

AXE SON/MUSIQUE & SANTÉ de l'UMR STMS
Rapport année 2024

Effectif		Diffusion scientifique		Projets et contrats		Collaborations scientifiques	Collaborations cliniques
Chercheurs et ingénieurs statutaires	12	Revue à comité de lecture	1	Nationaux et régionaux PSYSON, PHRIP (2022-2025) Fondation pour la Vision et l'Audition INSPECTSYN, ANR JCJC / E. Ponsot (2023-2026) AVATARS, ANR-PRC (2023-2027) AudioEval (2024-2026), Fondation John Bost	4	Marine Taffou, Clara Suied, Vincent Isnard, Guillaume Andéol, IRBA (FR) Lise Hobeika, Séverine Samson, UNIV. Lille (FR) Arnaud Norena, CNRS (FR) Ana Tajadura-Jiménez, Universidad Carlos III de Madrid (ES) Marta Matamala Gómez, University of Barcelona, Iseline Peyre, LIB, Sorbonne Université Laurel Carney (US) Christian Lorenzi, LPP - ENS (FR) S. Verhulst et P. Devolder (Ghent Univ) L. Carney (Univ. Rochester, US) LABoratoire d'Accueil et d'Hospitalité (LAB-AH) du GHU Paris Alann Renault, Thibault Vincete LAUM (FR) Arnaud Norena, Laboratoire de Neurosciences Cognitives (FR) Celine Quinsac (Ceriah) Laurene Cabrera (Paris Cité) S. Verhulst / P. Devolder (Ghent Univ., Belgique) Anne-Lise Vernejoul, Justine Coubard-Millot (Lab-ah / GHU Ste Anne), Stefano Delle Monache, Elif Ozcan (TU Delft) L. Cabrera, INCC, CNRS / Univ. Paris Cité (FR)	Dr Alain Londero, HEGP, Hôpital Lariboisière (FR) Pr Paul Avan, Institut de l'Audition (FR) Prof Pascale Paradat-Diehl, APHP Salpetrière (FR) Elena Karpinski (psychomotricienne, GHU Paris Psy&Neuro) IHU reConnect Dr Pierre Safar (Hôpital Sainte-Marie Paris) Alice Gouret (psychomotricienne, Hôpital Sainte-Marie Paris) Etablissements de la fondation John Bost : SESSAD et IME La Clé (95490 Vauréal) ; IME Roland Bonnard (95270 Saint-Martin-du-Tertre) ; ESAP Patmos (24130 Prignonrieux) ; EAM Béthel et Siloé (24130 Saint-Pierre-d'Eyraud) Hôpital de jour pour enfants André Boulloche (75010 Paris) Lara Belloc, Gwen Averty (GHU Ste Anne)
Chercheurs et ingénieurs non statutaires, invités	4	Conférences avec comité de sélection	2	Internationaux ERC Ana Tajadura-Jimenez (bodyintransit.eu)	1		
Doctorants	1	Ouvrages et chapitres	0	Conventions Sounds4Care entre GHU Paris Psych&Neurosc. (Lab-ah), Ircam, CRD ENS Paris Saclay, Institut FEMTO-ST (Cnrs) – Carine Delanoe-Vieux, co-directrice du Lab-ah – 2021-26 Contrat cadre IRBA Fondation individualisée John Bost pour la Recherche (FiJBR)	3		
Stagiaires	4	Thèses de doctorat / HDR	0				

- Chercheurs et ingénieurs statutaires (12) : Thibaut Carpentier (IR-CNRS, EACFrédéric Bevilacqua (DR-IRCAM, ISMM), Emmanuel Fléty (DR-IRCAM, PIP), Thomas Hélie (DR-CNRS, S3AM), Olivier Houix (CR-Ircam, PDS), Benjamin Matuszewski (CR-IRCAM), Nicolas Misdariis (DR-IRCAM, PDS), Patrick Susini (DR-IRCAM, PDS), Emmanuel Ponsot (CR-CNRS, PDS), Arnaud Recher (T-CNRS, PIP), Isabelle Viaud-Delmon (DR-CNRS, EAC), Coralie Vincent (IE-CNRS, EAC/ISMM/PDS), Olivier Warusfel (CR-IRCAM, EAC),
- Chercheurs et ingénieurs non statutaires, chercheurs invités (9) Judith Guadalupe Ley Flores (post-doctorante Universidad Carlos III de Madrid, co-encadrement ISMM), David Lopez-Ramoz (post-doctorant, PDS), Thomas Risse (doctorant Sorbonne Université, S3AM, co-encadrement LMA et LaSIE, 2022-2025), Marine Taffou (chercheur IRBA), Vincent Isnard (chercheur IRBA), Ulysse Rousset (stage M2 Univ Gustave Eiffel, co-encadrement RepMus, EAC et PIP), Victor Bauer (stage M2 Acoustique/Audiologie à DTU, Pays Bas, PDS), Léo Mercier (stage M2 Ingénierie biomédicale à l'UTC, PDS), Charlotte Fernandez (stage M2 ATIAM, PDS et IRBA).

Introduction au rapport des activités de l'année 2024	3
■ 1. Le son et la musique pour la prévention en santé et le mieux-être.....	4
1.1 Environnement auditif : quel environnement auditif pour faciliter la possibilité du soin et pour le mieux-être ?	4
1.1.1 Alarmes sonores (PDS).....	4
1.1.2 Influence de la réverbération sur le comportement (EAC).....	4
1.2 Le son et la musique pour le mieux-être : faciliter la cohésion et les interactions sociales.....	4
■ 2. Le son et la musique pour la prise en charge du patient.....	5
2.1 Evaluation des troubles	5
2.1.1 Troubles auditifs périphérique et/ou central	5
2.1.2 Evaluation des troubles sensoriels	6
■ 2.2 Traitement.....	7
2.2.1 Le soin / l'intervention en environnement clinique	7
2.2.1.1 Troubles somatiques	7
Déficiences visuelles :	7
2.2.1.2 Troubles psychosomatiques	8
■ 3. Caractérisation des mécanismes neurophysiologiques, physiologiques et psychoacoustiques impliqués par l'utilisation du son et de la musique pour la santé et le mieux-être	9
3.1 Modalité sensorielle auditive	9
3.1.1 Effet de la saillance dans la perception d'une scène sonore complexe chez le malentendant équipé d'aides auditives (PDS)	9
3.1.2 Aspect développemental du traitement des modulations temporelles pour les signaux de la parole (PDS)	9
3.2 Intégration multisensorielle	10
3.2.1 Sonification du mouvement (ISMM).....	10
3.2.2 Transmission de l'information sonore par stimulation vibratoire et conduction osseuse (PDS).....	10
3.3 Modélisation de l'appareil phonatoire humain (S3AM)	10
■ 4. Recensement et description des moyens techniques	11
4.1 Dispositifs	11
4.1.1 Captation du geste (ISMM)	11
4.1.2 Spatialisation (EAC)	11
4.1.3 Réalité Virtuelle et Réalité Augmentée (EAC).....	11
4.1.4 Dispositifs disponibles	12
4.2 Moyens d'expérimentation / évaluation.....	12
4.2.1 Expertises méthodologiques	12
4.2.2 Infrastructures	12
■ 5. Aspects éthiques	13
■ 6. Résidences en recherche artistique	13
ACTIONS DE DISSEMINATION ET COMMUNICATION	14

Introduction au rapport des activités de l'année 2024

L'axe Son/Musique et Santé (SMS) vise à renforcer la synergie des travaux liés à la santé dans notre laboratoire, en mutualisant approches et ressources ; à structurer les interactions avec les partenaires du domaine médical ; et à élargir le champ d'action et d'application de nos recherches, tant pour enrichir les autres axes du laboratoire que pour contribuer plus largement à l'inscription de l'art dans la société.

La méthodologie repose sur la complémentarité d'approches articulant recherche fondamentale, développement technologique et validation clinique. L'étude des mécanismes en jeu dans la perception de la musique et du son constitue un socle essentiel à la mise en œuvre d'interventions ciblées, fondées sur l'expertise du laboratoire alliant musique, informatique et traitement du signal. La validation de ces interventions nécessite des évaluations quantitatives rigoureuses, comparées à des thérapies de référence, rendues possibles par des collaborations solides avec des établissements de santé (e.g. IHU reConnect, auquel plusieurs membres de l'axe Son/musique et Santé contribuent).

Dans une perspective de concrétisation et de transmission, nous contribuons à la structuration de nouveaux réseaux et à la formation de nouveaux chercheurs. Nos liens avec le Collegium Musicae (en particulier avec le réseau Musique, Neurosciences et Thérapie créé en 2024) ont vocation à se développer, et nous participons au réseau santé de CNRS Sciences informatiques.

En 2024, les résultats principaux ont concerné les 3 volets de l'axe :

- L'activité **Prévention et promotion de la santé et du mieux-être** intègre l'amélioration de l'environnement sonore et les actions à visée développementale et éducative. Les recherches sur le confort sonore en milieu clinique ont approfondi l'analyse des ateliers antérieurs, tandis qu'une nouvelle étude a été initiée sur l'impact de la réverbération sur le comportement des enfants en IME. En parallèle, le département action culturelle de l'IRCAM a pris le relais de plusieurs activités à visée éducative, en prolongeant les travaux menés par l'équipe ISMM (boîtier CoMo-éducation).
- Dans le cadre de la **Prise en charge du patient**, le versant *diagnostique* a vu ses travaux progresser pour la mise à jour de marqueurs de la synaptopathie cochléaire ou surdité cachée (projet ANR INSPECTSYN). De nouveaux projets explorent depuis 2024 la perception sonore atypique, notamment l'hyperacousie et la sensibilité auditive dans les troubles du spectre de l'autisme. Concernant cette population, deux actions ont démarré, concernant d'une part des mesures du contexte sonore, et d'autre part la mise au point d'une évaluation de la sensibilité aux informations sonores spatiales. Une nouvelle collaboration a démarré sur un projet concernant l'évaluation des troubles sensorimoteurs dans la dépression majeure. Le versant *traitement* poursuit les projets de r ducation des acouphènes en réalité virtuelle, de r ducation des membres supérieurs après AVC (CoMo-r ducation), et d'accompagnement des  tats de crise psychiatriques (Psyson). Le succès des recherches sur la sonification a permis d'initier de nouvelles applications pour la r ducation de la mobilité chez les patients avec d fici nce visuelle acquise, et pour la r ducation de la marche chez les patients post-AVC. Au niveau de la production sonore, le développement des techniques de modélisation physique de l'appareil vocal se poursuit pour proposer de nouvelles approches en r ducation vocale (projet ANR AVATARS).
- L'étude des **mécanismes de la perception de la musique et du son** chez l'homme vise à identifier les cibles susceptibles d'être mobilisées ou renforcées par l'intermédiaire de la musique et du son, notamment dans des contextes de variation ou d'altération des capacités sensorielles ou neurocognitives, qu'elles soient d'origine congénitale, acquise, temporaire ou durable. L'étude de l'impact social de la pratique musicale, par l'étude de l'expérience du public, est confiée au focus cognition du laboratoire (voir dossier HCERES 2023). Les travaux de cette année ont porté sur les effets de la saillance atypique chez le malentendant appareillé, développés notamment dans le cadre de la thèse d'Armand Schwarz, et sur le traitement des modulations temporelles pour la parole, bénéficiant chacun de collaborations avec des partenaires ciblés (Centre de Recherche et d'Innovation en Audiologie Humaine -CERIAH- pour l'un et BabyLab de l'INCC pour l'autre). Les recherches fondamentales se poursuivent sur la sonification du mouvement, la perception via la conduction osseuse et la modélisation de l'appareil phonatoire humain (projet ANR AVATARS et thèse de Thomas Risse).

Temps fort de l'année 2024

  la fin de l'année, la première journée annuelle de l'axe SMS a réuni 5 binômes associant spécialistes du domaine de la santé et spécialistes du traitement du signal appliqué à la musique. Les thématiques abordées inclu ient les acouphènes, les troubles neurodégénératifs, l'adaptation à la cécité, l'anxiété en psychiatrie et la phonation. Cette journée a suscité des échanges stimulants, mettant en évidence un consensus sur la nécessité d'inscrire les recherches li nt santé et musique/son dans une temporalité longue, seule compatible avec la complexité des processus étudiés et la multiplicité des acteurs impliqués.

Inscription dans la dynamique du champ

Au-delà des travaux menés par nos équipes, plusieurs  v nements scientifiques en lien avec nos thématiques ont eu lieu cette année, illustrant à la fois le développement du champ et la visibilité croissante de ces thématiques à l'échelle nationale et européenne. Le coll ge de France, sous l'impulsion de Stanislas Dehaene, a accueilli un colloque « Musique, cerveau et apprentissages scolaires : que dit la science ? » (22 mai 2024). Un colloque-festival explorant les pouvoirs de la musique sur le cerveau (« BAM! Brain & Music », 20-23 mars 2024) a été organisé à Bruxelles, soutenue par la commission européenne dans le cadre de la présidence belge.

Perspectives d'évolution

L'année 2024 a vu la maturation de plusieurs projets, qui vont arriver au stade de l'implémentation clinique (Psyson) ou qui ont fini la phase d'inclusion (Acouphènes et réalité virtuelle ; retour des cliniciens pour CoMo). Afin de garantir la pérennité de ces travaux, trois perspectives apparaissent pertinentes : les sciences de l'implémentation, la recherche participative et le concept OneHealth.

Si les travaux menés cette année ont principalement porté sur l'évaluation de l'efficacité d'interventions (projets CoMo, acouphènes et réalité virtuelle), une perspective complémentaire doit être progressivement intégrée : celle des sciences de l'implémentation. Celles-ci déplacent l'analyse de l'efficacité vers celle des conditions concrètes de mise en œuvre, en tenant compte du contexte institutionnel, des pratiques de terrain et des dynamiques humaines. Introduire de nouvelles approches thérapeutiques nécessite d'aller au-delà de la mesure à l'échelle individuelle du patient, en évaluant la durabilité du changement, son acceptation par les professionnels, et sa faisabilité en pratique quotidienne,

afin d’anticiper leur ancrage dans les pratiques professionnelles. L’acceptabilité par les professionnels est une dimension déjà pleinement abordée dans le projet CoMo, qui intègre le retour des professionnels à son évaluation, ou encore dans le projet Psyson, qui repose sur une démarche de co-conception avec les équipes paramédicales. Le succès des interventions liées à la musique et au son est aussi pleinement lié à leur impact sur le bien-être des soignants, dont l’évaluation devra être systématisée.

Une autre perspective qui s’avère particulièrement pertinente est celle de la recherche participative. Elle vise à impliquer activement les parties prenantes — patients, soignants, aidants, citoyens — dans les différentes étapes du processus de recherche. Cette approche, au-delà son aspect éthique et inclusif, accroît la pertinence et la légitimité des travaux produits, et leur ancrage dans les besoins réels des populations concernées. L’adoption d’une telle démarche suppose toutefois de repenser les cadres méthodologiques. L’ouverture progressive vers ces formes de co-construction représente une piste prometteuse pour enrichir la portée de nos recherches et renforcer leur impact sociétal, mais repose également sur une temporalité longue, basée sur l’établissement d’une relation de confiance entre les différentes parties prenantes.

Enfin, inscrire nos travaux dans le concept One Health, visant à articuler santé des personnes, des animaux et des écosystèmes, constitue un horizon important pour mieux comprendre l’interaction entre l’homme et son environnement sonore. Les projets actuels, qui incluent des enregistrements de l’environnement sonore, s’inscrivent dans cette perspective en posant les bases d’une approche intégrée de la santé humaine et environnementale.

■ 1. Le son et la musique pour la prévention en santé et le mieux-être

Nos activités dans le cadre de l’utilisation de la musique et du son pour la prévention de la santé et le mieux-être se caractérisent en deux types d’interventions : l’une basée sur la prise en compte de l’environnement sonore pour favoriser le mieux-être et la possibilité de soin, l’autre basée sur la capacité de la musique et du son à favoriser la cohésion sociale et à stimuler la motricité. Les deux interventions se distinguent par le degré d’implication du participant : l’écoute est passive dans le premier cas, alors qu’elle est active dans le deuxième.

1.1 Environnement auditif : quel environnement auditif pour faciliter la possibilité du soin et pour le mieux-être ?

Ce versant envisage l’environnement auditif comme facteur contributif à la possibilité de prendre soin et d’améliorer le confort de l’individu en milieu hospitalier et en établissement d’accueil et d’éducation de type IME. L’environnement auditif de ces lieux peut paradoxalement être particulièrement aversif et constituer un facteur de stress, peu propice à la mise en place des soins à prodiguer.

1.1.1 Alarmes sonores (PDS)

La thématique sur les alarmes sonores en milieu hospitalier a été instruite de manière indirecte via la collaboration entamée en 2020 avec Stefano Delle Monache et Elif ozcan (TU Delft) dans le contexte de son projet PaDS – *Participatory Designing with Sound* (Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowships obtenue par S. Delle Monache en 2019). Un workshop avait été organisé en 2022 sur le thème « Concevoir pour l’écoute dans l’expérience du soin et de la santé » avec un focus sur la fatigue due aux alarmes et la conscience de la situation dans les services hospitaliers. L’environnement sonore des services hospitaliers se caractérise par un mélange d’événements sonores très fréquents, notamment liés aux activités et aux discussions du personnel médical, au bruit de fonctionnement des appareils de surveillance et aux alarmes, qui ont de effets néfastes tant sur les patients que sur les soignants.

Le workshop, réalisé avec 3 groupes composés de 4 personnes au profil varié (*designers, sound designers, engineers, expert users*), s’inscrivait dans le cadre conceptuel et sémantique du « Sound-Driven Design » (Delle Monache et al., 2022), porté depuis 2023 par un Special Interest Group (SIG) de la Design Research Society (<https://www.designresearchsociety.org/cpages/sdd-sig>). L’objectif global du workshop était de répondre aux trois grandes questions suivantes : i/ Qu’imaginez-vous dans une expérience idéale de soignant ? Quel rôle jouerait l’écoute dans vos idées de soins dans le futur ? ii/ Comment vos idées répondent-elles aux faiblesses de l’expérience des soins dans l’environnement sonore actuel des services hospitaliers ? iii/ Comment pouvez-vous transformer ces idées en réalité ? Qu’est-ce qui est nécessaire ? Y a-t-il des implications éthiques ? Quels sont les dangers, les risques et les obstacles à surmonter ? Les 1^{ères} analyses ont donné lieu à une 1^{ère} publication à la Conférence DRS2024 (Delle Monache et al., 2024). La suite des analyses est en cours de soumission pour publication dans la revue Design Science.

1.1.2 Influence de la réverbération sur le comportement (EAC)

Ce travail vise à identifier les traits sonores contribuant au mieux-être et pouvant potentiellement influencer les réactions comportementales. Nous constituons un corpus de réponses impulsives de salles de différentes tailles, dans les lieux de vies des établissements accueillants des personnes autistes. Sur la base de celles-ci, nous constituerons un corpus de sons en mouvement d’approche, dont les composants seront contrastés selon la salle dans laquelle ils sont émis. Dans un premier temps, nous nous en servirons pour étudier l’influence de ces composantes sur l’intégration auditivo-tactile, dans un paradigme de détection de cibles tactiles mené auprès de participants neurotypiques et normoentendants. Dans un deuxième temps, les composantes pertinentes pour les populations neurotypiques permettront de mettre en place des protocoles étudiant leur perception dans une population de personnes autistes.

1.2 Le son et la musique pour le mieux-être : faciliter la cohésion et les interactions sociales

La musique et le son participent de l’éveil artistique et culturel des jeunes enfants et ont également un impact sur le bien-être dans le vieillissement. La motricité est stimulée par l’écoute et peut également être soutenue par la sonification du mouvement. Les activités engagées

dans ce versant tirent parti des facultés de la musique à augmenter la coordination interpersonnelle (Demos et al, 2001) et à permettre la synchronisation au-delà de l'espace peripersonnel sans limitation liée aux restrictions imposées par l'espace visuel.

Une mallette *CoMo-education* a été conçue et développée afin de répondre aux besoins d'ateliers coordonnés par le département Action Culturelle de l'IRCAM. Sur la base du prototype initialement réalisé [Voillot et al 2024], *CoMo-education* a été intégré dans un Raspberry-Pi ce qui facilite la mise en œuvre du prototype. Tout le matériel, y compris la borne WiFi et les smartphones, est inclus dans la mallette. Elle a été utilisée avec succès lors des ateliers organisés à l'Ircam le 23 novembre 2024 pour les familles. En 2025, deux autres mallettes seront dupliquées et feront l'objet d'ateliers par le département Action Culturelle de l'Ircam.

■ 2. Le son et la musique pour la prise en charge du patient

Cette section présente les recherches liées au développement de nouvelles formes d'évaluation et de traitement basées sur les technologies développées à l'IRCAM pour le son et la musique. Pour le versant diagnostique, ces développements concernent les troubles de l'audition dans le contexte de la synaptopathie cochléaire, l'hyperacousie et la perception sonore atypique liée à l'autisme, ainsi que l'utilisation du son pour mettre à jour des troubles du schéma corporel dans la dépression. Pour le versant interventions thérapeutiques, ces développements concernent la rééducation de troubles moteurs liés à des accidents vasculaires cérébraux (AVC) ou à des déficiences visuelles, mais également l'amélioration de la qualité de vie dans les maladies neurodégénératives, les acouphènes, et les états de crise pendant les hospitalisations en psychiatrie.

2.1 Evaluation des troubles

Plusieurs outils sont développés pour contribuer au diagnostic du patient. Il s'agit de proposer des solutions pour une meilleure caractérisation d'un trouble auditif périphérique ou central, ou pour des pathologies dans lesquelles la perception auditive est un élément important et souvent négligé.

2.1.1 Troubles auditifs périphérique et/ou central

Difficulté de compréhension de la parole en contexte cocktail-party : développer des biomarqueurs de la synaptopathie cochléaire (PDS)

Entre 10 et 15 % des individus qui consultent pour des problèmes de compréhension de la parole dans le bruit les handicapent au quotidien présentent des audiogrammes cliniquement normaux. Des études récentes, notamment chez le modèle animal, suggèrent que la synaptopathie cochléaire – la perte de synapses reliant la cochlée au nerf auditif, causée par le vieillissement ou l'exposition au bruit –, découplée des pertes des cellules ciliées quantifiées par l'audiogramme, pourrait permettre d'expliquer ce paradoxe : les déficits de codage neural induits par cette pathologie entraineraient chez l'homme des difficultés importantes pour comprendre la parole dans des contextes bruyants. Pourtant, il n'existe pas de test auditif comportemental permettant d'évaluer sélectivement et quantitativement la synaptopathie, également appelée « surdité cachée », chez l'homme. Nous nous intéressons ici à proposer et tester de nouvelles mesures physiologiques (EEG) et psychophysiques basées sur la fidélité d'encodage auditif de signaux synthétiques reproduisant des caractéristiques essentielles de la parole. Les résultats de la série d'expériences menées avec de l'EEG (FFR) montrent de fortes différences dans la fidélité d'encodage neural du timbre d'un signal simulant une voyelle (véhiculée par la structure fine du signal) au niveau inter-groupe (jeunes > âgés ; sans > avec pertes audiométriques) mais également intra-groupe, qui appuyées par des simulations de modèles computationnels du système auditif, suggèrent l'élaboration d'un biomarqueur EEG de la synaptopathie cochléaire dans les basses fréquences. Les expériences psychophysiques menées jusqu'à présent n'ont pas permis de suggérer de marqueurs comportementaux équivalents, et un travail doit donc être poursuivi dans cette direction. Ces recherches ont été initiées par E. Ponsot en collaboration avec S. Verhulst et P. Devolder (Ghent Univ). Un article vient d'être soumis au JARO (<https://doi.org/10.1101/2024.12.11.628010>). Elles se poursuivent aujourd'hui dans le cadre du projet **ANR INSPECTSYN**, en collaboration avec C. Lorenzi (ENS), L. Carney (U. Rochester) et P. Avan (Institut de l'Audition). David Lopez-Ramos a été recruté comme chercheur postdoctoral dans l'équipe en nov. 2024 pour une durée de 24 mois. Victor Bauer (ingénieur CentraleSupélec) effectue son stage de fin d'études dans le cadre de son M2 en Acoustique/Audiologie à DTU entre octobre 2024 et mars 2025. Une expérience importante (40 participants, 8h de mesures/participant) est en cours de préparation et va être menée début 2025. Globalement, ces travaux visent à proposer de nouveaux marqueurs biologiques non invasifs de l'état auditif d'un individu basés sur la fidélité d'encodage neural des caractéristiques d'un signal complexe (timbre, modulations temporelles) au niveau du nerf auditif et du tronc cérébral, permettant ainsi de compléter les tests cliniques actuels tels l'audiométrie tonale afin de mieux caractériser le profil auditif d'un individu.

Hyperacousie (équipe PDS, collaboration IRBA)

La surexposition au bruit, telle qu'elle peut être subie au sein des armées, peut induire des troubles de l'audition qu'on résume souvent par une dégradation des seuils auditifs sur l'audiogramme tonal entre 500 et 8000 Hz. Pourtant, on sait aujourd'hui que les atteintes auditives peuvent prendre de multiples formes, y compris sans être détectées par l'audiogramme classique (e.g. zones fréquentielles non-explorées, pertes auditives cachées, acouphènes). En particulier, l'hyperacousie, c'est-à-dire la perception anormalement intense et désagréable de sons d'intensités modérées, est un trouble qui peut se surajouter aux autres et s'avérer très handicapant pour les opérateurs en générant du stress ou de l'anxiété. Cependant, la définition de l'hyperacousie permettant de poser un diagnostic varie en fonction des études et de la gravité des symptômes. Le projet **HYMIL** vise donc à faire un état des lieux de la prévalence de l'hyperacousie dans les armées en fonction des caractérisations sémantiques, acoustiques, physiologiques et émotionnelles qui seront retenues. De plus, des outils rapides et non-invasifs à destination du personnel médical du Service de Santé des Armées seront développés afin d'améliorer le diagnostic de l'hyperacousie au sein des armées. Au cours de l'année 2024, une procédure expérimentale a été mise en place par Charlotte Fernandez (stage M2 ATIAM) combinant évaluations de l'état auditif et de l'état émotionnel à une évaluation de l'hyperacousie. Le projet s'oriente sur le test très prochainement de musiciens d'orchestres professionnels. La stratégie proposée ici consiste à étudier les caractéristiques acoustiques sous-jacentes au caractère «

agréable » - « désagréable » de sons naturels identifiés chez les personnes présentant de l'hyperacousie. Ce projet implique les travaux menés par PDS sur la synaptopathie, ainsi que l'expertise de l'équipe PDS sur les études menées en qualité/désagrément sonore.

TSA – Audition : Mesures acoustiques et comportementales en contexte sonore écologique (PDS)

Un groupe de travail vient de se mettre en place sur la thématique de l'hyper-réactivité auditive chez l'enfant porteur de troubles du spectre de l'autisme (TSA). L'objectif est de tenter d'identifier des signatures sonores, des caractéristiques acoustiques de sons générateurs de réactions excessives, positives (fascination pour un son) ou négatives (rejet inattendu d'un son), dans cette population spécifique. Le travail en 2024 a consisté à mettre en place une étude pilote en s'appuyant sur les compétences des services spécialisés d'accompagnement des enfants porteurs de troubles du développement (DAME, Dispositif d'accompagnement médico-éducatif). Le but de cette étude préliminaire est de suivre dans leur vie quotidienne des enfants atteints de TSA. Cela permettra d'observer les situations d'hyper réactivité naturelle de l'enfant (un contexte de laboratoire pourrait être un facteur suscitant l'hyper réactivité). Ces situations seront observées par une personne instrumentée avec de l'équipement permettant de capturer l'ambiance environnementale et en particulier le paysage sonore. Les périodes d'enregistrements seront sélectionnées en concertation avec l'équipe éducative responsable. Idéalement, les expérimentations se dérouleront durant des sorties scolaires ou éducatives, permettant l'exposition naturelle à une grande variété de stimuli. Il s'agit d'une collaboration initiée par A. Renault/T. Vincente (LAUM) avec A. Norena (Laboratoire de Neurosciences Cognitives), L. Bouvet (Centre d'Etudes et de Recherches en Psychopathologie et Psychologie de la Santé), et l'équipe PDS.

Caractérisation des informations sonores hédoniques chez les autistes (EAC)

Dans ce projet initié en 2024, mené avec les établissements cliniques de la Fondation John Bost dans le cadre du post-doctorat de Valentin Bauer, nous nous intéressons spécifiquement aux attributs spatiaux des sons pour mettre en place des évaluations de la sensibilité auditive chez les personnes autistes. Aucune méthodologie et aucun contenu sonore pour les évaluations n'est encore disponible pour cette population. Les évaluations sont d'autant moins représentatives pour les personnes peu verbales ou avec une déficience intellectuelle, qui ne peuvent répondre par elles-mêmes et nécessitent de passer par des tierces personnes.

L'enjeu est de caractériser au plan psychoacoustique les informations sonores pertinentes à la perception auditive spatiale d'enfants et jeunes autistes (4-20 ans). Nous avons deux objectifs : 1) valider une méthode d'évaluation objective basée sur des mesures comportementales, 2) utiliser cette méthode pour analyser l'impact de paramètres spatiaux. La méthode d'évaluation est en cours de développement. Elle repose sur un paradigme de mesures de temps de contact avec des stimuli sonores en mouvement. Le participant perçoit un stimulus sonore hédonique qui s'approche de lui. Il interagit avec le stimulus en l'arrêtant quand il le désire, en appuyant sur un bouton. Le temps de réaction est considéré comme une mesure incidente de la valence émotionnelle associée au stimulus. Ce protocole est en cours de rédaction pour soumission à un Comité de Protection des Personnes (CPP) en 2025. En parallèle, un processus de co-conception des stimuli sonores a démarré au moyen de groupes de travail avec les cliniciens prenant en charge les personnes autistes dans les différentes institutions partenaires. Cette démarche, bien que distincte, est complémentaire de celle engagée dans le groupe de travail sur l'hyper-réactivité auditive chez l'enfant avec un TSA décrit ci-dessus ; toutes deux sont appelées à s'enrichir mutuellement.

DYNASPACE : application sur smartphone pour évaluer l'impact d'un son sur le bien-être social (EAC, PIP et RepMus)

L'objectif de ce travail, initié dans le cadre du stage d'Ulysse Roussel en 2024 (Université Gustave Eiffel Master 2 Musique et Informatique Musicale), est la conception et le développement d'une application sur smartphone visant à mesurer l'espace peripersonnel via l'interaction entre la perception d'une vibration tactile et la perception d'un son en mouvement. Cette application permettrait entre autres de travailler sur une conséquence des déficiences auditives qui n'a pas été explorée jusqu'à présent avec des méthodes expérimentales issues des neurosciences : les aspects psychosociaux des déficiences sensorielles. Cette activité fait le lien entre plusieurs disciplines afin de déterminer et de définir des méthodes alternatives réalisables pour étudier le lien entre les aspects sociaux de l'intégration multisensorielle et les déficits auditifs.

Afin de protéger l'intégrité de son corps, un animal doit être capable d'estimer efficacement la distance qui le sépare d'un stimulus en mouvement venant vers lui, et de savoir la distance minimale qu'il peut tolérer sans se mettre en danger. Cette distance minimale recouvre ce qui est appelé l'espace peripersonnel : c'est l'espace directement autour du corps, qui permet de réagir de façon appropriée si sa frontière est franchie. Cet espace n'a pas de dimensions fixes et délimitées. Il est plastique et adaptable à la situation et au contexte émotionnel dans lequel se trouve l'animal. Il se modifie si l'animal est en présence d'un congénère amical, ou encore s'il est confronté à l'approche d'un inconnu. L'étude de la variation de cet espace peut se faire chez l'homme par un test d'intégration multisensorielle, dans lequel des informations auditives en mouvement viennent perturber la détection de stimulations tactiles au niveau des doigts. Il s'agit d'une tâche dans laquelle le participant doit détecter le plus vite possible une vibration tactile alors qu'il entend des sons s'approcher de lui. Plusieurs facteurs jouent sur le temps de détection de la vibration, comme la distance du son, les caractéristiques sémantiques du son (aversif ou hédonique), le contexte social du participant (situé en isolation ou dans une foule). Afin d'étudier précisément les variations de cet espace en fonction des différents paramètres potentiellement impliqués, un test sur téléphone mobile a été développé. Grâce à celui-ci, les mesures peuvent être faites dans le quotidien plutôt que dans une situation de laboratoire. Une première version de l'application a été développée, validant la méthodologie sur smartphone pour la détection du temps de réponse à la vibration. L'analyse des données est en cours en vue d'une publication soumise courant 2025.

2.1.2 Evaluation des troubles sensoriels

Projet BODYinTRANSIT et SENSEBEAT (ISMM)

Nous collaborons à plusieurs projets menés par Ana Tajadura-Jiménez (Universidad Carlos III de Madrid en collaboration avec l'University College London). Notre contribution concerne l'étude du rôle de la sonification de mouvement dans la proprioception, et en particulier des schémas corporels, et comment ces modifications peuvent être mises à profit pour l'apprentissage de mouvement et/ou de la motivation. Cette collaboration est importante car d'une part elle est en synergie avec nos travaux sur la rééducation, en menant des expérimentations dont certaines utilisent nos dispositifs (plusieurs articles ont été publiés [Judith Ley-Flores et al 2024, Aneesha Singh et al. 2024]). Le projet *MagicOutfit* s'est terminé début 2024, et le projet *SENSEBEAT* auquel nous sommes collaborateurs associés démarre. Ce projet concerne l'étude des schémas sensoriels dans la dépression, en y intégrant la sonification du mouvement. Les effets de la dépression majeure sur

l'intégration des informations sensorielles au niveau du système nerveux central impacte la symptomatologie dépressive et la réponse au traitement. L'objectif du projet est de proposer une évaluation des perturbations sensorielles et de la perception du corps dans la dépression majeure, dans le but d'explorer l'utilité potentielle de la sonification du mouvement pour les interventions cliniques dans cette pathologie.

■ 2.2 Traitement

Les activités liées à la contribution au traitement visent à diminuer les symptômes du patient pour lequel il est pris en charge. On les présente ici selon la symptomatologie qui est la cible du traitement, et non son étiologie :

- Somatique (trouble sensoriel périphérique ou central : moteur, visuel, auditif, vestibulaire... ; trouble neurologique lié à une pathologie dégénérative ou à une lésion)
- Psychosomatique (symptômes qu'aucun trouble physique ne peut expliquer)

Nous visons également à développer les interventions pouvant se réaliser en ambulatoire et à domicile.

2.2.1 Le soin / l'intervention en environnement clinique

2.2.1.1 Troubles somatiques

Troubles auditifs :

Acouphènes (équipe EAC, collaboration avec Alain Londero, MD et avec Lise Hobeika, Institut de l'Audition)

Le protocole clinique conduit à l'Hôpital Européen Georges Pompidou (HEGP) testant l'efficacité de la réalité virtuelle pour la diminution de la gêne liée aux acouphènes est maintenant clos. Le protocole était basé sur une refonte de l'environnement virtuel précédemment utilisé, lors duquel le patient manipule visuellement et auditivement un acouphène synthétique préalablement caractérisé en acouphenométrie. Les résultats de l'étude clinique à 2 bras (RV versus séances d'accompagnement structuré) sont en cours d'analyse.

Troubles moteurs :

Rééducation post-AVC, supplémentation sensorielle (ISMM)

Le projet de rééducation post-AVC utilisant la sonification de mouvement avait été initiée dans le cadre du projet ANR Legos (L'apprentissage sensori-moteur dans les systèmes interactifs gestuels avec retour sonore, <http://legos.ircam.fr/>), puis dans le cadre du projet ISMES (Embedded SensoriMotor Interfaces for rehabilitation and aSSistance, <http://ismes.isir.upmc.fr/>) du LABEX SMART (<http://ismes.isir.upmc.fr/>). Pour ces projets, une collaboration a été établie avec le Service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'Hôpital Pitié Salpêtrière et les laboratoires LIB et ISIR de Sorbonne Université. Cet axe de recherche s'est constitué progressivement par une série d'études sur l'apport et les effets de la sonification du mouvement sur l'apprentissage sensori-moteur [Bevilacqua et al., 2016], puis par l'élaboration d'une étude avec des patients et des volontaires sains. Le développement du dispositif a été réalisé par l'équipe ISMM [Bevilacqua et al., 2018], et l'étude expérimentale a été menée dans un travail de thèse [Peyre et al., 2018], soutenu en décembre 2022. Les résultats ont suggéré des effets de la sonification sur la temporalité du mouvement et une étude qualitative a mis en évidence chez les participants des préférences dans les types de relation entre mouvement et son/musique. Les travaux menés ont notamment permis de confirmer l'effet de la présence de retours sonores interactifs lors de l'exécution de gestes et l'importance de la prise en considération des modalités d'interaction gestes-sons. Le processus de co-conception centré utilisateurs mis en œuvre avec des experts de plusieurs disciplines a conduit à la création d'un dispositif de sonification du mouvement mobile novateur, fonctionnel, flexible (personnalisable), adapté à une situation de rééducation en autonomie supervisée. Peu onéreux, le dispositif a été dupliqué en 10 exemplaires.

Une première étude avec des utilisateurs de profils variés avait été effectuée à l'INSEAD et l'analyse des données a été approfondie en 2024, faisant l'objet d'une communication au congrès de la SOFPEL (Société Francophone Posture Équilibre et Locomotion) en décembre 2024. La phase d'évaluation du système d'auto-rééducation CoMo-Rééducation s'est achevée en 2024. Des entretiens supplémentaires ont été menés auprès de 2 ergothérapeutes, portant à 18 le nombre de thérapeutes qui ont évalué le système.

Rééducation de la marche (ISMM)

Nous collaborons au projet *SoMoWalk* (EU Marie Skłodowska-Curie PF) de Marta Matamala Gómez. L'objectif à court terme est d'étudier divers types de sons qui peuvent être utilisés pour la rééducation motrice avec de la sonification de mouvement. Ce projet se concentre sur la rééducation de la marche chez les patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC). En 2024, Marta Matamala Gómez a fait une résidence de recherche de 2 mois dans l'équipe ISMM, pendant laquelle nous avons pu améliorer le prototype SONIBAND qui utilise des accéléromètres et gyroscopes (RIoT) et un patch Max dédié pour la sonification des mouvements de la marche. Les sons d'environnements développés initialement pour le dispositif CoMo-Rééducation se sont montrés particulièrement intéressants, et ont été implémentés. Des tests cliniques à l'Université de Barcelone sont prévus en 2025.

Déficiences visuelles :

Rééducation de la mobilité (ISMM)

En France, 1,7 million de personnes souffrent de déficience visuelle, congénitale ou acquise. La perte de vision acquise est une expérience traumatisante : les patients sont confrontés à de sévères limitations dans les activités de vie quotidienne [Robert 2017] avec une autonomie réduite, et des activités sociales limitées. Ces troubles sont consécutifs de l'altération de la mobilité des patients. En effet, les troubles visuels affectent l'exécution de mouvements précis, ainsi que l'équilibre et la marche. Ces difficultés ne sont pas dues au développement de troubles moteurs, mais à la perte de la vision rendant inactive la boucle visuo-motrice pour le contrôle moteur. D'autres retours sensoriels, comme la proprioception et l'audition, doivent compenser la perte visuelle. Afin d'aider les patients à mettre en place efficacement des mécanismes de compensation, de nouvelles approches basées sur la sonification du mouvement sont investiguées. Dans cet objectif, les liens tissés depuis mai 2023 avec le Service des Déficiences Sensorielles de l'Hôpital Sainte-Marie, dirigé par le Dr. Pierre Safar, ont amené à de nouveaux

développements basés sur CoMo-Rééducation, incluant la prise en compte des magnétomètres pour la rotation de la tête et des épaules. Une première version du dispositif modifié par B. Matuszewski a été présentée le 10 juillet 2024. Depuis le mois de septembre 2024, Léo Mercier, stagiaire de l'UTC à mi-temps sur le projet CoMo-Rééducation, a implémenté de nouveaux exercices de rééducation avec retour sonore, formalisés par le service. Il a notamment transposé dans notre dispositif le test de Revel, ou test de repositionnement céphalique (TRC). Un dossier a été déposé auprès du CER de l'INSEAD en décembre 2024 afin de pouvoir valider expérimentalement sur une population saine la transposition de ce protocole sur le dispositif CoMo-Rééducation.

Troubles neurologiques :

Pathologie cérébrale dégénérative et activité musicale (PIP et EAC)

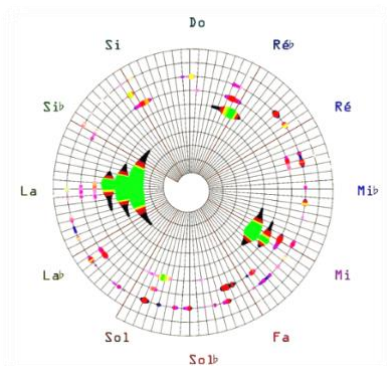
Dans le cadre d'un contrat de partenariat avec l'équipe Neuropsychologie et Audition du laboratoire PSITEC de l'université de Lille (Prof. S. Samson), le laboratoire contribue à l'évaluation des bénéfices thérapeutiques des interventions musicales sur l'état cognitif et émotionnel et sur le bien-être des patients et de leurs aidants. Une série d'étude est développée sur la thématique de la synchronisation sensori-motrice et interpersonnelle durant une activité d'écoute musicale.

Un dispositif d'acquisition du geste synchronisé au son a été développé pour la réalisation de ces études et des campagnes de mesures associées. Le système échantillonne des capteurs de pression mécanique mesurant l'engagement corporel du patient évalué ainsi que celui du musicien conduisant la séance. Le dispositif détecte et mesure également la frappe du tempo exécuté par les deux protagonistes. Les signaux échantillonnés sont transportés en audionumérique et sur protocole OpenSound Control sur l'ordinateur chargé de la synchronisation et de l'enregistrement des données pour post-analyse de la synchronicité interpersonnel et protagoniste-son durant l'écoute musicale.

Troubles de la phonation :

Le Snail-analyser comme bio-feedback pour la rééducation vocale (S3AM)

Le Snail-Analyser est une technologie brevetée par le CNRS qui offre une visualisation intuitive et musicale de la musique et les sons en temps réel (voir illustration ci-dessous). Les zones actives du contenu spectral sont représentées par des taches lumineuses sur un squelette en spirale : un tour correspond à une octave, les notes graves se trouvent près du centre de la spirale, les notes plus aiguës vers l'extérieur, et la sonie (volume sonore tel que perçu par l'être humain) de chaque fréquence analysée est convertie en niveau de brillance (une composante deux fois plus forte génère une tache deux fois plus brillante). Cette technologie fournit un visuel réactif et précis de la hauteur du son (précision de l'ordre ou dépassant celle la perception humaine).



Cet outil est potentiellement adapté à l'assistance en ré-éducation vocale dans le cas de jitter (chevrotement) prononcé. De plus, dans le cas de dysphonie (en particulier, présence simultanée de plusieurs hauteurs), la représentation fournit un rendu des différentes hauteurs avec leurs mouvements respectifs, ce qui constitue encore un support à tester pour apparier le contrôle-moteur et son effet sur le signal vocal. Enfin, l'exploitation des flux d'analyse (avant rendu visuel) pour l'élaboration de statistiques et l'aide au diagnostic est également une piste à étudier. Sur la période 05/2022-04/2024, un projet France-Relance avec l'industriel Buffet-Crampon a permis d'aboutir à de nouveaux rendus visuels temps-réel dédiés à la caractérisation de la justesse et du timbre musical (avec de nouveaux indicateurs précis et jusqu'alors inexploités). Il se poursuit par un projet CNRS de prématuration (projet INTIM « Interactive analysis/synthesis of musical TIMbre » de 18 mois sur la période 2024-26) qui porte sur la caractérisation temps-réel de profils timbraux et d'expressivité. En particulier, il s'intéresse à la description par des flux (de plus haut niveau que les trajectoires temps-fréquence) qu'on souhaite reliables aux profils gestuels et au contrôle-moteur.

2.2.1.2 Troubles psychosomatiques

Projet Psyson (2022-2025, PDS)

Dans le cadre de la convention 4-partites établie entre le GHU Paris Psy&Neuro, l'Ircam, le CRD ENS Paris Saclay et le FEMTO-ST sont envisagés des recherches et expérimentations de dispositifs sonores et musicaux favorisant des expériences acoustiques et sensorielles des usagers susceptibles de constituer des auxiliaires de soins et des alternatives à la contrainte en psychiatrie. L'objectif du projet Psyson est de développer un dispositif d'enveloppe sonore pour réduire l'anxiété de patients psychiatriques en milieu hospitalier.

En collaboration avec le Laboratoire d'Accueil et d'Hospitalité (LAB-AH) du GHU Paris, les équipes ont imaginé un dispositif multimodal et multisensoriel d'écoute sonore et musicale de modulation de l'anxiété associé au recueil de la biographie sensorielle du patient. Les infirmiers au cours d'entretiens semi-directifs répertorient les habitudes de vie et les préférences sonores du patient permettant ainsi de lui proposer un environnement familial et de lui procurer un sentiment de sécurité (position préférée pouvant apporter un sentiment d'apaisement, musiques préférées...).

Par rapport à la prise en charge usuelle des moments de crise, l'adjonction du suivi infirmier s'appuyant sur l'utilisation de ce dispositif multimodal et multisensoriel d'écoute sonore et musicale vise à créer un espace d'aide à la détente (ambiance sonore personnalisée et auto adaptative), ayant un effet positif sur la crise (état de stress, agitation, d'anxiété des patients, etc.).

Suite au développement d'une nouvelle interface utilisateur (frontend) mené par Matthieu Savary et de l'implémentation d'une fonction de collecte de données d'utilisation (backend), une nouvelle documentation a été créée. Son objectif principal est de servir de support pour la formation des équipes soignantes à l'utilisation de Psyson. De plus Léo Mercier, durant son stage, a réalisé une pré-configuration de méthodes d'analyse et de visualisation de données en Python afin faire le lien entre données cliniques et choix musicaux. Les derniers ajustements relatifs à l'application Psyson ont été réalisés au cours de 2024 (et poursuivis début 2025) afin de rendre le dispositif pleinement opérationnel pour le test clinique à grande échelle dont les 1ères inclusions devraient être réalisées au 1^{er} trim. 2025 (PHRP).

■ 3. Caractérisation des mécanismes neurophysiologiques, physiologiques et psychoacoustiques impliqués par l'utilisation du son et de la musique pour la santé et le mieux-être

Les recherches tentent ici de caractériser les mécanismes potentiellement déficitaires dans une symptomatologie donnée reliée aux phénomènes sonores. Il s'agit le plus souvent d'études de mécanismes chez le sujet sain, dont l'objectif est de comprendre comment leurs dysfonctionnements peut impacter le comportement. Les activités sont présentées selon les modalités sensorielles impliquées dans les recherches : modalité auditive seule, ou processus relevant de l'intégration multisensorielle (auditivo-motrice, auditivo-tactile), puis les projets se concentrant sur la voix humaine.

3.1 Modalité sensorielle auditive

3.1.1 Effet de la saillance dans la perception d'une scène sonore complexe chez le malentendant équipé d'aides auditives (PDS)

Dans une scène auditive complexe, certains sons peuvent, de par leurs caractéristiques acoustiques intrinsèques ou en fonction de leurs propriétés émergentes dans la scène, attirer notre attention plus que d'autres. Notre écoute est façonnée, à notre insu, par ces processus bottom-up de saillance auditive. Si des études sur la saillance sont menées depuis plusieurs années chez des individus normo-entendants (Bouvier et al., Sci. Rep. 2023, JASA 2025), très peu de travaux ont jusqu'alors été conduits sur ces questions chez des individus malentendants. Or, la prévalence de personnes atteintes de troubles de l'audition présentant un traitement anormal de l'intensité ou de la saillance des sons est estimée entre 2 et 15 %. Il est donc crucial de comprendre les mécanismes à l'origine de ces phénomènes de saillance atypique, afin que les aides auditives puissent les restaurer et non au contraire les aggraver, conduisant ainsi certains patients trop gênés à renoncer à porter leurs aides. La thèse d'Armand Schwarz (ED3C), débutée en oct. 2023 et partagée entre PDS et le CERIAH (Institut Pasteur), développera des travaux de recherche fondamentaux afin de comprendre (1) comment les pertes auditives modifient la saillance de certaines sources et (2) comment la saillance affecte l'organisation auditive chez les malentendants porteurs d'aides auditives. En 2024, deux expériences ont été menées sur un groupe de participants normo-entendants et un groupe de malentendants simulé à l'aide de chaînes de traitement de signal. La première expérience consistait à évaluer sur une échelle l'intensité sonore de sons complexes variant en timbre. La seconde expérience consistait à évaluer la différence perçue entre deux sons variant sur certaines dimensions du son. Les méthodes ont été présentées au World Congress of Audiology (Sept. 2024, Paris). Les résultats, présentés au congrès Audiological Research Cores in Europe (Dec. 2024, Louvain), montrent que l'évaluation de la sonie varie différemment dans les deux groupes en fonction des timbres (notamment la brillance obtenue par une manipulation du centre de gravité spectrale). Pareillement, la seconde expérience montre une perception différente entre les deux groupes pour certaines dimensions du timbre (notamment le temps d'attaque). Ces résultats doivent maintenant être validés chez des participants malentendants réels dans les prochains mois. Ces travaux s'inscrivent dans la continuité des travaux de l'équipe menés sur l'analyse de scènes auditives complexes dans leur variabilité entre individus (Susini et al., Sci. Rep. 2020, JASA 2023) en s'attachant cette fois au problème des personnes malentendantes.

3.1.2 Aspect développemental du traitement des modulations temporelles pour les signaux de la parole (PDS)

L'apprentissage du langage chez l'homme repose sur la mise en place d'un processus biologique unique d'extraction et de traitement sélectif d'indices acoustiques contenus dans les signaux de parole, comme les modulations temporelles. Les travaux comportementaux et neurophysiologiques actuels montrent que le traitement auditif de ces indices est déjà en place dès la naissance, mais qu'il reste inefficace jusqu'à l'âge adulte. En particulier, les jeunes enfants montrent plus de difficultés que les adultes à percevoir correctement la parole dans un environnement bruyant. Cependant, les étapes et les paramètres de ce développement restent toujours mal caractérisées, notamment par la nature différente des méthodes de mesure employées chez les nourrissons ou les adultes. L'objectif principal de ce projet interdisciplinaire collaboratif (INCC, CNRS / Univ. Paris Cité) a été de concevoir une nouvelle approche expérimentale visant à caractériser la fonction de transfert neural du système auditif d'une personne, en particulier du tronc cérébral, aux modulations temporelles, entre 50 et 150 Hz à travers des mesures FFR (mesures EEG sous-corticales). Les données récoltées sur N=14 adultes lors des expériences menées en 2023 ont pu être analysées. Elles montrent une forte variabilité interindividuelle, qui en moyenne ne reproduit pas le caractère passe-bande du filtrage neural des modulations temporelles entre 50 et 150 Hz prédit par un modèle computationnel du système auditif (Bruce 2018). Ces résultats seront présentés au International Symposium of Hearing en juin 2025 et soumis pour publication au JASA dans la foulée. Ce projet interdisciplinaire mené en collaboration avec L. Cabrera (INCC, CNRS / Univ. Paris Cité), soutenu initialement par le programme MITI du CNRS, permet d'adresser une question fondamentale en neurosciences de manière théorique, expérimentale et computationnelle, et de manière plus générale nous offre un cadre de travail pour développer et tester de nouveaux outils objectifs (EEG) visant à une meilleure caractérisation de la sensibilité auditive d'un individu. A terme, l'objectif sera de déployer de telles mesures chez le bébé.

3.2 Intégration multisensorielle

3.2.1 Sonification du mouvement (ISMM)

Des études de terrain et des études expérimentales contrôlées en laboratoire, couplées au développement de modèles, d'outils logiciels et de prototypes sont menées. Premièrement, des méthodologies de design centrées sur les utilisateur-trice·s sont mises en pratique dans le contexte de pratiques de musique et de danse. Deuxièmement, nous développons des modèles informatiques en tirant parti de notre expertise sur l'apprentissage machine "interactif" et centré sur l'utilisateur. Une telle approche diffère des approches classiques de l'apprentissage machine qui reposent généralement sur de grands ensembles de données et se concentrent sur l'amélioration des algorithmes. Troisièmement, nous développons des plateformes logicielles et prototypes, s'appuyant sur des environnements de programmation interactifs ou des technologies Web, qui sont particulièrement bien adaptées aux usages collaboratifs.

Les études expérimentales ont permis de mettre en avant des concepts et principes pour appréhender l'apprentissage du mouvement et pour le design d'applications interactives. Des bases de données ont été produites et diverses méthodes d'apprentissage machine ont été évaluées dans notre contexte. Plusieurs plateformes ont été développées. En particulier le laboratoire a développé CoMo, une plateforme pour créer des applications d'interaction sonore avec le mouvement. Plusieurs applications spécifiques ont été créées, en collaboration avec divers partenaires et institutions externes pour l'éducation (CoMo.education en maternelle et CoMo-Vox pour la pédagogie musicale, en collaboration avec Radio France et le soutien de du Ministère de l'Education Nationale) et la rééducation (CoMo-rééducation).

3.2.2 Transmission de l'information sonore par stimulation vibratoire et conduction osseuse (PDS)

A la suite de la thèse CIFRE de Claire Richards (soutenue en février 2023), Alberto Gatti – artiste en résidence – a exploré le paradigme développé par le harnais multimodal en tentant de répondre à la question : comment la technologie portable pourrait-elle permettre de réfléchir à une expérience du son qui n'implique pas seulement les oreilles mais le corps tout entier ? Le projet d'A. Gatti, intitulé « *Re-sounding bodies* » présente l'argument suivant : l'utilisation de transducteurs vibrants a vu divers types d'applications ces dernières années, allant à la fois du domaine électroacoustique au domaine strictement artistique. En particulier, la conduction osseuse du son a connu un grand développement, attirant l'attention sur une nouvelle idée de la perception sonore. Le problème derrière cette pratique provient souvent d'une difficulté à organiser le contenu sonore à diffuser avec des transducteurs vibrants, souvent mal adaptés à une restitution sonore fidèle. Le but de ce projet est de créer un logiciel qui vise l'analyse en temps réel et l'adaptation automatique de contenus sonores sur des dispositifs impliquant un ou plusieurs transducteurs vibrants, résolvant ainsi également la gestion de la diffusion spatiale du son. À cette fin, le logiciel fournit également un système de contrôle du flux sonore avec l'utilisation de capteurs de mouvement appliqués aux utilisateurs ou aux interprètes éventuels. Le résultat du projet sera réalisé grâce à l'application d'un outil capable d'étudier la relation de perception musicale audio-tactile lors d'une performance en direct, exploitant un système hybride de transduction os-crânienne côte à côte avec un système multicanal traditionnel. Ce projet scientifique et sa continuité artistique constitue une véritable démarche de recherche musicale et ouvre une voie prometteuse, et pour l'instant encore peu explorée, que constitue la composition et le design audio-haptiques.

3.3 Modélisation de l'appareil phonatoire humain (S3AM)

Artificial Voice production: control of bio-inspired port-HAmilToniAn numeRical and mechatronic models (S3AM, projet ANR PRC 2022-2027)

Ce projet étudie la production de la voix humaine et les régimes oscillatoires résultant de l'articulation du larynx et du conduit vocal (impliqués dans les registres de voix de poitrine, de fausset, etc.). Il se fonde sur la modélisation physique et la théorie des systèmes non linéaires pour concevoir des simulations, observateurs-contrôleurs et analyses de bifurcations d'appareils vocaux. Sa première spécificité est d'élaborer ces outils sous l'hypothèse systématique de bilans de puissance garantis (écartant les difficultés d'instabilités non physiques). La seconde est de les compléter, nourrir et évaluer par des mesures in vivo et sur un ensemble cohérent de bancs mécatroniques (contrôle de larynx ex vivo, biomimétiques ou standardisés, et de conduits vocaux artificiels). L'objectif est de comprendre, reproduire et analyser scientifiquement la voix (sur des cas sains et pathologiques) grâce à des avatars virtuels et robotiques. Les retombées médicales permettront une meilleure évaluation des troubles de la voix parlée ou chantée.

Dans le cadre de cette activité, notons plusieurs travaux menés à STMS :

- 1) La thèse de Thomas Risse (2022-2025) : « Auto-oscillations de l'appareil vocal : modélisation physique, analyse de régimes et synthèse sonore », Dir.: T. Hélie, co-encadré par F. Silva-LMA et A. Falaize-LaSIE) porte sur la modélisation physique de l'appareil vocal sous une forme énergétiquement équilibrée.
- 2) La conception de maquettes robotisée de larynx artificiels auto-oscillant (3 maquettes à complexité croissantes sont prévues et la première est en cours de développement)

On peut enfin signaler l'acquisition d'une caméra rapide dans le laboratoire (financement de l'INS2I) qui a été utilisée pour des mesures in vivo (ouvertures glottiques, en plus d'autres bio-sinaux) au CHU de Liège (première campagne de préparation effectuée en mars 2024, une seconde campagne de mesures en juin 2024 sur des sujets sains, professionnels du chant et patients). Les données (ensemble des bio-sinaux mesurés) sont en cours de formatage (labellisation, format de fichier, synchronisation des différents signaux) pour former une base exploitable pour des analyses.

■ 4. Recensement et description des moyens techniques

4.1 Dispositifs

4.1.1 Captation du geste (ISMM)

En 2022-2023, les développements avaient principalement concerné la mise à jour des dispositifs CoMo-Rééducation, dont 9 exemplaires avaient été mis en fonction. CoMo Rééducation est un dispositif portable d'auto-rééducation du membre supérieur par la sonification du mouvement. Il est basé sur l'utilisation de deux capteurs sans-fil (accéléromètres, gyroscopes et magnétomètre) qui se connectent à une boîte contenant un « nano-ordinateur » (Raspberry-Pi) et un écran tactile. Le son est diffusé soit par deux haut-parleurs soit par des casques (2 prises sont intégrées). Le boîtier contient également une plateforme pour recharger les capteurs par induction. Le logiciel (en JS) peut être facilement modifié. Actuellement il permet trois types d'exercices :

- Des exercices de maintien de posture (exercice « Statique »)
- Des exercices de répétition de mouvements d'un point de départ à un point d'arrivée (exercice « Dynamique »)
- Des exercices de reproduction d'une séquence sonore (exercice « Memory ») en vous déplaçant sur un support

Pour chacun de ces trois types d'exercices, il est possible de choisir différents retours sonores pour accompagner le geste, ainsi que différents niveaux de difficulté. Les données de mouvement font l'objet d'un enregistrement, permettant ainsi d'observer les évolutions dans la rééducation.

La nouvelle génération de capteurs inertiels sans-fil R-IoT v3 est finalisée et sera prochainement proposée commercialement. Le module a été industrialisé en première série de 130 pièces dont 20 pour être mise à disposition de l'équipe ISMM. Cette nouvelle version sera mise en exploitation entre autres dans les expérimentations de l'axe musique-santé. Elle améliore en particulier la précision de la mesure d'angles absolus, particulièrement attendus et utiles pour les mesures d'attitude corporelle (tête, membres) dans les études sensori-motrice, pour analyses ou processus de rééducation.

4.1.2 Spatialisation (EAC)

La bibliothèque Spat~ est en constante évolution avec de nombreuses mises à jour ou introductions de nouveaux modules. Nous ne mentionnons ci-dessous que les modules susceptibles d'intéresser les collaborateurs en charge de développement d'expériences ou de matériaux sonores exploitant les techniques de spatialisation 3D, notamment pour le traitement de scènes sonores enregistrées ou synthétisées au format HOA.

Filtrage spatial de scènes en format HOA 3D

spat5.hoa.blur~ : floutage spatial

spat5.hoa.rotate~ : rotation globale d'une scène (yaw, pitch, roll)

spat5.hoa.mirror~ : symétrie globale d'une scène (x, y, z)

spat5.hoa.focus~ : zoom spatial avec contrôle du facteur de directivité et de l'orientation

spat5.hoa.beam~ : formation de voie (cardio, hypercardio, subcardio, maxre, dipole, etc.)

spat5.hoa.warp~ : warping spatial (concentration ou dilatation vers les pôles, vers l'équateur ou dans une direction particulière)

Analyse spatiale de scènes en format HOA 3D

spat5.hoa.intensity~ : estimation du vecteur incident et du coefficient de diffusion

spat5.hoa.scope~ : visualisation du champ acoustique (2D ou 3D)

Conversions spatiales :

spat5.hoa.downscale~ : réduction en 2D (plan horizontal) d'un flux HOA 3D

spat5.hoa.reduce~ : réduction de l'ordre d'un flux HOA (avec ou sans compensation du niveau des composantes résiduelles)

Décodage d'un flux HOA en mode binaural :

spat5.hoa.binaural~ : De nombreuses expériences immersives font appel à des scènes sonores enregistrées ou synthétisées en mode HOA. Leur décodage en mode binaural pour casque d'écoute faisait appel jusqu'à présent au paradigme des haut-parleurs virtuels qui consiste dans une première étape à décoder le flux pour un ensemble de haut-parleurs, puis à virtualiser ces derniers en faisant appels aux HRTFs correspondant à leurs directions respectives. Bien que générique (c.à.d. compatible avec n'importe quel format de diffusion), ce décodage s'avère assez coûteux en termes de puissance de calcul requise et s'accompagne de nombreux artefacts de timbre ou spatiaux dans le cadre de décodage de flux HOA. Un algorithme de décodage issu de la littérature récente, dénommé MagLS (Magnitude Least Square) et basé sur un décodage directement effectué dans le domaine des harmoniques sphériques offre des performances significativement supérieures en termes de respect du timbre et de rendu spatial. Ce module est désormais disponible dans la bibliothèque Spat~ (spat5.hoa.binaural~) ainsi que dans la bibliothèque Wwise utilisée dans les environnements de réalité virtuelle Unity et Unreal (cf. ci-dessous).

4.1.3 Réalité Virtuelle et Réalité Augmentée (EAC)

Le recours aux technologies de la réalité virtuelle pour les dispositifs à visée thérapeutique ou pour l'exploration scientifique (tests perceptifs/cognitifs) tend à se généraliser. Cela nécessite de maîtriser les environnements de RV comme Unity ou Unreal pour la conception et le développement des scènes et scénarios interactifs exploitant conjointement les différentes modalités sensorielles visuelles, auditives et kinesthésiques. Concernant la modalité auditive, il existe différents moteurs de spatialisation sonores, souvent basés sur des modèles

extrêmement simplifiés et fermés ou au contraire très complexes à maîtriser (Wwise). Un projet est en cours de recherche de financement pour effectuer un portage du Spat~ de sorte à le rendre disponible au sein des environnements Unity et Unreal. Une réflexion est en cours pour en déterminer le périmètre (portage exhaustif ou sous forme d'import/export de fichiers de spatialisation au format ADM).

4.1.4 Dispositifs disponibles

Dispositifs commerciaux :

- Captation de mouvement avec capteurs inertiels (full-body), Système Perception Neuron
- Différents systèmes de tracking par caméras infra-rouge (Optitrack)
- Divers visiocasques (Hololens, Oculus Rift, Vive, Sony)
- Multiples casques audio fermés (notamment BeyerDynamic DT 770) ou ouverts (notamment HD650)
- 2 casques audio totalement transparent AKG K1000 utiles pour mener des expériences en réalité augmentée
- Casque à conduction osseuse Trekz AfterShok
- Microphone sphérique ZM-1 Zylia pour prise de son spatialisée au format HOA (3rd order). Connexion USB
- Microphone sphérique EM32 mh-acoustics pour prise de son spatialisée au format HOA (4th order) - format MADI
- Microphone sphérique EM64 mh-acoustics pour prise de son spatialisée au format HOA (6th order) - format DANTE
- Haut-parleur à directivité contrôlée IKO (vingt transducteurs indépendants)
- Haut-parleur omnidirectionnel (ACOEM).
- Ecran de projection stéréoscopique 3mx2m + lunettes polarisantes (stéréoscopie passive)
- Caméra 360° Theta (USB)
- Caméra rapide PHOTRON utilisée pour des mesures in vivo (ouvertures glottiques, en plus d'autres bio-signaux)
- Oreille artificielle Bruel&Kjaer avec coupleur IEC 60 318
- Electroencéphalographe "ActiveTwo EEG system complete" de Neurospec AG

Dispositifs développés en interne ou en collaboration :

- Capteurs inertiels WiFi R-IoT version 3 (commercialisation Q1 2025 par la société EOWAVE)
- Banc de test pour mesures de temps de réaction sur smartphone (doigt robotisé)
- Système CoMo-Rééducation (9 unités)
- Systèmes CoMo-Elements CoMo-education
- Dispositif audio-haptique pour la transmission du son et de la musique par conduction osseuse et stimulation vibrotactile (techniquement maintenu dans le cadre de la Résidence en Recherche Artistique d'Alberto Gatti)

4.2 Moyens d'expérimentation / évaluation

4.2.1 Expertises méthodologiques

Développement d'environnements logiciels (p. ex., jsPsych dans PDS)

- Logiciel CoMo pour l'interaction mouvement-son et interaction collective, utilisant une infrastructure Client-Serveur (Node.JS, avec la librairie IRCAM Soundworks).
- Librairie MuBu (Max/Msp) pour la captation, analyse de mouvement et synthèse sonore interactive
- Micro-logiciel du module de captation gestuelle R-IoT v3 (open source) intégrant des primitives d'analyse gestuelle embarquées et une adaptation ad-hoc de l'expérimentation spécifique (capteurs gestuels / corporels particulier, mesures dédiés à faible latence)

Corpus sonore pour le soin

Dans le domaine de la santé, les expériences qui utilisent du matériel sonore reposent souvent sur un ensemble de sons sélectionnés de façon empirique, sans nécessairement suivre une méthode rigoureuse ou systématique. La démarche ne repose pas sur un cadre théorique clair ou sur des critères formalisés. En conséquence, la variété de sons utilisés ne permet pas de comparer facilement les résultats issus des différentes études, et de comprendre l'implication des caractéristiques sémantiques et acoustiques des sons utilisés. Afin d'établir un cadre théorique aux approches proposant d'utiliser les sons pour le soin, un travail de collecte et de classification des sons employés dans l'ensemble des expériences menées au sein de l'axe Son/Musique Santé du laboratoire a été réalisé. Des entretiens ont été menés avec les investigateurs des différents projets, et les sons liés à ces expériences ont été collectés, puis classifiés selon plusieurs critères : le contexte et l'objectif scientifique de l'expérience, l'objectif technique d'utilisation du son (e.g. sonification, spatialisation, interaction), les caractéristiques de diffusion temporelle (par ex. : bouclage ou non), les droits associés, et les caractéristiques sémantiques et acoustiques (critères issus de Carron, 2017¹). La classification résultante doit faciliter l'identification et la manipulation de corpus sonores et musicaux dédiés. L'objectif final est de réaliser un ensemble de modules de traitement ou de génération des corpus / stimuli sonores insérables dans différents environnements de développement audio-numérique (Max/MSP, Unity, etc.).

4.2.2 Infrastructures

2 cabines psycho-acoustiques

¹ Carron, M., Rotureau, T., Dubois, F., Misdariis, N., & Susini, P. (2017). Speaking about sounds: A tool for communication on sound features. J. of Design Research, 15(2), 85. <https://doi.org/10.1504/JDR.2017.086749>

1 chambre anéchoïque
Studio équipé d'un dôme ambisonique (24 HPs)

■ 5. Aspects éthiques

En 2024, soumission et avis favorable de deux nouveaux programmes de recherche :

- Sonification du mouvement pour l'évaluation de la proprioception cervicale, avis favorable de l'IRB de l'INSEAD, Protocol ID 2024-87, 09/12/2024.
- Massages acousmatiques : vers un environnement sonore dédié au mieux-être, avis favorable de l'IRB de l'INSEAD, Protocol ID 2024-55, 18/07/2024.

■ 6. Résidences en recherche artistique

Le programme de résidence en recherche artistique de l'Ircam offre aux artistes de toutes disciplines, la possibilité de collaborer avec une ou plusieurs équipes de recherche de l'Ircam. Ces résidences visent à élargir le champ de la musique par l'apport de la science et de la technologie. Les résidences sélectionnées en 2023 (l'appel était ouvert sur 4 thèmes dont 2 relevant du son et de la musique pour la santé) se sont prolongées en 2024, avec Alberto Maria Gatti (PDS) et Vincent & Laurent Isnard (EAC).

Composer avec des vibrations audio-tactiles avec les équipes PDS et ISMM

Alberto Gatti, lauréat de la Résidence en Recherche Musicale de l'Ircam en 2024, a exploré le paradigme développé par le harnais multimodal en tentant de répondre à la question : comment la technologie portable pourrait-elle permettre de réfléchir à une expérience du son qui n'implique pas seulement les oreilles mais le corps tout entier ? Son projet, intitulé « *Re-sounding bodies* » présente l'argument suivant : l'utilisation de transducteurs vibrants a vu divers types d'applications ces dernières années, allant à la fois du domaine électroacoustique au domaine strictement artistique. En particulier, la conduction osseuse du son a connu un grand développement, attirant l'attention sur une nouvelle idée de la perception sonore. Le problème derrière cette pratique provient souvent d'une difficulté à organiser le contenu sonore à diffuser avec des transducteurs vibrants, souvent mal adaptés à une restitution sonore fidèle. Le but de ce projet est de créer un logiciel qui vise l'analyse en temps réel et l'adaptation automatique de contenus sonores sur des dispositifs impliquant un ou plusieurs transducteurs vibrants, résolvant ainsi également la gestion de la diffusion spatiale du son. À cette fin, le logiciel fournit également un système de contrôle du flux sonore avec l'utilisation de capteurs de mouvement appliqués aux utilisateurs ou aux interprètes éventuels. Le résultat du projet sera réalisé grâce à l'application d'un outil capable d'étudier la relation de perception musicale audio-tactile lors d'une performance en direct, exploitant un système hybride de transduction os-crânienne côte à côte avec un système multicanal traditionnel.

Environnements sonores pour le bien-être en collaboration avec l'équipe EAC

La performance des « massages acousmatiques », développée par Laurent Isnard, consiste à immerger l'audience, allongée et les yeux fermés, dans un environnement sonore et haptique improvisé. Des objets de toutes sortes sont utilisés dans le cadre de ces séances, afin de produire une grande variété de timbres et de sensations haptiques dans une ambiance feutrée et tamisée. Cependant, à la fois la présence et l'interaction sonore et haptique des intervenants parmi l'audience soulèvent un grand nombre de questions qui dépassent celles du seul champ de la performance sonore. En particulier, d'après les retours spontanés de participants, des effets émotionnels positifs seraient accrues par l'ajout de l'interactivité haptique, ainsi qu'en fonction des habitudes culturelles et de la familiarité avec ce type de pratiques sonores et musicales. Dans le cadre de la résidence artistique de Vincent et Laurent Isnard, une étude a été mise en place pour évaluer ces effets à l'aide de questionnaires et dans un environnement contrôlé. Des participants (N=62) ont participé à 2 sessions de 45 minutes à l'IRCAM : une session de performance live audio-haptique ; et une session contrôle en playback audio seul à partir d'un enregistrement ambisonique diffusé sur une couronne de 6 haut-parleurs. Les sessions se déroulaient par groupes de 8 participants, qui étaient soit musiciens experts, soit non-musiciens. Les participants étaient allongés sur un matelas au sol, tandis qu'un masque couvrait leurs yeux pour que la session se déroule en l'absence de la modalité visuelle. Pour la session live, quatre intervenants évoluaient autour des participants en produisant des sons par friction, frottement ou percussion avec des objets de toutes sortes (e.g. papier froissé, bassine d'eau), et en générant sur les participants des sensations haptiques sans contact peau à peau à l'aide d'objets doux (e.g. coussins, couvertures). En plus des sons joués en direct, certains sons ne pouvant pas être joués acoustiquement étaient diffusés de manière ponctuelle et spatialisée sur les haut-parleurs (e.g. instruments électroacoustiques, bruit du vent). Les sessions ont généré un ressenti émotionnel très positif et l'interactivité des intervenants avec l'audience augmentait significativement leur valence. Ces résultats permettent de quantifier l'effet de la performance audio-haptique sur le ressenti émotionnel et musical, et de faire évoluer de cette pratique. Elle pourrait notamment contribuer au développement d'applications dans un cadre de soin, ou plus généralement de mieux-être.

ACTIONS DE DISSEMINATION ET COMMUNICATION

■ Articles parus dans des revues à comité de lecture

Baptiste Bouvier, Patrick Susini, Emmanuel Ponsot. The shift of attention: Saliency modulates the local vs global processing of auditory scenes in musicians and non-musicians. *JASA Express Letters*, 2025, 5 (1), {10.1121/10.0034822}. {hal-04903612}

■ Communications avec actes dans un congrès international

Delle Monache, S., Özcan, E., & Misdariis, N. (2024). Designing [The, With, Against] Sound [For]: Towards A Semantic-oriented Coding Scheme For Protocol Studies InSound-driven Design. In Proceedings of the DRS – Design Research Society conference 2024

Thomas Risse, Thomas Hélie, Fabrice Silva, Antoine Falaize. Minimal port-Hamiltonian modeling of voice production: choices of fluid flow hypotheses, resulting structure and comparison. 8th IFAC Workshop on Lagrangian and Hamiltonian Methods for Non Linear Control, Juin 2024, Besancon, France, <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.287>>, <https://hal.science/hal-04678708v1>.

■ Communications sans actes dans un congrès international ou national

Armand Schwarz, Patrick Susini, Emmanuel Ponsot, Paul Avan. Abnormally salient sounds for hearing-impaired listeners wearing hearing aids: Is it due to excessive loudness or distorted timbral characteristics? World Congress of Audiology, Sep 2024, Paris, France. {hal-04904062}

Armand Schwarz, Paul Avan, Patrick Susini, Emmanuel Ponsot. Abnormal saliency in hearing impaired listeners with hearing aids.. Audiological Research Cores in Europe ARCHES meeting 2024, Dec 2024, Leuven – Louvain, Belgium. {hal-04904085}

Olivier Warusfel. Alain Londero, Acouphène subjectif : illusion perceptive et réalité virtuelle, Journée "Les sons pour le soin" de l'axe "Son/Musique et Santé" du laboratoire STMS, IRCAM, 17 décembre 2024, Paris

Frédéric Bevilacqua, Alice Gouret, Karine Loubère, Hermance Ratié, La sonification des mouvements au service de la rééducation des patients avec des déficiences visuelles, Journée "Les sons pour le soin" de l'axe "Son/Musique et Santé" du laboratoire STMS, IRCAM, 17 décembre 2024, Paris

Emmanuel Fléty, Séverine Samson, Mouvoir et émouvoir : l'impact de la musique chez les personnes âgées atteintes de troubles neurocognitifs, Journée "Les sons pour le soin" de l'axe "Son/Musique et Santé" du laboratoire STMS, IRCAM, 17 décembre 2024, Paris,

Nicolas Misdariis, Elena Karpinski, Psyson : un dispositif d'enveloppe d'écoute musicale et sonore pour la modulation de l'anxiété, Journée "Les sons pour le soin" de l'axe "Son/Musique et Santé" du laboratoire STMS, IRCAM, 17 décembre 2024, Paris

Thomas Hélie, Aude Lagier. Santé et techniques vocales : une modélisation physique complexe. Journée "Les sons pour le soin" de l'axe "Son/Musique et Santé" du laboratoire STMS, IRCAM, 17 décembre 2024, Paris, <https://hal.science/hal-04865033v1>.

■ Organisation de colloque

Journée de l'axe « Des sons pour le soin », mardi 17 décembre 2024, IRCAM.

■ Séminaires Mercredi STMS

Fictions-Science #8 : Musique et Silence, le chant du signe. Organisé par Ircam et CGP, dans le cadre du festival Extra ! du Centre Pompidou – 20 septembre 2024

Valentin Bauer - Explorer des Approches Multisensorielles en Réalité Étendue pour des Personnes Autistes : Améliorer le Bien-Être et Évaluer la Perception Sonore - 10 janvier 2024

Emma Frid - Accessible Digital Musical Instruments (ADMIs) – Design and evaluation of musical interfaces for pre-verbal children with profound and multiple learning disabilities - 6 mars 2024

■ Comités et expertises

Isabelle Viaud-Delmon : Horizon Europe – Digital Health, 2024

Isabelle Viaud-Delmon - membre du comité de sélection pour un poste de professeur en Neuropsychologie et Psychologie Cognitive, rattaché à l'axe Neuropsychologie et Audition du laboratoire PSITEC, Université de Lille, Mai Juin 2024