Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : preuve de concept

Florian Letourneur

▶ **To cite this version:**

Florian Letourneur. Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : preuve de concept. Médecine humaine et pathologie. 2022. ⟨dumas-04031943⟩

HAL Id: dumas-04031943

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04031943v1

Submitted on 16 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

HAL Authorization

UNIVERSITÉ de CAEN NORMANDIE

UFR SANTÉ

FACULTÉ de MÉDECINE

Année 2021/2022

THÈSE POUR L'OBTENTION

DU GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement le : 26/10/2022

par

M. LETOURNEUR Florian

Né le 23/01/1992 à Clamart (92)

TITRE DE LA THÈSE :

Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : Preuve de concept

Président : Madame le Professeur DOLLFUS Sonia

Membres : Madame le Professeur BRAZO Perrine

Madame le Docteur ROTHARMEL Maud

Directeur de thèse : ***Pr DOLLFUS Sonia***

UNIVERSITÉ DE CAEN · NORMANDIE

UFR SANTÉ – FACULTE DE MEDECINE

Année Universitaire 2021/2022

Doyen
Professeur Emmanuel TOUZÉ

Assesseurs
Professeur Paul MILLIEZ (pédagogie)
Professeur Anne-Sophie VOISIN (recherche)
Professeur Lydia GUITTET (recherche)
Professeur Emmanuel BABIN (3e cycle)

Directrice administrative
Madame Sarah CHEMTOB

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

M.	**AGOSTINI Denis**	Biophysique et médecine nucléaire
M.	**AIDE Nicolas**	Biophysique et médecine nucléaire
M.	**ALEXANDRE Joachim**	Pharmacologie clinique
M.	**ALLOUCHE Stéphane**	Biochimie et biologie moléculaire
M.	**ALVES Arnaud**	Chirurgie digestive
M.	**AOUBA Achille**	Médecine interne
M.	**BABIN Emmanuel**	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	**BÉNATEAU Hervé**	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
M.	**BENOIST Guillaume**	Gynécologie - Obstétrique
M.	**BERGER Ludovic**	Chirurgie vasculaire
M.	**BERGOT Emmanuel**	Pneumologie
Mme	**BRAZO Perrine**	Psychiatrie d'adultes
M.	**BROUARD Jacques**	Pédiatrie
M.	**BUI Thanh-Huy Eric**	Psychiatrie d'adultes
M.	**BUSTANY Pierre**	Pharmacologie
Mme	**CLIN-GODARD Bénédicte**	Médecine et santé au travail
M.	**DAMAJ Ghandi Laurent**	Hématologie
M.	**DAO Manh Thông**	Hépatologie-Gastro-Entérologie
M.	**DE BOYSSON Hubert**	Médecine interne
M.	**DEFER Gilles**	Neurologie
M.	**DELAMILLIEURE Pascal**	Psychiatrie d'adultes
M.	**DENISE Pierre**	Physiologie
Mme	**DOLLFUS Sonia**	Psychiatrie d'adultes
Mme	**DOMPMARTIN-BLANCHÈRE Anne**	Dermatologie

M.	**DREYFUS Michel**	Gynécologie - Obstétrique
M.	**DU CHEYRON Damien**	Réanimation médicale
Mme	**ÉMERY Evelyne**	Neurochirurgie
M.	**ESMAIL-BEYGUI Farzin**	Cardiologie
Mme	**FAUVET Raffaèle**	Gynécologie – Obstétrique
M.	**FISCHER Marc-Olivier**	Anesthésiologie et réanimation
M.	**GABEREL Thomas**	Neurochirurgie
M.	**GÉRARD Jean-Louis**	Anesthésiologie et réanimation
M.	**GUÉNOLÉ Fabian**	Pédopsychiatrie
Mme	**GUITTET-BAUD Lydia**	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	**HAMON Martial**	Cardiologie
Mme	**HAMON Michèle**	Radiologie et imagerie médicale
M.	**HANOUZ Jean-Luc**	Anesthésie et réa. médecine péri-opératoire
M.	**HITIER Martin**	Anatomie –ORL Chirurgie Cervico-faciale
M.	**HULET Christophe**	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M.	**ICARD Philippe**	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
M.	**JOIN-LAMBERT Olivier**	Bactériologie - Virologie
Mme	**JOLY-LOBBEDEZ Florence**	Cancérologie
M.	**JOUBERT Michael**	Endocrinologie
M.	**LAUNOY Guy**	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	**LE HELLO Simon**	Bactériologie-Virologie
Mme	**LE MAUFF Brigitte**	Immunologie
Mme	**LEVALLET Guénaelle**	Histologie, embryologie et cytogénétique
M.	**LOBBEDEZ Thierry**	Néphrologie
M.	**LUBRANO Jean**	Chirurgie viscérale et digestive
M.	**MAHE Marc-André**	Cancérologie
M.	**MANRIQUE Alain**	Biophysique et médecine nucléaire
M.	**MARCÉLLI Christian**	Rhumatologie
M.	**MARTINAUD Olivier**	Neurologie
M.	**MILLIEZ Paul**	Cardiologie
M.	**MOREAU Sylvain**	Anatomie/Oto-Rhino-Laryngologie
M.	**MOUTEL Grégoire**	Médecine légale et droit de la santé
M.	**NORMAND Hervé**	Physiologie
M.	**PARIENTI Jean-Jacques**	Biostatistiques, info. médicale et tech. de communication
M.	**PELAGE Jean-Pierre**	Radiologie et imagerie médicale

Mme	**PIQUET Marie-Astrid**	Nutrition
M.	**QUINTYN Jean-Claude**	Ophtalmologie
Mme	**RAT Anne-Christine**	Rhumatologie
M.	**REPESSE Yohann**	Hématologie
M.	**REZNIK Yves**	Endocrinologie
M.	**ROD Julien**	Chirurgie infantile
Mme	**THARIAT Juliette**	Radiothérapie
M.	**TILLOU Xavier**	Urologie
M.	**TOUZÉ Emmanuel**	Neurologie
Mme	**VABRET Astrid**	Bactériologie - Virologie
M.	**VERDON Renaud**	Maladies infectieuses et tropicales
M.	**VIVIEN Denis**	Biologie cellulaire

PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A MI-TEMPS

Mme	**BELLOT Anne**	Pédiatrie
Mme	**CHATELET Valérie**	Néphrologie
M.	**GUILLAUME Cyril**	Médecine palliative
M.	**LABOMBARDA Fabien**	Cardiologie
M.	**LE BAS François**	Médecine Générale
M.	**PIEDNOIR Emmanuel**	Maladies infectieuses et tropicales
M.	**QUEFFEULOU Guillaume**	Néphrologie
Mme	**VILLOT Anne**	Gynécologie-Obstétrique

PRCE

Mme	**LELEU Solveig**	Anglais

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Mme	**CHAPON Françoise**	Histologie, embryologie
M.	**DERLON Jean-Michel**	Neurochirurgie
M.	**GUILLOIS Bernard**	Pédiatrie
M.	**HURAULT de LIGNY Bruno**	Néphrologie
Mme	**KOTTLER Marie-Laure**	Biochimie et biologie moléculaire
M.	**LE COUTOUR Xavier**	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	**LEPORRIER Michel**	Hématologie
M.	**RAVASSE Philippe**	Chirurgie infantile
M.	**TROUSSARD Xavier**	Hématologie
M.	**VIADER Fausto**	Neurologie

UNIVERSITÉ DE CAEN · NORMANDIE

UFR SANTÉ - FACULTE DE MEDECINE

Année Universitaire 2021/2022

Doyen
Professeur Emmanuel TOUZÉ

Assesseurs
Professeur Paul MILLIEZ (pédagogie)
Professeur Guy LAUNOY (recherche)
Professeur Emmanuel BABIN (3ème cycle)

Directrice administrative
Madame Sarah CHEMTOB

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme	**BECHADE Clémence**	Néphrologie
Mme	**BENHAÏM Annie**	Biologie cellulaire
M.	**BESNARD Stéphane**	Physiologie
Mme	**BONHOMME Julie**	Parasitologie et mycologie
M.	**BROSSIER David**	Pédiatrie
M.	**COULBAULT Laurent**	Biochimie et Biologie moléculaire
M.	**CREVEUIL Christian**	Biostatistiques, info. médicale et tech. de communication
Mme	**DINA Julia**	Bactériologie – Virologie
Mme	**DUBOIS Fatéméh**	Histologie, embryologie et cytogénétique
Mme	**DUPONT Claire**	Pédiatrie
M.	**ÉTARD Olivier**	Physiologie
M.	**GRUCHY Nicolas**	Génétique
M.	**ISNARD Christophe**	Bactériologie Virologie
M.	**JUSTET Aurélien**	Pneumologie
Mme	**KRIEGER Sophie**	Pharmacie
M.	**LEGALLOIS Damien**	Cardiologie
M.	**LE GOUIL Mériadeg**	Bactériologie-Virologie
Mme	**LELONG-BOULOUARD Véronique**	Pharmacologie fondamentale
M.	**MACREZ Richard**	Médecine d'urgence
M.	**MITTRE Hervé**	Biologie cellulaire
M.	**MOLIN Arnaud**	Génétique
M.	**SAINT-LORANT Guillaume**	Pharmacie

M.	**TOUTIRAIS Olivier**	Immunologie
M.	**VEYSSIERE Alexis**	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
M.	**VILLAIN Cédric**	Gériatrie

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

M. HUMBERT Xavier

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A MI-TEMPS

Mme	**ARMAND Audrey**	Médecine générale
M.	**BANSARD Mathieu**	Médecine générale
M.	**COUETTE Pierre-André**	Médecine générale
Mme	**NOEL DE JAEGHER Sophie**	Médecine générale
M.	**PITHON Anni**	Médecine générale
M.	**SAINMONT Nicolas**	Médecine générale
Mme	**SCHONBRODT Laure**	Médecine générale

MAITRES DE CONFERENCES ÉMÉRITES

Mme	**DEBRUYNE Danièle**	Pharmacologie fondamentale

Remerciements

A Madame le Professeur DOLLFUS Sonia qui me fait l'honneur de présider et de diriger ce travail de thèse.

A Madame le Professeur BRAZO Perrine qui me fait l'honneur de faire partie du jury de ce travail de thèse.

A Madame le Docteur ROTHARMEL Maud qui me fait l'honneur de faire partie du jury de ce travail de thèse.

A ma famille et mes amis, pour leur soutien durant l'ensemble de mes études et leur présence en toutes circonstances.

Abréviations

EMA : Evaluation écologique momentanée

EMI : Intervention écologique momentanée

GPS : Géo-positionnement par satellite

HA : Hallucinations auditives

rTMS : Stimulation magnétique transcrânienne répétitive

TCC : Thérapie cognitive et comportementale

tDCS : Stimulation transcrânienne à courant direct

Tableaux et figures

Tableau 1 : Données socio-démographiques des patients inclus

Tableau 2 : Questions avec des réponses à choix multiple du questionnaire de satisfaction MIMO, réalisées lors de l'inclusion

Tableau 3 : Questions avec des possibilités de réponses ouvertes du questionnaire de satisfaction MIMO, réalisées lors de l'inclusion

Tableau 4 : Questions portant sur les déclarations des crises hallucinatoires

Tableau 5 : Résultats de l'échelle visuelle analogique

Tableau 6 : Résultats des échelles BPRS, AHRS et Birchwood

Figure 1 : Page de présentation de MIMO

Figure 2 : Suivi des scores par le patient

Figure 3 : Back-office

Figure 4 : Box plot de l'échelle visuelle analogique de satisfaction

Sommaire

I. Introduction……...1

II. Le phénotypage numérique……....4
1. Définitions / Présentation / Généralités / Historique……...4
2. Données passives……8
1. Définitions / Revue de la littérature……8
2. Exemples d'applications concernant les données passives……12
3. Données actives……..15
1. Définitions / Revue de la littérature……15
2. Exemples d'applications concernant les EMA……..18
4. Interventions écologiques momentanées……21
1. Définitions / Revue de la littérature……21
2. Exemples d'applications concernant les EMI……24
5. Exemples d'applications combinant différents types de phénotypage numérique…27

III. Intérêts, limites et perspectives du phénotypage numérique……31
1. Intérêts du phénotypage numérique……31
2. Limites du phénotypage numérique……33
3. Réticences des patients et des médecins au phénotypage numérique……35
4. Enjeux éthiques……...37
5. Faciliter l'accès au phénotypage numérique en tenant compte des inégalités……..39

IV. Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : MIMO……40
1. Introduction……..40
2. Matériels et méthodes……42
3. Résultats……..45
4. Discussion……57

V. Conclusion……61

I. Introduction

La schizophrénie, qui touche entre 0,7 et 1% de la population mondiale, est une pathologie ayant un lourd retentissement en termes de souffrance, de handicap et à l'origine d'un impact économique important.
Bien que les connaissances se développent concernant les bases neurobiologiques de cette pathologie, la prise en charge clinique reste difficile, marquée par des périodes de rémissions et de rechutes.

Les rechutes aggravent l'évolution de la maladie avec une détérioration du fonctionnement social et professionnel, de la qualité de vie et entrainent une augmentation des symptômes résiduels et de la résistance au traitement. Elles sont corrélées à une majoration des risques de passages à l'acte autoagressifs et hétéroagressifs, ainsi qu'à un risque de déclin cognitif.

Malgré l'instauration d'un traitement antipsychotique adapté, jusqu'à 40% des patients qui sortent d'une hospitalisation sont à risque de rechuter au cours de l'année suivante (Barnett et al., 2018).

Anticiper les rechutes et identifier les facteurs de risque de rechute constitue un défi étant donné la complexité de la schizophrénie ainsi que l'hétérogénéité des présentations cliniques de cette pathologie.

Agir précocement en développant des outils d'identification, de prévention et d'intervention face aux rechutes demeure un objectif thérapeutique majeur de la prise en charge de la schizophrénie.

En particulier, une difficulté subsiste, celle d'évaluer les symptômes et d'observer le comportement des patients au sein de leur environnement quotidien, en dehors de l'hôpital ou des consultations, afin de prendre en considération les facteurs contextuels pouvant être facteurs protecteurs ou à l'inverse être à l'origine des décompensations.

La prise de décision clinique et la direction donnée aux prises en charge sont en grande partie basées sur les évaluations réalisées lors des entretiens cliniques en consultations et les observations en structures hospitalières, et il est difficile pour les cliniciens de réaliser des prédictions précises sur l'évolution et les variations des symptômes de leurs patients dans les suites de ces consultations et hospitalisations.
Ces évaluations cliniques sont brèves et donnent accès à un tableau clinique ponctuel, une représentation instantanée de l'état mental du patient.
De plus, la précision de ces informations est limitée par les biais de rappel et les souvenirs des patients, ainsi que les témoignages des membres de l'entourage lorsqu'ils sont disponibles. Sans mentionner les situations où les patients ne se présentent pas aux consultations.
Les rechutes étant souvent précédées de changements comportementaux chez les patients, le clinicien peut ne pas avoir accès à ces signes d'alerte survenant entre les consultations. Cela diminue les chances d'intervenir au moment opportun pour prévenir la rechute.

L'étude des symptômes psychiatriques dans le contexte de la vie quotidienne du patient devient un domaine sur lequel se porte un nombre croissant de travaux de recherche et peut constituer un complément intéressant aux prises en charge plus conventionnelles.

En parallèle, une attention grandissante est portée sur le rôle que la technologie numérique peut apporter face à ces problématiques. La technologie mobile fait maintenant partie intégrante de notre quotidien, et au cours des deux dernières décennies, les smartphones sont devenus presque omniprésents dans la population générale. Plus de trois milliards d'abonnements mobile par smartphone sont recensés à travers le monde (Insel, 2018). Selon les estimations, 76% des personnes vivant dans les pays développés possèdent un smartphone (soit plus du double du taux de possession de 35 % en 2011) et 45% dans les pays en voie de développement. Des données récentes montrent que les taux de possession atteignent 70% chez les personnes souffrant de pathologies psychiatriques (Torous et al., 2021). Bien qu'il persiste des disparités dans l'accès aux technologies numériques, qui seront abordées plus en détails dans une autre partie, il est possible d'envisager que dans un avenir proche une grande majorité de la population mondiale aura accès à un smartphone.

À une époque où la demande de soins en santé mentale augmente et devant l'accès croissant aux technologies numériques dans le monde, ces dispositifs proposent de nouvelles perspectives pour examiner les comportements normaux et pathologiques des individus par la collecte de données avec des appareils mobiles et des capteurs portables afin d'identifier des phénotypes numériques et de développer de nouvelles formes de prises en charge des troubles psychotiques.

Ainsi, le développement des biomarqueurs numériques suscite un grand intérêt dans le paysage de la santé connectée.

Dans une première partie seront abordés les différents concepts concernant le phénotypage numérique, et la manière dont le phénotypage numérique est utilisé en santé mentale et particulièrement dans les troubles psychotiques, afin de définir plus précisément les termes de « santé connectée » ou de « santé numérique ». Cette partie sera agrémentée d'exemples d'applications numériques utilisées ou en cours de développement.

La partie suivante aura pour objectif d'offrir un aperçu représentatif du potentiel du phénotypage numérique, en abordant les bénéfices mais également certaines limites et questionnements qui subsistent.

La troisième partie concernera l'application MIMO, un dispositif digital permettant au patient d'auto-évaluer ses hallucinations auditives et de déclarer une crise hallucinatoire. Ce présent projet de recherche vise à valider cet outil digital, à démontrer l'acceptabilité de ce dispositif par les patients et à prouver la faisabilité d'une telle auto-évaluation sur un support digital, smartphone ou tablette.

II. Le phénotypage numérique

II.1. Définitions / Présentation / Généralités / Historique

Le phénotypage numérique est un domaine scientifique multidisciplinaire, qui a été défini initialement dans un article publié en 2016 dans la revue médicale JMIR Mental Health. Cet article a été rédigé par John Torous, Mathew Kiang, Jeanette Lorme et Jukka-Pekka Onnela et définit le phénotypage numérique comme étant « La quantification moment par moment du phénotype humain au niveau individuel in situ à l'aide de données provenant d'appareils numériques personnels ».

Les appareils numériques tels que les téléphones mobiles et les objets connectés constituent une nouvelle catégorie d'outils de dépistage et de thérapeutique. Ils occupent une place de plus en plus importante dans le paysage de la santé mentale depuis près d'une dizaine d'années (Torous et al., 2021).

Il y a plus de quinze ans, une étude pionnière ITAREPS a mis en évidence la faisabilité d'une plateforme de messages sur téléphone portable afin d'identifier les premiers symptômes de rechute dans la schizophrénie. Cette étude a identifié l'inobservance auto-déclarée du traitement médicamenteux comme un facteur de risque significatif d'hospitalisation et a permis de démontrer la faisabilité d'un suivi numérique avec seulement 10% des 45 sujets qui ont abandonné l'étude sur une période d'un an (Barnett et al., 2018).

Les données provenant d'appareils numériques personnels qui sont collectées peuvent être divisées en deux grandes catégories que sont les données passives et les données actives.

Les données passives sont collectées sans que l'utilisateur n'ait besoin de participer activement. Ces données peuvent être collectées par le téléphone ou bien par des capteurs. Les smartphones peuvent ainsi être configurés pour récupérer automatiquement ces données passives, avec l'accord du patient mais sans que celui-ci ne participe directement à la collecte des données.

Les données actives nécessitent à l'inverse une participation de l'utilisateur afin d'être générées. Ces données actives sont collectées par exemple par le biais d'enquêtes sur les symptômes que le patient remplit sur le support numérique. Le smartphone invite le patient à évaluer ses symptômes à travers des questionnaires. Les données ne sont générées que si le patient accepte de participer à l'enquête. Les données actives s'apparentent à l'EMA (évaluation écologique momentanée).

En plus de la collecte de données passives et des évaluations des symptômes par l'EMA, les smartphones peuvent également permettre des interventions telles que des thérapies et des traitements d'appoint pour les patients souffrant de troubles psychotiques. Dans le cadre du phénotypage numérique, ces outils d'intervention basés sur des applications sont appelés EMI (interventions écologiques momentanées) et donnent accès à une forme d'autogestion centrée sur les besoins des patients en dehors des consultations ou des hospitalisations.

Il existe un autre concept appelé le Machine Learning (« Apprentissage automatique ») qui se définit comme une forme d'intelligence artificielle permettant aux outils informatiques de tirer des conclusions à partir de données, sans avoir été explicitement programmés à cet effet, afin de développer des programmes pouvant changer en cas d'expositions à de nouvelles données.

Le phénotypage numérique a pour principe de fournir une mesure objective s'intégrant dans le contexte de l'expérience vécue par le patient et ainsi de mettre en valeur la façon dont le patient fonctionne dans son environnement, pas uniquement dans le cadre des consultations ou des hospitalisations.

Les dispositifs de phénotypage numérique peuvent aider les patients à suivre un traitement, effectuer des contrôles entre les consultations ou promouvoir un changement de comportement. Ces outils numériques permettent donc d'obtenir des données sur les comportements et sur les symptômes ne nécessitant qu'une participation active minimale, voire aucune participation de la part des patients. Les données recueillies en temps réel dans l'environnement du patient ont pour objectif de minimiser les biais de rappel et d'accéder à des évaluations plus précises.

Les biomarqueurs numériques occupent une place grandissante comme outils pratiques et évolutifs dans la prise en charge en psychiatrie, en tant que dispositifs permettant de capturer en temps réel, in vivo, les comportements et symptômes longitudinaux en santé mentale. Cet intérêt croissant pour les biomarqueurs numériques est lié à la possession de plus en plus importante de smartphones en population générale mais également chez les patients souffrant de troubles psychotiques, ainsi que l'augmentation des progrès techniques et des fonctionnalités proposés par ces appareils (Torous, Onnela, et al., 2017).

Les applications de phénotypage numérique utilisent les progrès technologiques actuels des smartphones notamment la rapidité des processeurs ainsi que le transfert de données par internet, permettant aux cliniciens et aux chercheurs de recueillir et de centraliser les informations sur des systèmes informatiques, ceci étant par ailleurs combiné aux progrès dans l'analyse des données, le clinicien peut alors être averti au moment opportun lorsque le patient nécessite une intervention.

Alors que par le passé on a pu considérer que les patients souffrant de pathologies psychiatriques ne possédaient pas d'appareils numériques ou n'étaient pas intéressées par leur utilisation, les données récentes ont prouvé qu'ils possèdent des smartphones et sont désireux d'utiliser des applications de santé. Les différents travaux de recherche démontrent que les personnes atteintes de troubles psychotiques utilisent les smartphones, les applications numériques et les médias sociaux de manière comparable au reste de la population générale (Torous et al., 2014). Les patients souffrant de schizophrénie présentent un intérêt et sont désireux d'utiliser des outils innovants pour améliorer leurs soins et leurs rétablissements (Torous et al., 2021) (Firth et al., 2016).

Bien que les taux de possession des smartphones soient variables selon différents facteurs comme l'origine, l'ethnie, le niveau d'éducation et de revenus, les applications de santé suscitent donc un intérêt malgré ces frontières socio-économiques (Ramirez et al., 2016). De plus, les patients les plus jeunes, notamment ceux atteints d'un premier épisode psychotique sont particulièrement intéressés par l'utilisation des technologies numériques (Torous, Firth, et al., 2017). Au regard de ces évolutions et de cette généralisation de la possession des smartphones, l'idée d'une « fracture numérique » semble s'estomper.

Certaines études suggèrent que les patients peuvent développer des formes de relations thérapeutiques avec des outils numériques, appelées « alliance thérapeutique numérique ». Notamment, certains patients se sentiraient plus à l'aise pour dialoguer de façon anonyme avec des agents conversationnels numériques ou « chatbots » plutôt que d'avoir un contact relationnel direct (Torous et al., 2021).

Le smartphone peut donc collecter des données permettant d'établir des modèles dynamiques des comportements en temps réel, en prenant en considération des facteurs environnementaux, sociaux et intrapersonnels fluctuants, de manière objective et écologique.

La majeure partie des applications sont développées afin d'être utilisées en complément d'une prise en charge spécialisée, mais les bénéfices possibles sont multiples, par la richesse des informations collectées, la possibilité de personnaliser les aides mises en places et l'opportunité d'atteindre des patients qui ont un accès plus limité aux soins.

Ces outils numériques, combinés à des méthodes statistiques appropriées, pourront permettre d'identifier de nouveaux marqueurs comportementaux dans la schizophrénie, des nouveaux « phénotypes numériques ».

II.2. Données passives

II.2.1. Définitions / Revue de la littérature

Les données passives sont collectées automatiquement par les dispositifs numériques sans la participation active du patient. Il peut s'agir de données de mobilité, d'accélérométrie et de géolocalisation GPS des téléphones mobiles pour évaluer le degré d'activité et de déplacement des patients. Il peut également s'agir de la surveillance des journaux d'appels et des messages afin d'avoir des informations sur la sociabilité des patients. Des données physiologiques comme la fréquence cardiaque ou les habitudes de sommeil peuvent également être recueillies par des capteurs portables et les smartphones. Le timbre et les modulations de la voix peuvent être enregistrés via le microphone du téléphone portable, ainsi que les variations des expressions faciales par la caméra du téléphone. Ces données passives sont recueillies en continue dans la vie quotidienne du sujet, afin de déduire des informations sur les comportements de santé du patient dans son environnement. Elles aident à la compréhension des expériences vécues par les patients dans leurs contextes.

Les travaux de recherche portant sur les données passives sont encore relativement récents, mais ils accordent une certaine valeur aux mesures provenant des capteurs des smartphones pour évaluer le phénotype des patients atteints de troubles psychotiques.

Notamment dans une étude portant sur des sujets sains et des patients atteints de schizophrénie, les individus ayant subi une rechute clinique présentaient un taux plus élevé de 71% d'anomalies détectées dans les données passives deux semaines avant la rechute, comparé au taux d'anomalies détectées à des dates plus éloignées de rechute. Ces anomalies concernaient des données de mobilité pour lesquels les patients ont passé moins de temps au domicile qu'habituellement, des données de sociabilité pour lesquels les sujets ont augmenté leur quantité d'appels téléphoniques au cours de la période ayant précédée la rechute. Ces résultats mettent en avant des

associations prometteuses entre les comportements des personnes atteintes de schizophrénies et les rechutes cliniques de leur pathologie. (Marsch, 2018)

Les perturbations dans les relations sociales constituent une dimension importante dans la schizophrénie et peuvent être utilisées pour identifier les rechutes psychotiques. Notamment les périodes d'isolement social sont des périodes à risque de rechutes. Les relations sociales peuvent être estimées à partir des journaux d'appels et de textos, notamment par la fréquence de ces appels ou textos ou bien par la vitesse à laquelle un appel manqué est retourné. La diminution du nombre d'appels sortants et la diminution de la durée des appels sortants sont associées à des rechutes. Ces altérations sur le plan social ont été retrouvées deux semaines avant la rechute (Abdul Rashid et al., 2021).

La façon d'utiliser les médias sociaux peut également servir à détecter l'aggravation de symptômes en santé mentale, par exemple des modifications dans le contenu et le style des messages postés sur les réseaux sociaux peuvent constituer un signal d'alerte précoce de rechute chez les patients atteints de schizophrénie (Torous et al., 2021).

Au cours d'une étude portant sur 17 patients atteints de troubles psychotiques, une application de surveillance passive ayant été installée sur leurs smartphones sur une période allant jusqu'à trois mois, il a été retrouvé des modifications dans les schémas de mobilité, dans les comportements sociaux en fonction du nombre d'appels et de SMS, ainsi que concernant le temps passé sur l'écran du téléphone et la durée de sommeil au cours des deux semaines précédant la rechute, avec des résultats variables d'un patient à l'autre mais qui témoignaient d'une rupture avec l'état antérieur des patients. Une étude similaire portant sur 83 patients atteints de troubles psychotiques et collectant des données passives a donné des résultats comparables. (Henson et al., 2021) (Barnett et al., 2018)

Des changements dans les données d'activité physique, dans la durée d'utilisation de smartphone notamment le temps passé sur l'écran ainsi que la fréquence et la durée de la parole chez des patients atteints de psychose ont également été observés dans les jours précédent une rechute (Ben-Zeev et al., 2017).

Une étude portant sur 30 sujets atteints de schizophrénie et 25 témoins qui portaient un dispositif numérique de type montre connectée mesurant la fréquence cardiaque, l'activité physique et les mouvements au quotidien pendant six jours, a retrouvé que les sujets atteints de schizophrénie ont considéré que la montre connectée était facile à porter. De plus, les sujets atteints de schizophrénie avaient une fréquence cardiaque plus basse et faisaient moins de mouvements que les témoins. Les données de dysrégulation parasympathique étaient associées à des symptômes positifs. Ces données permettent une conclusion intéressante sur le plan physiologique mais démontrent également une bonne faisabilité de cette étude dans l'environnement des patients (Cella et al., 2018).

Les smartphones et les dispositifs numériques portables permettent via des mesures de l'accéléromètre d'estimer le niveau d'activité physique. Il a été constaté que la recrudescence des symptômes psychotiques est associée à une baisse de l'activité physique (Abdul Rashid et al., 2021).

Les résultats sur les données de mobilité concernant les patients schizophrènes retrouvent que ces derniers passent plus de temps à leur domicile et parcourent des distances en moyenne plus courtes. Ces changements dans les données de mobilité précèdent les rechutes cliniques de deux semaines (Abdul Rashid et al., 2021).

Les troubles du sommeil peuvent également être prodromiques des rechutes. Les données sur le sommeil sont collectées à partir de capteurs dans les appareils numériques. Par exemple, le taux de luminosité ambiant, la fréquence cardiaque, les mouvements corporels peuvent être utilisés pour estimer la durée du sommeil. Il a également été retrouvé que les troubles du sommeil étaient souvent présents dans les épisodes de décompensations et étaient observés avant même la rechute dans plus de la moitié des cas (Abdul Rashid et al., 2021).

Une revue systématique portant sur quatre études de surveillance passive, avec une utilisation des dispositifs numériques allant de 5 à 365 jours dans des tailles d'échantillon allant de 5 à 62 participants, a montré que la surveillance passive était largement acceptable, bien que 20 % des participants aient signalé des problèmes de

confidentialité et se soient sentis perturbés par cette surveillance (Chivilgina et al., 2020).

Les études de surveillance de données passives ont démontré que la plupart des patients atteints de troubles psychotiques sont à l'aise, capables et en demande d'utiliser des outils numériques pour évaluer leurs comportements et symptômes dans leur vie quotidienne (Cella et al., 2019).

II.2.2. Exemples d'applications concernant les données passives

1er exemple :

Le système CrossCheck basé sur une application mobile a permis la collecte de données passives à partir d'un smartphone afin de prédire les signes d'alerte précoce de rechute psychotique. Les données concernaient la localisation GPS, les accélérations et mouvements des patients, le nombre d'applications utilisées sur le smartphone, le temps passé devant l'écran du smartphone, le nombre et la durée des appels téléphoniques, le nombre de textos et le temps de sommeil. Les capteurs ont également recueilli des données environnementales, notamment le son et la lumière ambiants. Le son ambiant a été utilisé par l'application pour déterminer si des conversations avaient lieu près du participant.

Cette étude était un essai contrôlé randomisé pendant une durée de 12 mois visant à tester l'efficacité de l'utilisation de la détection passive pour identifier les indicateurs numériques de rechute. Les 60 participants présentaient un diagnostic de schizophrénie, de trouble schizoaffectif ou de psychose non spécifiée. Les participants inscrits ont été randomisés soit dans un bras smartphone pour la collecte de données de détection passive, soit dans un bras contrôle pour recevoir le traitement habituel. Dans ce travail, comme l'objectif était de prédire les signes précurseurs de rechute à partir des données de détection passive collectées, les analyses se sont concentrées exclusivement sur le bras smartphone. Les participants inscrits à l'étude ont donc reçu un smartphone pendant 12 mois et ont reçu pour instruction de porter l'appareil sur eux. Des évaluateurs cliniques formés ont rencontré les participants pour effectuer une évaluation de base des symptômes et du fonctionnement. Les évaluateurs cliniques ont également effectué des évaluations de suivi avec les participants au cours des $3^{ème}$, $6^{ème}$, $9^{ème}$ et $12^{ème}$ mois de l'étude pour administrer la BPRS.

Ont été considérés comme une rechute une hospitalisation en psychiatrie, une augmentation significative des soins psychiatriques (y compris des services plus intensifs ou plus fréquents, une augmentation de la dose de médicaments ou la prescription de médicaments supplémentaires) associée à une augmentation de 25 % du score total BPRS de départ, des idées suicidaires ou hétéroagressives pertinentes sur le plan clinique, une automutilation ou un comportement violent entraînant des dommages à une autre personne ou à des biens.

Les résultats ont retrouvé une augmentation des anomalies dans les données passives dans la période de 30 jours précédant la rechute. Ces anomalies significatives concernaient par exemple des modifications du sommeil des participants, la diminution de l'accélération et des mouvements ou la diminution des appels téléphoniques émis (Adler et al., 2020).

2ème exemple :

Il s'agit d'une étude qui est en cours de développement, l'étude HOPES (Health Outcomes through Positive Engagement in Schizophrenia) qui a été lancée afin d'examiner l'utilisation d'appareils tels que les smartphones et les bracelets connectés disponibles dans le commerce pour recueillir des données numériques par des méthodes de détection passives et explorer leur utilité pour prédire l'état de santé des personnes atteintes de schizophrénie.
Il s'agit d'une étude observationnelle avec un suivi des participants pendant 6 mois. L'étude est menée à l'Institute of Mental Health (IMH) de Singapour. Les patients sont âgés de 21 à 65 ans et ont reçu un diagnostic de troubles du spectre de la schizophrénie, l'objectif étant de recruter 100 personnes dans cette étude.
Les données numériques sont collectées à partir d'un dispositif portable au poignet, les bracelets connectés Fitbit, d'un smartphone et de leurs applications correspondantes, l'application Fitbit et l'application HOPES.
Les données numériques collectées via le bracelet connecté Fitbit sont la fréquence cardiaque (mesurée tant que l'appareil est porté, enregistrée en battements par minute à une fréquence allant jusqu'à toutes les 5 secondes), l'activité physique (le nombre de pas est calculé à partir des données de l'accéléromètre et enregistré toutes les minutes) et le sommeil (calculé à partir des mouvements du corps, si aucun mouvement corporel n'est détecté pendant environ une heure, l'appareil l'enregistre comme un état de sommeil, analysé avec la fréquence cardiaque, le bracelet estime les niveaux de sommeil (léger, profond, rapide, éveillé), ainsi que les heures de début et de fin de chaque segment de sommeil).
Les données numériques collectées via le smartphone sont la lumière ambiante (mesurée par le capteur de lumière intégré), les paramètres de localisation (données GPS), les indices de sociabilité (comme la fréquence et la durée des appels

téléphoniques ou des messages) et les appuis du doigt sur l'écran (les caractéristiques des tapotements du doigt).

L'objectif principal est d'étudier les changements de chaque biomarqueur numérique et d'examiner s'ils sont associés à une rechute au cours des 6 mois de suivi. La rechute étant définie comme une réadmission due à une détérioration mentale ou une augmentation globale de deux points ou plus sur l'item de sévérité CGI (Clinical Global Impression scale) (Abdul Rashid et al., 2021).

II.3. Données actives

II.3.1. Définitions / Revue de la littérature

Les EMA (Ecological Momentary Assessments ou évaluations écologiques momentanées) permettent d'étudier les comportements d'un individu dans sa vie quotidienne en collectant de manière répétée des données dans son environnement naturel (« écologique ») au moment où il adopte ce comportement (« momentané »). Ces données sont dans ce cas recueillies de manière active, c'est-à-dire par le biais d'enquêtes sur les symptômes, que le patient accepte de remplir sur le support numérique. Le smartphone propose au patient de répondre à une ou plusieurs questions par le biais de notifications. Ces notifications peuvent être répétées plusieurs fois par jour, à des moments précis établis préalablement ou bien à des moments au hasard. Les patients réalisent plusieurs évaluations sur une période donnée, permettant d'apprécier la façon dont leurs expériences et leurs comportements varient dans le temps et selon les situations. Les données issues de ces enquêtes sont ensuite collectées, stockées et horodatées afin qu'elles soient dans un second temps analysées pour évaluer l'évolution clinique du patient. Les enquêtes de l'EMA concernent généralement les comportements, les pensées ou émotions présentés par les patients, ou bien peuvent porter sur certains symptômes en particulier. Peuvent être évaluées les fréquences auxquelles le comportement en question se produit au cours d'une période, ou bien les contextes dans lesquels le comportement a lieu.

Le terme EMA est apparu en 1994 mais le concept existe depuis des décennies, par exemple à travers le recueil d'informations dans des journaux intimes, l'autosurveillance, l'échantillonnage d'expériences, la surveillance ambulatoire. La méthode la plus ancienne est l'utilisation de journaux de suivis manuscrits, utilisés pour la recherche clinique dans les années 1940 au cours d'études sur des évaluations comportementales. Cela pouvait concerner le comptage d'événements cliniques précis pertinents ou bien des descriptions générales sur l'observation du comportement des patients tout au long de la journée dans leur environnement naturel (Shiffman et al., 2008).

Les méthodes modernes de l'EMA ont essentiellement été développées par Czikszentmihalyi et Larson et sont basées sur la méthode d'échantillonnage de l'expérience. Selon cette méthode, les chercheurs sollicitaient les patients par des évaluations à intervalles de temps aléatoires tout au long de la journée pour évaluer leurs activités dans leur vie quotidienne. Avant le développement des smartphones, l'EMA se faisait via des téléavertisseurs mobiles ou des téléphones fixes. Le développement d'outils comme des agendas électroniques ou des ordinateurs de poche a ensuite permis de mettre en place des protocoles plus complexes pour la collecte des données d'auto-évaluation. Le développement des smartphones a ensuite facilité l'utilisation et l'extension de l'EMA.

Les travaux de recherche ont exploré dans quelle mesure la collecte des données actives permet d'anticiper les rechutes et de mettre en place des stratégies d'intervention au moment opportun.

La surveillance des symptômes à distance par l'EMA donne des résultats prometteurs pour les pathologies psychiatriques et notamment pour la schizophrénie (Torous et al., 2021)

Une revue systématique de la littérature a identifié 17 applications de surveillance active par EMA, retrouvant que la durée d'utilisation des applications allait d'une semaine à quatorze mois, les notifications d'auto-évaluation allait de plusieurs fois par jour à une fois par semaine. Ces évaluations ont été bien tolérées, 69% à 88% d'évaluations ont été complétées par les patients. Toutes ces études ont retrouvé que les sujets ont considéré que la collecte active de données était acceptable et utile (Chivilgina et al., 2020). Les revues de la littérature mettent en avant une bonne acceptabilité et faisabilité de l'EMA dans le traitement des troubles psychotiques. Il semble néanmoins nécessaire de multiplier les essais cliniques contrôlés pour évaluer au mieux le potentiel de ces outils numériques chez les patients atteints de troubles psychotiques. (Bell et al., 2017)

Les études comportementales dans lesquelles les patients surveillent par l'auto-évaluation un comportement qu'ils essayent de changer ont démontré une diminution de ce comportement uniquement par la surveillance. Ces observations ont permis de

considérer l’autosurveillance dans une certaine mesure comme un traitement et non seulement comme une évaluation (Shiffman et al., 2008).

II.3.2. Exemples d'applications concernant les EMA

1er exemple :

Cette étude a utilisé l'évaluation écologique momentanée (EMA) pour examiner si les anomalies dans la dynamique temporelle des émotions et la réactivité soutenue à la récompense étaient associées à l'anhédonie chez des patients atteints de schizophrénie.

Deux expériences ont été menées chez des patients ambulatoires diagnostiqués schizophrènes (n = 28 ; n = 102) et chez des témoins sains (n = 28 ; n = 71) qui ont rempli des rapports d'EMA sur leur expérience émotionnelle à plusieurs moments de la journée pendant plusieurs jours. Des analyses ont été appliquées aux données de l'EMA afin d'évaluer les changements dynamiques des états émotionnels et de déterminer les processus sous-jacents aux échecs de la réponse soutenue à la récompense.

Les participants ont reçu un smartphone. Les enquêtes EMA ont été administrées 7 fois par jour pendant 7 jours. Les enquêtes EMA ont été programmées pour se produire à des intervalles aléatoires, avec en moyenne une fenêtre de 1h30 entre elles, de 9 h à 21 h (ajustée pour s'adapter aux horaires de veille et de sommeil individuels). Les questionnaires remplis étaient horodatés.

Les enquêtes de l'EMA ont porté sur l'intensité émotionnelle ressentie par les participants en fonction de 5 items d'émotion positive et 5 items d'émotion négative notés sur une échelle de 1 (pas du tout) à 5 (extrêmement). Les 5 items d'émotion positive étaient les suivants : amusé / content / joyeux / confiant / fier. Les 5 items d'émotion négative comprenaient : irrité / triste / apeuré / humilié / anxieux.

Les participants ont été également invités à fournir des informations sur leurs activités contextuelles, leurs déplacements et leur entourage présent. Ils ont également été invités à fournir un contexte émotionnel pour l'enquête (c'est-à-dire si l'événement le plus émotionnellement marquant au cours de l'heure précédente était positif, négatif ou neutre).

Conformément aux hypothèses, les résultats ont retrouvé un échec dans la capacité à maintenir des expériences d'émotion positive au fil du temps chez les patients atteints de schizophrénie, en particulier chez les patients présentant une anhédonie

cliniquement plus élevée, évaluée par l'échelle Brief Negative Symptom Scale (BNSS). (Kirkpatrick et al., 2011) Les résultats étaient cohérents avec ceux obtenus en laboratoire, qui ont démontré que, bien que les réponses émotionnelles positives initiales soient intactes dans la schizophrénie, elles ne persistent pas dans la durée. Ces résultats complètent les études initiales en montrant que les déficits de persistance des émotions positives se produisent également dans l'environnement écologique des patients, et proposent une explication sur la raison pour laquelle les personnes atteintes de schizophrénie sont moins susceptibles de s'engager dans des activités agréables. (Strauss et al., 2020)

2ème exemple :

Cette étude a examiné les relations entre les croyances d'auto-stigmatisation et divers facteurs contextuels et facteurs internes au cours de la vie quotidienne de personnes atteintes de schizophrénie. Une application mobile a été utilisée pour suivre longitudinalement les niveaux d'auto-stigmatisation, les symptômes psychotiques, l'affect négatif, l'affect positif, l'activité et l'environnement social chez vingt-quatre personnes atteintes de schizophrénie, plusieurs fois par jour, sur une période d'une semaine. Les participants ont reçu un dispositif numérique qu'ils ont porté sur eux pendant une semaine, et qui avaient été programmés pour générer un signal auditif d'incitation six fois par jour à des intervalles répartis de manière égale entre 9h00 et 22h00. Les participants ont reçu l'instruction de remplir l'évaluation qui apparaissait sur l'écran après chaque notification. Les évaluations mobiles prenaient environ deux à trois minutes à compléter et toutes les réponses étaient automatiquement enregistrées dans la mémoire du dispositif numérique. Toutes les réponses étaient horodatées électroniquement et les éléments non complétés étaient stockés comme données manquantes. Les auto-évaluations portaient sur plusieurs domaines, notamment l'emplacement, la compagnie, l'activité, l'affect positif, l'affect négatif, les symptômes psychotiques et l'auto-stigmatisation. Les items d'auto-stigmatisation ont été sélectionnés à partir de l'échelle d'auto-stigmatisation de la maladie mentale (SSMIS) (Corrigan et al., 2006). Quatre scores composites continus ont été créés pour les analyses à partir des éléments d'évaluation : un score d'affect positif a été calculé comme la somme de quatre éléments d'humeur positive (actif, intéressé, fier, excité,

avec une cotation de 0 à 4 pour chaque item) et un score d'affect négatif comme la somme de cinq éléments d'humeur négative (nerveux, effrayé, hostile, contrarié, coupable, avec une cotation de 0 à 4 pour chaque item). Un score de symptômes a été calculé comme la somme de cinq items de symptômes psychotiques (sentiment de persécution, impression de pouvoir lire dans les pensées, idées de référence, impression d'avoir des pouvoirs spéciaux, hallucinations auditives, avec une cotation de 0 à 4 pour chaque item). Un score d'auto-stigmatisation a été calculé comme la somme de quatre items d'auto-stigmatisation (à cause du diagnostic de maladie mentale : impression de se sentir sale, incapacité d'avoir un emploi stable, impression d'être imprévisible, impression d'être responsable de ses problèmes, avec une cotation de 0 à 4 pour chaque item).

Les résultats ont permis de comprendre l'auto-stigmatisation comme une expérience fluctuante en fonction des altérations des états internes et des circonstances externes. L'utilisation de la technologie mobile a été considérée comme efficace pour étudier l'auto-stigmatisation. Un certain nombre de facteurs se sont avérés être des prédicteurs de l'intensité des croyances auto-stigmatisantes déclarées. L'activité dans laquelle les individus étaient engagés était associée à des changements dans l'auto-stigmatisation, en l'occurrence les participants ressentaient plus d'auto-stigmatisation quand ils effectuaient une activité référencée « autre type d'activité » que lorsqu'ils mangeaient, faisaient des tâches ménagères ou étaient inactifs. En revanche, le sentiment d'auto-stigmatisation n'était pas impacté par la localisation ni par la compagnie sociale. L'augmentation du score d'affect négatif prédisait une augmentation ultérieure de l'auto-stigmatisation. La gravité des symptômes psychotiques s'est avérée être un prédicteur d'une future intensification des croyances d'auto-stigmatisation et réciproquement. Enfin, les résultats ont retrouvé que les variations du score d'auto-stigmatisation peuvent se produire dans des délais relativement courts. (Ben-Zeev et al., 2012)

II.4. Interventions écologiques momentanées

II.4.1. Définitions / Revue de la littérature

Le terme EMI pour « Ecological Momentary Interventions » ou « Interventions écologiques momentanées » a été inventé en 2005. Les travaux initiaux concernaient les prises en charge sur le cancer et ont cherché à mettre à contribution les résultats des EMA pour fournir des interventions de soins personnalisées.

Ces interventions écologiques momentanées peuvent être définies comme « Tout dispositif ou application technologique susceptible d'améliorer les soins prodigués aux patients par la fourniture d'une intervention régulière et momentanée dans le contexte de la vie quotidienne, en dehors d'une thérapie en face à face ». Ces traitements peuvent être dispensés via la technologie mobile et utilisés de manière autonome ou bien en complément d'un traitement existant. (Balaskas et al., 2021).

L'EMI présente des similitudes avec l'EMA en utilisant des applications sur smartphones, mais les auto-évaluations sont remplacées ou complétées par des rappels, des messages d'encouragement ou des conseils et instructions permettant d'adopter un comportement spécifique par exemple en rapport avec une psychothérapie, de faire du renforcement positif de certaines compétences ou de favoriser l'observance des traitements. Les messages d'intervention de l'EMI peuvent être adaptés à partir d'informations préalablement collectées. Les interventions peuvent être délivrées soit à des heures fixes, soit à des heures aléatoires ou bien à des heures personnalisées. L'EMI est entièrement automatisée, le clinicien n'interagit généralement pas directement avec le patient. Le chercheur ou le clinicien peut ensuite consulter les données recueillies.

Ces conseils, rappels et instructions sont particulièrement bénéfiques chez les patients atteints de troubles psychotiques compte tenu des difficultés mnésiques et du fonctionnement exécutif pouvant altérer la mémorisation des conseils donnés lors des consultations par exemple, ou devant les difficultés de motivation empêchant la réalisation de certains comportements au domicile.

Ces outils numériques ont été définies comme une approche du « thérapeute dans votre poche ».

Un sous ensemble des EMI est appelé les interventions adaptatives « juste à temps » ou "Just in time adaptive intervention" (JITAI). Cela comprend des interventions qui sont personnellement adaptées au patient. La prise en compte des données actives et passives sur les symptômes permet de développer des stratégies d'intervention personnalisées et en temps réel. Ce concept se base sur des méthodes statistiques et des algorithmes pour déterminer le moment opportun pour la délivrance d'une intervention, afin que celle-ci soit le plus efficace possible.

Les interventions délivrées sur des applications mobiles utilisent des concepts par exemple issus des thérapies cognitives et comportementales, afin de fournir des outils de santé fondés sur des preuves. Les TCC sont de plus en plus reconnues comme efficaces dans la schizophrénie, et de plus en plus de travaux de recherche se portent sur la capacité des smartphones à fournir une TCC. Les preuves de la TCC sur un smartphone dans la prise en charge de la schizophrénie restent limitées, mais les études ont montré l'efficacité des interventions délivrées par smartphone pour favoriser les comportements motivationnels et le maintien d'une bonne qualité de vie des patients atteints de schizophrénie (Torous, Firth, et al., 2017).

Les interventions EMI peuvent également être délivrées via les médias sociaux, notamment chez les patients jeunes atteints de schizophrénie, en favorisant la récupération fonctionnelle et en atténuant les symptômes négatifs grâce à un réseau de soutien personnalisé.

Les symptômes négatifs peuvent être ciblés, le retrait social, les consommations de cannabis, le degré de croyance dans les symptômes positifs, les retentissements émotionnels et comportementaux des symptômes psychotiques. (Bucci et al., 2018)

Chez les patients souffrant de schizophrénie, les messages-guides peuvent faciliter l'acceptation et l'adaptation aux symptômes positifs persistants, ou bien stimuler le patient pour lutter contre les symptômes négatifs, améliorer le fonctionnement au

quotidien ou permettre un renforcement de l'apprentissage des compétences par l'éducation thérapeutique.

Un contenu multimédia peut être proposé aux patients, avec des supports audio et vidéo basés sur des techniques de relaxation ou de pleine conscience, accessibles sur les applications.

Dans la plupart des études, les taux d'abandon étaient faibles et l'observance quant aux interventions était modérée à élevée, et il a été retrouvé une bonne acceptabilité et une bonne faisabilité de l'EMI dans la prise en charge des troubles psychotiques. Des essais contrôlés doivent encore être réalisés pour étendre plus largement ces dispositifs chez les patients souffrant de troubles psychotiques. Il a été démontré que les sujets souffrant de schizophrénie sont intéressés et présentent une bonne acceptabilité concernant les rappels par SMS sur l'observance thérapeutique envoyés sur leurs smartphones (Bell et al., 2017).

Une autre fonctionnalité concerne le soutien « in-app » lorsque les patients estiment qu'ils nécessitent une aide immédiate. L'application peut offrir la possibilité d'entrer en contact avec un réseau social de proches ou de professionnels de santé mentale, ou en contactant une liste de contacts préalablement identifiés par les patients.

II.4.2. Exemples d'applications concernant les EMI

1er exemple :

Une application pour smartphone, appelée Motivation and Skills Support (MASS), a fourni un soutien ciblé en matière d'objectifs sociaux (se faire de nouveaux amis, améliorer les relations existantes) chez 31 participants atteints de schizophrénie. L'application a été utilisé par les participants pendant 8 semaines. L'application MASS a été personnalisée au cours d'une réunion d'orientation avec le participant afin que le soutien aux objectifs soit spécifique à l'objectif social identifié par chaque participant, sélectionné dans une liste d'objectifs disponibles établie par l'équipe de recherche. Cet objectif social a ensuite été programmé dans l'application. Le contenu de l'intervention a été diffusé deux fois par jour, 7 jours par semaine pendant 60 jours, par le biais de notifications automatiques. Les données cliniques et les résultats ont été recueillis à trois reprises, au départ (avant l'intervention), à la fin de l'intervention de 8 semaines (fin du traitement) et 3 mois après la fin du traitement (suivi). Les éléments clés comprenaient des outils pour traiter les problèmes d'aptitudes sociales en relation avec la progression des objectifs dans la vie quotidienne, ainsi qu'un soutien structuré des objectifs sociaux et un feedback pour traiter les déficiences de motivation sociale qui interfèrent avec la formation et le maintien des liens sociaux, qui étaient les cibles principales de l'intervention. Des éléments de la thérapie cognitivo-comportementale étaient inclus, y compris l'autosurveillance de la progression vers les objectifs sociaux et les évaluations sociales (c'est-à-dire les perceptions de la compétence sociale lors d'interactions récentes). Par exemple, lorsque les participants signalaient un manque de motivation pour atteindre leur objectif social, l'application leur rappelait les expériences sociales positives vécues lors d'interactions antérieures. Ces éléments s'inspirent des modèles de déficience motivationnelle qui suggèrent que les difficultés à accéder aux souvenirs d'expériences positives antérieures peuvent interférer avec la volonté d'atteindre des objectifs. L'application a fourni également des déclarations de validation et d'encouragement pour augmenter le plaisir anticipé des expériences sociales futures. L'utilisateur pouvait choisir un contenu vidéo conçu pour fournir une modélisation de la communication efficace dans des contextes réels. Les vidéos comprenaient deux paires d'acteurs (un homme et une femme dans chaque paire)

démontrant huit compétences sociales primaires (par exemple, l'écoute active, le partage de sentiments agréables ou désagréables).
Le faible taux d'abandon de l'étude et les niveaux élevés d'engagement dans l'application suggèrent que cette intervention mobile autonome était réalisable. En outre, l'intervention mobile MASS s'est avérée prometteuse pour répondre aux besoins sociaux des personnes atteintes de schizophrénie, avec des augmentations significatives du résultat principal, le fonctionnement social autodéclaré, tel que mesuré par l'échelle de fonctionnement social SFS (Social Functioning Scale) (Birchwood et al., 1990) entre le début et la fin du traitement. Il s'agit de la première étude à démontrer qu'une intervention mobile autonome peut être efficace pour améliorer le fonctionnement social des personnes atteintes de schizophrénie. (Fulford et al., 2021)

2ème exemple :

Dans cette étude 38 personnes atteintes de schizophrénie ont participé à un essai contrôlé randomisé de 12 semaines pour déterminer l'efficacité de PRIME, une intervention de santé numérique basée sur smartphone conçue pour améliorer la motivation et la qualité de vie. (Schlosser et al., 2018) Dans le cadre de PRIME, les participants ont travaillé à l'atteinte d'objectifs qu'ils avaient eux-mêmes définis, avec le soutien d'une communauté virtuelle de pairs atteints de troubles schizophréniques de même âge, ainsi que de coachs de motivation. PRIME a mis à la disposition des utilisateurs des coachs de motivation, des cliniciens qui utilisent des interventions fondées sur des preuves tirées de la TCC, de l'activation comportementale, de la pleine conscience et de la psychoéducation pour aider les participants à surmonter les obstacles quotidiens qui entravent la progression vers leurs objectifs et à améliorer les résultats en matière de santé. En outre, la communauté PRIME a fourni une plateforme permettant aux utilisateurs d'interagir les uns avec les autres. Les utilisateurs peuvent s'envoyer des messages directement entre eux et peuvent également capturer et partager des moments positifs et spontanés de leur vie quotidienne avec l'ensemble de la communauté PRIME. Les participants ont créé un compte PRIME et ont sélectionné des objectifs à long terme dans une liste de 36 éléments, dont des objectifs tels que "approfondir ma relation avec ma famille" et "me sentir plus détendu". Cela a déclenché l'affichage de brefs défis (pouvant être réalisés en une journée) qui

contribuaient à cet objectif, tels que "proposer d'aider un membre de la famille à effectuer une tâche, comme les courses ou le ménage" ou "inviter un membre de la famille à faire quelque chose d'amusant avec vous". Chaque objectif à long terme contenait en moyenne plus de 15 suggestions de défis. Les participants consultaient séquentiellement ces défis suggérés et avaient la possibilité de créer un défi personnalisé, qu'ils pouvaient saisir manuellement. Les participants visualisaient les défis suggérés un par un et, au fur et à mesure qu'un participant relevait plusieurs défis pour le même objectif, la séquence s'adaptait pour afficher des options plus ambitieuses. Les suggestions allaient de "écouter de la musique relaxante pendant cinq minutes..." à "aller à un cours de yoga...", mais les participants pouvaient toujours visualiser et sélectionner les défis les plus faciles à réaliser. Les participants recevaient des rappels automatiques des défis et indiquaient quand ils avaient terminé les défis qu'ils avaient sélectionnés. Une fois les défis terminés, les participants avaient la possibilité de publier rapidement un "moment d'accomplissement" qu'ils partageaient avec leur coach et la communauté PRIME. L'atteinte des objectifs était mesurée par le nombre de défis réalisés dans chaque domaine d'objectif.

Cette étude a démontré que PRIME est une intervention faisable, acceptable et efficace pour améliorer l'humeur et la motivation chez des patients souffrant de schizophrénie. Le taux de rétention global de 74% pour le traitement (et de 88% après l'intervention), a démontré que cette intervention était très bien tolérée. Les participants ont évalué leur satisfaction globale à l'égard de PRIME de manière très élevée, ce qui a été démontré par le degré d'engagement observé dans l'application. Les participants, en moyenne, ont utilisé PRIME un peu plus de 4 jours par semaine et ont envoyé plus de 5000 messages aux coachs et environ 500 à leurs pairs. De nombreux participants ont noté que c'était la première fois qu'ils voyaient ou interagissaient avec d'autres patients atteints de schizophrénie, et ils ont particulièrement apprécié de pouvoir bénéficier d'un coaching à la demande. Les utilisateurs de PRIME ont connu des améliorations significativement importantes après l'essai dans la dépression auto-déclarée (mesurée par la Beck Depression Inventory II), les croyances défaitistes, la motivation sociale, le plaisir ressenti (mesurés par l'échelle Motivation and Pleasure-Self Report scale MAP-SR (Llerena et al., 2013)) et dans l'auto-efficacité (mesurée avec l'échelle Revised Self-Efficacy Scale R-SES (McDermott, 1995)), et ces améliorations ont été maintenues 3 mois après la fin de l'essai (Schlosser et al., 2018).

II.5. Exemples d'applications combinant différents types de phénotypage numérique

1er exemple : Données passives et EMA

Une plateforme numérique (Nordic Thingy) a été développée et fournie à un patient souffrant de schizophrénie (Spencer Roux) pour que ce dernier puisse participer à la conception d'un dispositif digital recherchant un lien entre la qualité de l'air et le nombre d'hallucinations auditives qu'il perçoit au quotidien. (Vaidyam et al., 2020) Ce cas a donc été co-écrit avec un patient, curieux de l'impact de divers aspects environnementaux sur sa santé mentale.

Cette plateforme numérique possède de nombreux capteurs, permettant de recueillir des informations sous la forme de données passives sur la température, le taux d'humidité de l'air, la qualité de l'air, la pression atmosphérique, la luminosité ambiante, un système de localisation GPS, une antenne de radiofréquence, un baromètre, un altimètre, un détecteur de mouvements. Cette plateforme numérique était reliée au smartphone du patient. En parallèle, le patient pouvait signaler l'apparition d'hallucinations auditives par un dispositif EMA, le patient disposait d'un compteur de points numérique dont il pressait le bouton à chaque hallucination auditive ressentie. Le patient a conservé ces dispositifs pendant une semaine.

Bien que les résultats n'aient pas montré de relation significative entre la qualité de l'air et les hallucinations auditives, cette expérience met en avant le potentiel d'innovation de technologies numériques en matière de santé mentale, en faisant participer au développement de l'outil digital un patient souffrant de schizophrénie. (Vaidyam et al., 2020)

2ème exemple : EMA et EMI

L'application MATS (Mobile Assessment and Treatment for Schizophrenia) a utilisé des méthodes de surveillance ambulatoire et des interventions de thérapie cognitivo-comportementale pour évaluer et améliorer les résultats chez 55 patients atteints de

schizophrénie par le biais de messages sur téléphone portable dans trois domaines d'interventions ciblant l'adhésion aux médicaments, la socialisation et les hallucinations auditives. (Granholm et al., 2012) Les participants ont reçu jusqu'à 840 messages sur une période d'intervention de 12 semaines. Les messages ont été envoyés quotidiennement aux participants. L'objectif était d'échantillonner de manière adéquate le comportement quotidien et d'intervenir assez fréquemment pour avoir un impact potentiel sur les résultats visés, sans surcharger les patients avec des messages chronophages. Les interventions par messagerie incorporaient des techniques de TCC. Les pensées concernant les médicaments, la socialisation et les voix étaient sollicitées ("Pensez-vous que vos voix sont puissantes ?"), et les messages suivants encourageaient les participants à remettre en question les croyances inutiles ("Peut-être que vos voix ne peuvent pas vraiment faire ce qu'elles disent") et à tenter une expérience comportementale ("Essayez de les ignorer et voyez ce qui se passe"). Les preuves utilisées pour remettre en question les croyances négatives comprenaient des informations personnalisées fournies par le participant. Au cours d'un entretien de référence, l'évaluateur qui a effectué les évaluations de recherche a posé une série de questions standards pour obtenir des informations personnalisées à utiliser dans les messages. Il a été demandé aux participants de signaler au moins un avantage des médicaments et de la socialisation, ainsi qu'une stratégie d'adaptation qui réduisait la fréquence ou la détresse liée aux voix ("Quel est un avantage ou un point positif de la prise de vos médicaments ?", "Qu'est-ce que vous aimez faire pour vous amuser avec d'autres personnes ?", "Que faites-vous pour vous aider à faire face aux voix ?"). Ces informations ont été utilisées pour créer des messages personnalisés. Pour l'adhésion aux médicaments, les messages étaient les suivants : "Vous avez dit que prendre des médicaments vous a aidé". Pour le fonctionnement social, le message était "Vous avez dit que (activité sociale personnelle agréable) était amusante". Pour les hallucinations auditives, le message était "Vous avez dit que (stratégie d'adaptation efficace personnalisée) vous aidait". Une fois le contenu saisi, les interventions étaient envoyées automatiquement par un serveur sécurisé à distance.

Cet essai pilote de l'intervention MATS a démontré que les évaluations et les interventions par messages sont réalisables pour de nombreux patients atteints de schizophrénie. Notamment, le taux moyen de réponses valides pour les trois domaines d'intervention était de 83 % à 86 % chez les participants qui ont suivi l'intervention

MATS pendant plus de deux semaines, et la grande majorité des téléphones (86 %) ont été retournés à la fin de l'essai sans incident ni dommage. L'intervention MATS a également été efficace pour améliorer l'adhésion aux médicaments, la socialisation et les hallucinations auditives de manière significative pour de nombreux consommateurs (Granholm et al., 2012).

3ème exemple : Données passives et EMA

Cette étude portait sur un outil recueillant des données passives d'enregistrement audio associé à une méthode d'EMA évaluant les émotions momentanées chez 38 patients souffrant de schizophrénie et 36 sujets contrôles, afin d'éclaircir la relation entre le fonctionnement social et les émotions ressenties et d'identifier les déficits sociaux et émotionnels dans la schizophrénie dans un environnement écologique. (Abel et al., 2021) L'EAR (enregistreur activé électroniquement) est une application pour smartphone permettant de recueillir des enregistrements audio d'interactions sociales dans le monde réel. Les participants ont porté le dispositif EAR pendant deux jours. L'EAR a été programmé pour enregistrer pendant 5 minutes toutes les 90 minutes de six heures à minuit, ce qui donne deux heures de données audio pour chaque participant. Les sujets ont reçu pour instruction de porter le dispositif dans un étui de protection fixé à l'extérieur de leurs vêtements (par exemple, ceinture, poche de chemise, poche de pantalon) pendant les deux jours. Les sujets ne savaient pas quand les enregistrements auraient lieu. Des mesures de protection ont été mises en place pour préserver la confidentialité (les sujets pouvaient retirer le dispositif d'écoute électronique à tout moment s'ils ne souhaitaient pas être enregistrés, les sujets pouvaient entendre et supprimer les enregistrements qu'ils ne souhaitaient pas partager avec l'équipe de recherche et le dispositif d'écoute électronique comportait un panneau avertissant les autres personnes qu'il pouvait enregistrer. Moins de 1 % des fichiers ont été supprimés par les participants. Les évaluations des comportements sociaux ont été codées à partir des enregistrements audio. Plus précisément, la fréquence des interactions sociales et la qualité de ces interactions ont été codées à l'aide d'un système de codage standardisé (le Social Environment Coding of Sound Inventory). Les interactions sociales ont été calculées comme la fréquence des enregistrements où les sujets parlent avec une autre personne pendant l'intervalle de

cinq minutes (0 : pas d'interaction ; 1 : interaction). Ainsi, une interaction était le maximum codé pour un seul enregistrement de 5 minutes de l'EAR. La qualité des interactions a été déterminée sur la base du contenu des conversations. Les interactions de « haute qualité » impliquaient la participation à une conversation personnelle et substantielle (c'est-à-dire la divulgation par le sujet de ses pensées et opinions ou de révélations personnelles ou émotionnelles), les interactions de « faible qualité » n'impliquaient aucune conversation, des propos pratiques ou des propos anodins. La qualité des interactions était une variable dichotomique (0 : interaction de faible qualité ; 1 : interaction de haute qualité). L'enregistrement entier recevait un "1" si les participants avaient réalisé une interaction de haute qualité à n'importe quel moment de l'intervalle de 5 minutes.

Pour la partie EMA, des « journaux sociaux » ont été utilisés. Ces journaux sociaux sont des évaluations sur papier où les sujets rendent compte de leurs activités tout au long de la journée. Les sujets ont rempli le journal à chaque heure pendant les deux jours où ils ont porté le EAR. À chaque intervalle, les sujets notaient ce qu'ils faisaient et évaluaient leur niveau d'émotions positives et négatives pendant cette activité. Les évaluations des émotions ont été faites sur une échelle en sept points (0 : aucun sentiment positif ou négatif, 6 : un sentiment positif ou négatif extrême), les scores les plus élevés indiquant des niveaux plus élevés d'émotions positives ou négatives.

Les résultats ont retrouvé que les deux groupes ont chacun interagi au même rythme et ont présenté des niveaux similaires d'émotion positive. Le groupe de patients souffrant de schizophrénie a présenté des interactions de qualité significativement inférieure et a rapporté plus d'émotions négatives que les témoins. Le contexte social ou non social n'a pas influencé les émotions ressenties dans les deux groupes. Bien que les personnes atteintes de schizophrénie n'aient pas différé dans le nombre d'interactions, elles ont été moins susceptibles de s'engager dans des conversations personnelles et substantielles, suggérant que le dysfonctionnement social dans la schizophrénie ne résulte pas d'un manque d'interaction, mais plutôt de déficits dans les échanges de niveau plus profond (Abel et al., 2021).

III. Intérêts, limites et perspectives du phénotypage numérique

III.1. Intérêts du phénotypage numérique

Le fait que les patients souffrant de schizophrénie puissent avoir accès à des outils facilitant la compréhension, l'évaluation et d'une certaine façon la maitrise de leurs symptômes s'intègre aux principes de la réadaptation psychiatrique et du rétablissement. Le phénotypage numérique semble donc prometteur pour permettre aux patients atteints de schizophrénie de maintenir un lien avec les soins entre deux consultations ou hospitalisations, d'améliorer leur adhésion aux soins et promouvoir leur autonomie, ainsi que permettre au clinicien d'accéder à plus d'informations dans le but d'améliorer la prise en charge des patients, et d'intervenir lorsqu'un risque de rechute est identifié, par exemple en proposant une consultation d'urgence ou une hospitalisation. Le phénotypage numérique pourrait permettre des diagnostics plus précis et des résultats plus exacts, comparable à ce qu'apportent l'HbA1c ou le cholestérol sérique dans d'autres spécialités médicales. Le phénotypage numérique pourrait servir de "détecteur de fumée" en donnant accès à des signaux précoces de rechute (Insel, 2018).

Comme nous l'avons vu, les patients souffrant de schizophrénie adhèrent à ces technologies, et un certain nombre acceptent de s'impliquer dans le développement d'applications, le partage de leurs expériences semblent essentielle à la mise en place d'outils numériques ciblant leurs symptômes et leurs besoins.

Au cours des travaux de recherche, favoriser l'utilisation des smartphones des patients plutôt que des téléphones d'étude prêtés peut limiter certains facteurs de confusion concernant la surveillance des comportements, car les sujets peuvent utiliser les téléphones prêtés différemment de leurs propres téléphones.

Les applications de santé mentale peuvent avoir pour objectif dans une certaine mesure de contourner des obstacles financiers dans l'accès aux soins, le manque de professionnels disponibles, et de limiter les coûts indirects liés à la recherche de

traitement (Leigh & Flatt, 2015). Les applications de santé sont relativement peu coûteuses à développer, et sont non excluables les unes aux autres en termes de consommation, c'est-à-dire que lorsqu'un patient utilise une application, cela n'empêche pas d'autres patients d'utiliser la même application au même moment (Leigh & Flatt, 2015). Il semble donc important que les outils de phénotypage numérique continuent de démontrer un rapport coût-efficacité favorable et fassent preuve de leur rentabilité afin d'être étendues à grande échelle, et d'être intégrées dans les systèmes de soins existants.

Le phénotypage numérique peut donc permettre d'élargir les soins en santé mentale, dans un domaine donc où les soins sont parfois difficiles à dispenser. Est-ce que le phénotypage numérique pourra s'étendre de la même façon que la télémédecine s'est installée ces dernières années ? Le développement considérable du phénotypage numérique en santé mentale pourrait tirer parti de l'attrait des adolescents et jeunes patients pour les nouvelles technologies. D'autre part, le phénotypage numérique pourrait être utilisé pour évaluer l'efficacité de certaines prises en charge, par exemple les thérapies de neurostimulation comme la rTMS et la tDCS.

Néanmoins, les pathologies psychiatriques et notamment la schizophrénie nécessitent une prise en charge pluridisciplinaire et ne peuvent pas être uniquement résolues par le développement d'une nouvelle technologie, ainsi le phénotypage numérique peut être pensé comme un outil supplémentaire et non comme un substitut.

III.2. Limites du phénotypage numérique

Le phénotypage numérique représente une approche prometteuse pour améliorer la pratique clinique en psychiatrie. Cependant, ces dispositifs doivent être évalués avec un regard critique et certains obstacles à leur utilisation doivent être identifiés. Leur efficacité est encore en cours d'évaluation en multipliant les travaux de recherche, cependant leurs limites potentielles sont à prendre en considération, car leur mise en œuvre en pratique clinique reste un défi (Mohr et al., 2017).

Quelle est la limite entre la mesure et la surveillance ? Est-ce que la collecte de données est perçue comme trop intrusive par les patients ? Quelle garantie peut-on fournir aux patients que les données numériques collectées seront effectivement protégées ? Le consentement des patients est bien sûr une condition indispensable à la collecte des données, mais y a-t-il une compréhension totale des patients sur la manière dont ces données seront utilisées ?

Le phénotypage numérique a le potentiel de faire des smartphones des outils de précision en psychiatrie, mais le fait qu'une application suscite un intérêt ou soit téléchargée ne garantit pas qu'elle sera utilisée, en effet une enquête a retrouvé que 85% des sujets inclus présentaient un intérêt pour l'utilisation d'applications de santé, mais seulement 17% d'entre eux en avaient déjà utilisé une (Ramirez et al., 2016). Une autre étude, réalisée en 2019, s'est penchée sur les taux d'engagement concernant les applications de santé mentale, et a retrouvé que 90% des utilisateurs arrêtent d'utiliser les applications dans les 10 jours après les avoir téléchargées (Baumel et al., 2019).

En parallèle, il est important de prendre en compte les incitations à l'engagement de l'utilisateur, ainsi que le contact avec le clinicien. Il a donc été démontré que l'utilisation des applications de santé mentale diminue avec le temps, mais les explications concernant ce phénomène chez les patients atteints de schizophrénie ne sont pas connues. Il parait néanmoins nécessaire de considérer si les participants ont été rémunérés ou non au cours des études sur l'utilisation de smartphones, afin d'évaluer si les patients ont utilisé le dispositif car cela les intéressait ou bien s'ils ont été payés pour le faire ou ont perçu un quelconque bénéfice matériel. Par exemple, certains

patients peuvent garder les smartphones et capteurs portables à la fin de l'étude pour les encourager à y participer (Torous, Firth, et al., 2017).

On peut se demander si la surveillance en continue et notamment le fait d'être régulièrement interrompu par des notifications provenant des smartphones risque d'altérer le fonctionnement habituel des patients et biaiser les données recueillies. De plus, dans quels contextes les patients utilisent ou utiliseront ces outils numériques ? Certains environnements peuvent être bruyants à tel point qu'ils empêchent d'entendre les notifications ou d'utiliser les smartphones. Il semble également important de considérer certains impacts que l'utilisation des smartphones peut avoir sur les comportements sociaux (passer du temps sur son smartphone plutôt que d'interagir avec les autres), scolaires (dégradation du niveau d'orthographe) ou addictifs (difficulté à se passer de son smartphone) (Gorwood, 2017).

Les limites du phénotypage numérique doivent être continuellement évaluées, d'autant plus que les travaux de recherche sur le phénotypage numérique ne se sont pas penchés sur les éventuels effets indésirables de ces dispositifs, ce qui semble nécessaire pour évaluer la sécurité de leur utilisation (Bucci et al., 2018) (Gumley et al., 2020).

De nouveaux travaux en collaboration avec des personnes atteintes de schizophrénie seront encore nécessaires pour développer des nouvelles applications adaptées et répondant aux besoins des utilisateurs (Killikelly et al., 2017).

III.3. Réticences des patients et des médecins au phénotypage numérique

L'adoption des dispositifs de phénotypage numérique peut être freinée par différents obstacles qui ont été identifiés aussi bien concernant les patients que les professionnels de santé. Ces réticences peuvent se porter sur l'efficacité des applications, ou bien sur la protection de la vie privée. Le niveau de confiance aussi bien des patients que des professionnels de santé envers les applications de santé reste faible, surtout concernant le risque de partage des données avec des entreprises externes (Ghafur et al., 2020). Les cliniciens sont conscients des avantages que représentent les dispositifs numériques de santé mais sont néanmoins préoccupés par différents facteurs, comme la sécurité des applications donc, et également le risque de rupture de l'alliance thérapeutique (Lattie et al., 2020).

L'omniprésence croissante de la technologie dans le quotidien des patients peut faire craindre une dépendance excessive à l'égard des smartphones ou bien que les outils numériques ne prennent la place des évaluations et des soins dispensés par les professionnels de santé. Ces questionnements doivent être pondérés par le potentiel que la technologie apporte pour améliorer les soins afin de percevoir ces outils comme un supplément aux prises en charge habituelle. Certaines réticences sont basées sur le fait que le smartphone serait plus un problème qu'une solution en santé mentale, en « kidnappant notre attention » et en nous éloignant des interactions avec le monde réel (Insel, 2018).

Le développement de nombreux outils numériques depuis plusieurs années peut constituer un défi pour les professionnels de santé. Les programmes de formation médicale abordent rarement le domaine du numérique, ainsi les professionnels risquent de spontanément moins avoir recours à ces dispositifs dans leur pratique quotidienne. Intégrer le numérique en santé mentale auprès des professionnels peut nécessiter de mettre en place des programmes d'éducation et de formation (Wisniewski et al., 2020) (L. Hoffman et al., 2020). Aux États-Unis, il a été retrouvé que proposer aux cliniciens une formation sur l'utilisation des applications concernant les soins en santé mentale a permis de doubler le nombre de références à l'utilisation de

ces applications, passant de 20 000 en janvier 2020 à plus de 44 000 en mai 2020 (Mordecai et al., 2021).

Un autre obstacle subsiste, celui d'inclure les dispositifs numériques dans le flux de travail clinique des professionnels de santé, certes le téléchargement d'une application sur un smartphone ne pose que peu de difficultés mais encore faut-il que son utilisation puisse ensuite faire partie intégrante des prises en charge (Rodriguez-Villa et al., 2020) (Graham et al., 2020). Un des objectifs du phénotypage numérique consiste à mettre en lien les données recueillies par les applications avec les dossiers médicaux informatisés, afin que ces données s'intègrent au reste des informations médicales des patients. La nécessité de maintenir une interopérabilité concernant les technologies de santé mobile a été soulignée par un rapport de l'Office of the National Coordinator for Health Information Technology, qui appelle à une meilleure intégration des applications pour smartphone et dispositifs portables avec les systèmes de dossiers médicaux (Torous, Firth, et al., 2017). Néanmoins, une étude datant de 2020 a montré que seulement 1% des patients d'un grand hôpital ont accepté de relier les données de l'application utilisée à leur dossier médical (Gordon et al., 2020).

L'utilisation du numérique en santé mentale nécessite de repenser l'organisation des équipes de soins, par exemple en intégrant un nouvel intervenant, un « navigateur numérique » dont le rôle serait d'aider à la fois le clinicien et le patient à utiliser le dispositif numérique au quotidien et gérer les éventuels problèmes techniques liés à la technologie. Ce navigateur numérique pourrait donc assister le patient pour l'installation et l'utilisation de l'application, aider le patient à cibler quels outils numériques correspondent à ses besoins cliniques spécifiques, et éventuellement synthétiser et résumer les données une fois recueillies pour les présenter au clinicien et au patient (Wisniewski & Torous, 2020).

III.4. Enjeux éthiques

Les opportunités du phénotypage numérique sont assorties d'un défi éthique. Étant donné que les informations numériques sont essentiellement transmises et stockées via Internet, collecter des données personnelles auprès des patients soulève de nombreux questionnements, concernant par exemple la confidentialité de ces données, afin qu'elles soient effectivement utilisées pour aider les patients et non pas pour les surveiller. Une vigilance particulière est donc portée sur le respect de la vie privée et sur la dimension éthique dans ce paysage du numérique en santé mentale à mesure qu'il évolue. Avec qui ces données sont-elles partagées, comment les consommateurs, les cliniciens, les financeurs, les gouvernements et les parties prenantes de l'industrie développent-ils les meilleures pratiques pour la santé numérique dans l'espace de la santé publique ? Comment faire pour que la technologie de la santé numérique soit sécurisée ? Développer et mettre sur le marché des applications sans normes de sécurité adaptées expose les patients à ce que leurs informations privées soient divulguées publiquement, et cela risque d'altérer la confiance des patients dans ces outils numériques. En 2021, le magazine Consumer Reports a publié un rapport mettant en évidence que les applications numériques de santé mentale présentaient de nombreuses failles dans la protection de la vie privée des patients, notamment que les législations sur la protection de la vie privée étaient insuffisantes (*Mental Health Apps Aren't All As Private As You May Think*, s. d.).

Le concept de phénotypage numérique est parfois interprétée comme minimisant ou se substituant au rôle de l'intervention humaine (Balaskas et al., 2021), ainsi la question de ne pas déshumaniser la psychiatrie par le phénotypage numérique se pose. D'autant plus que le soutien humain, en parallèle de l'utilisation des applications, contribue de manière plus importante à améliorer l'engagement dans les soins (Linardon et al., 2019). L'objectif du phénotypage numérique étant de rapprocher le patient du professionnel de santé et non pas de l'en éloigner. Le développement de nouvelles technologies en santé mentale doit évidemment se faire dans l'intérêt des patients et la mise en place de ces outils numériques de précision ne doit pas aboutir à une médecine uniquement algorithmique.

Un intérêt croissant est porté sur le développement conjoint de dispositifs numériques en santé mentale avec les utilisateurs finaux en impliquant des patients, ce qui semble important aussi bien éthiquement que pour la validité des résultats cliniques, et dans l'objectif que ces outils soient le plus proche possible des besoins des personnes qu'elles sont censées aider (Morton et al., 2020) (Hetrick et al., 2018).

Ces questions restent des opportunités et des besoins de recherche cruciaux pour l'avenir du phénotypage numérique.

III.5. Faciliter l'accès au phénotypage numérique en tenant compte des inégalités

Une autre limite doit être évaluée, celle de l'accessibilité de ces dispositifs pour tous les patients, notamment les plus fragiles.

Les disparités économiques en matière d'accès aux smartphones s'estompent (Gorwood, 2017) et les dispositifs numériques ont le potentiel d'élargir l'accès aux soins dans les pays à faibles revenus, dans lesquels les infrastructures et les investissements en santé mentale sont moins importants, afin de réduire les écarts en termes d'égalité des soins (Rudd & Beidas, 2020).

Cependant, notamment aux États-Unis, l'accès aux smartphones est semble-t-il plus limité chez les personnes plus âgées, en effet les sujets de moins de 30 ans représentent souvent une grande partie des échantillons dans les études sur les applications de soins (Krebs & Duncan, 2015). L'accès aux smartphones est également plus limité chez les personnes avec un niveau d'éducation plus bas, et d'origines hispanique ou afro-américaine (Roberts & Mehrotra, 2020).

D'autres fractures concernant l'utilisation des applications demeurent, notamment celles liées aux difficultés de communication et d'utilisation des interfaces numériques peuvent constituer une source d'inégalités. Par exemple, les handicaps moteurs et sensoriels, les troubles cognitifs liés à la pathologie ou au vieillissement, les difficultés de lecture, d'écriture, d'alphabétisation technologique peuvent faire obstacle à l'utilisation des applications. Ces facteurs sont à prendre en compte afin que les patients les plus vulnérables puissent également avoir accès à ces avancées technologiques, en ayant par exemple accès à des formations pour leur fournir les compétences nécessaires pour utiliser ces applications (Fischer et al., 2020) (Szinay et al., 2020). Par exemple, il existe des programmes de formation permettant aux patients d'apprendre à utiliser les dispositifs numériques, notamment le programme Digital Outreach for Obtaining Resources and Skills (DOORS), avec des formations en ligne et en présentiel (L. Hoffman et al., 2020).

IV. Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : MIMO

IV.1. Introduction

Les hallucinations auditives sont fréquentes, retrouvées chez près de 70% des patients souffrant de schizophrénie (Zhuo et al., 2019). Elles sont souvent verbales, décrites comme « comme si on écoutait la voix d'autres personnes » (Zhuo et al., 2019). Elles sont associées à des niveaux élevés de détresse, de troubles comportementaux et d'altération de la qualité de vie (Nayani & David, 1996) (Shergill et al., 1998). Le contrôle des hallucinations constitue donc un défi important dans la prise en charge thérapeutique (Kim et al., 2019). La sévérité des hallucinations auditives est uniquement évaluée par des échelles d'hétéro-évaluation dans la pratique clinique quotidienne. Certaines d'entre elles évaluent la sévérité des symptômes positifs dont les hallucinations. Les plus connues sont la Brief Psychiatric Rating Scale (BPRS), la Psychiatric Symptom Assessment Scale (PSAS), la Positive and Negative Syndrome Scale (PANSS) et la Scale for the Assessment of Positive Symptoms (SAPS). D'autres hétéro-évaluations sont plus spécifiques aux hallucinations, comme l'échelle d'évaluation des symptômes psychotiques (PSYRATS) qui comprend onze items dédiés aux hallucinations auditives (Haddock et al., 1999), et l'échelle d'évaluation des hallucinations auditives (AHRS) qui évalue sept caractéristiques des hallucinations auditives (R. E. Hoffman et al., 2005). Ces derniers outils présentent un grand intérêt pour l'évaluation de l'efficacité des thérapies ciblant spécifiquement les hallucinations auditives, telles que les thérapies par neurostimulation. Cependant, ces hétéro-évaluations présentent certaines limites, dont la nécessité de faire appel à un clinicien formé pour mener l'entretien, la non prise en compte des fluctuations temporelles des hallucinations, et une évaluation basée sur la subjectivité de l'évaluateur. A ce jour, il n'existe pas d'échelle d'auto-évaluation des hallucinations auditives. Elles permettraient au patient de rapporter ses hallucinations au moment où elles surviennent et donc de prendre en compte leurs variations dans le temps. De plus, l'auto-évaluation améliore la reconnaissance des symptômes par le patient, et donc sa perspicacité et son implication dans le traitement, favorisant ainsi son autonomisation (Eisen et al., 2000). L'utilisation d'applications

mobiles est désormais banale et fait partie de la vie quotidienne de nombreuses personnes. En psychiatrie, les applications grand public ciblant les problèmes de santé mentale apparaissent de manière exponentielle sans que leur validité ne soit prouvée (Aledavood et al., 2019). Dans ce contexte, un dispositif numérique appelé MIMO, permettant au patient d'auto-évaluer ses hallucinations auditives, a été développé avec la société FORLAB à partir d'une échelle d'autoévaluation des hallucinations auditives verbales (SAVH, Self-evaluation of Auditory Verbal Hallucinations - Dollfus V1 - 2021). Cette échelle comprend 13 questions, dont 9 portent sur la fréquence, la sévérité, le contenu et l'impact des hallucinations. Chaque réponse donne lieu à un score. Le médecin ou l'investigateur dispose d'un retour en direct des scores d'auto-évaluation ainsi que de leurs évolutions temporelles. Ce dispositif permet au patient de s'auto-évaluer quand il le souhaite, pendant ou après une crise hallucinatoire ou lors d'une évaluation programmée. De plus, ce dispositif permet au patient de déclarer simplement une crise hallucinatoire lorsqu'elle survient sans nécessairement aller plus loin dans l'autoévaluation et en cliquant juste sur le bouton « Signaler une crise hallucinatoire » (Figure 1). Cela permet au patient de quantifier l'occurrence des épisodes hallucinatoires et de suivre leurs fluctuations dans le temps. Ainsi, l'auto-déclaration des épisodes hallucinatoires permet une évaluation plus précise de la fréquence des hallucinations. Cette évaluation peut être particulièrement pertinente lors de l'évaluation de nouvelles thérapies ciblant spécifiquement les hallucinations auditives ou plus généralement les symptômes positifs.

Figure 1 : Page de présentation de MIMO

Ainsi, cette étude vise à évaluer la satisfaction des patients concernant ce dispositif digital MIMO et à démontrer la faisabilité et l'acceptabilité de ce dispositif digital par les patients. Il s'agit d'une étude observationnelle de preuve de concept, ayant obtenu l'avis favorable du Comité Local d'Éthique de la Recherche en Santé (CLERS) de Caen en date du 06/07/2021.

IV.2. Matériel et méthodes

Participants :

D'avril 2022 à septembre 2022, 41 patients, hospitalisés ou non, diagnostiqués comme souffrant de schizophrénie ou de trouble schizoaffectif selon les critères du Manuel Diagnostique et Statistique des troubles mentaux (DSM-5) et présentant des hallucinations auditives verbales au moment de l'inclusion ou au cours de la semaine passée, ont été recrutés au sein du Groupement hospitalier de territoire Normandie centre et du Centre Hospitalier du Rouvray. Les autres critères d'inclusion de l'étude étaient d'être âgé de 18 à 70 ans, être affilié à un régime de sécurité sociale, être capable de comprendre le français parlé et écrit, donner son consentement éclairé et pour les patients majeurs protégés une information auprès des représentants légaux à été délivrée. Les critères de non-inclusion concernaient les patients n'ayant pas donné leur accord ainsi que les patients pour lesquels les représentants légaux se sont opposés à leur participation. Les participants ont été inclus dans l'étude au décours ou pendant une consultation psychiatrique au cours de laquelle les patients ont été informés des procédures de recherche, et les critères d'inclusion et d'exclusion ont été vérifiés.

Évaluations :

L'auto-évaluation avec le dispositif MIMO a été réalisée soit sur le smartphone du patient après qu'il ait téléchargé l'application, soit sur un smartphone dévolu à cette recherche. L'échelle d'autoévaluation des hallucinations auditives verbales (SAVH) comprend 13 questions dont les 9 dernières portent sur l'intensité, la fréquence, la durée de leur survenue, le contenu, l'impact sur les activités et leur caractère angoissant. Un score pour ces 9 derniers items (de zéro à 5 reflétant le degré de sévérité) et un score total (de zéro à 45) sont générés. Ces autoévaluations peuvent se faire à tout moment ou peuvent être programmées à date fixe. Ces 9 questions sont précédées de 4 questions simples précisant la présence d'hallucinations, le type (psychique ou psychosensorielle), et leur sévérité sur une échelle analogique allant de 0 à 10, ces mêmes questions étant posées lorsque le patient signale un épisode

Figure 2 : Suivi des scores par le patient

hallucinatoire. Après avoir signalé une crise, la personne peut poursuivre si elle le souhaite par les 9 autres questions. Cet auto-questionnaire peut être rempli par le patient lui-même en moins de 2 minutes lorsqu'il signale une crise ou en moins de 10 minutes lorsqu'il autoévalue ses hallucinations. Le patient peut visualiser l'évolution soit de ses crises hallucinatoires soit de ses auto-évaluations sur les 2 mois précédents (Figure 2). Le nombre de crises hallucinatoires par jour peut aussi être visualisé par la personne sur les 2 semaines précédentes. Un retour auprès du médecin (Back-office, Figure 3) est aussi effectué de manière automatique dès que le smartphone se connecte par Wi-Fi sur un réseau Internet ce qui permet au médecin de suivre aussi l'évolution des scores des hallucinations du patient. Au moment de l'évaluation, les patients ont pu télécharger l'application MIMO sur leur smartphone ou sur un smartphone qui leur a été remis et des explications sur l'utilisation de l'outil ont été fournies.

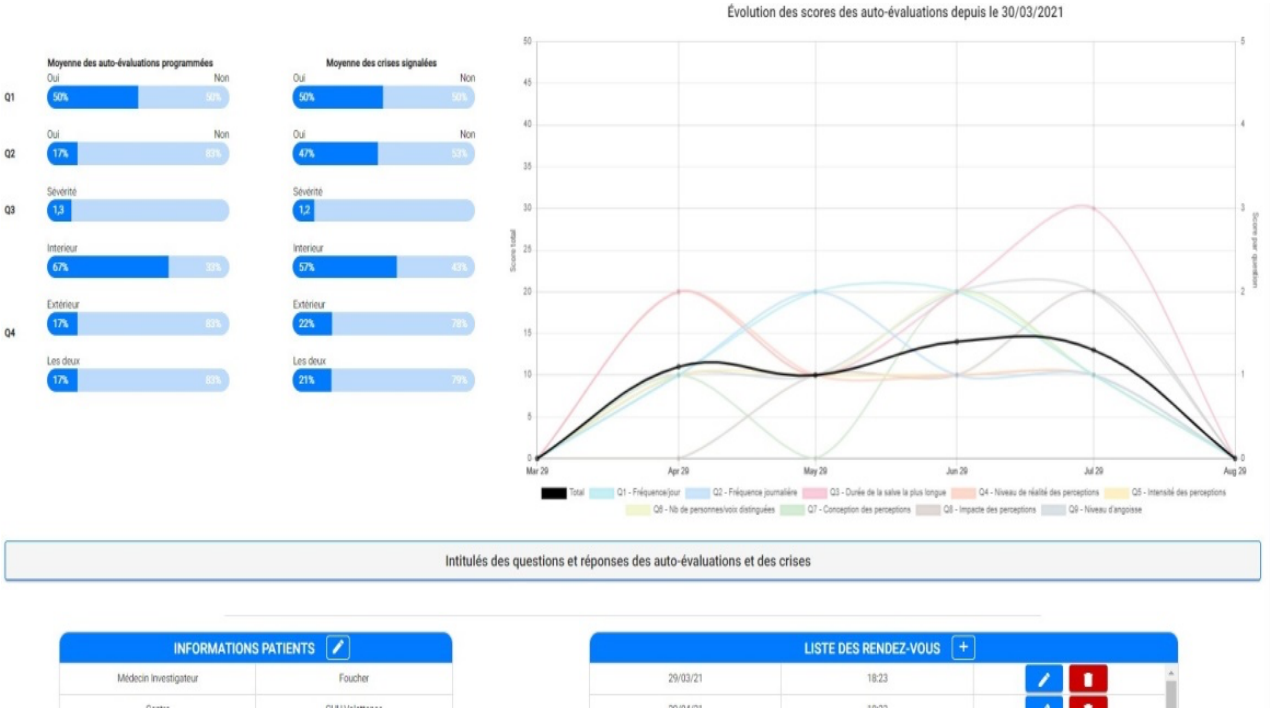

Figure 3 : Back-office

Suite à l'auto-évaluation sur l'application MIMO, les patients ont rempli un questionnaire de satisfaction avec l'évaluateur. Le questionnaire de satisfaction

comprenait une échelle visuelle analogique de 0 (« Pas du tout satisfait ») à 10 (« Très satisfait ») évaluant la satisfaction globale du patient concernant le dispositif digital MIMO, puis 22 questions réparties en plusieurs catégories : 4 questions sur les conditions d'utilisation de l'application, 3 questions sur l'acceptabilité, 5 questions sur le contenu de l'application, 3 questions sur l'impact du dispositif sur la santé mentale perçu par les patients, 1 question sur des éventuels commentaires ou remarques formulés par le patient sur son expérience avec l'application MIMO, suivi de 6 questions portant sur les déclarations des crises hallucinatoires, ces 6 dernières questions étant remplies uniquement par les patients ayant souhaité téléchargé et utilisé l'application chez eux dans leur environnement habituel.

A la suite du questionnaire de satisfaction, différentes échelles couramment utilisées en pratique clinique ont été administrées aux patients : la Brief Psychiatric Rating Scale (BPRS) (Overall et Gorham, 1962), l'Auditory Hallucination Rating Scale (AHRS) (Hoffman et al., 2005), la Birchwood Insight Scale (BIS) (Birchwood et al., 1994).

Analyses :

Des analyses statistiques descriptives ont été réalisées concernant les réponses des patients à l'échelle visuelle analogique du questionnaire de satisfaction, ainsi que sur les 22 autres questions du questionnaire de satisfaction et sur les données socio-démographiques des patients inclus. L'échelle visuelle analogique a été considérée comme une donnée quantitative, les paramètres étudiés étaient le nombre d'observations, le minimum, le maximum, le 1er quartile, la médiane, le 3ème quartile, la moyenne, la variance, l'écart-type et le coefficient de variation. Les autres questions du questionnaire de satisfaction étaient considérées comme des données qualitatives dont les résultats ont été donnés en pourcentage par rapport au nombre de patients inclus. Des analyses descriptives ont été effectuées également sur le sous-échantillon de patients ayant répondu à la partie du questionnaire portant sur la « Déclaration des crises hallucinatoires ».

IV.3. Résultats

Le tableau 1 présente les résultats des statistiques descriptives concernant les données socio-démographiques des patients inclus.

Variable	n	Moyenne (écart type SD) ou Pourcentage	[Min ; Max]	Médiane
Age (années)	41	39.195 (SD = 11.312)	[20 ; 62]	40
Sexe (pourcentage d'hommes)	41	63.4 %	-	-
Statut professionnel	41	Sans emploi : 80.49 % Emploi en milieu ordinaire : 12.20 % En formation: 7,31%	-	-
Diagnostic DSM-5	41	Schizophrénie : 82.93 % Trouble schizoaffectif : 14.63 % Premier épisode psychotique : 2,44%	-	-
Nombre d'années de scolarité	28	11.9 (SD = 2.16)	[7 ; 17]	11
Patients hospitalisés au moment de l'inclusion	41	56.1 %	-	-
Durée de la maladie (années)	40	12.513 (SD = 8.621)	[1.5 ; 32]	11
Patients ayant un traitement antipsychotique	41	95,12 %	-	-
Type de traitement antipsychotique	39	Atypique : 84,6 % Atypique et classique : 10,3 % Classique : 5,1 %	-	-

Tableau 1 : Données socio-démographiques des patients inclus.

L'âge moyen des patients inclus était de 39 ans. Les patients inclus étaient majoritairement des hommes (63,4%). La majorité des patients n'avaient pas d'emploi professionnel (80,49%), les autres étaient soit en formation (7,31%) soit avaient un emploi en milieu ordinaire (12.20 %). Les patients avaient en moyenne suivi une scolarité pendant 11,9 années. Concernant les diagnostics des patients inclus, la plus grande partie des patients étaient diagnostiqués schizophrènes (82.93 %), le reste des

patients souffrait d'un trouble schizoaffectif (14.63 %) ou d'un premier épisode psychotique (2,44%). Les patients avaient une durée de la maladie en moyenne de 12,5 années. Plus de la moitié des patients étaient hospitalisés au moment de l'inclusion (56.1 %). La plupart des patients avaient une prescription d'un ou plusieurs traitements antipsychotiques (95,12 %), parmi eux la majorité avaient en traitement antipsychotique atypique (84,6 %), une petite partie avaient à la fois un traitement antipsychotique atypique et un traitement antipsychotique classique (10,3 %) et une minorité avaient un traitement antipsychotique classique (5,1 %).

Le tableau 2 présente les résultats des statistiques descriptives concernant les questions avec des réponses à choix multiple du questionnaire de satisfaction MIMO effectuées lors de l'évaluation initiale, au moment de l'inclusion.

Questionnaire de satisfaction MIMO	**Item 1**	**Item 2**	**Item 3**	**Item 4**	**Item 5**
Sur quel support avez-vous utilisé cette application ? (Question 1) *1) Sur mon propre téléphone* *2) Sur ma tablette* *3) Support numérique prêté par l'institution* *4) Autre*	7.3 %	0 %	90.3 %	2.4%	-
Êtes-vous familier avec l'utilisation des applications sur smartphone ou tablette ? (Question 2) *1) Pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyen* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	26.8 %	12.2 %	7.3 %	29.3 %	24.4 %
Trouvez-vous cette application facile à utiliser ? (Question 3) *1) Très difficile* *2) Plutôt difficile* *3) Moyen* *4) Plutôt facile* *5) Très facile*	0 %	4.9 %	2.4 %	56.1 %	36.6 %
Avez-vous rencontré des problèmes techniques lors de la	0 %	2.4 %	0 %	4.9 %	92.7 %

mise en place de l'application ? (Question 4) *1) Très important, rendant impossible son utilisation* *2) Très important* *3) Moyen* *4) Un peu* *5) Aucun problème*					
Avez-vous des appréhensions quant à l'installation de cette application sur votre smartphone ? (Question 5) *1) Oui beaucoup* *2) Plutôt oui* *3) Cela m'est indifférent* *4) Plutôt non* *5) Non pas du tout*	4.9 %	34.1 %	4.9 %	19.5 %	36.6 %
Souhaiteriez-vous continuer à utiliser cette application ? (Question 6) *1) Non pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Cela m'est indifférent* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	9.8 %	17.1 %	2.4 %	43.9 %	26.8 %
Trouvez-vous l'utilisation de cette application contraignante ? (Question 7) *1) Oui beaucoup* *2) Plutôt oui* *3) Moyen* *4) Plutôt non* *5) Non pas du tout*	4.9 %	7.3 %	4.9 %	53.7 %	29.3 %
Trouvez-vous les questions adaptées à l'évaluation des hallucinations auditives ? (Question 8) *1) Non pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyen* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	0 %	2.4 %	7.3 %	61 %	29.3 %
Comment trouvez-vous la durée du questionnaire ? (Question 9) *1) Excessivement longue* *2) Trop longue* *3) Moyennement longue* *4) Un peu longue* *5) Adaptée*	0 %	0 %	12.2 %	19.5 %	68.3 %

Comment trouvez-vous la clarté des questions ? (Question 10) *1) Très difficile à comprendre* *2) Plutôt difficile à comprendre* *3) Moyennement difficile à comprendre* *4) Plutôt facile à comprendre* *5) Très facile à comprendre*	2.4 %	7.3 %	26.8 %	46.3 %	17.1 %
Cette application peut-elle vous être utile ? (Question 13) *1) Non pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyennement* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	4.9 %	9.8 %	19.5 %	46.3 %	19.5 %
Cette application peut-elle vous aider à être plus conscient de vos hallucinations auditives ? (Question 14) *1) Non pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyennement* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	7.3 %	7.3 %	12.2 %	51.2 %	22 %
Cette application peut-elle vous aider à atténuer les hallucinations ? (Question 15) *1) Non pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyennement* *4) Plutôt oui* *5) Oui beaucoup*	19.5 %	29.3 %	24.4 %	19.5 %	7.5 %

Tableau 2 : Questions avec des réponses à choix multiple du questionnaire de satisfaction MIMO, réalisées lors de l'inclusion.

Les 41 patients inclus ont répondu à ces 13 questions comportant des réponses à choix multiple.

<u>Les questions 1, 2, 3 et 4 portaient sur les conditions d'utilisation de l'application :</u>

La plus grande partie des patients (90.3 %) ont utilisé un support numérique prêté par l'évaluateur pour répondre aux questions de l'autoévaluation MIMO, tandis que 7.3 % ont utilisé leur propre téléphone et 2.4% ont utilisé un support autre.

Le degré de familiarité des patients avec l'utilisation d'applications sur smartphone est variable puisque 26.8 % ont déclaré n'être pas du tout familier avec l'utilisation

d'applications, alors que 29.3 % sont plutôt familiers et 24.4 % très familiers avec l'utilisation d'applications sur smartphone.
56.1 % des patients ont trouvé que l'application était plutôt facile à utiliser et 36.6 % ont trouvé que l'application était très facile à utiliser.
La plupart des patients (92.7 %) n'ont rencontré aucun problème technique lors de la mise en place de l'application.

Les questions 5, 6 et 7 portaient sur l'acceptabilité de l'application par les patients :
34.1 % des patients ont exprimé avoir plutôt des appréhensions quant à l'installation de l'application MIMO sur leur téléphone, tandis que 19.5 % n'avaient plutôt pas d'appréhensions et 36.6 % pas du tout d'appréhensions.
La majorité des patients auraient souhaité continuer à utiliser l'application MIMO car 43.9 % étaient plutôt favorables et 26.8 % étaient très favorables, alors que 17.1 % n'étaient plutôt pas favorables.
L'utilisation de l'application n'a pas été vécue comme contraignante car 53.7 % des patients l'ont trouvé plutôt pas contraignante à utiliser et 29.3 % pas du tout contraignante.

Les questions 8, 9 et 10 portaient sur le contenu de l'application MIMO :
61 % des patients ont considéré que les questions étaient plutôt adaptées à l'évaluation des hallucinations auditives et 29.3 % ont trouvé que les questions étaient très adaptées.
Concernant la durée du questionnaire, 12.2 % des patients l'ont trouvée moyennement longue, alors que 19.5 % l'ont trouvée un peu longue et 68.3 % l'ont trouvée d'une durée adaptée.
46.3 % des patients ont trouvé que les questions étaient plutôt faciles à comprendre, 26.8 % trouvaient que les questions étaient moyennement difficiles à comprendre et 17.1 % très faciles à comprendre.

Les questions 13, 14 et 15 concernaient l'impact sur la santé mentale :
La majorité des patients ont jugé que l'application MIMO pouvait leur être utile, précisément 19.5 % l'ont estimée très utile, 46.3 % plutôt utile et 19.5 % moyennement utile.

Les patients ont en majorité estimé que l'application MIMO pouvait les aider à être plus conscients de leurs hallucinations auditives, 51.2 % d'entre eux étaient plutôt en accord avec cela et 22 % tout à fait d'accord.
La plus grande partie des patients (29.3 %) a considéré que l'application ne pouvait plutôt pas les aider à atténuer les hallucinations auditives, contre 24.4 % qui ont estimé que l'application pouvait moyennement les aider à atténuer les hallucinations auditives, 19.5 % ont estimé que l'application ne pouvait pas du tout les aider à atténuer leurs hallucinations auditives et également 19.5 % ont estimé que l'application pouvait plutôt les aider à atténuer les hallucinations auditives.

Le tableau 3 présente les résultats des statistiques descriptives concernant les questions avec des possibilités de réponses ouvertes du questionnaire de satisfaction du dispositif MIMO effectuées lors de l'évaluation initiale, au moment de l'inclusion.

Questionnaire de satisfaction MIMO	**Item 1**	**Item 2**
Avez-vous rencontré des problèmes techniques lors de la mise en place de l'application ? (Question 4) *1) Oui* *2) Non*	7.3 % <u>Commentaires</u> : - « Connexion difficile avec Safari, pas de proposition pour installer l'application » - « Téléphone en veille en permanence avant la réponse » - « Difficultés avec les dispositifs d'application, ne sait pas comment cela fonctionne » - « Niveau faible »	92.7 %
Y a-t-il d'autres questions que vous auriez souhaité avoir dans cette application ? (Question 11) *1) Oui* *2) Non*	22 % <u>Commentaires :</u> - « la possibilité de décrire le comportement empêché par les voix » - « y a-t-il de la gêne pour les autres personnes de mon entourage ? » - « questions sur hallucinations visuelles » - « contenu des voix "agréable ou désagréable" » - « prendre en considération la douleur psychique » - « d'où ça provient les voix ? » - « plus d'informations sur les données personnelles »	78 %

	- « savoir si je ressens du plaisir avec mes voix »	
Y a-t-il d'autres fonctions que vous auriez souhaité avoir dans cette application ? (Question 12) *1) Oui* *2) Non*	17.1 % Commentaires : - « des conseils à la fin » - « aurait aimé avoir l'autoévaluation à la suite des 4 questions de déclaration de crise » - « des alertes ou notifications pour utiliser l'application » - « les patients pourraient voir l'évolution d'autres patients pour avoir un retour d'expérience » - « Procédé pour dire comment les hallucinations fonctionnent »	82.9 %
Avez-vous d'autres commentaires ou remarques concernant votre expérience avec cette application ? (Question 16) *1) Oui* *2) Non*	20 % Commentaires : - « cela aide, clair, précis, on comprend, c'est limpide » - « hallucinations continues donc déclaration des crises pas utiles » - « questions pertinentes, ont permis de me mettre en adéquation avec certaines de mes pensées » - « préciser "comme dans un rêve ou pas" » - « utile pour patients mal stabilisés » - « va voir si ça l'angoisse » - « c'est du paranormal, mes voix, ça ne s'arrête pas »	80 %

Tableau 3 : Questions avec des possibilités de réponses ouvertes du questionnaire de satisfaction MIMO, réalisées lors de l'inclusion.

Les 41 patients inclus ont répondu à ces 4 questions avec des possibilités de réponses ouvertes.

La question 4 portait sur les conditions d'utilisation de l'application :

Parmi les patients qui ont rencontré des problèmes techniques lors de la mise en place de l'application (7.3 %), certains ont formulé des remarques, décrivant notamment des difficultés de connexion à l'application en utilisant le navigateur internet Safari, et une difficulté pour installer l'application avec ce navigateur. Un autre patient a constaté que le téléphone prêté se mettait en veille à plusieurs reprises lors de l'utilisation de l'application, ce qui ne semble pas être un problème technique directement en lien

avec l'application MIMO. Un troisième patient a formulé ses difficultés à comprendre le fonctionnement de l'application.

Les questions 11 et 12 portaient sur le contenu de l'application :

Parmi les patients qui auraient souhaité que du contenu supplémentaire soit présent dans l'application, deux auraient souhaité que l'application fournisse des explications sur l'origine et le fonctionnement des hallucinations auditives. Quatre autres patients auraient aimé pouvoir apporter des précisions concernant le retentissement des hallucinations auditives qu'ils perçoivent, notamment sur le contenu agréable ou désagréable des hallucinations, sur la douleur psychique générée par les hallucinations, sur le retentissement comportemental ou encore l'impact sur l'entourage. Un patient souhaiterait que l'application dispense des conseils sur la façon de gérer les hallucinations auditives. Un autre patient aurait souhaité que l'application concerne également les hallucinations visuelles. Concernant le fonctionnement de l'application, un patient aurait souhaité que l'application envoie des notifications pour inviter le patient à l'utiliser, ainsi que la possibilité d'avoir un retour d'expérience entre les différents patients.

La question 16 portait sur les éventuels commentaires ou remarques des patients concernant l'application MIMO :

Trois patients ont exprimé des commentaires positifs, décrivant que l'application MIMO peut être utile lors de la présence d'hallucinations auditives, que l'application est claire, facile à comprendre et que les questions sont pertinentes. Un patient aurait souhaité pouvoir apporter des précisions sur le contenu des hallucinations. Un patient a trouvé que la possibilité de déclarer les crises hallucinatoires ne lui était pas utile car ses hallucinations sont présentes en continue. Un autre patient craignait une recrudescence anxieuse en lien avec l'utilisation de l'application.

Le tableau 4 synthétise les résultats des statistiques descriptives concernant les questions portant sur les déclarations des crises hallucinatoires, réalisées chez les patients.

Avez-vous eu accès à cette application ? (Question 17) *1) Moins d'une fois par semaine* *2) Une fois par semaine* *3) Une fois par jour* *4) Plusieurs fois par jour* *5) À tout moment*	29 %	29 %	14 %	14 %	14 %	-	-
Quelles fonctionnalités de l'application avez-vous utilisé ? (Plusieurs réponses possibles) (Question 18) *1) Signaler une crise hallucinatoire* *2) Autoévaluation planifiée* *3) Suivre mon évolution* *4) Signaler une crise hallucinatoire ET Autoévaluation planifiée*	17 %	33 %	0 %	50 %	-	-	-
A quelle fréquence avez-vous utilisé cette application ? (Question 19) *1) Moins d'une fois par semaine* *2) Une fois par semaine* *3) Plusieurs fois par semaine* *4) Une fois par jour* *5) Plus d'une fois par jour*	29 %	29 %	14 %	14 %	14 %	-	-
A quelle(s) occasion(s) avez-vous utilisé cette application ? (Plusieurs réponses possibles) (Question 20) *1) Lorsque j'entends des voix ou immédiatement après* *2) Plus tard, dans une journée où j'ai entendu des voix* *3) De temps en temps lorsque j'y pense* *4) De manière régulière, une fois par jour* *5) De manière régulière, moins d'une fois par jour* *6) Lorsque j'entends des voix ou immédiatement après ET De temps en temps lorsque j'y pense* *7) Lorsque j'entends des voix ou immédiatement après ET Plus tard, dans une journée où j'ai entendu des voix*	33 %	0 %	17 %	0 %	17 %	17 %	17 %
Avez-vous rencontré des problèmes techniques lors de l'utilisation de l'application ? (Question 21) *1) Quasiment à chaque utilisation* *2) Très souvent*	0 %	0 %	0 %	14 %	86 %	-	-

3) Une fois sur deux *4) Rarement* *5) Jamais*							
La déclaration des crises hallucinatoires peut-elle vous aider à suivre leur évolution ? (Question 22) *1) Non, pas du tout* *2) Plutôt non* *3) Moyennement* *4) Plutôt oui* *5) Oui, beaucoup*	0 %	29 %	0 %	43 %	29 %	-	-

Tableau 4 : Questions portant sur les déclarations des crises hallucinatoires.

Sept patients inclus ont répondu aux questions 17, 19, 21 et 22. Six patients ont répondu aux questions 18 et 20.

Les patients ont rarement eu accès à l'application MIMO, car 29% y ont eu accès moins d'une fois par semaine et également 29% une fois par semaine.

Les fonctionnalités utilisées par les patients étaient « Signaler une crise hallucinatoire » et « Autoévaluation planifiée » alors que la fonctionnalité « Suivre mon évolution » n'a pas été utilisée par les patients.

La fréquence d'utilisation de l'application était plutôt basse car 29% des patients l'ont utilisée moins d'une fois par semaine et 29% une fois par semaine.

La majorité des patients ont utilisé l'application lorsqu'ils avaient des hallucinations auditives ou immédiatement après.

La majorité des patients n'ont pas rencontré de problèmes techniques lors de l'utilisation de l'application, 14% en ont rarement rencontré et 86% jamais.

La déclaration des crises hallucinatoires peut permettre de suivre l'évolution de leurs symptômes pour 29% des patients qui ont répondu « Oui, beaucoup » et pour 43% qui ont répondu « Plutôt oui » tandis que 29% ont répondu « Plutôt non ».

Le tableau 5 présente les résultats des statistiques descriptives concernant l'échelle visuelle analogique de satisfaction allant de 0 (pas du tout satisfait) à 10 (très satisfait).

Statistiques	Satisfaction MIMO EVA (de 0 à 10)
Nb. d'observations	41
Minimum	0,000
Maximum	10,000
1er Quartile	7,000
Médiane	8,000
3ème Quartile	10,000
Moyenne	8,073
Variance (n-1)	3,870
Écart-type (n-1)	1,967
Coefficient de variation (n-1)	0,244

Tableau 5 : Résultats de l'échelle visuelle analogique.

La moyenne des notes des patients est de 8,073 avec une médiane à 8. La plupart des notes des patients sont regroupées autour de la moyenne, hormis un patient ayant attribué une note de 0.

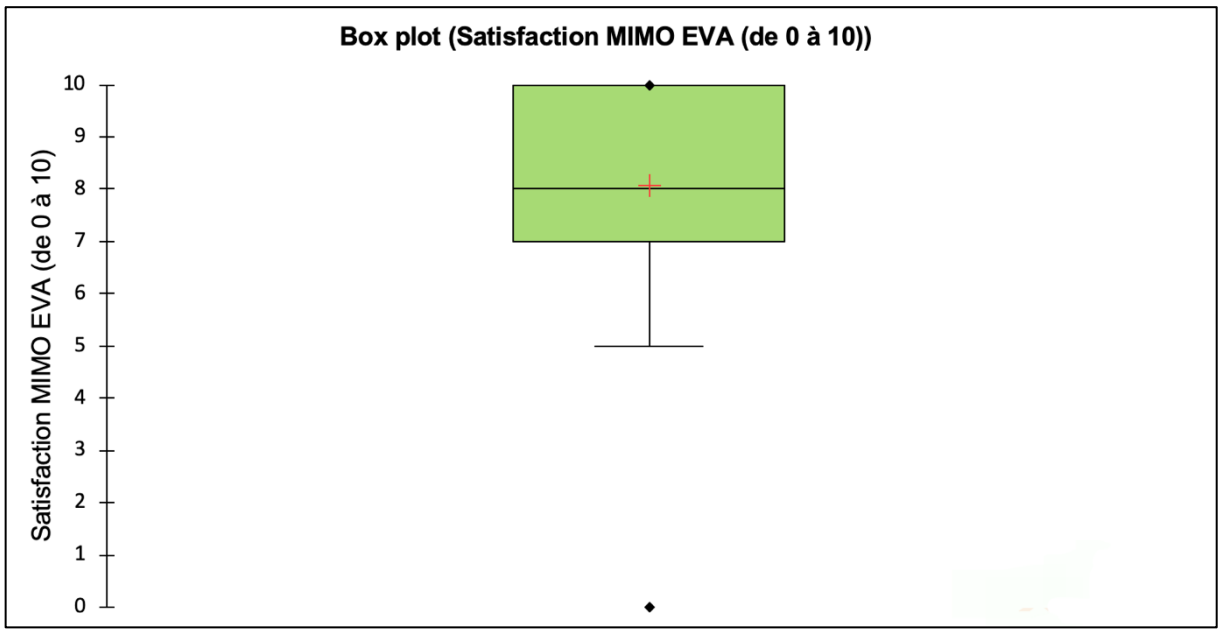

Figure 4 : Box plot de l'échelle visuelle analogique de satisfaction.

Le tableau 6 présente les résultats des statistiques descriptives concernant les échelles BPRS, AHRS et Birchwood.

Variable	n	Moyenne (écart type SD)
BPRS Total	41	45,049 (9,510)
AHRS Total	41	23,098 (7,088)
Birchwood Total	41	8,695 (2,991)

Tableau 6 : Résultats des échelles BPRS, AHRS et Birchwood.

L'échelle BPRS (Brief Psychiatric Rating Scale (Overall et Gorham, 1962)), échelle d'hétéroévaluation permettant d'évaluer les changements dans les symptômes caractéristiques majeurs psychiatriques, a retrouvé un total moyen de 45,049 chez les 41 patients.

L'échelle AHRS (Auditory Hallucination Rating Scale (Hoffman et al., 2005)), permettant l'évaluation des différentes caractéristiques des hallucinations auditives, a retrouvé un total moyen de 23,098 chez les 41 patients.

L'échelle de Birchwood (Birchwood Insight Scale (Birchwood et al., 1994)), permettant d'évaluer l'insight des patients, a retrouvé un total moyen de 8,695 chez les 41 patients.

IV.4. Discussion

Ce projet visait à évaluer la satisfaction des 41 patients inclus souffrant de schizophrénie ou de trouble schizoaffectif et ayant utilisé l'application MIMO d'autoévaluation des hallucinations auditives. A ce jour, il n'existe pas d'autres échelles d'autoévaluation des hallucinations auditives verbales. La satisfaction des patients a été évaluée par une échelle visuelle analogique de 0 à 10 ainsi que par un questionnaire de satisfaction comprenant 22 questions.

La note moyenne de l'échelle visuelle analogique étant de 8,073/10, indiquant une très bonne satisfaction globale des patients inclus concernant l'utilisation de l'application MIMO. La majorité des notes des patients étaient regroupées autour de la moyenne, hormis un patient ayant mis une note de 0/10. Ce résultat suggère que l'application MIMO est adaptée aux attentes des patients concernant l'évaluation de leurs symptômes hallucinatoires. Cependant, l'échelle visuelle analogique étant administrée juste après la première utilisation de l'application par le patient, sous la supervision du clinicien, elle évalue de manière ponctuelle la satisfaction du patient, et ne permet pas de fournir une idée de la satisfaction du patient sur le long terme, après des utilisations répétées de l'application par exemple. Répéter la mesure de l'échelle visuelle analogique à différentes reprises au cours du suivi du patient pourrait permettre d'évaluer si la bonne satisfaction des patients se maintient dans le temps.

Le questionnaire de satisfaction réalisé après l'échelle visuelle analogique a permis d'apporter plus de précisions sur la satisfaction et le degré d'acceptabilité de l'application MIMO par les patients.
Concernant les conditions d'utilisation de l'application, la très grande majorité des patients a utilisé un support numérique prêté et non pas leur propre téléphone. Dans quelle mesure cela a impacté leur niveau de satisfaction ? On peut se demander si les patients auraient été confronté à moins de problèmes techniques sur leurs propres téléphones, ou au contraire si le fait d'utiliser cette application sur leur téléphone aurait pu constituer un obstacle, comme on peut le suggérer en constatant que plus d'un tiers des patients auraient des appréhensions à installer l'application sur leur smartphone, une piste à explorer pourrait être de comprendre ce qui alimente ces appréhensions, sont-elles générées par un manque d'informations transmises sur la confidentialité des

données ou le fonctionnement de l'application ? Par une méfiance à l'égard des dispositifs numériques ? Par ailleurs, peut-être que certains patients qui ont utilisé un smartphone prêté n'ont eux-mêmes pas de smartphone dans leur quotidien. D'autant plus que plus d'un tiers des patients ont révélé être peu familiers avec l'utilisation des applications sur smartphone de manière générale. Est-ce que ces patients auront le réflexe d'utiliser cette application au quotidien ? Cependant, la grande majorité des patients a considéré que l'application MIMO était facile à utiliser, ce qui suggère une bonne faisabilité malgré le fait que les patients inclus n'aient pas forcément recours à des applications dans leur quotidien, ceci étant appuyé par le faible taux de problèmes techniques rencontré par les patients. Ces résultats peuvent laisser penser que les patients seraient accessibles à des programmes de formation sur l'utilisation des dispositifs numériques, témoignant de leur volonté d'apprendre à utiliser ces outils même s'ils n'en utilisaient pas auparavant. Une grande partie des patients ont exprimé qu'ils souhaiteraient continuer à utiliser cette application, ce qui témoigne d'une bonne acceptabilité malgré les appréhensions exprimées à l'idée de l'installer sur leur smartphone, laissant penser à un bénéfice ressenti supérieur aux contraintes que représente l'utilisation de MIMO.

Les questions portant sur le contenu de l'application semblent aller dans le sens d'une bonne acceptabilité par les patients puisque la majorité a considéré que les questions de l'application étaient adaptées à l'évaluation des hallucinations auditives et que la durée de l'autoévaluation était adaptée, ce qui semble encourageant quant au potentiel de réutilisation de l'application par les patients au quotidien. Cependant, le fait que près d'un tiers des patients aient considéré les questions comme moyennement faciles à comprendre conforte la nécessité que la première utilisation de l'application se fasse en présence d'un clinicien afin d'apporter des précisions orales sur l'intitulé des questions en cas d'incompréhension. Ceci étant, l'intitulé des questions restera le même lorsque le patient réutilisera l'application chez lui donc une fois les incompréhensions levées, le manque de clarté des questions ne représentera pas un obstacle à la réutilisation de l'application par les patients.

Peu de patients ont formulé des remarques sur le contenu supplémentaire qu'ils auraient souhaité voir apparaître au sein de l'application, est-ce que là encore ces questions mériteraient d'être reposées à distance, après par exemple plusieurs semaines ou mois d'utilisation afin que les patients aient plus de recul sur les fonctionnalités de l'application ? Les remarques des utilisateurs sous la forme de

réponses ouvertes semblent en effet primordiales pour s'approcher le plus possible de leurs attentes et éventuellement améliorer l'application. En se basant sur ces commentaires, on peut imaginer que l'application pourrait fournir du contenu sous la forme d'une éducation thérapeutique sur les hallucinations auditives pour favoriser la conscience des symptômes et la connaissance de la maladie, ainsi que d'intégrer à l'application une dimension interventionnelle (EMI) pour dispenser des conseils aux patients sur la façon de gérer les recrudescences hallucinatoires. Autrement, le fait que certains patients auraient souhaité apporter des précisions supplémentaires sur leurs symptômes renforce l'importance des possibilités de formuler des réponses ouvertes, peut-être en ajoutant la possibilité de rédiger du texte libre au sein de l'application. Les patients semblent aussi être en demande d'avoir un retour d'expérience des autres patients utilisant l'application, ce qui pourrait se faire à travers une fonctionnalité de forum au sein de l'application laissant la place à une possibilité de dialogue entre les patients, éventuellement en y intégrant des « patients experts » ou des « pairs aidants » par exemple.

Concernant l'impact sur la santé mentale perçue par les patients, ceux-ci ont majoritairement considéré que l'application MIMO pourrait leur être utile et pourrait améliorer la conscience de leurs symptômes hallucinatoires sans pour autant que l'application ne leur permette d'atténuer ces hallucinations, ce qui semble cohérent avec les fonctionnalités d'évaluations plutôt que d'interventions proposées par l'application MIMO.

Seulement un petit échantillon des patients inclus a utilisé la fonctionnalité de déclaration de crises hallucinatoires, donc après l'utilisation initiale de l'application MIMO. Cela fournit peu d'informations sur la satisfaction et l'acceptabilité de l'application sur le moyen ou long terme et peu de recul sur la façon dont les patients utilisent l'application dans leur propre environnement au quotidien. Parmi les patients ayant utilisé cette fonctionnalité, on remarque que l'application a été utilisée majoritairement lorsque les patients présentaient des hallucinations auditives ou bien immédiatement après en avoir présenté, suggérant qu'ils y ont eu recours dans les moments opportuns. En revanche, la fréquence d'utilisation relativement faible interroge sur le fait que les patients aient réellement utilisé l'application à chaque crise hallucinatoire ou non ? Il a été observé légèrement plus de problèmes techniques lorsque les patients ont utilisé l'application dans leur environnement, sans la présence d'un clinicien à leur côté. Une majorité de ces patients ont considéré que la déclaration

des crises hallucinatoires pourrait leur permettre de suivre l'évolution de leurs symptômes, ce qui est encourageant d'un point de vue de l'implication des patients dans leur prise en charge mais contradictoire avec le fait qu'aucun patient n'ait utilisé la fonction « Suivre mon évolution » de l'application, sans doute par manque d'information sur cette fonction délivrée par l'investigateur.

Concernant les données socio-démographiques des patients, les inclusions ont eu lieu sur Caen ou Le Rouvray permettant une certaine variabilité dans l'échantillon des patients. On constate cependant que les patients inclus sont relativement jeunes avec une moyenne d'âge de 39 ans, donc étant peut-être plus tournés vers le numérique et plus enclin à intégrer ce type de dispositif dans leur quotidien, est-ce que des patients plus âgés auraient eu le même niveau de satisfaction concernant l'application MIMO, la même propension à s'en servir après l'inclusion ? D'autre part, il s'agit de patients qui étaient soit hospitalisés soit qui se présentaient en consultation donc des patients qui semblent relativement intégrés dans une démarche de soins, sous traitement antipsychotique pour la plupart. Ainsi, des patients moins compliants auraient-ils présenté un niveau d'adhésion et de satisfaction similaires ? Enfin, il semble nécessaire d'offrir la possibilité aux patients de télécharger l'application sur leur smartphone pour multiplier les avis des patients lors de l'utilisation du dispositif MIMO en situation réelle.

Compte tenu du bon niveau de satisfaction et d'acceptabilité des patients inclus vis-à-vis du dispositif digital MIMO, on peut envisager qu'une fois mis à disposition des utilisateurs, ce dispositif permette pour les patients une plus grande implication dans leur prise en charge, en améliorant la prise de conscience de leurs symptômes hallucinatoires, tout en donnant la possibilité aux patients de rapporter leurs hallucinations au moment où elles surviennent, donc en prenant en compte leurs fluctuations temporelles. Pour les médecins, cela permettrait une évaluation plus fine des hallucinations auditives en s'abstrayant de la subjectivité de l'évaluateur, développant une nouvelle modalité d'évaluation en pratique courante avec un retour automatique de l'autoévaluation sans qu'aucune saisie informatique par le médecin ne soit nécessaire. Le dispositif digital MIMO pourrait également permettre une évaluation plus objective de l'efficacité de thérapeutiques comme les techniques de neurostimulation.

V. Conclusion

Ainsi, devant la nécessité de développer de nouveaux outils thérapeutiques dans la prise en charge de la schizophrénie, et devant l'accès croissant aux technologies mobiles dans le monde, le phénotypage numérique présente un intérêt majeur et peut constituer un complément aux autres prises en charge existantes en santé mentale, dans un domaine où les soins sont parfois difficiles à dispenser, afin de prévenir et d'intervenir face aux rechutes de la pathologie.

La poursuite du développement du phénotypage numérique nécessite de multiplier les travaux de recherche afin de proposer de nouveaux dispositifs adaptés et répondant aux besoins des utilisateurs, de garantir leur sécurité d'utilisation et de continuer d'évaluer certaines limites car leur mise en œuvre en pratique clinique reste un défi.

Les intérêts que présente le phénotypage numérique sont nombreux, comme le fait d'évaluer les fluctuations des symptômes des patients au sein de leur environnement, de permettre de maintenir un lien entre les patients et les soins en dehors des hospitalisations et des consultations, ainsi que de renforcer l'implication des patients dans la prise en charge de leur pathologie et de promouvoir leur autonomie.

Cela peut aussi permettre aux médecins d'améliorer leurs prises en charge, en ayant accès à plus d'informations objectives sur les symptômes des patients, et d'intervenir lorsqu'un risque de rechute est identifié.

Les résultats positifs concernant le questionnaire de satisfaction du dispositif digital MIMO d'autoévaluation des hallucinations auditives indiquent une très bonne satisfaction des patients inclus dans cette étude et confirment que de tels dispositifs peuvent être proposés aux patients atteints de schizophrénie.

Bibliographie

Abdul Rashid, N. A., Martanto, W., Yang, Z., Wang, X., Heaukulani, C., Vouk, N., Buddhika, T., Wei, Y., Verma, S., Tang, C., Morris, R. J. T., & Lee, J. (2021). Evaluating the utility of digital phenotyping to predict health outcomes in schizophrenia : Protocol for the HOPE-S observational study. *BMJ Open*, *11*(10), e046552. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046552

Abel, D. B., Salyers, M. P., Wu, W., Monette, M. A., & Minor, K. S. (2021). Quality versus quantity : Determining real-world social functioning deficits in schizophrenia. *Psychiatry Research*, *301*, 113980. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2021.113980

Adler, D. A., Ben-Zeev, D., Tseng, V. W.-S., Kane, J. M., Brian, R., Campbell, A. T., Hauser, M., Scherer, E. A., & Choudhury, T. (2020). Predicting Early Warning Signs of Psychotic Relapse From Passive Sensing Data : An Approach Using Encoder-Decoder Neural Networks. *JMIR MHealth and UHealth*, *8*(8), e19962. https://doi.org/10.2196/19962

Aledavood, T., Torous, J., Triana Hoyos, A. M., Naslund, J. A., Onnela, J.-P., & Keshavan, M. (2019). Smartphone-Based Tracking of Sleep in Depression, Anxiety, and Psychotic Disorders. *Current Psychiatry Reports*, *21*(7), 49. https://doi.org/10.1007/s11920-019-1043-y

Balaskas, A., Schueller, S. M., Cox, A. L., & Doherty, G. (2021). Ecological momentary interventions for mental health : A scoping review. *PloS One*, *16*(3), e0248152. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248152

Barnett, I., Torous, J., Staples, P., Sandoval, L., Keshavan, M., & Onnela, J.-P. (2018). Relapse prediction in schizophrenia through digital phenotyping : A pilot study. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *43*(8), 1660-1666. https://doi.org/10.1038/s41386-018-0030-z

Baumel, A., Muench, F., Edan, S., & Kane, J. M. (2019). Objective User Engagement With Mental Health Apps : Systematic Search and Panel-Based Usage Analysis. *Journal of Medical Internet Research*, *21*(9), e14567. https://doi.org/10.2196/14567

Bell, I. H., Lim, M. H., Rossell, S. L., & Thomas, N. (2017). Ecological Momentary Assessment and Intervention in the Treatment of Psychotic Disorders : A Systematic Review. *Psychiatric Services (Washington, D.C.)*, *68*(11), 1172-1181. https://doi.org/10.1176/appi.ps.201600523

Ben-Zeev, D., Brian, R., Wang, R., Wang, W., Campbell, A. T., Aung, M. S. H., Merrill, M., Tseng, V. W. S., Choudhury, T., Hauser, M., Kane, J. M., & Scherer, E. A. (2017). CrossCheck : Integrating self-report, behavioral sensing, and smartphone use to identify digital indicators of psychotic relapse. *Psychiatric Rehabilitation Journal*, *40*(3), 266-275. https://doi.org/10.1037/prj0000243

Ben-Zeev, D., Frounfelker, R., Morris, S. B., & Corrigan, P. W. (2012). Predictors of Self-Stigma in Schizophrenia : New Insights Using Mobile Technologies. *Journal of Dual Diagnosis*, *8*(4), 305-314. https://doi.org/10.1080/15504263.2012.723311

Birchwood, M., Smith, J., Cochrane, R., Wetton, S., & Copestake, S. (1990). The Social Functioning Scale. The development and validation of a new scale of social adjustment for use in family intervention programmes with schizophrenic

patients. *The British Journal of Psychiatry: The Journal of Mental Science*, *157*, 853-859. https://doi.org/10.1192/bjp.157.6.853

Birchwood, M., Smith, J., Drury, V., Healy, J., Macmillan, F., & Slade, M. (1994). A self-report Insight Scale for psychosis : Reliability, validity and sensitivity to change. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *89*(1), 62-67. https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1994.tb01487.x

Bucci, S., Barrowclough, C., Ainsworth, J., Machin, M., Morris, R., Berry, K., Emsley, R., Lewis, S., Edge, D., Buchan, I., & Haddock, G. (2018). Actissist : Proof-of-Concept Trial of a Theory-Driven Digital Intervention for Psychosis. *Schizophrenia Bulletin*, *44*(5), 1070-1080. https://doi.org/10.1093/schbul/sby032

Cella, M., He, Z., Killikelly, C., Okruszek, Ł., Lewis, S., & Wykes, T. (2019). Blending active and passive digital technology methods to improve symptom monitoring in early psychosis. *Early Intervention in Psychiatry*, *13*(5), 1271-1275. https://doi.org/10.1111/eip.12796

Cella, M., Okruszek, Ł., Lawrence, M., Zarlenga, V., He, Z., & Wykes, T. (2018). Using wearable technology to detect the autonomic signature of illness severity in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, *195*, 537-542. https://doi.org/10.1016/j.schres.2017.09.028

Chivilgina, O., Wangmo, T., Elger, B. S., Heinrich, T., & Jotterand, F. (2020). mHealth for schizophrenia spectrum disorders management : A systematic review. *The International Journal of Social Psychiatry*, *66*(7), 642-665. https://doi.org/10.1177/0020764020933287

Corrigan, P. W., Watson, A. C., & Barr, L. (2006). The Self–Stigma of Mental Illness : Implications for Self–Esteem and Self–Efficacy. *Journal of Social and Clinical Psychology*, *25*(8), 875-884. https://doi.org/10.1521/jscp.2006.25.8.875

Eisen, S. V., Dickey, B., & Sederer, L. I. (2000). A self-report symptom and problem rating scale to increase inpatients' involvement in treatment. *Psychiatric Services (Washington, D.C.)*, *51*(3), 349-353. https://doi.org/10.1176/appi.ps.51.3.349

Firth, J., Cotter, J., Torous, J., Bucci, S., Firth, J. A., & Yung, A. R. (2016). Mobile Phone Ownership and Endorsement of "mHealth" Among People With Psychosis : A Meta-analysis of Cross-sectional Studies. *Schizophrenia Bulletin*, *42*(2), 448-455. https://doi.org/10.1093/schbul/sbv132

Fischer, S. H., Ray, K. N., Mehrotra, A., Bloom, E. L., & Uscher-Pines, L. (2020). Prevalence and Characteristics of Telehealth Utilization in the United States. *JAMA Network Open*, *3*(10), e2022302. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.22302

Fulford, D., Gard, D. E., Mueser, K. T., Mote, J., Gill, K., Leung, L., & Mow, J. (2021). Preliminary Outcomes of an Ecological Momentary Intervention for Social Functioning in Schizophrenia : Pre-Post Study of the Motivation and Skills Support App. *JMIR Mental Health*, *8*(6), e27475. https://doi.org/10.2196/27475

Ghafur, S., Van Dael, J., Leis, M., Darzi, A., & Sheikh, A. (2020). Public perceptions on data sharing : Key insights from the UK and the USA. *The Lancet. Digital Health*, *2*(9), e444-e446. https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30161-8

Gordon, W. J., Patel, V., Thornhill, W., Bates, D. W., & Landman, A. (2020). Characteristics of Patients Using Patient-Facing Application Programming Interface Technology at a US Health Care System. *JAMA Network Open*, *3*(10), e2022408. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.22408

Gorwood, P. (2017). [The contribution of digital technology to mental healthcare : Much hope, a few concerns]. *Soins. Psychiatrie*, *38*(311), 12-15. https://doi.org/10.1016/j.spsy.2017.04.006

Graham, A. K., Lattie, E. G., Powell, B. J., Lyon, A. R., Smith, J. D., Schueller, S. M., Stadnick, N. A., Brown, C. H., & Mohr, D. C. (2020). Implementation strategies for digital mental health interventions in health care settings. *The American Psychologist*, *75*(8), 1080-1092. https://doi.org/10.1037/amp0000686

Granholm, E., Ben-Zeev, D., Link, P. C., Bradshaw, K. R., & Holden, J. L. (2012). Mobile Assessment and Treatment for Schizophrenia (MATS) : A pilot trial of an interactive text-messaging intervention for medication adherence, socialization, and auditory hallucinations. *Schizophrenia Bulletin*, *38*(3), 414-425. https://doi.org/10.1093/schbul/sbr155

Gumley, A., Bradstreet, S., Ainsworth, J., Allan, S., Alvarez-Jimenez, M., Beattie, L., Bell, I., Birchwood, M., Briggs, A., Bucci, S., Castagnini, E., Clark, A., Cotton, S. M., Engel, L., French, P., Lederman, R., Lewis, S., Machin, M., MacLennan, G., … Gleeson, J. (2020). Early Signs Monitoring to Prevent Relapse in Psychosis and Promote Well-Being, Engagement, and Recovery : Protocol for a Feasibility Cluster Randomized Controlled Trial Harnessing Mobile Phone Technology Blended With Peer Support. *JMIR Research Protocols*, *9*(1), e15058. https://doi.org/10.2196/15058

Haddock, G., McCarron, J., Tarrier, N., & Faragher, E. B. (1999). Scales to measure dimensions of hallucinations and delusions : The psychotic symptom rating scales (PSYRATS). *Psychological Medicine*, *29*(4), 879-889. https://doi.org/10.1017/s0033291799008661

Henson, P., D'Mello, R., Vaidyam, A., Keshavan, M., & Torous, J. (2021). Anomaly detection to predict relapse risk in schizophrenia. *Translational Psychiatry*, *11*(1), 28. https://doi.org/10.1038/s41398-020-01123-7

Hetrick, S. E., Robinson, J., Burge, E., Blandon, R., Mobilio, B., Rice, S. M., Simmons, M. B., Alvarez-Jimenez, M., Goodrich, S., & Davey, C. G. (2018). Youth Codesign of a Mobile Phone App to Facilitate Self-Monitoring and Management of Mood Symptoms in Young People With Major Depression, Suicidal Ideation, and Self-Harm. *JMIR Mental Health*, *5*(1), e9. https://doi.org/10.2196/mental.9041

Hoffman, L., Wisniewski, H., Hays, R., Henson, P., Vaidyam, A., Hendel, V., Keshavan, M., & Torous, J. (2020). Digital Opportunities for Outcomes in Recovery Services (DOORS) : A Pragmatic Hands-On Group Approach Toward Increasing Digital Health and Smartphone Competencies, Autonomy, Relatedness, and Alliance for Those With Serious Mental Illness. *Journal of Psychiatric Practice*, *26*(2), 80-88. https://doi.org/10.1097/PRA.0000000000000450

Hoffman, R. E., Gueorguieva, R., Hawkins, K. A., Varanko, M., Boutros, N. N., Wu, Y., Carroll, K., & Krystal, J. H. (2005). Temporoparietal transcranial magnetic stimulation for auditory hallucinations : Safety, efficacy and moderators in a fifty patient sample. *Biological Psychiatry*, *58*(2), 97-104. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.03.041

Insel, T. R. (2018). Digital phenotyping : A global tool for psychiatry. *World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, *17*(3), 276-277. https://doi.org/10.1002/wps.20550

Killikelly, C., He, Z., Reeder, C., & Wykes, T. (2017). Improving Adherence to Web-Based and Mobile Technologies for People With Psychosis : Systematic Review

of New Potential Predictors of Adherence. *JMIR MHealth and UHealth*, *5*(7), e94. https://doi.org/10.2196/mhealth.7088

Kim, S. H., Hwang, S. S., Jung, H. Y., Kim, Y., Ahn, Y. M., Chung, I. W., & Kim, Y. S. (2019). Differences between self-reported and clinician-rated evaluations of 1-year changes in auditory verbal hallucinations among schizophrenia patients. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, *95*, 109671. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2019.109671

Kirkpatrick, B., Strauss, G. P., Nguyen, L., Fischer, B. A., Daniel, D. G., Cienfuegos, A., & Marder, S. R. (2011). The brief negative symptom scale : Psychometric properties. *Schizophrenia Bulletin*, *37*(2), 300-305. https://doi.org/10.1093/schbul/sbq059

Krebs, P., & Duncan, D. T. (2015). Health App Use Among US Mobile Phone Owners : A National Survey. *JMIR MHealth and UHealth*, *3*(4), e101. https://doi.org/10.2196/mhealth.4924

Lattie, E. G., Nicholas, J., Knapp, A. A., Skerl, J. J., Kaiser, S. M., & Mohr, D. C. (2020). Opportunities for and Tensions Surrounding the Use of Technology-Enabled Mental Health Services in Community Mental Health Care. *Administration and Policy in Mental Health*, *47*(1), 138-149. https://doi.org/10.1007/s10488-019-00979-2

Leigh, S., & Flatt, S. (2015). App-based psychological interventions : Friend or foe? *Evidence-Based Mental Health*, *18*(4), 97-99. https://doi.org/10.1136/eb-2015-102203

Linardon, J., Cuijpers, P., Carlbring, P., Messer, M., & Fuller-Tyszkiewicz, M. (2019). The efficacy of app-supported smartphone interventions for mental health problems : A meta-analysis of randomized controlled trials. *World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, *18*(3), 325-336. https://doi.org/10.1002/wps.20673

Llerena, K., Park, S. G., McCarthy, J. M., Couture, S. M., Bennett, M. E., & Blanchard, J. J. (2013). The Motivation and Pleasure Scale-Self-Report (MAP-SR) : Reliability and validity of a self-report measure of negative symptoms. *Comprehensive Psychiatry*, *54*(5), 568-574. https://doi.org/10.1016/j.comppsych.2012.12.001

Marsch, L. A. (2018). Opportunities and needs in digital phenotyping. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *43*(8), 1637-1638. https://doi.org/10.1038/s41386-018-0051-7

McDermott, B. E. (1995). Development of an instrument for assessing self-efficacy in schizophrenic spectrum disorders. *Journal of Clinical Psychology*, *51*(3), 320-331.

Mental Health Apps Aren't All As Private As You May Think. (s. d.). Consumer Reports. Consulté 9 août 2022, à l'adresse https://www.consumerreports.org/health-privacy/mental-health-apps-and-user-privacy-a7415198244/

Mohr, D. C., Lyon, A. R., Lattie, E. G., Reddy, M., & Schueller, S. M. (2017). Accelerating Digital Mental Health Research From Early Design and Creation to Successful Implementation and Sustainment. *Journal of Medical Internet Research*, *19*(5), e153. https://doi.org/10.2196/jmir.7725

Mordecai, D., Histon, T., Neuwirth, E., Heisler, W. S., Kraft, A., Bang, Y., Franchino, K., Taillac, C., & Nixon, J. P. (2021). How Kaiser Permanente Created a Mental Health and Wellness Digital Ecosystem. *NEJM Catalyst*, *2*(1), CAT.20.0295. https://doi.org/10.1056/CAT.20.0295

Morton, E., Barnes, S. J., & Michalak, E. E. (2020). Participatory digital health research : A new paradigm for mHealth tool development. *General Hospital Psychiatry*, *66*, 67-69. https://doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2020.07.005

Nayani, T. H., & David, A. S. (1996). The auditory hallucination : A phenomenological survey. *Psychological Medicine*, *26*(1), 177-189. https://doi.org/10.1017/s003329170003381x

Ramirez, V., Johnson, E., Gonzalez, C., Ramirez, V., Rubino, B., & Rossetti, G. (2016). Assessing the Use of Mobile Health Technology by Patients : An Observational Study in Primary Care Clinics. *JMIR MHealth and UHealth*, *4*(2), e41. https://doi.org/10.2196/mhealth.4928

Roberts, E. T., & Mehrotra, A. (2020). Assessment of Disparities in Digital Access Among Medicare Beneficiaries and Implications for Telemedicine. *JAMA Internal Medicine*, *180*(10), 1386-1389. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.2666

Rodriguez-Villa, E., Rauseo-Ricupero, N., Camacho, E., Wisniewski, H., Keshavan, M., & Torous, J. (2020). The digital clinic : Implementing technology and augmenting care for mental health. *General Hospital Psychiatry*, *66*, 59-66. https://doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2020.06.009

Rudd, B. N., & Beidas, R. S. (2020). Digital Mental Health : The Answer to the Global Mental Health Crisis? *JMIR Mental Health*, *7*(6), e18472. https://doi.org/10.2196/18472

Schlosser, D. A., Campellone, T. R., Truong, B., Etter, K., Vergani, S., Komaiko, K., & Vinogradov, S. (2018). Efficacy of PRIME, a Mobile App Intervention Designed to Improve Motivation in Young People With Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, *44*(5), 1010-1020. https://doi.org/10.1093/schbul/sby078

Shergill, S. S., Murray, R. M., & McGuire, P. K. (1998). Auditory hallucinations : A review of psychological treatments. *Schizophrenia Research*, *32*(3), 137-150. https://doi.org/10.1016/s0920-9964(98)00052-8

Shiffman, S., Stone, A. A., & Hufford, M. R. (2008). Ecological momentary assessment. *Annual Review of Clinical Psychology*, *4*, 1-32. https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.3.022806.091415

Strauss, G. P., Esfahlani, F. Z., Granholm, E., Holden, J., Visser, K. F., Bartolomeo, L. A., & Sayama, H. (2020). Mathematically Modeling Anhedonia in Schizophrenia : A Stochastic Dynamical Systems Approach. *Schizophrenia Bulletin*, sbaa014. https://doi.org/10.1093/schbul/sbaa014

Szinay, D., Jones, A., Chadborn, T., Brown, J., & Naughton, F. (2020). Influences on the Uptake of and Engagement With Health and Well-Being Smartphone Apps : Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, *22*(5), e17572. https://doi.org/10.2196/17572

Torous, J., Bucci, S., Bell, I. H., Kessing, L. V., Faurholt-Jepsen, M., Whelan, P., Carvalho, A. F., Keshavan, M., Linardon, J., & Firth, J. (2021). The growing field of digital psychiatry : Current evidence and the future of apps, social media, chatbots, and virtual reality. *World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, *20*(3), 318-335. https://doi.org/10.1002/wps.20883

Torous, J., Chan, S. R., Yee-Marie Tan, S., Behrens, J., Mathew, I., Conrad, E. J., Hinton, L., Yellowlees, P., & Keshavan, M. (2014). Patient Smartphone Ownership and Interest in Mobile Apps to Monitor Symptoms of Mental Health Conditions : A Survey in Four Geographically Distinct Psychiatric Clinics. *JMIR Mental Health*, *1*(1), e5. https://doi.org/10.2196/mental.4004

Torous, J., Firth, J., Mueller, N., Onnela, J. P., & Baker, J. T. (2017). Methodology and Reporting of Mobile Heath and Smartphone Application Studies for Schizophrenia. *Harvard Review of Psychiatry*, *25*(3), 146-154. https://doi.org/10.1097/HRP.0000000000000133

Torous, J., Onnela, J.-P., & Keshavan, M. (2017). New dimensions and new tools to realize the potential of RDoC : Digital phenotyping via smartphones and connected devices. *Translational Psychiatry*, *7*(3), e1053. https://doi.org/10.1038/tp.2017.25

Vaidyam, A., Roux, S., & Torous, J. (2020). Patient Innovation in Investigating the Effects of Environmental Pollution in Schizophrenia : Case Report of Digital Phenotyping Beyond Apps. *JMIR Mental Health*, *7*(8), e19778. https://doi.org/10.2196/19778

Wisniewski, H., Gorrindo, T., Rauseo-Ricupero, N., Hilty, D., & Torous, J. (2020). The Role of Digital Navigators in Promoting Clinical Care and Technology Integration into Practice. *Digital Biomarkers*, *4*(Suppl 1), 119-135. https://doi.org/10.1159/000510144

Wisniewski, H., & Torous, J. (2020). Digital navigators to implement smartphone and digital tools in care. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *141*(4), 350-355. https://doi.org/10.1111/acps.13149

Zhuo, C., Jiang, D., Liu, C., Lin, X., Li, J., Chen, G., Xie, Z., Xu, Z., Zhou, C., & Zhu, J. (2019). Understanding auditory verbal hallucinations in healthy individuals and individuals with psychiatric disorders. *Psychiatry Research*, *274*, 213-219. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.02.040

« Par délibération de son Conseil en date du 10 Novembre 1972, l'Université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ou mémoires. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs ».

VU, le Président de Thèse

VU, le Doyen de la Faculté

VU et permis d'imprimer
en référence à la délibération
du Conseil d'Université
en date du 14 Décembre 1973

Pour le Président
de l'Université de CAEN et P.O

Le Doyen

ANNEE DE SOUTENANCE : 2021/2022

NOM ET PRENOM DE L'AUTEUR : LETOURNEUR FLORIAN

TITRE DE LA THESE : Dispositif numérique d'auto-évaluation des hallucinations auditives : Preuve de concept

RESUME DE LA THESE EN FRANÇAIS :
Les hallucinations auditives sont fréquentes, retrouvées chez près de 70% des patients souffrant de schizophrénie. A ce jour, il n'existe pas d'échelle d'autoévaluation des hallucinations auditives. Dans ce contexte, un dispositif numérique appelé MIMO, permettant au patient d'autoévaluer ses hallucinations auditives, a été développé avec la société FORLAB à partir d'une échelle d'autoévaluation des hallucinations auditives, la SAVH (Self-evaluation of Auditory Verbal Hallucinations). Cette étude observationnelle de preuve de concept visait à évaluer la satisfaction de 41 patients souffrant de schizophrénie ou de trouble schizoaffectif concernant ce dispositif digital et à démontrer sa faisabilité et son acceptabilité. La satisfaction des patients a été évaluée par une échelle visuelle analogique de 0 à 10 ainsi que par un questionnaire de satisfaction de 22 questions. La note moyenne de l'échelle visuelle analogique était de 8,073/10, indiquant une très bonne satisfaction globale des patients concernant l'utilisation de l'application MIMO suggérant que ce dispositif est adapté à leurs attentes pour l'évaluation des hallucinations. Une fois mis à disposition des utilisateurs, ce dispositif permettrait pour les patients une plus grande implication dans leur prise en charge, en améliorant la prise de conscience de leurs symptômes hallucinatoires, tout en leur donnant la possibilité de rapporter leurs hallucinations au moment où elles surviennent. Pour les médecins, cela permettrait une évaluation plus fine et plus objective des hallucinations auditives, ainsi qu'une meilleure évaluation de l'efficacité de thérapeutiques comme les techniques de neurostimulation.

MOTS CLES : Schizophrénie, Hallucinations auditives, Phénotypage numérique, Autoévaluation.

TITRE DE LA THESE EN ANGLAIS : Digital device for self-evaluation of auditory hallucinations : Proof of concept

RESUME DE LA THESE EN ANGLAIS :
Auditory hallucinations are frequent, found in nearly 70% of patients suffering from schizophrenia. To date, there is no self-assessment scale for auditory hallucinations. In this context, a digital device called MIMO, allowing the patient to self-evaluate his auditory hallucinations, has been developed with the company FORLAB from a self-evaluation scale of auditory hallucinations, the SAVH (Self-evaluation of Auditory Verbal Hallucinations). This observational proof-of-concept study aimed to evaluate the satisfaction of 41 patients suffering from schizophrenia or schizoaffective disorder regarding this digital device and to demonstrate its feasibility and acceptability. Patient satisfaction was assessed by a visual analog scale from 0 to 10 and by a 22-question satisfaction questionnaire. The average score of the visual analog scale was 8.073/10, indicating a very good overall satisfaction of the patients regarding the use of the MIMO application suggesting that this device is adapted to their expectations for the evaluation of hallucinations. Once made available to users, this device would allow patients to be more involved in their care, by improving their awareness of their hallucinatory symptoms, while giving them the possibility to report their hallucinations as they occur. For physicians, this would allow a more accurate and objective evaluation of auditory hallucinations, as well as a better assessment of the effectiveness of therapies such as neurostimulation techniques.

KEY WORDS : Schizophrenia, Auditory hallucinations, Digital phenotyping, Self-evaluation.