendre comment guider l'attention des apprenants en leur pointant les éléments pertinents. Enfin, elles permettent de démontrer qu'il est nécessaire de faire visualiser aux élèves des projections du futur dans la réalité virtuelle. Aujourd'hui, ces applications sont exploitées pour un contexte d'écosystème forestier, mais l'apprentissage en réalité virtuelle touche d'autres secteurs, comme l'industrie ou le nucléaire. Les principes établis sur la bonne utilisation de la RVI pourront s'appliquer à d'autres secteurs.

Extraction automatique de biomarqueurs par explicabilité de l'IA

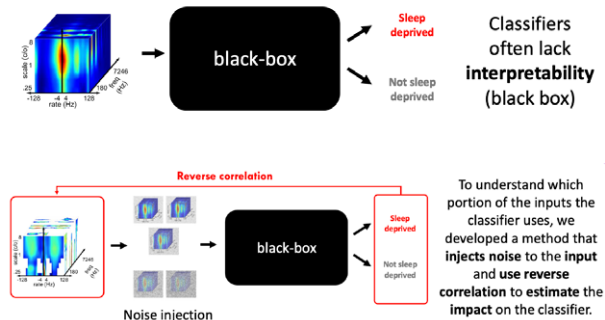
Etienne THORET et Daniel PRESSNITZER (LSP)

Contenu scientifique

Les méthodes d'apprentissage automatique sont de plus en plus utilisées pour identifier des biomarqueurs prédictifs dans divers domaines médicaux. Cependant, la complexité des modèles, notamment des réseaux de neurones profonds, pose un défi en termes d'interprétabilité, rendant difficile la validation clinique des biomarqueurs identifiés. Dans ce contexte, l'intégration de techniques d'explicabilité permet de surmonter ces limitations en fournissant des explications sur la manière dont les modèles apprennent et utilisent les caractéristiques des données pour prédire des résultats cliniques. Ce projet vise à développer des biomarqueurs automatiques en utilisant des algorithmes de machine learning associés à des techniques d'explicabilité comme la méthode des bulles et la méthode de corrélation inverse. En combinant ces méthodes, nous pouvons identifier les caractéristiques les plus pertinentes pour la prédiction. Cette approche garantit une meilleure compréhension des modèles, améliore la confiance des cliniciens et facilite l'adoption des biomarqueurs dans des environnements cliniques. Les résultats montrent que l'utilisation de ces techniques permet d'obtenir des biomarqueurs robustes et interprétables.

Outils/méthodes

Pour développer des biomarqueurs automatiques et interprétables, nous avons mis en place une approche combinant des algorithmes de machine learning et des techniques d'explicabilité que nous avons développées basées sur la méthode des bulles et la corrélation inverse. La méthode des bulles et la méthode de corrélation inverse consistent à perturber localement les données d'entrée aléatoirement afin de mesurer l'impact sur la prédiction du modèle. Ces techniques permettent de visualiser les zones d'intérêt dans les données au sens des « boîtes-noires issue de l'IA » en mettant en évidence les caractéristiques les plus influentes pour la décision finale. Elle est particulièrement utile pour interpréter les réseaux de neurones complexes en fournissant des explications visuelles claires sur les facteurs contributifs. En combinant ces deux approches, nous avons pu développer une stratégie d'explicabilité robuste qui permet non seulement de créer des biomarqueurs automatiques, mais aussi de fournir des explications précises et visuelles aux cliniciens, facilitant ainsi l'interprétation des résultats et leur validation clinique. Les analyses sont réalisées sur un ensemble de données cliniques variées, et les résultats démontrent la pertinence et la robustesse des biomarqueurs générés grâce à ces méthodes d'explicabilité.



Principe démontré

L'intégration de méthodes d'explicabilité dans le processus de création automatique de biomarqueurs permet de surmonter les limitations traditionnelles des modèles de machine learning en termes d'interprétation et de validation clinique. En appliquant la méthode des bulles par exemple sur des données EEG de personnes endormies, nous avons démontré que les zones d'intérêt identifiées par le modèle coïncident avec les caractéristiques cliniques reconnues par les experts dans le cadre, validant ainsi la pertinence des biomarqueurs générés. De plus, la méthode de corrélation inverse a permis de révéler des relations complexes entre différentes variables, mettant en évidence des interactions non triviales qui auraient pu être ignorées avec des techniques plus classiques pour identifier des marqueurs de la fatigue dans la voix. Ces approches ont été testées sur plusieurs ensembles de données cliniques. Les résultats ont montré que les biomarqueurs produits étaient à la fois robustes et interprétables, ouvrant la voie à une adoption plus large dans des environnements médicaux réels. En offrant une meilleure compréhension des mécanismes de prédiction, ces méthodes augmentent la confiance des praticiens et facilitent la prise de décision clinique, tout en réduisant le risque d'erreurs d'interprétation.

Exemples d'application

Les méthodes d'explicabilité développées ont été appliquées à divers domaines, illustrant leur polyvalence et leur efficacité. Dans le diagnostic de la fatigue vocale, elles ont permis d'identifier des caractéristiques vocales spécifiques (comme les variations de timbre et de prosodie) qui changent avec l'état de fatigue. Ces informations sont essentielles pour créer des biomarqueurs fiables permettant de détecter la fatigue à partir de courtes séquences vocales. Pour le diagnostic de troubles de l'attention via la voix, la corrélation inverse a été utilisée pour repérer des anomalies dans les patrons vocaux qui pourraient indiquer des problèmes de concentration, comme les hésitations ou les variations irrégulières du débit de parole. Cette approche a aidé à mettre en évidence des biomarqueurs liés aux capacités d'attention des individus. Dans le cadre de la caractérisation vocale des effets d'une thérapie cognitive et comportementale (TCC) sur l'insomnie, les techniques d'explicabilité ont révélé des changements subtils dans la modulation et la fluidité de la voix des patients, avant et après le traitement.

Exploration des stratégies d'écoute des personnes malentendantes appareillées



Laboratoire des
Systèmes
Perceptifs

Léo VARNET (LSP)

Contenu scientifique

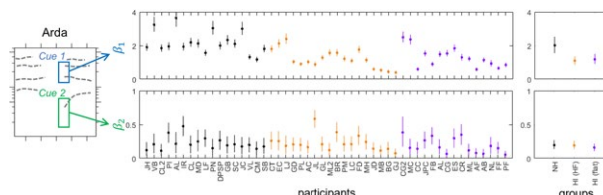
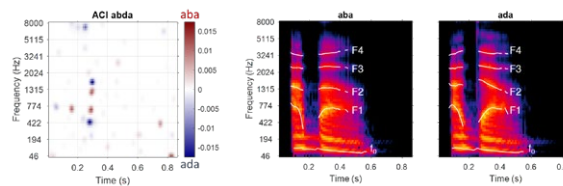
La compréhension de la parole repose sur la capacité du cerveau à décoder le son de parole en une série de phonèmes. Pour cela, notre système auditif extrait certaines informations très spécifiques présentes dans le son, les indices acoustiques. Les personnes souffrant de pertes auditives ne sont plus en mesure de percevoir correctement l'intégralité des indices acoustiques disponibles dans le son, ce qui compromet leur capacité à communiquer au quotidien. L'audioprothèse est aujourd'hui la réponse privilégiée à la malentendance. Malheureusement, cette approche ne permet pas toujours de rétablir une perception auditive entièrement normale : les sons à nouveau audibles demeurent parfois inintelligibles. Le développement de nouveaux systèmes d'aide auditive plus performants, mais également d'outils diagnostics plus fins, passe nécessairement par une étude détaillée des stratégies d'écoute individuelles chez les individus malentendants.

Outils/méthodes

La méthode des Images de Classification Auditive (ACI), permet de visualiser directement et de façon très détaillée la stratégie d'écoute d'un participant. Le principe de base de cette approche repose sur l'étude des erreurs de compréhension commises par le participant. L'Image de Classification Auditive obtenue correspond à une carte temps-fréquence des éléments du sons sur lesquels l'auditeur s'appuie pour le comprendre.

L'ACI est donc une nouvelle technique d'imagerie de la perception auditive purement comportementale. Permettant de visualiser les informations sonores sur lesquelles le participant porte son attention, la méthode offre une forme d'« ear-tracking » d'une précision jusque ici inégalée, ouvrant de nouvelles perspectives pour la compréhension et l'amélioration des aides auditives.

La mise en place des études est simplifiée par la toolbox open access fastACI qui permet d'automatiser la réalisation d'expériences ACI et l'analyse des données collectées.



Principe démontré

Les fichiers audio proposés démontrent le principe de l'« effet microscopique du bruit » qui fonde l'approche de l'ACI.

Un enregistrement particulier de bruit peut induire un biais systématique du bruit en faveur d'une interprétation particulière du son. Ici, par exemple, une succession de sons est présentée dans un bruit blanc, sélectionné pour maximiser l'effet microscopique.

Cet effet microscopique du bruit constitue le principe fondamental de l'ACI. En exposant les participants à un grand nombre de bruits aléatoires, il devient ensuite possible d'analyser ceux ayant entraîné des erreurs de réponse, afin d'identifier les régions spectro-temporelles associées aux indices acoustiques pertinents.

Exemples d'application

La méthode des Images de Classification Auditives offre une précision incommensurable par rapport aux précédentes approches psycholinguistiques pour explorer les stratégies d'écoute des personnes malentendantes appareillées. Ainsi, dans une étude récente, nous avons démontré que les auditeurs malentendants appareillés ne combinaient pas les indices acoustiques haute fréquence et basse fréquence de la même façon que les auditeurs normoentendants. Ces résultats soulignent la nécessité de développer des approches personnalisées pour améliorer l'efficacité des aides auditives, en prenant en compte les spécificités cognitives et auditives de chaque utilisateur.

Comment l'activité physique soutient la mémoire ?

Séverine FAY et Ilona MOUTOUSSAMY (CeRCA)



Contexte scientifique

Le vieillissement s'accompagne souvent d'une diminution des capacités de mémoire, en partie liée à un déclin des fonctions exécutives avec l'âge. Ces fonctions – comme la capacité à ignorer des choses non pertinentes, à passer d'une tâche à une autre et à actualiser les informations en temps réel – sont essentielles pour apprendre et récupérer des informations en mémoire. Il est bien établi que l'activité physique protège du vieillissement de la mémoire, mais ces bénéfices varient selon la tâche. Ceux qui pratiquent le plus d'activité physique maintiennent leurs performances de mémoire malgré l'avancée en âge, surtout dans les tâches complexes. Ces dernières reposent davantage sur l'utilisation des fonctions exécutives, elles-mêmes renforcées par l'activité physique. Un des principaux défis est de mieux comprendre comment l'activité physique améliore la mémoire, afin de mieux orienter les futures interventions pour les adultes âgés. Nous proposons que l'activité physique améliore les fonctions exécutives, et que celles-ci, à leur tour, améliorent la mémoire.

Méthode

Des adultes âgés de 20 à 40 ans et de 60 à 85 ans ont participé à l'expérience. Le niveau d'activité physique au cours des 12 derniers mois a été évalué en fonction de l'intensité, de la fréquence et de la durée des activités sportives et de loisirs pratiquées. Tous les participants ont appris une liste de mots selon la procédure suivante (voir Figure 1) : ils devaient d'abord mémoriser une série de chiffres et de lettres (par exemple, 5B6J9) avant chaque mot, puis rappeler cette série après la présentation du mot. Par la suite, les trois premières lettres de chaque mot appris étaient présentées pour permettre la récupération des mots, et les participants devaient indiquer si le mot proposé était ancien (appris) ou nouveau (non appris). Enfin, divers tests ont été administrés pour mesurer les capacités exécutives des participants.

Résultats principaux

Les analyses statistiques ont mis en évidence deux éléments importants. D'une part, l'activité physique protège contre le déclin de la mémoire et des fonctions exécutives lié à l'âge. D'autre part, les effets de l'activité physique sur la mémoire semblent en partie s'expliquer par la préservation des capacités exécutives chez les adultes âgés.

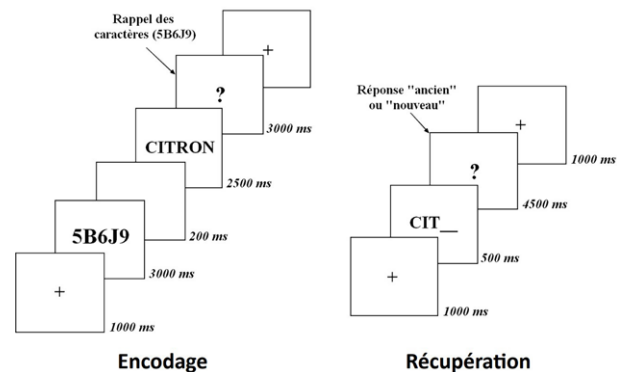


Figure 1 : Représentation de la procédure d'encodage et de récupération des mots

Discussion

L'étude souligne un élément important des bénéfices de l'activité physique sur la mémoire des adultes âgés. En effet, la pratique d'activité physique semble améliorer le fonctionnement exécutif, ce qui soutient la mémoire. Ces connaissances permettront de mieux évaluer les avantages de l'activité physique dans les programmes de prise en charge des personnes âgées. En conséquence, elles pourraient guider les recommandations pour intégrer l'activité physique comme une mesure clé dans les interventions visant à maintenir et améliorer la santé cognitive des adultes âgés.

Intelligence Artificielle

32



Développer une IA « human-centric » est l'un des chevaux de bataille décisif pour dépasser les limites des systèmes actuels. L'une des clés étant l'alliance fondamentale entre informatique, sciences humaines et sciences de la vie. ChatGPT est révélateur des progrès et des défis de l'IA en illustrant les dernières avancées des programmes de traitement automatique du langage naturel. Pour autant, les experts s'accordent sur le fait qu'il n'est pas encore capable de remplacer complètement l'analyse humaine.

Découverte interactive de motifs récurrents dans des séries temporelles

Thibaut GERMAIN et Christophe LABOURDETTE (Centre BORELLI)

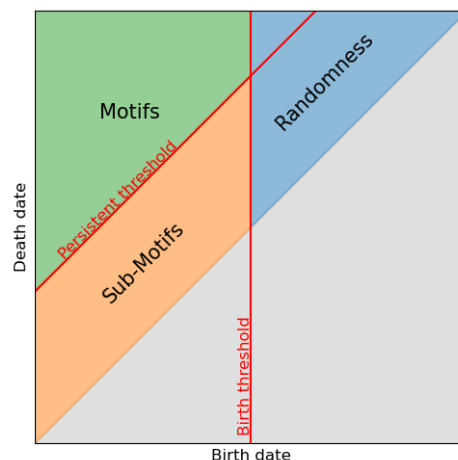
Contenu scientifique

L'analyse de séries temporelles à partir des motifs récurrents qui les composent est une approche pertinente dans de nombreux domaines. Cependant, les algorithmes existants pour la découverte de motifs sont généralement difficiles à paramétrer et nécessitent une expertise métier, conduisant à un paramétrage par essai et erreurs. Pour lever cette ambiguïté, nous proposons une application s'appuyant sur des outils d'analyse topologiques de données pour faciliter la découverte de motifs à partir de représentations visuelles et agrégées d'une série temporelle. Applicable dans de nombreux contextes tels que la physiologie et les neurosciences, cette application s'adresse à des ingénieurs et chercheurs souhaitant mieux comprendre la nature de séries temporelles de grandes dimensions.

Outils/méthodes

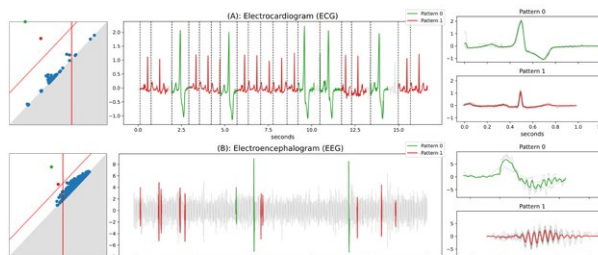
L'application s'appuie sur un algorithme de découverte de motifs [Germain, T., Truong, C., & Oudre, L. (2024). Persistence-based motif discovery in time series. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.] qui :

1. Transforme une série temporelle en un graphe où les nœuds sont des sous-séquences et les arrêtes sont pondérés par une distance entre sous-séquences.
2. Résume le graphe par homologie persistante en un diagramme à partir duquel il est possible d'identifier les sous-graphes associés à des motifs récurrents.
3. Fusionne les sous-séquences adjacentes des sous-graphes pour les ensembles de motifs récurrents.



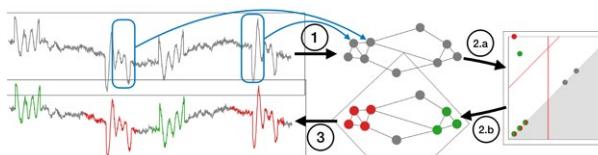
Principe démontré

Sur le diagramme de persistance d'une série temporelle, les ensembles correspondants à des motifs récurrents sont dans une région spécifique (en haut à gauche). Il suffit de définir deux seuils pour isoler cette région et en déduire les motifs très rapidement (linéaire en la taille de la série temporelle). De plus, la lisibilité du diagramme peut être améliorée en jouant sur les paramètres de la distance. Compte tenu de l'interprétabilité et la rapidité de l'algorithme le diagramme de persistance devient un pilier central pour comprendre la structure de la série temporelle et en déduire ses motifs.



Exemples d'application

Cette méthode s'illustre sur des électrocardiogrammes où elle permet de retrouver des motifs indiquant une pathologie cardiovasculaire. De même, sur les encéphalogrammes d'un sujet endormi, il est possible de détecter des motifs indiquant un sommeil de phase deux typiquement les K-complexes et les sleep spindles.



Analyse de la ventilation à partir de signaux de pléthysmographie



Thibaut GERMAIN et Christophe LABOURDETTE (Centre BORELLI)

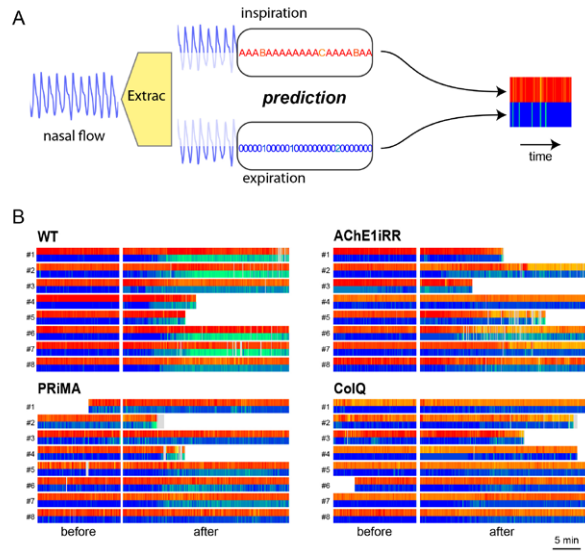
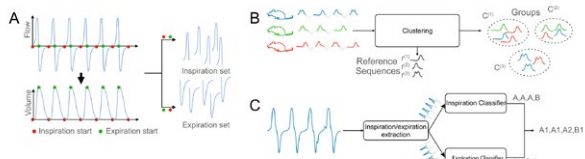
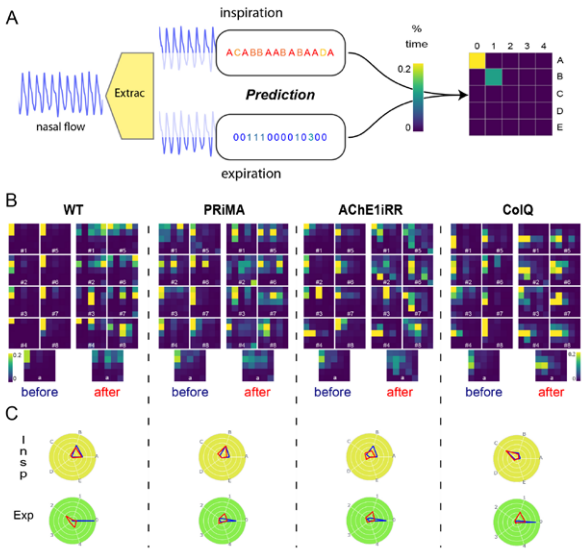
Contenu scientifique

La ventilation est une fonction physiologique simple qui assure l'apport vital en oxygène et l'élimination du CO₂. Cette fonction est généralement évaluée à partir de signaux de pléthysmographie. Aujourd'hui, cette analyse s'appuie sur des descripteurs simples du cycle respiratoire (inspiration/expiration) tel que sa durée, et ils sont souvent agrégés au cours du temps. Malheureusement, cette méthodologie ne rend compte que d'une partie de la dynamique des échanges respiratoires. L'application proposée offre une nouvelle classification des cycles respiratoires qui rend compte de la diversité et la dynamique des échanges respiratoires. Elle facilite aussi la compréhension des signaux enregistrés sur une cohorte grâce à des représentations globales et visuelles.

Outils/méthodes

Cette méthode se décompose en trois parties [Germain, T., Truong, C., Oudre, L., & Krejci, E. (2023). Unsupervised classification of plethysmography signals with advanced visual representations. *Frontiers in Physiology*, 14, 1154328.] :

1. Détection et segmentation des cycles respiratoires en séquences d'inspirations et d'expirations.
2. Apprentissage non supervisé des inspirations et des expirations prototypes avec un algorithme de clustering spécifique aux séries temporelles.
3. La symbolisation des signaux de pléthysmographie à partir des inspirations et expirations prototypes.

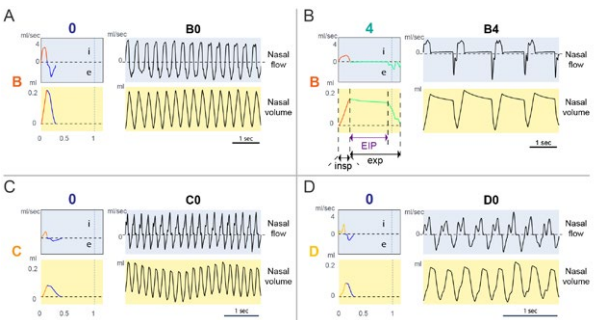


Principe démontré

Cette méthode permet de caractériser des modalités respiratoires indistinguables avec des descripteurs classiques des cycles respiratoires, qui de plus, sont caractéristiques à différents génotypes et à l'exposition de drogues toxiques altérant la respiration. De même, la représentation symbolique d'un signal de pléthysmographie offre une vision globale et locale de la dynamique respiratoire d'une souris.

Exemples d'application

La méthode est illustrée sur un jeu de données contenant les signaux de pléthysmographie de 32 souris de 4 génotypes différents. Toutes les souris sont exposées à une drogue altérant la respiration après 20 minutes d'enregistrement. Les figures illustrent les différences entre génotypes ainsi que l'évolution de la respiration après l'injection de la drogue.



SmartDetector, un nouvel outil pour l'observation d'action

Christel BIDEI-ILDEI (CeRCA)

Contexte scientifique

L'observation et la reconnaissance des actions jouent un rôle très important dans la vie quotidienne et ont fait l'objet de recherches approfondies. Au cours des quatre dernières décennies, une méthodologie intrigante, connue sous le nom de paradigme des Point-Light Display (PLD), a été développée pour étudier l'observation des actions. Cette méthode utilise des séquences animées représentant les principales articulations d'un acteur en mouvement. Les PLD se sont révélés précieux pour comprendre les mécanismes impliqués dans l'observation des actions, notamment dans les contextes d'apprentissage et de réhabilitation. Cependant, les méthodes traditionnelles de génération de PLD, telles que la capture de mouvement, sont coûteuses et difficiles à appliquer dans des situations réelles comme les soins aux patients ou les activités sportives. Par conséquent, il est nécessaire de disposer d'outils automatisés et économiques pour générer efficacement des PLD dans des environnements réels.

Méthode

Nous vous présentons ici SmartDetector, un programme basé sur l'IA pour la génération et la visualisation automatiques de PLD. Le système est intégré dans une interface web ouverte et conviviale, accessible aux chercheurs novices (<https://plavi.mop.prd.fr/index.php/en/automatic-creation-pld>). La méthode de génération automatique de PLD est illustrée à la Fig. 1. Tout d'abord, la posture humaine est détectée dans une vidéo RBV enregistrée à l'aide d'une approche basée sur les réseaux de neurones convolutifs. Ensuite, les articulations humaines sont extraites sous forme de séquences de coordonnées 2D (x, y) dans le plan de la caméra. En se basant sur les recherches antérieures menées en psychologie, les 13 parties du corps les plus importantes (épaules, coudes, poignets, hanches, genoux, chevilles et nez, à droite et à gauche) sont identifiées dans les images de la vidéo. Les coordonnées spatiales des articulations sont alors enregistrées sous forme de séquences animées de PLD représentant l'action réalisée dans la vidéo. L'algorithme génère également un fichier CSV contenant les coordonnées x et y de chaque articulation détectée. Il convient de noter que toutes les étapes de traitement sont effectuées en temps réel. Nous avons ensuite évalué les performances perceptives de 126 adultes en utilisant les PLD générés par SmartDetector et comparé les résultats obtenus avec ceux rapportés dans la littérature.

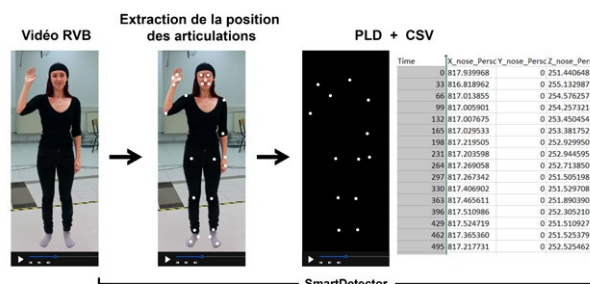


Figure 1 : Méthode proposée pour la génération de PLD avec SmartDetector

Résultats principaux

Les résultats ont montré que, quelle que soit la tâche (détection/discrimination ou reconnaissance des PLD), les PLD générés par SmartDetector ont permis d'obtenir des performances perceptives équivalentes en termes de précision et de temps de réponse par rapport aux résultats rapportés dans la littérature.

Discussion

L'application SmartDetector proposée offre une alternative prometteuse à la capture de mouvement traditionnelle, notamment lorsque la capture est difficile à réaliser, comme avec les patients ou lors des activités sportives ou lorsque l'on est limité au niveau du temps entre la capture et l'obtention de PLD exploitable. Les développements futurs prévoient la création de systèmes qui permettront la création de PLD pour des actions motrices fines et les expressions faciales, ainsi que l'adaptation de l'algorithme pour gérer plusieurs acteurs.

CHAWA, Chatbots With Attitude : démonstration de chatbots dotés de personnalités distinctes et engageantes

abrice LEFÈVRE (LIA)

Contenu scientifique

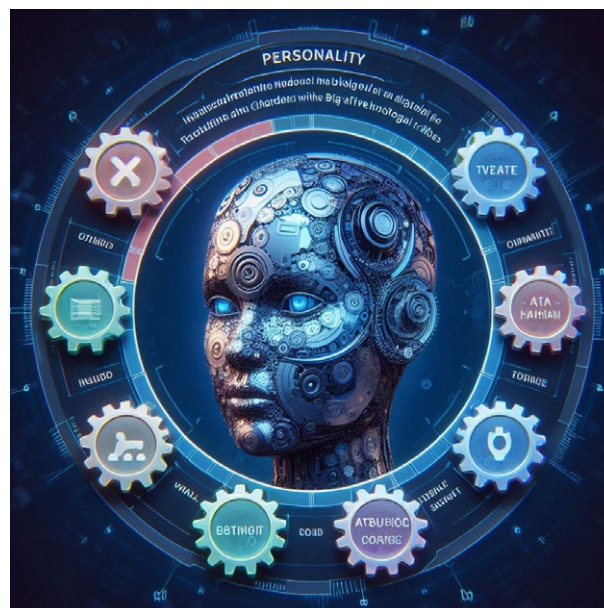
Ces chatbots sont conçus à partir d'une architecture sophistiquée qui combine des modèles de langage large (LLM) et des techniques de récupération d'information (RAG), leur permettant d'accomplir des tâches spécifiques tout en incarnant une personnalité préalablement définie. Appuyés sur la puissance générative des LLM, nous souhaitons tester s'ils sont capables de générer des dialogues naturels, cohérents et adaptatifs, même dans des environnements à domaine ouvert, tout en restant guidés par la personnalité simulée de l'agent conversationnel.

Outils/méthodes

Basés sur une architecture combinant LLM (open-source) et RAG, les chatbots sont construits pour réaliser leur tâche tout en exprimant une personnalité spécifique pré-définie.

Principe démontré

Capacité des LLM à générer des dialogues naturels et consistants en domaine ouvert guidés par une personnalité simulée de l'agent conversationnel. Mesures d'évaluation objectives et subjectives permettant d'apprécier la précision de la modélisation retenue et son impact sur la nature des dialogues générés avec des humains.



Exemples d'application

Coach vocaux (soutien psychologique et médical, entraînement pour téléopérateurs,...).



Technologies d'augmentation cognitive

38



« L'augmentation cognitive » est un champ de recherche transversal à la frontière entre les interactions Humain-Machine, la psychologie, l'ergonomie et les neurosciences. Il vise à créer des interactions innovantes permettant d'aider, de suppléer ou d'augmenter les capacités d'action et de traitement humain de l'information. La création de telles interactions vient de la capacité à mesurer en temps réel le traitement des informations et les états cognitifs des utilisateurs.

La mise au point de nouvelles interactions permet par exemple de concevoir des usages innovants, des agents conversationnels « affectifs » ou des interfaces adaptatives en fonction du profil ou du comportement d'un utilisateur.

Philippe TRUILLET - Coordinateur scientifique

Assistance robotique au service de l'apprentissage et du ré-apprentissage de gestes moteurs : optimisation de l'interaction humain-robot

Victor FRANCISCO, Christel BIDEI-ILDEI et Arnaud DECATOIRE
(CERCA)

Contexte scientifique

Le recours à l'assistance robotique dans la rééducation présente des opportunités prometteuses, mais il est crucial que le guidage robotique soit bien conçu pour permettre au patient d'apprendre sans que le robot ne prenne entièrement en charge le mouvement. La plupart des systèmes existants agissent davantage comme des dispositifs d'assistance que d'apprentissage, ce qui peut limiter le transfert d'apprentissage vers la vie quotidienne. Cette étude se distingue par l'utilisation d'un dispositif innovant permettant d'apprendre simultanément la trajectoire et la dynamique du mouvement. Afin d'optimiser l'apprentissage d'un mouvement complexe, nous avons exploré deux fréquences de présentation d'un retour visuel sur le mouvement.

Méthode

Le protocole d'apprentissage s'est déroulé sur deux jours : le premier jour, les participants ont effectué six blocs de 15 essais. La tâche consistait à reproduire un profil couple-mouvement en suivant un modèle de référence, avec un retour visuel constant pour le groupe Contrôle limité et dégressif en fréquence pour le groupe Fading (100% à 0% sur les six blocs d'essais). Le deuxième jour, tous les participants ont d'abord effectué un bloc sans feedback (test de transfert), puis avec feedback (test de rétention).

Résultats

Les résultats ont montré que le groupe Fading a montré de meilleures performances en test de transfert (sans feedback visuel) comparé au groupe ayant toujours eu accès au feedback visuel sur le couple effectivement produit par rapport au couple requis (i.e., RMSE).

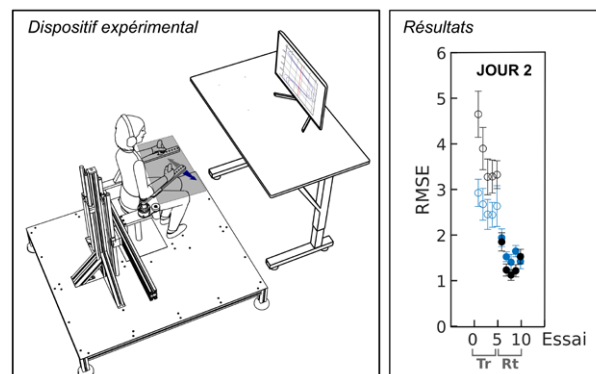


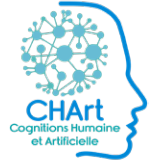
Figure 1 : A) Dispositif expérimental. Les participants ont appris à produire un profil complexe de couple vs mouvement. Un écran était utilisé pour afficher (ou non, selon l'essai) un retour visuel continu du couple souhaité par rapport au couple produit. B) Résultats. Erreur quadratique moyenne (RMSE) entre le couple souhaité et le couple produit en fonction du groupe (Contrôle : noir ; Fading : bleu) et de la disponibilité du feedback (Cercle ouvert : Pas de feedback ; Cercle fermé : Feedback visuel). Tr : Test de transfert ; Ret : Test de rétention). Les barres d'erreur correspondent aux erreurs standards.

Discussion

Les dispositifs robotiques sont couramment utilisés pour aider à l'apprentissage des mouvements corporels, mais se concentrent généralement sur l'apprentissage des trajectoires sans inclure la dynamique de la tâche. Dans cette étude, nous avons examiné si les participants pouvaient apprendre un profil couple-mouvement avec un contrôle d'admittance. Les résultats ont montré que les participants faisaient des erreurs significatives en début de pratique car la dynamique de la tâche n'était pas encore intégrée par le système nerveux central. L'assistance du robot a poussé les participants à ajuster leurs commandes motrices, améliorant ainsi leur performance. Cependant, le groupe Fading, qui recevait de moins en moins de feedback visuel, a montré une meilleure performance lors du test de transfert (Jour 2) que le groupe Contrôle, suggérant que la réduction progressive du feedback visuel favorise un apprentissage à long terme plus robuste en réduisant la dépendance au feedback. Ces résultats soulignent l'importance d'un équilibre entre le feedback visuel et l'utilisation des indices proprioceptifs pour l'apprentissage des mouvements complexes.

Petit robot, mon ami

Valentina CARAVETTA (CHArt)



Contenu scientifique

La robotique sociale représente une nouvelle aide pour le traitement des troubles du neurodéveloppement infantile (TDN) : les robots peuvent produire des signaux sociaux, verbaux et non verbaux, clairs, simples à comprendre, et entretiennent l'engagement chez les enfants généralement réfractaires au traitement avec un thérapeute-humain. Ils permettent d'atténuer le stress d'une thérapie et d'améliorer l'apprentissage et la concentration du jeune patient. Les études, encore préliminaires, s'orientent vers l'utilisation de technologies en milieu hospitalier et scolaire et s'adressent surtout au traitement de l'autisme et des troubles de l'apprentissage. Récemment, certaines recherches ont également déplacé l'intérêt pour une intervention à domicile.

Outils/méthodes

L'étude vise à explorer la faisabilité du système « enfant-robot-caregiver ». On a utilisé les outils technologiques suivants comme aides au développement du système « Enfant-Robot-Caregiver » : le QTrobot, contrôlé via Wizard of Oz, et l'interface Rehabilitation Robotic Companion for Children and Caregivers (R2C3).

Pour construire les activités, on s'est inspiré des programmes de formation existants dans la littérature et des théories du jeu en psychologie infantile. Les activités d'interaction impliquent l'enfant, le robot et les caregivers. Le protocole expérimental a été personnalisé avec l'aide de l'équipe du Service de Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent de l'Hôpital Médical Pitié-Salpêtrière en fonction des difficultés et des ressources des enfants atteints de troubles du neurodéveloppement infantile.

Principe démontré

La réhabilitation proposée, en intégrant la ressource technologique d'un robot social au traitement, peut aider au meilleur développement des capacités cognitives et émotionnelles de l'enfant, en proposant un entraînement et un apprentissage là où l'enfant se trouve en difficulté, et en renforçant les capacités déjà présentes.

Cette réhabilitation non pas standardisée, mais modelée sur les besoins et les particularités de la personne, ajoute au soin hospitalier un côté ludique, particulièrement utile pour son intensité.

L'interaction avec un robot-compagnon et l'équilibre entre le divertissement et l'intention clinique (facilement dissimulée), peuvent imprimer une accélération efficace au développement des compétences de l'enfant.



Exemples d'application

L'étude permet une utilisation innovante de la technologie dans le traitement des différentes formes de troubles du neurodéveloppement infantile. Les activités interactives enfant-robot-caregiver peuvent être réalisées à la fois en milieu hospitalier et à domicile. Le programme comprend trois catégories d'activités ludiques :

1. exercices de rééducation motrice ;
2. activités d'expression émotionnelle ;
3. activités de développement des compétences sociales.

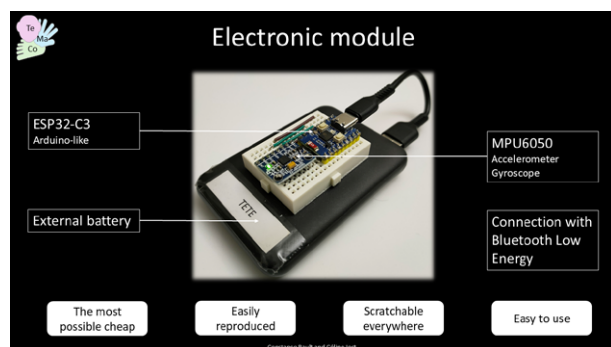
Le robot a été programmé pour fournir des retours au jeune participant au cours de jeux partagés avec les caregivers. En particulier, le robot peut assurer un feedback d'encouragement face à chaque pas en avant de l'enfant et renforce les compétences acquises.

Dispositif numérique portable pour rendre la rééducation fonctionnelle plus ludique

Céline JOST (CHART)

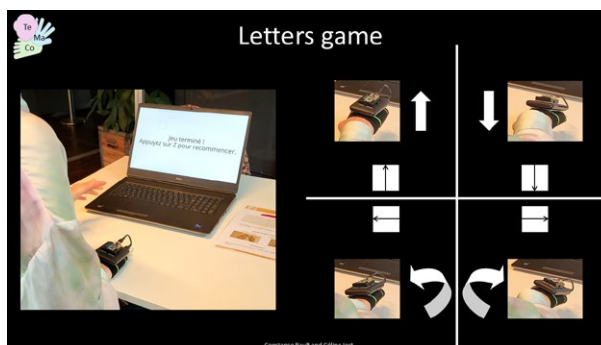
Contenu scientifique

Dans le cadre des protocoles de rééducation, les patients sont souvent sollicités à travers des exercices intensifs et répétitifs, visant à optimiser la récupération de leurs fonctions motrices ou cognitives. Cependant, les ergothérapeutes observent fréquemment une lassitude et une diminution de la motivation, qui impactent la rééducation. Le projet TeMaCo propose de répondre à cette problématique par la conception d'un dispositif numérique portable, destiné à capter et analyser les mouvements des patients, avec pour objectif de proposer une rétroaction sur un écran. Dans un premier temps, l'objectif est d'explorer l'acceptabilité et l'utilisabilité d'une telle technologie, tant au sein de la population générale que chez les ergothérapeutes. Ce projet multidisciplinaire réunit des chercheurs spécialisés en informatique, électronique, ergothérapie et ergonomie. L'objectif final sera d'identifier et d'explorer les leviers susceptibles de favoriser une implication active et durable des patients tout au long de leur processus de rééducation.



Outils/méthodes

Pour effectuer cette étude de faisabilité, le projet a suivi une démarche centrée utilisateur : (1) une étude des besoins conduite auprès de 31 ergothérapeutes a permis de confirmer l'intérêt pour un tel outil, (2) une évaluation du dispositif a été menée avec 13 étudiants du Master Technologie et Handicap de l'Université Paris 8, (3) des jeux ont été développés puis testés à l'occasion de 4 événements de recherche ou grand public et améliorés à chaque retour, (4) lorsque tous les retours ont été pris en compte, un recueil d'avis a été effectué sur 101 visiteurs de la Cité des Sciences et de l'Industrie à Paris, (5) une évaluation d'acceptabilité et d'utilisabilité a été conduite avec 35 professionnels de santé dans 5 régions de France (27 ergothérapeutes et 8 kinésithérapeutes).



Principe démontré

Un recueil d'avis effectué auprès du grand public lors d'un événement de vulgarisation scientifique à la cité des sciences et de l'industrie de Paris a impliqué 101 personnes (51 femmes et 50 hommes) âgées de 5 à 75 ans (moyenne : 20 ans ; écart-type : 15,60). La majorité des personnes préfère TeMaCo (par rapport à un ordinateur) pour jouer (56,4%), faire de l'exercice (90,1%) et apprendre des leçons (62,4%). Les participants ont envie de réutiliser TeMaCo quasiment à l'unanimité (97%).

Une évaluation auprès des professionnels a impliqué 27 ergothérapeutes et 8 kinésithérapeutes (24 femmes et 11 hommes) âgés de 22 à 64 ans (moyenne : 40,6 ans ; écart-type 12). TeMaCo a obtenu un score d'acceptabilité « excellent » selon le F-SUS (87,4). La majorité des ergothérapeutes pense que TeMaCo serait utile dans leur travail (82,86%) et expriment leur intention d'utiliser le système (77,14%). Enfin, 97,14% des professionnels pensent que le système est ludique.

Exemples d'application

Selon le grand public, TeMaCo peut avoir des applications pour l'apprentissage par exemple pour développer la motricité globale et fine ou apprendre à se concentrer. TeMaCo peut avoir des applications en centre de rééducation où il peut permettre de travailler les fonctions motrices mais également les fonctions cognitives. Il peut être utilisé notamment pour proposer des doubles tâches. Les ergothérapeutes interrogés y voit de nombreuses applications pour travailler les activités de la vie quotidienne et perçoivent un très bon potentiel en gériatrie et en pédiatrie. TeMaCo peut aussi avoir des applications en auto-rééducation à domicile. Selon les professionnels de santé, il serait important de poursuivre le projet dans cette voie.

Une mini planche à roulettes pour stimuler le développement moteur de grands prématurés

Joëlle PROVASI et Marianne BARBU-ROTH (CHArt)

Contexte scientifique

Les enfants nés très prématurément avec ou sans lésions cérébrales sont à risque de problèmes moteurs et locomoteurs au cours du développement. Cependant, un entraînement moteur et locomoteur précoce, à un moment où le cerveau et le corps sont très plastiques, pourrait avoir des conséquences positives sur le développement moteur et locomoteur de ces enfants. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets d'un entraînement à la marche quadrupède sur un mini skate pendant 8 semaines, dès leur sortie de néonatalogie au domicile des parents, sur le développement moteur et général des grands prématurés au cours de leur première année de vie.

Méthode

Une mini planche à roulettes a été conçue, brevetée en 2016 et commercialisée à l'international et en France depuis janvier 2024. L'enfant est placé à plat ventre sur la planche, de façon à surélever sa tête et son tronc et à libérer ses mouvements de bras, lui permettant de se propulser de manière indépendante en utilisant bras et jambes (propulsion appelée marche quadrupède). Un groupe d'enfants nés prématurément a été entraîné (groupe « Crawli »), dès l'âge du terme, 5 minutes par jour pendant 8 semaines sur la planche à roulettes, par un professionnel, au domicile des parents (Figure 1). Les performances de développement moteur et général de ces enfants jusqu'à 12 mois ont été comparées aux performances de deux groupes contrôle : un groupe d'enfants prématurés positionnés sur le ventre, sur un tapis, sans mini skate, 5 minutes par jour pendant 8 semaines, par un professionnel (groupe « Tapis ») et un groupe d'enfants prématurés recevant des soins standards (groupe « Contrôle »).



Figure 1 - 1a. Nouveau-né typique de 2 jours installé à plat ventre et enveloppé sur le crawl; 1b. Stimulation de la propulsion quadrupède sur le crawl; 1c. reconstruction 3D de la marche quadrupède sur le crawl; 1d. Structure du crawl.

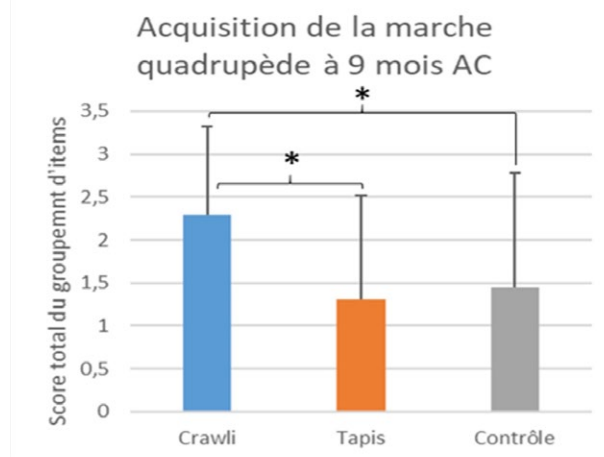


Figure 2 : Représentation graphique des scores bruts des items groupés des échelles de Bayley reflétant l'acquisition de la marche quadrupède à 9 mois d'âge corrigé. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des tests de Kruskal-Wallis. * pour $p < 0,05$.

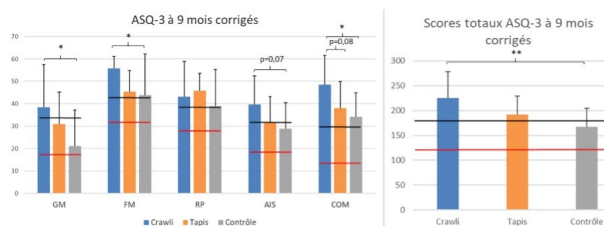


Figure 3 : La ligne noire représente la limite d'un score à risque émergent et la ligne rouge représente la limite d'un score à risque confirmé. Le score maximal pour chaque domaine est de 60 et le score global maximal est de 300. AC pour âge corrigé, GM pour motricité générale, FM pour motricité fine, RP pour résolution de problème, AIS pour aptitudes individuelles et sociales et COM pour communication. * pour $p < 0,05$; ** pour $p < 0,01$.

Résultats

Nos résultats montrent non seulement la faisabilité de notre intervention, mais surtout que la stimulation quotidienne de la marche quadrupède des prématurés dès l'âge du terme a des effets bénéfiques sur le développement de leur marche à quatre pattes à l'âge de 9 mois (Figure 2), ainsi que sur leur motricité globale et leur développement général (Figure 3).

Discussion

Ces résultats positifs nous ont encouragés à proposer une nouvelle étude (en cours) ciblée sur des grands prématurés à fort risque de troubles neuromoteurs avec un entraînement de 10 minutes par jour à domicile, effectué cette fois par les parents, avec supervision d'un professionnel, pendant 8 semaines dès la sortie de néonatalogie. En plus de leur suivi moteur et général jusqu'à l'âge de 12 mois, ces enfants sont suivis en neuroimagerie (EEG et IRM) pour évaluer les effets de l'entraînement sur leur développement cérébral avant et après la période d'entraînement. Ces résultats seront comparés à ceux d'un groupe Contrôle recevant des soins standards.

Un dosimètre pour préserver son capital auditif

Arnaud NORENA (CRPN)

Contenu scientifique

Il est bien connu qu'une exposition à des sons forts (>80 dB) pendant une durée suffisamment longue (surexposition sonore) peut impacter le système auditif, et notamment provoquer des lésions cochléaires et aggraver les troubles de la perception auditive tels que l'acouphène et l'hyperacousie. Il est difficile d'éviter de se surexposer au son car les sons sont souvent « indolores ». C'est même parfois le contraire, les sons forts sont recherchés car ils « coupent » du monde (écoute au casque ou oreillettes) et/ou produisent du plaisir (concert). Par ailleurs, les symptômes qui sont aggravés par la surexposition sonore le sont parfois quelques heures après la surexposition, ce qui rend la corrélation entre la surexposition et l'aggravation des symptômes difficiles à établir et donc plus difficile à anticiper.

Outils/méthodes

L'innovation est **une application de prévention**, qui permet 1) le monitoring de l'environnement sonore (mesure de la dose accumulée de son) et 2) de collecter la sévérité des symptômes des sujets directement à partir d'un smartphone. L'application donne alors des indications sur le comportement à observer dans une situation sonore donnée, à savoir réduire le niveau sonore si possible ou éviter l'environnement sonore potentiellement délétère (lieux publics bruyants, transports en commun etc.) pour le système auditif et/ou les symptômes auditifs.

Principe démontré

Nous avons démontré l'utilité et la maniabilité de la solution. Nous avons par ailleurs développé un prototype « hard » qui permet de s'affranchir des caractéristiques de la carte son du smartphone.



NoisyWorld

Tinnitus

Hyperacusis

Exemples d'application

Le système auditif n'a pas de mécanisme permettant de mesurer la dose accumulée de son, d'alerter le sujet d'un trouble auditif à venir (au moyen d'un signal douloureux, par exemple) et donc de protéger le système auditif des surexpositions sonores et de conserver son **capital auditif**. En mesurant la dose accumulée de son à laquelle le sujet est exposé, la solution permet d'informer le sujet sur les risques encourus dans un environnement sonore donné. De plus, l'application établit une corrélation entre l'exposition sonore et l'aggravation des symptômes du sujet, lesquels lui sont propres. En étant informé de leurs limites personnelles vis-à-vis de leur tolérance au bruit, cela permet au sujet d'avoir une certaine marge de manœuvre sur leur manière de vivre relativement à l'environnement sonore.

Dr Cloud, un outil pour stimuler les hypothèses de recherche sur les maladies génétiques

François GARNIER, Nicolas GARCELON et Dionysios ZAMPLARAS
(ENSADLab)

Contenu scientifique

Le projet Dr Cloud cherche à reconstruire une relation subjective et sensible entre chercheurs et cliniciens de l'équipe Imagine-Necker et leurs données cliniques et génétiques.

Nous souhaitons recréer une proximité sensorielle, visuelle et tactile avec de grands corpus de données dématérialisées, pour réactiver des capacités cognitives indissociables de l'émotion et du corps en action, dans des activités d'analyses intuitives de systèmes complexes.

Cette approche heuristique du Big Data propose une alternative à la recherche sur écran par mot-clé, en associant les qualités perceptives de l'immersion VR (embodiment, présence, flow) aux capacités analytiques de l'intelligence artificielle (indexation, image recognition, clusterisation). Elle place l'utilisateur dans un nouveau paradigme propice à la fouille libre, stimulant la sérénité et la mémoire spatiale, l'analyse subjective et la production d'hypothèses par association fortuite.

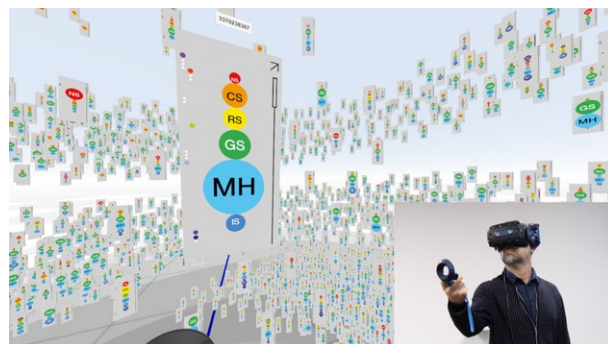
Outils/méthodes

Le projet Dr Cloud, associe le dispositif de Réalité Virtuelle Tamed-Cloud de l'EnsadLab avec la base de données médicale Dr Warehouse de l'institut Imagine.

Les données brutes hospitalières sont transformées en une représentation synthétique des cas cliniques sous la forme d'un avatar phénotype. Les avatars phénotypes sont ensuite organisées spatialement autour du clinicien suivant des configurations spécifiques (clusterisation). Il peut interagir avec les données grâce à un design d'expérience de type « natural user interface ».

Le projet Dr Cloud, est porté par l'Institut Imagine, l'EnsadLab, et l'ENS-DEC dans le cadre de la Chaire Vulnérabilités et Capabilités, et est soutenu par PSL Valorisation et l'Institut Carnot Cognition.

EnsadLab



Principe démontré

Dans cette expérience immersive, l'utilisateur interagit par ses déplacements, ses gestes et sa voix avec un nuage d'images vivant et malléables, similaire à une nuée d'oiseaux. Il peut organiser spatialement les données autour de lui, en appréhender les masses, sélectionner des groupes, consulter une donnée et la mémoriser.

Cet outil permet aux chercheurs et cliniciens de l'équipe Imagine-Necker, de s'immerger dans le corpus de cas cliniques structuré spatialement selon des critères tels que la proximité ou la pertinence, afin de réaliser des actes de fouilles, d'identification et d'association de cas.

Exemples d'application

Le concept de Tamed Cloud peut être appliqué dans de nombreux domaines, et notamment en humanités numériques, en communication, en recherche et en santé. Nous développons des cas d'usages dans plusieurs études métiers, et notamment :

- La curation et la valorisation de fonds culturels
- Le monitoring et l'analyse de tendance sur le Web
- L'analyse de cas cliniques

VIICAD 1.0, Virtual Immersive Interaction for Complex Analysis and Decision

Olivier MARTIN et Pascal BELLEMAIN (GIPSA-Lab)

Contenu scientifique

Le projet VIICAD s'appuie sur le développement d'environnements virtuels interactifs (EVI) utilisant les réalités virtuelles, augmentées et mixtes (RVAM) pour la génération de scénarios d'interactions contextualisés. Le couplage des EVI avec des capteurs d'analyse de l'information visuelle, de la prise de décision, et du comportement adaptatif permet (i) de définir les paramètres de simulation de la situation d'interaction, (ii) d'identifier et de caractériser les complexités d'interaction rencontrées, pour (iii) préconiser l'adaptation des contextes d'interaction afin d'améliorer les décisions, comportements et solutions à adopter. L'intérêt pour les scénarios d'analyse de flux de données dynamiques est particulièrement ciblé par VIICAD pour la simulation de l'homme en mouvement et de l'évolution des environnements naturels.

Outils/méthodes

- Réalité virtuelle, augmentée et mixte (RVAM)
- Immersion en environnement naturel, à risque
- Simulation en face-à-face inter-individuel
- Interaction à la première personne
- Protocole de perturbation immersive
- Enregistrement de données comportementale
- Analyse du traitement de l'information et prise de décision.
- Modèle d'évaluation sur critères

Principe démontré

VIICAD démontre (1) un principe de fusion heuristique de données hétérogènes et (2) son couplage avec des marqueurs événementiels réels ou simulés en RVAM interactive pour l'étude des comportements de l'Humain en situation de traitement de l'information et prise de décision et en contexte environnemental perturbateur et d'urgence à agir. En associant la flexibilité de l'immersion virtuelle, la simulation d'environnements complexes, et l'analyse de la performance d'interaction sur critères, le projet VIICAD ainsi novateur se met au service des stratégies d'analyse des données multiples et de la prise de décision sous contraintes de plus en plus prégnant pour les professionnels des secteurs où l'adaptation en situations d'interaction complexe est déterminante.

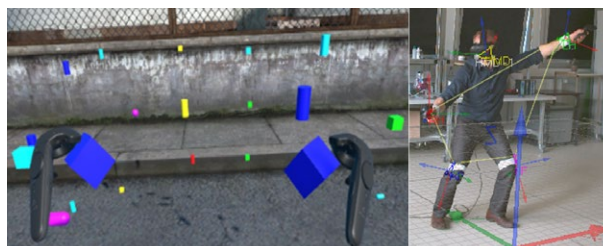


Figure 1 : Exemple d'application VIICAD-Human - analyse d'une tâche d'appariement d'urgence d'objets physiques virtuels, sous contraintes d'alternatives de choix et compromis vitesse-précision, avec enregistrement temps-réel des données de comportement.

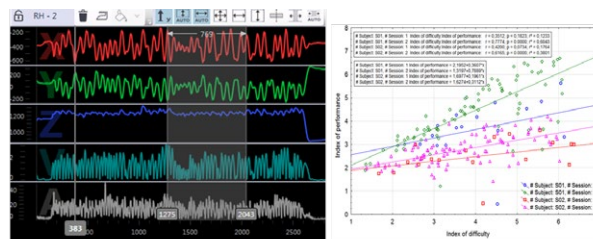


Figure 2 : Caractérisation du geste et corrélations entre les caractéristiques de la tâche et l'évolution du comportement, pour une évaluation de la performance d'interaction.

Exemples d'application

VIICAD s'adresse aux domaines d'application qui utilisent la RVAM pour simuler des conditions d'analyse de l'interaction Humain-Environnement contexte-dépendant, telles (1) qu'en **ergonomie cognitive** au service de l'analyse de tâche et l'anticipation d'un risque (GRT-gaz, EDF), (2) en **performance sportive**, par l'immersion en situation de perturbation paramétrée pour une analyse des déterminants fonctionnels pour l'optimisation de la performance d'interaction (GEXPER-Sport), (3) en **santé** par la stimulation thérapeutique (sensorimotrice et cognitive) adaptée au suivi individualisé du patient (PIVVIT-VR), (4) en **formation professionnelle** par l'e-learning individuel et collaboratif, et (5) en **prévention des risques environnementaux** (CPD-RISK).

LODYSEI, Localisation Dynamique, Sémantique et Intelligente

Antonio SERPA (IRIT)

Contenu scientifique

La localisation des objets connectés dans un environnement de vie, dans un lieu public et/ou professionnel couvert constitue un verrou majeur pour pouvoir déployer des systèmes interactifs d'assistance à leur localisation. Concevoir des technologies d'assistance à la localisation d'objet répond à des enjeux d'importance et multiniveaux :

- La sécurité des personnes (risques de chute associés à la recherche d'objets, risques médicaux associés au fait de ne pas trouver son pilulier...)
- Le renforcement de l'autonomie et le maintien à domicile de personnes en situation de dépendance
- L'amélioration de l'efficacité et de la qualité de vie au travail dans le cadre de process dangereux, complexes et/ou répétitifs
- L'amélioration de l'expérience utilisateur (culture, loisirs, commerce etc.)

Outils/méthodes

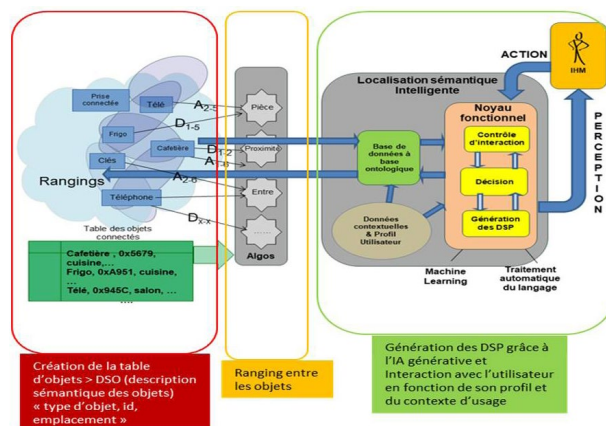
LODYSEI est un projet alliant des disciplines des sciences de l'information et de la communication (laboratoire IRIT) et des sciences humaines et sociales (laboratoire CLLE).

LODYSEI s'appuie sur :

- Une **analyse fine** de la variabilité des besoins des utilisateurs finaux en fonction des contextes de recherches d'objets et des caractéristiques des personnes (Ergonomie cognitive, laboratoire CLLE),
- des outils et les **méthodes de « ranging »** (Internet des Objets, réseau : Equipe RMESS),
- des outils d'intelligences artificielles (**LLMs**) pour la **génération des DSP** (Traitement Automatique des Langues (TAL) : équipe MELODI),
- et les outils de « **machine learning** » pour l'**adaptation des DSP** en fonction du profil utilisateur et du contexte d'usage (Interaction Humain-Machine (IHM) : équipe ELIPSE).



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse



Principe démontré

LODYSEI se veut un projet en **rupture par rapport aux approches existantes** en transférant le concept de **Description Sémantique de la Position (DSP)** qui consiste à générer la localisation relative d'un objet en langage naturel (ex : « Les clés sont dans la cuisine près de l'évier »), via des repères identifiables dans l'environnement. Cette approche prend en compte également les aspects liés au respect de la vie privée, notamment dans le contexte du domicile privé. Nous souhaitons démontrer que cette approche en matière de localisation d'objets, proche de celle réalisée par un humain et indépendante de la position de l'objet par rapport à l'utilisateur, est plus intelligible, intuitive, et facilement mémorisable que celle adoptée dans un guidage point à point

Exemples d'application

Les usages du système LODYSEI sont potentiellement nombreux. Le système LODYSEI, par sa capacité d'adaptation au contexte d'usage et au profil utilisateur, pourrait être utilisé dans des domaines variés comme le renforcement de l'autonomie à domicile pour des personnes en situation de handicap et/ou âgées, l'industrie 4.0 dans le cadre de process critiques comme, par exemple, le FOD (Foreign Object Damage) en aéronautique ou dans le secteur nucléaire, dans le domaine de la logistique et du commerce (optimisation du picking...), le tourisme et la culture (navigation dans un musée...), etc.

Système interactif pour l'annotation et le traitement spécifique de nuages de points 3D

Nicolas MELLADO et Loïc BARTHE (IRIT)



Contenu scientifique

Notre démonstrateur se base sur des travaux de recherche récents qui montrent l'utilisation de réseaux de neurones pouvant être entraînés et évalués interactivement sur des nuages de points 3D.

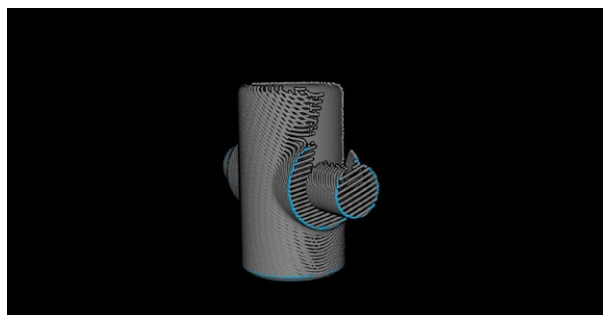
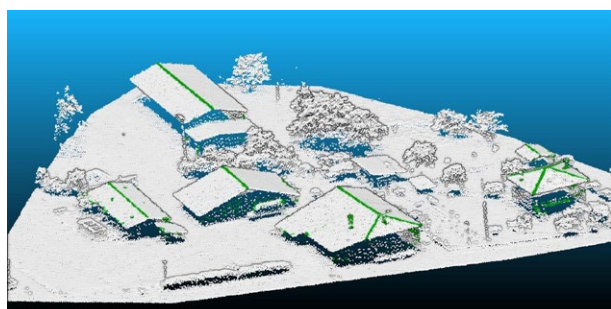
Nous nous intéressons à trois grands enjeux dans le traitement de nuages de points 3D : (1) La production rapide et représentative de données annotées, (2) l'entraînement rapide des réseaux de neurones et (3) le traitement rapide et efficace de milliards de points 3D acquis par des industriels dans un cadre métier spécifique.

Notre innovation est la proposition d'une solution s'appuyant sur des traitements géométriques particuliers et un réseau de neurones spécifiquement adapté capable de répondre à ces trois enjeux.

En particulier le démonstrateur présente une capacité inédite d'annotation, d'entraînement et de traitement de solution d'apprentissage interactif capable de passer à l'échelle.

Outils/méthodes

Notre approche nécessite de faibles volumes de données annotées (quelques centaines de points peuvent suffire), l'entraînement du réseau se fait en quelques secondes ou minutes, et nous sommes capables de classifier des nuages de milliards de points.



Principe démontré

Le démonstrateur est un outil de visualisation des nuages de points 3D massifs composés de centaines de millions de points qui ont été acquis par des industriels, l'utilisateur peut annoter interactivement les données, puis lancer l'entraînement du réseau. Une fois entraîné, le réseau retourne le résultat du traitement du nuage de points en quelques secondes. L'utilisateur peut alors compléter interactivement son annotation afin d'affiner l'entraînement du réseau, et entrer dans une boucle "annotation / amélioration de l'entraînement" pour amener le système à effectuer le traitement spécifique souhaité par l'utilisateur, sur ses propres données.

Notre approche permet aussi de produire automatiquement des données annotées rapidement et en grande quantité pour éventuellement entraîner par la suite un système d'apprentissage plus lourd (réseau plus profond ou/et à architecture plus évoluée) qui pourra effectuer des traitements plus complexes.

Exemples d'application

Les applications directes concernent l'optimisation de jumeaux numériques d'infrastructures énergétiques (lignes électriques) et de bâtiments, la surveillance d'infrastructures afin d'en optimiser la maintenance et d'en contrôler les risques pour les groupes de géomètres et bureau d'études recourant de manière massive aux acquisitions 3D, l'analyse et exploitation de composants mécaniques pour répondre aux besoins de la robotisation des chaînes de production dans l'industrie ainsi que la préservation du patrimoine (reconnaissance d'éléments de poterie, reconstruction d'éléments structurels de bâtiments, détection de structures humaines dans des acquisitions en extérieur).

Jeux de société et créativité

Todd LUBART (LAPEA)

Contenu scientifique

Il s'agit d'étudier l'impact des jeux de société sur la créativité. Grâce au soutien de l'Asmodée, dans le cadre de la chaire Homo Creativus, Fondation Université Paris Cité, nous avons mené des recherches pendant trois ans sur ce thème. On a pu identifier les jeux favorisant la créativité. Nous constatons un effet positif des séquences de jeux à la fois pour une résolution de problème créatif, par des individus et par des groupes.

Outils/méthodes

Jeux de société (comme Imagine, Dixit, the Big Idea) et mesures du potentiel créatif (tâches du brainstorming).

Principe démontré

On observe que les jeux impliquant une recherche d'idées originales permettent de faciliter le développement de la créativité chez les jeunes adultes. Ces effets concernent à la fois la performance dans les tâches individuelles de production créative que des tâches de créativité collective. Nous interprétons l'effet observé en termes d'amorçage de la flexibilité cognitive et le soutien d'autres ressources pour la créativité.



Exemples d'application

Il est possible d'identifier des jeux de société qui vont pouvoir stimuler la créativité. Ces jeux peuvent être utilisés dans les contextes scolaires et professionnels afin d'aider à développer la capacité créative.

Traduction de parole/texte en pictogrammes pour la communication des personnes en situation de handicap cognitif

Didier SCHWAB (LIG)

Contenu scientifique

Lorsqu'une personne a des difficultés avec la parole, et ne peut utiliser les canaux traditionnels de communication (parole, gestes, langues des signes) pour exprimer un message, une communication alternative et augmentée (CAA) peut être mise en place. On retrouve dans la CAA, l'utilisation de pictogrammes, image représentant un concept plus ou moins concret. L'accès à la communication par tous et pour tous est un défi majeur.

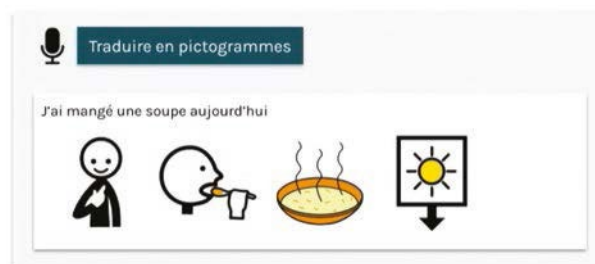
Proposer une séquence de pictogrammes à partir de la voix permettra aux personnes des services hospitaliers, et aux familles de véhiculer un message en pictogrammes facilement compréhensible par les utilisateurs de CAA, sans connaissances préalables.

Outils/méthodes

Pour créer une séquence de pictogrammes à partir de l'oral, plusieurs modules sont nécessaires, chacun ayant une tâche spécifique dans le processus de traduction.

Les avancées récentes en reconnaissance de la parole automatique permettent maintenant de mieux transcrire ce qui a été dit. En utilisant ce texte, nous pouvons effectuer différents traitements linguistiques pour produire une séquence de mots cohérente en fonction de la banque de pictogrammes utilisée.

Enfin, les pictogrammes associés aux mots sont sélectionnés pour générer une séquence de pictogrammes correspondant au texte énoncé.



Principe démontré

Voice2Picto est un logiciel libre et gratuit qui permet d'associer à la voix, une séquence de pictogrammes. Voice2Picto facilite l'accès à la communication à l'aide de pictogrammes pour un public qui ne connaît pas ou n'utilise pas ce type de support. Les familles et les professionnels de la santé peuvent ainsi disposer d'un outil peu coûteux et facile à mettre en place pour aider les personnes qui utilisent les pictogrammes comme moyen de communication.

Exemples d'application

Une première version du logiciel est actuellement disponible. L'outil étant libre, celui-ci pourra ainsi évoluer grâce aux retours reçus et aux avancées technologiques sur lesquelles il repose.

Les utilisations possibles sont nombreuses, voire infinies puisqu'elles peuvent rentrer dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, telles que communiquer un besoin, une envie, une émotion, raconter une histoire ou poser une question à une personne.

L'alternance fréquente de la position assis-debout pour optimiser santé, performance et productivité

Bonnet Cédric (SCALab)



Contenu scientifique

La sédentarité prolongée (> 50% du temps assis dans la journée) est une maladie sociétale du 21^e siècle. Elle touche plus de la moitié de la population mondiale, surtout les pays à hauts revenus comme la France, et elle cause des maladies graves (diabète, cancer, maladie cardio-vasculaire, mort prématurée...). Plusieurs pays (USA, Canada, Danemark...) achètent extensivement des bureaux assis/debout pour permettre plus de station debout en bureaux. La France est en retard et doit s'équiper extensivement surtout car les articles publiés et nos projets de recherche dans l'Université de Lille montrent tous que l'utilisation des bureaux assis-debout est bénéfique i) pour la santé (physiologique, psychologique, cognitive) et ii) pour la performance et la productivité au travail.

Dans notre équipe de recherche, nous finalisons et protégeons actuellement une application logicielle qui mesure parfaitement le temps passé assis vs. debout devant leur bureau. Cette application aide également les utilisateurs à une utilisation assis/debout optimale en incitant l'alternance fréquente de position du corps entre assis et debout (15 min – 45 min). Nous discuterons du potentiel de cette application au niveau socio-professionnel (pour les utilisateurs), socio-économique (pour les entrepreneurs) et pour la recherche (e.g. recherche participative).

Principe démontré

D'un côté, il est indéniable que la station assise est délétère pour la santé. En effet, elle peut causer la mort prématurée (Ekelund et al., 2016), le diabète de type 2 (Katzmarzyk et al., 2019), les cancers (Jones et al., 2019), les maladies inflammatoires chroniques (Levine, 2010), etc. La station assise prolongée est associée à des problèmes psychologiques tels que l'anxiété (Stanczykiewicz et al., 2019), la dépression (Verhavert et al., 2020), la démotivation et l'inconfort (Finch et al., 2017), etc. Elle amène même des effets négatifs sur les fonctions cognitives (fonctions exécutives, mémoire de travail, flexibilité et attention) (Chandrasekaran et al., 2021).

D'un autre côté, la station debout est bénéfique pour améliorer les performances aux tâches (courtes) de Stroop modifiée (Rosenbaum et al., 2017 ; Smith et al., 2019) et aux tâches (courtes) d'attention (Attention Network Task ; Abou Khalil et al., 2023, 2024).

Pour des tâches de plus longues durées (> 1h), l'alternance de position assis et debout amène de meilleures performances aux tâches de bureau que la position assise prolongée (Hasegawa et al., 2001 ; Schwartz et al., 2018, 2019 ; van Steenbergen et al., 2024).

De façon générale, les individus qui utilisent des bureaux assis/debout ont une meilleure productivité au travail que ceux qui sont toujours assis (e.g., Colleen et al., 2012; Puig-Ribera et al., 2015).

Exemples d'application

Les premières personnes cibles les plus concernées par les bureaux assis/debout sont les personnes qui travaillent en bureau toute la journée (e.g., personnes travaillant en téléconseil, secrétaires, personnels administratifs publics et privés). Ce sont donc les sociétés qui font travailler ces personnes qui doivent particulièrement s'équiper en bureaux assis/debout.

Les secondes personnes cibles sont les personnes travaillant un à plusieurs jours par semaine en télétravail.

Les troisièmes personnes cibles sont les personnes travaillant le soir et/ou le week end sur ordinateur à la maison. Dans ce cas, ce sont les individus eux-mêmes qui doivent s'équiper en bureaux assis/debout à leur propre maison.

Toutes ces personnes – et elles sont très nombreuses – bénéficieraient à court, moyen et long terme de l'utilisation de bureaux assis/debout au travail et/ou à la maison. De façon plus générale, il faudrait repenser notre société pour permettre à certains individus en amphithéâtre et/ou en cours et/ou en salle de se lever et travailler debout. Ceci serait possible en installant des bureaux assis-debout au fond (en dernière rangée) de ces amphithéâtres et/ou salles de cours pour faire en sorte que ceux qui utilisent ces bureaux ne gênent pas les autres devant eux.

FOCUS, votre allié quotidien pour un esprit serein et concentré

Sandrine MEJIAS (SCALab)

Contenu scientifique

FOCUS guide l'utilisateur dans la réalisation d'exercices de **cohérence cardiorespiratoire**. Il propose également un **biofeedback de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)**, permettant de visualiser l'impact de la respiration sur son bien-être.

FOCUS repose sur des bases scientifiques solides, montrant que la respiration contrôlée influence la VFC, un indicateur clé de la gestion du stress. Une augmentation de la cohérence cardiorespiratoire grâce à des exercices réguliers est associée à **une meilleure résilience émotionnelle** et à une réduction de l'anxiété. FOCUS permet d'intervenir directement sur le **système nerveux autonome**, favorisant un état de relaxation et un meilleur bien-être psychologique.

Outils/méthodes

FOCUS propose des **exercices de respiration guidée**, médiés par un **halo lumineux** dont l'intensité augmente pour l'inspiration et diminue pour l'expiration. Ces exercices peuvent être accompagnés d'une **vibration**, renforçant ainsi la perception de la respiration rythmée. L'utilisateur place son pouce sur un **capteur ergonomique** mesurant la VFC. Le **biofeedback** est fourni en temps réel par une **jauge lumineuse**, qui augmente lorsque l'utilisateur améliore sa VFC, offrant une visualisation des progrès réalisés. Une **application mobile** permet de suivre les progrès à long terme et de **calibrer** le dispositif FOCUS, assurant ainsi une personnalisation optimale des exercices.



Principe démontré

Les études scientifiques menées auprès d'enfants et d'adultes ont montré que la **respiration consciente et guidée**, combinée au **biofeedback en temps réel de la VFC**, réduit les symptômes physiques et mentaux liés au stress, tout en améliorant le bien-être.

Basé sur des principes simples, naturels et efficaces, FOCUS aide les utilisateurs à mieux prendre conscience de leurs réponses corporelles et émotionnelles face au stress. Portable et simple d'utilisation, FOCUS permet d'observer chez les utilisateurs une réduction de la fréquence cardiaque, du stress et de l'agitation, ainsi qu'une amélioration de la concentration et de la résilience émotionnelle.

Exemples d'application

FOCUS peut s'adapter à divers contextes :

- **Milieu professionnel** : Aide à gérer le stress, améliorer la concentration, et prévenir le burn-out.
- **Milieu médical** : Accompagne les patients souffrant d'anxiété, de troubles du comportement alimentaire (TCA), d'apnée du sommeil.
- **Usage privé** : Favorise la relaxation sans écran, avant le coucher, et améliore le bien-être.
- **Éducation** : Aide enfants et adultes à développer des compétences en autorégulation émotionnelle.

Partenariats de recherche avec une entreprise

52



Ce recueil de faits marquants de la recherche scientifique 2024 de l'institut Cognition serait incomplet sans la référence à l'intense activité de recherche contractuelle. Nous avons choisi d'illustrer les 193 contrats de recherche par la présentation d'un sous ensemble qui n'a pas la prétention d'être représentatif, ni emblématique.

Ce sont juste quelques exemples pour illustrer la mobilisation des 812 ETP permanents et 1381 ETP non-permanents de l'Institut aux côtés de partenaires du monde socioéconomique, pour contribuer ainsi à leur innovation compétitive.

Améliorer la relation avec un assistant conversationnel dans un contexte industriel : mesure et optimisation de l'engagement de l'utilisateur

Laurent PRÉVOT et Roxane BERTRAND (LPL)

Contexte industriel

L'entreprise Airudit conçoit des assistants conversationnels non incarnés (sans corps ou visage) spécifiques au contexte professionnel. Sa technologie permet aux travailleurs de baisser leur charge cognitive et d'améliorer l'efficacité des outils en utilisant une commande vocale au lieu de faire des aller-retours entre poste de travail et poste de saisie. Cette technologie est cependant mal acceptée par les travailleurs qui sont réticents à l'utiliser.

Objectifs

L'objectif de cette thèse est de concevoir un assistant conversationnel qui s'adapte à l'engagement de l'utilisateur afin d'améliorer son acceptabilité. On appelle engagement le processus par lequel deux participants (ou plus) établissent, maintiennent et mettent fin à la connexion perçue entre eux pendant une interaction. Lorsque l'acceptabilité est basse, comme lors d'une interaction avec un assistant conversationnel avec une voix monotone, l'utilisateur va avoir tendance à se désengager de l'interaction avec l'agent et donc à ne plus l'utiliser. C'est justement ce qu'une entreprise comme Airudit qui conçoit des assistants conversationnels veut éviter. Afin de parvenir à mettre au point un assistant conversationnel qui s'adapte à l'engagement de l'utilisateur, nous allons conduire différentes études qui nous permettront non seulement d'établir des mesures objectives de l'engagement de l'utilisateur mais aussi de déterminer quels comportements de l'assistant conversationnel sont les plus engageants pour l'utilisateur et comment cet agent peut prendre en compte l'engagement de celui-ci. L'assistant conversationnel que nous utilisons dans le cadre de cette thèse sera en Magicien d'Oz (les phrases produites par l'assistant sont déclenchées manuellement) pour simuler une interaction (voir Fig.1). Afin d'induire un contexte professionnel à nos expérimentations, nous avons couplé un bras robotique Dofbot (voir Fig.2) à notre assistant conversationnel. Celui-ci est présenté aux utilisateurs comme la miniaturisation d'un bras robotique d'une usine de traitement de déchets. Il est piloté à distance pour garantir la cohérence de l'interaction.

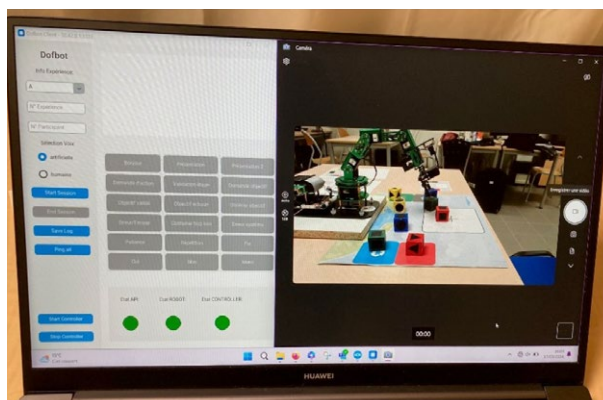


Figure 1 Vue expérimentateur. A gauche : Logiciel de Magicien d'Oz pour déclencher les phrases émises par l'assistant conversationnel. A droite : Vue du bras robotique via caméra pour le manipuler à distance.



Figure 2 Bras robotique Dofbot

Résultats

L'assistant conversationnel que nous allons concevoir sera mieux accepté par les professionnels puisqu'il prendra en compte l'engagement de l'utilisateur et sera donc davantage utilisé. Les caractéristiques de cet assistant conversationnel seront intégrées à ceux produits par Airudit pour permettre un meilleur confort de travail et une plus grande concentration sur la tâche.

Rééduquer la motricité ou le langage à l'aide de l'observation d'action

Victor FRANCISCO, Christel BIDET-ILDEI et Arnaud DECATOIRE (CERCA)

Contexte industriel

L'établissement Melioris-Le Grand Feu est un centre de soins de suite et de réadaptation, spécialisé dans la prise en charge des patients nécessitant un suivi médical continu. Il dispose de 100 lits en hospitalisation complète et de 23 places en hôpital de jour pour les patients de Niort et de ses environs. Le centre se distingue par ses deux pôles médicaux : Neurologie et Locomoteur/Brûlés, avec des équipes spécialisées dans la rééducation fonctionnelle. Les médecins, experts en médecine physique, accompagnent les patients souffrant de pathologies variées, en mettant l'accent sur l'amélioration des fonctions motrices et cognitives afin de favoriser l'autonomie.

Objectifs

Le projet porte sur l'intégration de l'observation d'actions (OA) dans la rééducation des affections locomotrices et des troubles du langage, tels que l'aphasie. Traditionnellement, la rééducation motrice est assurée par une équipe pluridisciplinaire et se concentre essentiellement sur l'augmentation des amplitudes articulaires, le réveil puis le renforcement musculaire. En ce qui concerne la rééducation du langage, celle-ci est assurée par des orthophonistes, qui adaptent une grande variété de protocoles en fonction de la réponse du patient, mais utilisent fréquemment des supports imagés statiques. Pourtant, plusieurs études récentes suggèrent que l'ajout d'OA peut améliorer les résultats cliniques et fonctionnels des patients, tant pour le langage que pour la motricité. Cela s'explique par les liens étroits existants entre la perception, compréhension et production d'une action. Ce projet a deux objectifs principaux : d'une part, comprendre et évaluer l'impact de l'observation de point-light displays (PLD) montrant des actions humaines sur la récupération de la marche après une arthroplastie totale du genou ; d'autre part, comparer l'OA à une méthode conventionnelle de rééducation verbale chez les personnes aphasiques. Pour cela, nous nous basons entre autres sur une technique de capture du mouvement qui nous permet d'enregistrer la cinématique d'une action, et d'obtenir les coordonnées spatiales des articulations d'intérêt ainsi que leur évolution temporelle, comme illustré par l'exemple de la figure 1 avec la marche. À partir de ces données, nous pouvons générer un stimulus visuel pour l'observation d'action (les PLD), ou réaliser une analyse quantifiée de la cinématique de l'action. Les enjeux incluent l'amélioration des protocoles de rééducation afin d'optimiser la récupération fonctionnelle et la communication des patients.

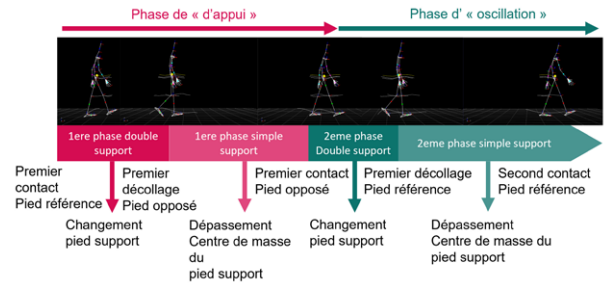


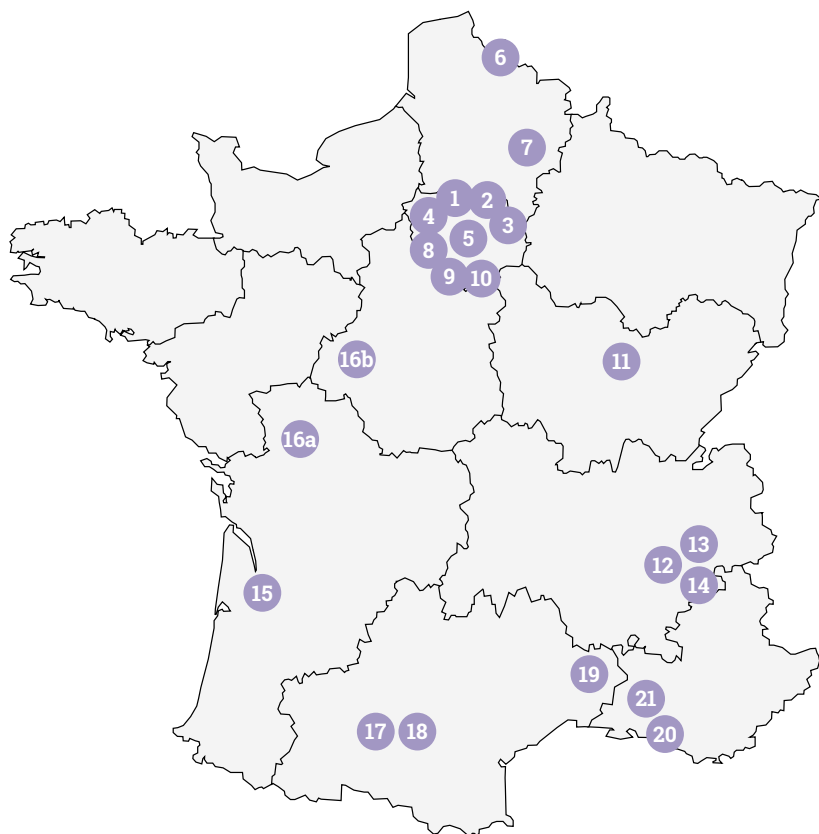
Figure 1 : Les différentes étapes d'analyse de la marche, qui permettent par exemple de quantifier l'amélioration de la marche ou de créer des séquences animées (PLD) représentant un mouvement de marche

Résultats obtenus/attendus

À court terme, nous visons à mieux comprendre les liens entre l'observation d'action et la production d'action, ainsi que ceux entre l'observation d'action et le langage, afin de les exploiter dans le cadre de protocoles de rééducation. À moyen terme, grâce à différents essais cliniques (en cours), nous cherchons à démontrer que les PLD peuvent être un outil efficace et modulable dans la prise en charge des patients souffrant de troubles moteurs ou du langage. À plus long terme, nous envisageons de créer un outil basé sur l'observation d'action qui pourrait servir de support pour l'apprentissage et le réapprentissage des gestes moteurs et du langage.

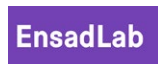
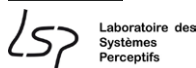


NOS LABORATOIRES



56

- 1 **CHArt**
Laboratoire Cognitions Humaine et Artificielle, Saint-Denis
- 2 **IJN**
Institut Jean Nicod, Paris
- 3 **LSP**
Laboratoire des Systèmes Perceptifs, Paris
- 4 **LSCP**
Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, Paris
- 5 **ENSADLab**
Laboratoire de recherche de l'EnsAD, Paris
- 6 **SCALAB**
Laboratoire sciences cognitives et sciences affectives, Villeneuve d'Ascq
- 7 **COSTECH**
Connaissance, Organisation et Systèmes Techniques, Compiègne
- 8 **LaPEA**
Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquée, Boulogne Billancourt
- 9 **LISN**
Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique, Orsay et Gif-sur-Yvette
- 10 **Centre Borelli**
Gif-sur-Yvette
- 11 **LEAD**
Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du Développement, Dijon
- 12 **GIPSA LAB**
Laboratoire Grenoble Images Parole Signal Automatique, Grenoble
- 13 **LIG**
Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Grenoble
- 14 **LPNC**
Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, Grenoble
- 15 **IMS**
Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système, Talence
- 16a **16b** **CeRCA**
Le Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, Poitiers et Tours
- 17 **IRIT**
l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, Toulouse
- 18 **CRCA**
Centre de Recherches sur la Cognition Animale, Toulouse
- 19 **LIA**
Laboratoire Informatique d'Avignon, Avignon
- 20 **CRPN**
Centre de Recherche en Psychologie et Neurosciences, Marseille
- 21 **LPL**
Laboratoire Parole et Langage, Aix en Provence



Nos tutelles



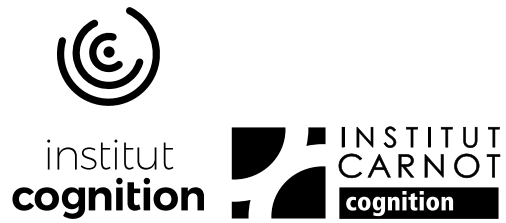
École Pratique
des Hautes Études



Nos partenaires institutionnels



NOUS CONTACTER



Institut Carnot Cognition - CNRS - UAR 2203
ENSC - Bordeaux INP
109 Avenue Roul, 33400 Talence

Tél. : + 33 (0)5 57 00 67 41
Email : contact@institut-cognition.com

www.institut-cognition.com



Institut Carnot Cognition



Institut Carnot Cognition

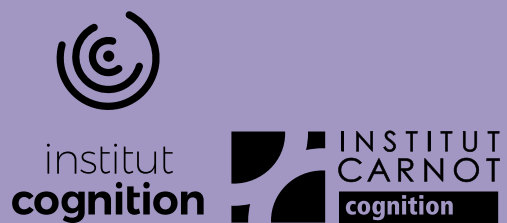
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Célestin SEDOGBO

CONCEPTION ET RÉALISATION
Gaël ROLLAND

IMPRESSION
A.C.S.D., Bordeaux

COPYRIGHT VISUELS
Institut Cognition, Freepik

Ce Yearbook 2024 a été édité en juillet 2025.
Remerciements à l'ensemble des contributeurs.



Institut Carnot Cognition - CNRS - UAR 2203
ENSC - Bordeaux INP, 109 avenue Roul, 33400 Talence
+33 (0)5 57 00 67 41
contact@institut-cognition.com