

Université de Montréal

Mécanismes Visuels Oscillatoires dans l'autisme

Par

Lili El Khalil

Département de psychologie, Université de Montréal

Faculté des arts et science

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maitrise

(M. Sc.) en Psychologie

Aout 2022

© Lili El Khalil, 2022

Université de Montréal

Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé

Mécanismes Visuels Oscillatoires dans l'Autisme

Présenté par

Lili El Khalil

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Martin Arguin

Directeur de recherche

Laurent Mottron

Codirecteur

Franco Lepore

Membre du jury

Résumé

Cette étude compare les variations d'efficacité du traitement visuel dans le temps entre 16 autistes adultes ayant un retard initial du langage et 16 participants contrôles présentant un développement typique, en utilisant la technique d'échantillonnage temporel aléatoire. Les participants devaient nommer des objets familiers (expérience 1) ou des mots écrits (expérience 2) présentés sur un écran d'ordinateur pendant 200 ms et dont la visibilité (i.e. ratio signal/bruit) variait aléatoirement à travers le temps. Pour chacun des 32 participants, des images de classification (IC) temps-fréquence ont été obtenues en soustrayant la moyenne des fonctions d'échantillonnage (i.e. les ratio signal/bruit) ou leur recodage en temps-fréquence associées aux réponses erronées de celle associée aux réponses correctes. Les résultats démontrent que l'efficacité du traitement visuel chez les deux groupes de participants est modulée à travers le temps et est affectée par le contenu fréquentiel des oscillations du rapport signal-sur-bruit. Des différences inter-groupes importantes sont toutefois observées quant à la chronologie des mécanismes oscillatoires sont mis en branle pour la réalisation de la tâche de reconnaissance d'objets. Pour la tâche de reconnaissance de mots écrits, les différences entre les groupes ne sont que marginalement significatives. Il est proposé que la plus grande sensibilité de la tâche de reconnaissance d'objets puisse s'expliquer par 3 chose essentielles : 1. la plus grande complexité des mécanismes auxquels elle doit faire appel pour atteindre une bonne réponse. 2. Le surfonctionnement perceptif des autistes dans le traitement des informations locales ou de bas niveau. 3. Une variabilité de la localisation des activations qui soulève la possibilité que l'autisme implique une amélioration et/ou une altération des mécanismes de plasticité typiques.

Mots-clés : autisme, contrôle, échantillonnage temporel, mots écrits, objets familiers, oscillations cérébrales, retard du langage, traitement visuel.

Abstract

Variations in visual processing efficiency over time were compared between 16 adult autistic participants with initial language delay and 16 typically developing control participants, using the random temporal sampling technique. Participants were asked to name familiar objects (experiment 1) or written words (experiment 2) presented on a computer screen for 200 ms and whose visibility (i.e., signal-to-noise ratio) varied randomly across time. For each of these 32 participants, time-frequency classification images (CI) were obtained by subtracting the average of the sampling functions (i.e., signal-to-noise ratio) or time-frequency recordings thereof associated with incorrect responses from that associated with correct responses. The efficiency of visual processing in the two groups of participants is modulated through the time and is affected by the frequency content of signal-to-noise ratio oscillations. Significant inter-group differences were observed in the timing of the oscillatory mechanisms for the object recognition task. For the written word recognition task, the differences between groups are only marginally significant. It is proposed that three essential things can explain the greater sensitivity of the object recognition task: 1. the greater complexity of the mechanisms it must call up to reach correct answer. 2. The perceptual over-functioning of autistic people, more evident in the detection, the categorization and the memory of perceptual information. 3. An increased variability in the localization of activations that raises the possibility that autism involves enhancement and/or alteration of typical plasticity mechanisms.

Keywords: autism, controlled, temporal sampling, written words, familiar objects, brain oscillations, language delay, visual processing.

Table des matières

Résumé.....	5
Abstract.....	7
Table des matières.....	9
Listes des tableaux.....	13
Liste des figures.....	14
Liste des sigles et abréviations.....	17
Remerciements.....	19
1. Introduction.....	21
2. Contexte théorique.....	23
2.1. Trouble du spectre de l'autisme.....	23
2.2. Fonctionnement perceptif dans l'autisme.....	26
2.3. Activation cérébrale dans l'autisme.....	30
2.4. Oscillations neuronales.....	32
2.5. Technique d'échantillonnage temporel.....	33
3. Objectifs.....	37
4. Hypothèses.....	39
5. Expérience 1.....	41
5.1. Méthodologie.....	41
Participants.....	41
Stimuli.....	42
Matériel.....	42
Procédure.....	42

Analyses Statistiques.....	43
5.2. Résultats.....	46
Niveaux de performance.....	46
Images de classification temporelles	46
IC différentielle – Domaine Temporel.....	48
Images de classification temps-fréquence.....	49
IC différentielle – Domaine temps x Fréquence	52
Spectres de phase des images de classification.....	53
Spectre de puissance des images de classification	55
Comparaison par ANOVA.....	56
5.3. Discussion	57
6. Expérience 2	61
6.1. Méthodologie.....	61
Participants.....	61
Stimuli.....	61
Matériel.....	61
Procédure	61
Analyses statistiques	62
6.2. Résultats.....	62
Niveaux de performance.....	62
Images de classification temporelles	62
IC différentielle – Domaine temporel	64
Image de classification temps-fréquence	65
IC différentielle – Domaine temps x fréquence	67

Spectres de phase des images de classification	68
Spectre de puissance des images de classification	70
Comparaisons par ANOVAs	71
6.3. Discussion	73
7. Discussion générale.....	75
8. Conclusion	80
Références bibliographiques.....	81
Annexes	87
Annexe A – Exemples d’objets familiers utilisées dans l’expérience 1.....	87
Annexe B – Liste des 200 objets utilisés dans l’expérience 1	88
Annexe C – Liste des 250 mots utilisés dans l’expérience 2	90

Listes des tableaux

Tableau 1. – Tableau montrant le niveau de signification des différences entre les deux groupes de participants.....	41
--	----

Liste des figures

- Figure 1. – Image de classification temporelle représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d'objets familiers chez les participants contrôles.....47
- Figure 2. – Image de classification temporelle représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d'objets familiers chez les participants autistes.48
- Figure 3. – Image de classification temporelle des participants contrôles vs autistes dans l'expérience des objets familiers.49
- Figure 4. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles du rapport signal/bruit en reconnaissance d'objets familiers chez les participants contrôles.51
- Figure 5. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles du rapport signal/bruit en reconnaissance d'objets familiers chez les participants autistes.52
- Figure 6. – Comparaison statistique entre les profils temps-fréquence des participants contrôles vs autistes dans l'expérience des objets familiers.53
- Figure 7. – Spectre de phase des images de classification de l'efficacité de traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les contrôles.....54
- Figure 8. – Spectre de phase des images de classification de l'efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les autistes.55
- Figure 9. – Spectres de puissance des images de classification de l'efficacité de traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les contrôles.55

Figure 10. –	Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les autistes.	56
Figure 11. –	Image de classification temporel représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d’objets familiers chez les participants contrôles.....	63
Figure 12. –	Image de classification temporelle représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance des mots familiers chez les participants autistes.	64
Figure 13. –	Image de classification temporelle des participants contrôles vs autistes dans l’expérience des mots familiers.	65
Figure 14. –	Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles e reconnaissance des mots familiers chez les participants contrôles.....	66
Figure 15. –	Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles en reconnaissance des mots familiers chez les participants autistes.	67
Figure 16. –	Comparaison statistique entre les profils temps-fréquence des participants contrôles vs autistes dans l’expériences des mots familiers.....	68
Figure 17. –	Spectres de phase des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les contrôles.	69
Figure 18. –	Spectres de phase des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les autistes.	70
Figure 19. –	Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les contrôles.	71

Figure 20. – Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les artistes.71

Liste des sigles et abréviations

EPF: Enhanced Perceptual Functioning

IC: Image de classification

TSA : Trouble de spectre autistique

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de recherche Dr. Martin Arguin, qui m'a offert l'opportunité de venir au Canada pour faire ma maîtrise à l'Université de Montréal. Merci d'avoir été très compréhensif et présent durant tout mon parcours.

J'aimerais remercier également mon co-directeur Dr. Laurent Mottron qui m'a offert son expertise en autisme et, qui m'a offert un travail au sein de son équipe de recherche au CIUSSS du Nord de l'île de Montréal – Hôpital Rivière-des-Prairies. Ce travail m'a aidé à approfondir mes connaissances sur l'autisme.

Enfin, je tiens à remercier particulièrement ma famille qui m'a soutenu durant ces deux années, sans qui mes journées ne seraient pas les mêmes.

1. Introduction

L'autisme, désigné comme trouble du spectre autistique dans les manuels diagnostics, est une variation développementale affectant la vie d'un individu atteint à des niveaux variables et parfois considérable. Les interactions sociales chez cet individu ne se développent pas de la même façon que chez une personne à développement typique. Devenu adulte, il continue de rencontrer des difficultés dans les interactions sociales et la communication, ce qui explique pourquoi les personnes autistes paraissent souvent distantes ou en retrait. Ces difficultés s'observent dans le développement et le maintien des relations sociales, la participation aux activités de groupe, et les mimiques sociales, entre autres (Murad, et al., 2014).

D'intérêt plus particulier dans le présent mémoire, le trouble de spectre autistique est caractérisé par une variété d'anomalies sur le plan du fonctionnement perceptif. Un modèle explicatif du fonctionnement perceptif autistique (issue de Bertone et al, 2006) suggère que l'efficacité du traitement visuel varie en fonction de la complexité des réseaux neuronaux impliqués. Ainsi, pour la perception de bas niveau, les adultes autistes démontreraient une sensibilité diminuée quand plusieurs aires corticales sont recrutées pour traiter un stimulus complexe. Au contraire, quand le traitement repose principalement sur le cortex visuel primaire, leur sensibilité est intacte, voire augmentée. Cette dissociation de performance serait spécifique aux individus atteints de trouble de spectre autistique et peut s'expliquer, entre autres par une connectivité atypique au sein du cortex visuel (Mottron et al., 2006). Toutefois cette partie du modèle n'a pas été répliquée, et les travaux récents de ce groupe ont d'avantage montré outre que le traitement perceptif de stimuli complexe occupe une place prépondérante dans l'ensemble de la cognition et du comportement autiste, y compris pour des tâches impliquant des mises en relations complexes de niveau d'organisation perceptive (Mottron et al., 2021). De plus, la sur-représentation de la synesthésie dans ce groupe suggère une prédiction inverse relativement à la sur-connectivité entre les aires perceptives de différentes modalités. En effet, la cartographie véridique en tant que mécanisme spécifique peut expliquer l'incidence plus élevée des capacités autistiques, ainsi que d'autres phénomènes connexes, dans l'autisme. Les capacités savantes telles que l'hyperlexie et la

synesthésie entre autres partagent la même structure et le même cours de développement et représentent des manières connexes par lesquelles le cerveau perceptif traite les structures objectives dans différentes conditions. Il est plausible que ces phénomènes apparemment différents se développent grâce à un mécanisme de cartographie véridique dans lequel les informations perceptuelles sont couplées à des données isomorphes. La connectivité neuronale atypique caractéristique de l'autisme est cohérente avec une prédisposition développementale à la cartographie véridique et la forte prévalence de capacités autistiques qui en résulte (Mottron et al., 2013).

L'objectif principal du présent mémoire est de caractériser les mécanismes neuronaux oscillatoires sous-jacents à la performance visuelle dans l'autisme en utilisant la technique d'échantillonnage temporel aléatoire, qui permet d'examiner les caractéristiques temporelles du traitement visuel. Celles-ci seront comparées à celles rencontrées chez des participants neurotypiques appariés.

2. Contexte théorique

2.1. Trouble du spectre de l'autisme

C'est en 1943 que l'autisme a été pour la première fois décrit par Léo Kanner comme étant un trouble affectif de la communication et de la relation n'atteignant pas l'intelligence. Selon lui, l'autisme est une entité psychiatrique composée de deux axes sémiologiques principaux : l'isolement social ou *aloneness* et le besoin impérieux que tout reste inchangé ou *sameness*. En 1944, Hans Asperger qualifie l'autisme de psychopathie autistique, et le décrit comme un trouble caractérisé par des bizarreries et des aptitudes intellectuelles plus ou moins élevée selon le cas. Plus tard, Lorna Wing réactualisa cette définition peu diffusée et donna une première proposition pour définir le syndrome d'Asperger et le rapprocher de la description de Kanner (Iombardo et al., 2017).

Ces premières descriptions sont toujours d'actualité, car elles rendent compte de la nature complexe de cette entité clinique, avec des signes majeurs communs et des frontières relativement floues. Ainsi, la symptomatologie autistique et la notion de spectre qui comprendrait à la fois l'autisme typique dit "de Kanner", allant du haut au bas niveau de fonctionnement, et le syndrome d'Asperger, sans alteration du langage ou de l'intelligence, sont présents depuis les premières tentatives de définition de cette entité.

En 1944, le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-IV) de l'Association Américaine de Psychiatrie (APA) propose le terme Trouble envahissant du développement (TED). Il sera révisé en 2013 dans la cinquième édition du manuel (DSM-5) dans le but de répondre à l'aspect dimensionnel du trouble de l'autisme et tenter d'en intégrer la variabilité. Le DSM-5 introduit la notion de Trouble du spectre de l'autisme (TSA) et le fait figurer dans la catégorie des Troubles Neurodéveloppementaux (American Psychiatric Association, 2013).

Selon le DSM-5, le trouble du spectre autistique est ainsi défini comme étant une condition neurodéveloppementale caractérisée par :

1. Un déficit persistant dans les interactions sociales et un développement inhabituel de la communication (par exemple : difficulté à partager les émotions et les affects, anomalie du contact visuel, etc.) ;
2. Un mode restreint et répétitif des comportements, intérêts et activités (par exemple : stéréotypie motrice, écholalie, intolérance au changement, attachement à des objets insolites, intérêts excessivement circonscrits ou persévérants, etc.).

Ces symptômes sont présents depuis la petite enfance de l'individu et peuvent limiter ou retentir sur le fonctionnement de la vie quotidienne de ce dernier (American Psychiatric Association, 2013).

Les manifestations du trouble varient de façon importante selon le degré de sévérité des symptômes, le niveau de d'intelligence, le niveau de langage et l'âge chronologique, d'où l'utilisation du terme spectre. Ainsi, le trouble du spectre de l'autisme regroupe les catégories diagnostiques précédentes suivantes: l'autisme de l'enfance, l'autisme de Kanner, l'autisme à haut niveau de fonctionnement, l'autisme atypique, le trouble envahissant du développement non spécifié, le trouble désintégratif de l'enfance et le syndrome d'Asperger (American Psychiatric Association, 2013).

Au cours des dernières années, la fréquence du trouble du spectre de l'autisme s'approche internationalement à un taux moyen d'un pourcent de la population (Elsabbagh et al., 2013). Bien qu'une plus grande fréquence du trouble soit possible, celle-ci pourrait aussi s'expliquer par une disparité quant à la méthodologie employée à travers les études, une modification et un élargissement des critères diagnostiques, une meilleure compréhension et identification du trouble par les professionnels de milieu de la santé et une facilité d'accès aux services (Brugha et al. 2011).

Elle tend à être 2 à 3 fois plus élevée dans les études qui dénombrent les cas à partir des services obtenus. Ainsi, selon l'Enquête canadienne sur la santé des enfants et des jeunes (ECSEJ) de 2019, un enfant ou jeune canadien entre 1 et 17 ans sur cinquante (soit 2 %) était diagnostiqué du trouble de spectre autistique (agence de la santé publique du Canada, 2022). Plus particulièrement, au Québec selon le rapport « Surveillance du trouble du spectre de l'autisme

au Québec » publié en 2017 par l'institut national de santé publique (INSPQ), on observe un accroissement constant de l'incidence du trouble du spectre autistique à travers le temps. En 2014-2015, près de 17 000 personnes âgées de 1 à 17 ans ont reçu un diagnostic de trouble du spectre autistique au Québec.

La prévalence diffère selon le sexe. En effet, le trouble du spectre de l'autisme est diagnostiqué quatre fois plus souvent chez les garçons que chez les filles. Selon certaines études, dans les échantillons cliniques, les filles ont plus fréquemment un déficit intellectuel associé (Mandy et al. 2012). Cette notion s'est inversée, avec maintenant une large représentation de diagnostic tardif chez des femmes adultes. En effet, le fait que les femmes autistes pourraient avoir appris ou ayant du fait de leur sexe certaines capacités sociales, peut les faire apparaître plus neurotypiques (camouflage), rendant plus difficile l'observation si les difficultés sociales étaient de nature autistique (Cumin et al., 2022). Pour certains, ceci suggère que les filles sans déficit intellectuel ou sans retard de langage pourraient être sous-diagnostiquées, possiblement en raison d'une présentation clinique atténuée des difficultés sociales et de communication (Rivet et Matson, 2011). Cette notion, largement répandue dans la dernière décennie, doit cependant être soumise à un examen empirique résolvant ses problèmes de circularité.

Au Canada, la prévalence selon le sexe est tout à fait conforme à ce qui est observé dans la littérature. Ainsi, le diagnostic de trouble du spectre autistique est quatre fois plus fréquent chez les garçons que chez les filles. Depuis 2012, 99 estimations issues de 71 études ont été publiées indiquant une prévalence mondiale de l'autisme qui varie au sein et entre les régions, avec une prévalence médiane de 100/10 000. Le ratio médian hommes-femmes était de 4,2. Le pourcentage médian de cas d'autisme avec une déficience intellectuelle concomitante était de 33,0 % (Zeidan et al., 2022). Les résultats sont très proches au Québec, avec des incidences de 7,3 sur 1000 et 1,8 sur 1000 chez les garçons et les filles, respectivement (Diallo et al. 2017).

En ce qui concerne l'étiologie du trouble du spectre de l'autisme, elle semble multifactorielle. La génétique est un facteur indéniable mais la nature du mode de transmission et de la variation impliquée est inconnue. À l'heure actuelle, la littérature scientifique met en cause de nombreux facteurs favorisant pour expliquer l'origine de ce trouble ; entre autres, les conditions

obstétricales et néonatales, le statut socioéconomique, la zone de résidence, entre autres. Certaines hypothèses reliées à des facteurs environnementaux comme la vaccination ont été réfutées. Les facteurs environnementaux sociaux et physiques font l'objet de recherches constantes, mais les études les plus abouties excluent leur rôle dans l'augmentation de la prévalence. Selon une étude réalisée en 2020, de faibles preuves ont été trouvées pour les changements dans les facteurs environnementaux sous-jacents aux troubles du spectre autistique et aux traits autistiques au fil du temps. Les facteurs génétiques ont toujours joué un rôle plus important que les facteurs environnementaux. Les facteurs environnementaux sont donc peu susceptibles d'expliquer l'augmentation de la prévalence des troubles du spectre autistique (Taylor et al., 2020).

Un autre facteur est l'accroissement de la pathologisation perçue des comportements. En effet, une étude récente a montré que la déficience signalée augmentait avec les cohortes de naissance consécutivement plus tardives. Cela était évident à tous les niveaux de symptomatologie de l'autisme. À des niveaux de symptomatologie cliniquement pertinents, les parents des individus nés entre 2007 et 2009 ont signalé un degré de déficience supérieur de 23 % par rapport aux parents des individus nés entre 1995 et 1997. La différence relative, cependant, était encore plus grande à des niveaux qui auraient auparavant été considérés comme inférieurs au seuil diagnostique (Lundström et al., 2022).

2.2. Fonctionnement perceptif dans l'autisme

Depuis quelques décennies, les critères diagnostiques pour l'autisme ont évolué quant à la pertinence de facteurs relatifs au fonctionnement perceptif. Les symptômes relatifs à la perception visuelle qui étaient négligés à une certaine époque ont été graduellement intégrés au manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM). Le DSM-5 a introduit les problèmes de perception en tant qu'« hyper- ou hyporéactivité aux entrées sensorielles ou intérêt inhabituel pour les aspects sensoriels de l'environnement ». De plus, les comportements liés à la perception sont inclus dans les instruments de diagnostic *Autism Diagnostic Interview — Revised* (ADI-R) et *Autism Diagnostic Observation Schedule — Generic* (ADOS-G) en tant que réactions atypiques, positives ou négatives, aux informations sensorielles.

Le traitement perceptif atypique, qui se manifeste souvent par une performance perceptive améliorée, est maintenant inclus en tant que caractéristique associée du phénotype autistique. De nos jours, la présence d'un fonctionnement perceptif différent et supérieur dans l'autisme est bien établie dans la littérature scientifique et a mené à l'élaboration de nombreux modèles explicatifs. Plusieurs études ont fait état du rôle distinct et supérieur que joue la perception dans la cognition chez l'autiste, entre autres pour les modalités visuelle et auditive (Mottron, 2006).

Dès les premières observations du syndrome autistique en 1943, Léo Kanner avait relevé la présence d'une perception supérieure des détails chez les personnes autistes. Cette habileté se manifeste notamment par une tendance à remarquer des changements mineurs de l'environnement (Mottron, 2006), mais aussi à traiter l'information complexe et à en extraire des régularités (Mottron, 2009).

Au cours des trente dernières années, plusieurs hypothèses et modèles cognitifs de l'autisme ont vu le jour tentant d'expliquer les particularités perceptives des autistes, entre autres le modèle de la faiblesse de la cohérence centrale (Weak Central Coherence WCC) et celui de surfonctionnement perceptif (Enhanced Perceptual Functioning EPF).

La notion « cohérence centrale » réfère à la tendance des individus à développement typique à traiter l'information environnante dans son ensemble en tenant compte du contexte et de la globalité de l'information. Ce traitement holistique de l'information est généralement accompagné d'un moindre degré d'attention accordée aux détails. À l'opposé de ce type de traitement, un autiste privilégierait le traitement de l'information locale aux dépens du traitement de l'information globale. Le traitement perceptif atypique d'un autiste serait ainsi caractérisé par une « faible cohérence centrale ». Cette hypothèse « The weak central coherence model » (WCC) a été développée à la fin des années 1980 à la suite de l'étude de performances des autistes à la tâche « dessins avec blocs », qui a montré que la supériorité des autistes s'estompe quand la figure à reproduire est segmentée (Shah et Frith, 1993).

Plaisted et ses collaborateurs (1998) ont plus tard rapporté que les autistes ont une plus grande capacité de discrimination visuelle comparativement aux individus à développement typique. Ces particularités perceptives pourraient s'expliquer par un traitement inférieur des similarités

partagées par des stimuli ou par une plus faible capacité de généralisation chez les autistes. Ils traiteraient ainsi les particularités uniques d'un stimulus d'une façon plus efficace que les caractéristiques communes. Cette hypothèse met en évidence deux prédictions, qui ont été appuyées empiriquement :

1. Les autistes devraient montrer un profil de performance supérieur à une tâche de discrimination difficile, nécessitant une bonne capacité à reconnaître les caractéristiques uniques des stimuli.
2. À l'opposé, un profil de performances inférieures devrait être observé à une tâche de catégorisation, nécessitant une bonne capacité à reconnaître les capacités communes des stimuli.

Cette hypothèse de traitement inférieur des traits communs entre les configurations a été déterminante dans la conception du modèle de surfonctionnement du traitement perceptif de bas niveau chez les autistes. Ainsi, en s'inspirant de ces modèles, Laurent Mottron propose en 2001 la théorie du surfonctionnement perceptif ou Enhanced Perceptual Functioning (EPF), qui postule que la perception joue un rôle différent dans l'autisme, non pas en lien avec des anomalies de perception globale, mais en raison d'habiletés supérieures de traitement des informations locales ou de bas niveau. Ce modèle explicatif, l'EPF, a permis de comprendre la singularité de la perception autistique et comment elle se distingue de la perception des personnes présentant un développement typique. Dans leur version révisée du modèle EPF, Mottron et al., (2006, 2009, 2013) ont distingué huit principes de base qui caractérisent la perception chez les autistes :

1. Le traitement perceptif est orienté préférentiellement vers les aspects locaux. Cela suppose que la perception des détails chez les autistes est augmentée, expliquant la tendance à privilégier le traitement des informations locales plutôt que le traitement des informations globales. Un autiste est ainsi capable de détecter une cible parmi des distracteurs dans une tâche de recherche visuelle, plus rapidement qu'une personne à développement typique.

2. Le traitement perceptif des autistes se caractérise par des différences dans les tâches dites de bas niveau (tâches de discrimination, recherche et identification de cibles) par rapport aux non-autistes.
3. Des comportements précoces atypiques face aux informations visuelles sociales et non sociales sont souvent relevés chez les autistes (regards latéraux orientés vers des stimuli en mouvement). Ces comportements peuvent découler d'une tentative de restreindre l'entrée excessive d'informations et à optimiser le traitement des informations dynamiques, vu que la perception des détails est supérieure chez un autiste (1) et la perception du mouvement est diminuée (2).
4. La perception se caractérise chez les autistes par la surutilisation du réseau cérébral postérieur, plus spécifiquement des régions visuo-perceptives. Ainsi, chez les autistes, les régions cérébrales dédiées au traitement perceptif primaire et associatif sont activées de manière atypique.
5. La théorie sur la perception autistique stipule que le traitement de haut niveau obligatoire chez les individus à développement typique est optionnel chez les autistes. Ainsi, ces derniers font preuve d'une plus grande autonomie de la perception dans son ensemble à l'égard des fonctions de haut niveau que les personnes avec un développement typique.
6. Une expertise perceptive se situe à la base du syndrome savant chez l'autiste, au même titre qu'une expertise dans des domaines particuliers peut être relevée chez les non-autistes. Toutefois, le choix de ces capacités spéciales se ferait selon un processus ascendant *bottom-up* plutôt que descendant *top-down*.
7. Le syndrome savant peut servir d'un modèle autistique (moyen de classification) pour la subdivision des troubles envahissants du développement (TED). Selon ce principe, les divers profils de ce trouble pourront être en partie attribuables aux différences dans le domaine d'expertise perceptive.
8. Les particularités perceptives des autistes peuvent être expliquées par le surfonctionnement des aires perceptives primaires.

Cette théorie du surfonctionnement perceptif est intéressante dans la mesure où elle ne met pas seulement l'accent sur les difficultés des autistes, mais aussi sur leurs capacités égales voire supérieures aux personnes à développement typique dans certaines tâches telles que les puzzles, la reconnaissance visuelle, les figures encastrées, etc. (Samson et al. 2012).

Selon Mottron (2009), la perception dans l'autisme est associée à des émotions positives et à des intérêts intenses, mais l'hypersensibilité sensorielle représente un aspect limité et peu représentatif de ce qui caractérise la perception autistique, qui est une force. Un rôle accru de la perception contribue à l'apprentissage du langage écrit et oral et à l'intelligence d'ordre supérieur chez les autistes (Mottron, 2019).

Cela permet d'expliquer les pics de compétences observés dans les différentes études citées dans Samson et al. (2012). Les forces visuelles apparaissent dans le sous-test *Block Design* des échelles d'intelligence de Wechsler, la tâche *Embedded Figures*, les tâches de recherche visuelle et celle de discrimination visuelle (Samson et al. 2012).

Les autistes présentent souvent des capacités de perception améliorées lorsqu'ils sont engagés dans la recherche visuelle, la discrimination visuelle et la détection de figures intégrées. De la même manière, tout en effectuant une gamme de tâches perceptives ou cognitives, les autistes affichent un engagement physiologique du système visuel plus fort que les non-autistes (Samson et al., 2012).

Dans la partie suivante, nous développerons comment les distinctions entre les autistes et les individus à développement typique sur le plan de la perception peuvent provenir d'une différence majeure dans l'organisation des connexions neuronales dans le cerveau.

2.3. Activation cérébrale dans l'autisme

Sur le plan cognitif, les autistes présentent des profils très différents de celui des individus à développement typique, et leur niveau de fonctionnement varie beaucoup d'une personne à l'autre. D'ailleurs, les autistes peuvent avoir un quotient intellectuel (QI) allant de la déficience intellectuelle à la douance, tout comme les personnes à développement typique (Elsabaggh 2022). Cependant, les recherches scientifiques sur l'activation cérébrale dans l'autisme suggèrent

que les autistes présentent « une organisation différente de l'axe hiérarchique antéro-postérieur ainsi que de l'axe de spécialisation dorsoventral » (Mottron et al., 2006, p.39). En d'autres termes, il existerait une organisation du traitement de l'information profondément différente entre les autistes et les autres individus. Cette différence apparaît aussi bien dans les modes d'apprentissage et de consolidation de l'information, que dans l'organisation microscopique corticale et dans la distribution macroscopique des aires cérébrales impliquées dans la réalisation de diverses tâches et opérations cognitive (Mottron, 2009).

Le principe 8 de la théorie du surfonctionnement perceptif ou Enhanced Perceptual Functioning (EPF) tente de faire un parallèle entre le fonctionnement cérébral et le fonctionnement cognitif des autistes et des individus à développement typique. En effet, chez les personnes à développement typique les régions plus antérieures sont impliquées dans le traitement grossier et les processus de haut niveau alors que les régions plus postérieures sont impliquées dans le traitement de précision (Mottron et al., 2006). Cette organisation corticale particulière semble pouvoir expliquer les caractéristiques opposant la perception des autistes et des non autistes :

- La tendance des autistes à traiter de manière préférentielle les aspects locaux des stimuli (principe 1), l'activation supérieure des régions postérieures (principe 4) ainsi que la plus grande autonomie de ces aires dans le traitement *top-down* (principe 5) sont expliquées par le déplacement du traitement de l'information vers les régions plus postérieures.
- La fonction de régulation des hautes fréquences spatiales et des regards latéraux précoces (principe 3) est associée à une entrée perceptive excessive au niveau des aires visuelles postérieures.
- Les capacités spéciales sous-jacentes au syndrome de l'autiste savant (principe 6) sont expliquées par l'absence d'interférence due aux processus *top-down* ainsi que par une préférence pour le traitement local (Mottron et al., 2006). Cet aspect du model a été largement repris par les modèles "bayésien" de la perception autistique (Palmer et al., 2017).

Le fonctionnement cérébral chez l'autiste est ainsi caractérisé par un déplacement de l'axe hiérarchique vers les aires postérieures, une plus grande implication et entrée perceptive

excessive au niveau des aires visuelles postérieures et un déplacement de l'axe de spécialisation vers les régions centrales du cortex visuel.

De manière congruente, de nombreuses études impliquant la réalisation de tâches visuelles ont montré que l'activité dans les régions temporale, occipitale et pariétale était plus élevée chez les autistes par rapport à celle trouvée chez les individus à développement typique (Mottron et al. 2013).

Mottron et al. (2016) ont trouvé qu'une connectivité ascendante plus forte à partir du cortex occipital est causé à une meilleure performance de raisonnement visuospatial et non verbal chez les enfants atteints d'un trouble de spectre autistique (Mottron et al. 2016).

Les chercheurs se sont de plus en plus tournés vers des techniques de neurophysiologie et neuroimagerie pour étudier les bases neuronales de ces différences. Dans la partie suivante, nous développerons comment la synchronisation neuronale harmonique, appelée oscillation, est altérée chez les individus atteints du trouble de spectre autistique.

2.4. Oscillations neuronales

Les oscillations neuronales sont des activités rythmées qui peuvent être révélées en mesurant l'activité cérébrale par électroencéphalogramme (EEG) ou par magnétoencéphalographie (MEG). Les oscillations sont des fluctuations en va-et-vient dans le niveau d'activité de populations de neurones (Cohen, 2014). Ces oscillations reposent sur une synchronisation de potentiels d'action (PA) par des ensembles de neurones. Elles varient dans leur amplitude (puissance), leur durée et leur fréquence (Delta 1-4Hz, Thêta 4-8Hz, Alpha 8-14Hz, Bêta 15-39 Hz, Gamma >30 Hz, entre autres, bien que les gammes exactes peuvent varier selon les auteurs) (Berger, 1929).

Plusieurs études lient les oscillations neuronales à des fonctions cognitives spécifiques. Toutefois, il est impossible de lier une fonction cognitive unique à une onde précise, car il existe une multitude de fonctions cognitives. Les oscillations contribueraient plutôt aux différentes fonctions cognitives selon leurs paramètres (fréquence, puissance, cohérence, phase) ainsi que leur localisation dans le cerveau. Il a été démontré que ces divers paramètres et propriétés des

oscillations, y compris l'amplitude de l'activité rythmique et les moments des pics et les creux exercent une grande influence sur la perception (Hermann et al. 2016).

L'intérêt des oscillations cérébrales dans l'autisme est démontré par plusieurs études d'enregistrement de l'activité électrique cérébrale qui révèlent des anomalies significatives à cet égard. Cependant les mécanismes neuronaux sous-tendant l'altération perceptive chez les individus atteints de trouble du spectre autistique demeurent incompris (Simon et Wallace, 2016).

De plus, des enquêtes utilisant l'électroencéphalographie (EEG) (Cohen et al., 2014) ainsi que la magnétoencéphalographie (MEG) (Ye et al., 2014) ont examiné la connectivité sur des échelles de temps plus rapides et ont indiqué que les altérations de la connectivité sont un trait caractéristique des troubles du spectre autistique. Ces études de neuroimagerie soutiennent que les atypies perceptives du trouble du spectre de l'autisme pourraient être causées par un développement atypique des oscillations neuronales reliées à la perception. Une perturbation de la synchronisation neuronale à haute ou basse fréquence aurait donc un impact sur le processus d'intégration de l'information en percepts, et serait cohérente avec les atypies perceptives observés dans les troubles du spectre autistique. Cette perturbation est omniprésente lors du traitement sensoriel et perceptif chez les autistes. Elle est observable au niveau de plusieurs tâches sensorielles et perceptives et dans plusieurs bandes de fréquences de la hiérarchie oscillatoire (Simon et Wallace, 2016).

Sur la base de toutes ces études, le dysfonctionnement de la synchronisation oscillatoire et les altérations de la connectivité ont été proposés à la fois comme biomarqueur de perturbation des processus sensoriels et le pont entre la biologie altérée et la perception altérée chez les autistes (Stevenson et al., 2014).

2.5. Technique d'échantillonnage temporel

La technique de l'échantillonnage temporel aléatoire est une technique psychophysique, cette technique repose sur les principes de la technique des "Bubbles" développée par McCabe, Blais et Gosselin en 2005. Elle permet d'étudier l'évolution de l'encodage visuel dans le temps ainsi

que les fréquences temporelles qui donnent lieu à un meilleur encodage. Les caractéristiques temporelles révélées par cette technique proviendraient des mécanismes neuronaux oscillatoires sous-tendant le fonctionnement perceptif requis par la tâche réalisée par l'observateur. Elle a été appliquée dans des expériences de reconnaissance visuelle utilisant différentes classes de stimulus (mots, objets familiers, objets nouveaux et visages).

L'intérêt d'utiliser cette technique part d'un principe de plus en plus largement admis : l'activité neuronale ayant un impact fonctionnel prendrait la forme d'influx nerveux synchronisés produits par des circuits neuronaux transitoires, avec une répétition de ces influx synchronisés à une fréquence particulière pendant une brève période de temps. On réfère à cette activité sous le terme d'oscillations neuronales. Si ces oscillations sont effectivement responsables du traitement perceptivo-cognitif d'un stimulus, l'efficacité de ce traitement doit varier à travers le temps. Ceci pourrait être mis en évidence à travers l'utilisation de stimuli oscillatoires. Cette prédiction a récemment été vérifiée à travers plusieurs études portant sur la perception visuelle (Achouline & Arguin, 2019; Arguin, 2018; Arguin & Massé, 2019; Ferrandez & Arguin, 2019).

Les stimuli présentés sont faits de la combinaison linéaire d'un stimulus cible (le signal) et d'un champ de bruit blanc (le bruit). Le rapport signal/bruit varie selon une fonction d'échantillonnage construite par l'intégration d'ondes sinusoïdales de 5 à 55 Hz (par pas de 5 Hz) avec des amplitudes et des phases aléatoires. Plus précisément, celle-ci consiste à la présentation d'images superposées de bruit blanc, où le rapport signal/bruit varie à travers le temps selon une fonction d'échantillonnage telle celle décrite plus haut.

La technique d'échantillonnage temporel a d'abord été utilisée par Blais, Arguin et Gosselin (2013). Dans leur étude, ils ont utilisé une tâche de reconnaissance de visages non familiers où ils présentaient les stimuli pendant 200 ms et faisaient varier le rapport signal-sur-bruit à travers le temps selon des fréquences de 5 à 20 Hz. Ils ont trouvé que les participants ont donné de meilleures performances lorsque les variations du rapport signal-sur-bruit à travers le temps avaient une amplitude particulièrement élevée dans l'étendue entre 10 à 15 Hz.

Cette technique a été ensuite reprise par Arguin, Ferrandez & Massé (2021) pour évaluer l'encodage visuel de différentes classes de stimuli. Ainsi, dans cette étude, les participants devaient reconnaître des stimuli (mots, objets familiers, objets non-familiers ou visages) superposés de bruit blanc et présentés pendant 200 ms. Le rapport signal-sur-bruit variait à travers le temps selon l'intégration d'ondes sinusoïdales de fréquence entre 5 et 55 Hz avec des phases et des amplitudes aléatoires. Les stimuli étaient présentés sur un écran dont la vitesse de rafraîchissement était de 120 Hz. Les résultats renforcent fortement l'idée que l'échantillonnage temporel aléatoire exploite des mécanismes visuels fondamentaux qui sont largement partagés chez les adultes neurologiquement intacts.

Dans le présent projet, l'intérêt est d'utiliser cette technique auprès de participants autistes afin d'explorer les caractéristiques temporelles de leur traitement visuel qui, comme indiqué plus haut, se distingue de celui rencontré dans la population neurotypique.

3. Objectifs

À la lumière de la littérature présentée ci-haut, nous croyons que la technique d'échantillonnage temporel présente un potentiel intéressant pour l'étude des particularités du fonctionnement visuel et de ses bases physiologiques dans l'autisme. Notamment, la performance perceptive s'avère sensible aux manifestations comportementales des oscillations cérébrales, permettant ainsi d'étudier les relations entre le fonctionnement perceptif et l'activité neuronale sous-jacente. De plus, les méthodes d'évaluation qu'elle implique sont plus facilement accessibles et demandent un niveau de sophistication technique inférieur à la mesure directe de l'activité électrique cérébrale.

L'objectif principal de la présente étude vise donc d'utiliser la technique d'échantillonnage temporel afin d'examiner les caractéristiques temporelles du traitement visuel chez des participants autistes. Celles-ci seront comparées à celles rencontrées chez des participants neurotypiques appariés.

L'expérience 1 du présent mémoire fera usage d'une tâche de reconnaissance d'objets familiers alors que l'expérience 2 portera sur la reconnaissance de mots écrits.

4. Hypothèses

Sur la base des études citées plus haut, nous nous attendons à retrouver des différences importantes dans les caractéristiques temporelles du traitement visuel entre les participants autistes et non-autistes, et ce autant pour la reconnaissance de mots écrits que d'objets. En d'autres termes, il est prévu que les images de classification (qui est une image construite par la soustraction des essais auxquels les participants ont commis des erreurs de celles associées aux réponses correctes) obtenues aux deux tâches soient significativement différentes à travers les groupes de participants.

5. Expérience 1

5.1. Méthodologie

Participants

Trente-deux jeunes adultes âgés entre 20 et 40 ans (âge moyen : 30 ans) ont participé à cette étude. Ils avaient tous une vision normale ou corrigée à la normale. Seize participants étaient cognitivement et neurologiquement sains, alors que les seize autres étaient autistes avec un retard initial du langage (diagnostic posé préalablement par un spécialiste reconnu) – Voir le tableau 1. Chacun a signé un consentement éclairé et reçu une compensation financière de 45\$ pour chaque séance. Pour les participants autistes, une évaluation du fonctionnement intellectuel avec le test WASI-II (Wechsler Abbreviated scale intelligence – 2nd edition) était déjà disponible. Pour fins de comparaisons, ce même test a été administré aux participants avant de passer à la phase expérimentale à proprement parler. Les scores moyens et l'écart-type de chaque groupe sont indiqués au tableau 1. Toutes les procédures ont été effectuées avec l'approbation du comité d'éthique du Centre intégré universitaire de santé et services sociaux du Nord de l'île de Montréal (certificat d'éthique reconnu par le comité d'éthique de la recherche en éducation et psychologie de l'Université de Montréal). Les participants ont été recrutés par l'entremise de la Banque de données de la clinique spécialisée en autisme de l'hôpital Rivière-des-Prairies.

Tableau 1

	Spectre autistique		<i>P</i>
	Autiste	Typique	
	Autiste	Contrôle	Autiste vs Contrôle
N	16 (16H : 0F)	16 (9H : 7F)	$\chi^2(1) = 8.96; p < .01$
Age (<i>SD</i>)	31,6(5.1)	29,5(4.2)	$T(30) = -1.26; n.s.$
Intervalle	20 – 40	20 – 36	
FSIQ	104,1(11.5)	90,9(5.6)	$T(30) = -4.10; p < .001$
Intervalle	87-128	81-102	
Latéralité	13D : 3G	15D : 1G	$\chi^2(1) = 1.14; n.s.$

Tableau 1. – Tableau montrant le niveau de signification des différences entre les deux groupes de participants.

Stimuli

Les stimuli sont 200 photographies d'objets familiers qui ont été tirées de la « Bank of Standardized Stimuli » (voir Annexe A pour des exemples d'images utilisées, voir Annexe B pour la liste complète des stimuli utilisés). Les stimuli ont été choisis selon les normes de Brodeur, Kehayia, Dion-Lessard, Chauret, Montreuil, Dionne-Dostie et Lepage (2012) afin qu'ils soient facilement reconnaissables et que les participants aient de la facilité à en trouver le nom. Chaque stimulus était présenté dans un ordre aléatoire à chacun de 3 blocs expérimentaux. 24 autres stimuli tirés de la « Bank of Standardized Stimuli » ont été utilisés pour un court bloc de pratique ayant immédiatement précédé la séquence de blocs expérimentaux.

Matériel

Le stimulus était présenté sur un écran à DEL ASUS VG248QR full HD à un taux de rafraîchissement de 120 Hz. Le programme expérimental est écrit en Matlab, avec l'utilisation de fonctions de la « Psychophysics Toolbox » (Kleiner et al, 2007). Les images des stimuli étaient présentées pendant 200 ms et du bruit blanc visuel leur sera superposé. Le contraste de la cible (le signal) a été ajusté de manière à maintenir le taux de réponses correctes aux environs de 50%. La plage de bruit aléatoire utilisée était constante pour un essai et variait aléatoirement à travers les essais.

Voici un vidéo illustrant l'aspect des cibles de l'Exp. 1 présentées avec ce type de variation du rapport signal-sur-bruit à travers le temps disponible au lien suivant : <https://umontreal.ca.panopto.com/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=27f0b1cb-d288-423a-af08-aeb300b8a445>

Procédure

A chaque essai, les participants devaient nommer à voix haute l'objet présenté. L'expérimentateur inscrivait ensuite leur réponse par le biais du clavier de l'ordinateur. La variable dépendante était l'aspect correct/incorrect des réponses des participants (exemple des mauvaises réponses : si l'image devant le participant est boule de Noël, il a le droit de répondre par une bombe mais pas par une tasse), sans qu'aucune pression ne soit exercée pour la production d'une réponse rapide. L'expérience comportait un total de 600 essais expérimentaux

repartis en trois blocs entre lesquels les participants ont pu prendre une pause. La durée complète de l'expérience 1 est d'environ 120 minutes. Les séances avaient lieu au laboratoire de neurocognition visuelle du Prof. Martin Arguin, situé au Département de psychologie de l'Université de Montréal. Le déroulement des séances s'est fait en conformité avec le plan de mitigation COVID-19 du laboratoire, qui a été approuvé par les autorités compétentes.

Au début de l'expérience, le contraste de l'image de la cible était à 40% de sa valeur originale. Puis, à partir du 11^e essai, si le participant avait une performance inférieure à 50% dans les 10 essais précédents, le contraste de la cible était diminué d'un pas. Au contraire, si cette performance était inférieure à 50%, le contraste de la cible était augmenté d'un pas. La valeur initiale du pas était de 16% et celle-ci diminuait de moitié à chaque fois que la modification du niveau de bruit changeait de direction, et ce jusqu'à l'atteinte d'une valeur de 1. L'état de l'algorithme à la fin d'un bloc expérimental était retenu pour être utilisé dès le début du bloc suivant.

Le rapport signal-sur-bruit varie à travers la durée d'exposition selon une fonction d'échantillonnage créée par l'intégration d'ondes sinusoïdales de fréquence entre 5 et 55 Hz (par pas de 5 Hz) avec des amplitudes et des phases aléatoires. En revanche, l'énergie de la stimulation sera maintenue constante, c'est-à-dire que toutes les images constituant la séquence présentée au cours d'un essai auront un contraste RMS normalisé à 1. Une nouvelle fonction d'échantillonnage sera créée à chaque essai. Le rapport signal-sur-bruit sera normalisé dans l'étendue 0 (seul le bruit visuel sera visible) à 0,5 (le signal est obstrué partiellement par le bruit visuel). Étant donné la durée de 200 ms de la cible et la fréquence temporelle de 120 Hz offerte par l'écran de stimulation, chaque essai était constitué d'une séquence de 24 images.

Analyses Statistiques

Les données sont analysées de manière semblable à Arguin et al. (2021). Les principales analyses portent sur la construction des images de classification, qui révèlent les variations de l'efficacité perceptive en fonction des caractéristiques temporelles de la visibilité du stimulus. Ces images de classification sont également décomposées en leurs spectres de puissance et de phase par analyse de Fourier. Elles sont construites par la soustraction pondérée des fonctions

d'échantillonnage des essais auxquels les participants ont commis des erreurs de celles associées aux réponses correctes. Pour cette opération, les fonctions d'échantillonnage ont été codées sous forme de :

- Variations du rapport signal/bruit dans le temps (domaine temporel),
- Contenu local de fréquence temporelle de ces fonctions dans le temps (domaine temps-fréquence).

L'efficacité du traitement réfère à la capacité des participants à utiliser les informations disponibles pour effectuer leur tâche correctement.

Ces images de classification brutes ont ensuite été transformées en scores Z par une opération de bootstrap, au cours de laquelle les fonctions d'échantillonnage ont été attribuées de manière aléatoire à l'exactitude des réponses (i.e. correctes ou erreurs) tout en permettant la répétition, et à partir desquelles des images de classification ont été construites. La moyenne et l'écart-type de 1000 images de classification aléatoires pour chaque participant individuel ont servi de référence pour transformer les valeurs de son image de classification brute en scores Z.

Une fois transformées en une échelle commune, les images de classification individuelles ont été moyennées, lissées, puis soumises à un test Pixel avec $\alpha = 0,05$ pour déterminer les points des images de classification qui différaient significativement de zéro. Le test de Pixel est dérivé de la théorie des champs aléatoires et est appliqué depuis environ 30 ans pour l'analyse des données d'imagerie cérébrale. Son but est d'établir la valeur Z qui servira de critère de significativité pour une image en scores Z. Dans le cas des images de classification rapportées ici, le filtre de lissage était gaussien et avait une largeur à mi-hauteur (FWHM) de 1,0 unité dans le domaine temporel et de 1,5 unité dans le domaine temps-fréquence. Ainsi, pour obtenir un α global de 0,05, l'entrée donnée à l'algorithme effectuant le test Pixel demandait $\alpha = 0,025$. Le score Z critère obtenu a ensuite été utilisé dans sa valeur positive pour identifier les points significativement supérieurs à 0 et dans sa valeur négative (i.e. $Z_{crit} * - 1$) pour identifier les points significativement inférieurs à 0.

Les analyses de la concordance, ou cohérence des images de classification entre les participants ayant pris part à la même expérience ont été réalisées à l'aide du coefficient de corrélation intraclasse (ICC) (Shrout & Fleiss., 1979). L'IC évalue la similitude entre les participants d'un groupe en ce qui concerne la structure de leurs résultats pour un ensemble de mesures. L'intérêt de faire ces analyses, c'est parce que le test Pixel ne tient pas compte des différences individuelles. On peut donc avoir des IC avec des effets très significatifs mais qui ne se retrouveront pas pour autant présents chez une forte proportion des participants. Avec le test de cohérence intraclasse, on peut vérifier si effectivement le pattern qu'on observe dans les IC moyennes constitue un bon reflet de ce qu'on retrouve chez les individus formant le groupe.

Les spectres de phase et de puissance des images de classification ont été extraits par analyse de Fourier unidimensionnelle. Dans le cas des IC temps-fréquence, cette analyse de Fourier a été appliquée séparément sur chaque bande de fréquence oscillatoire du signal/bruit (de 5 à 55 Hz, par pas de 5 Hz). Ensuite les spectres de phase et de puissance des IC ont été comparés entre les deux groupes de participants (autistes et contrôles) avec une ANOVA.

Les tests statistiques appliqués pour les comparaisons inter-groupes des images de classification reposeront également sur une procédure de « bootstrapping » suivie par une application du test Pixel. Dans un premier temps, l'image de classification moyenne obtenue pour un groupe sera soustraite de celle obtenue pour un autre groupe. Cette image de classification différentielle sera ensuite convertie en scores-z en utilisant une moyenne et un écart type de référence établis par une procédure de « bootstrapping » consistant en une assignation aléatoire sans exclusion des images de classification individuelles à un groupe ou l'autre qui sera répétée un grand nombre de fois (1000 itérations). L'image de classification différentielle sur une échelle en scores-z ainsi obtenue sera ensuite soumise au test Pixel afin d'en déterminer les portions qui se distinguent significativement entre les groupes ainsi que la direction de cette différence.

5.2. Résultats

Niveaux de performance

En moyenne, les participants adultes ont obtenu un taux de réponses correctes de 51,5% pour un niveau de contraste moyen de l'image de la cible de 15%. Pour le groupe de participants autistes, les valeurs correspondantes sont de 51,8% et de 13,9%.

Images de classification temporelles

Chez les contrôles. (Figure.1.) Le test Pixel appliqué sur l'IC temporelle du groupe contrôle révèle trois périodes importantes caractérisant leur efficacité de traitement. Une phase initiale d'efficacité de traitement significativement supérieure à 0 dans l'intervalle 16,6 à 49,9 ms, dont le maximum d'efficacité est atteint à l'image 4 (33,3 ms) est suivie d'une phase pendant laquelle l'efficacité est significativement inférieure à 0 dans l'intervalle 49,9 à 124,9 ms, dont le minimum d'efficacité est atteint à l'image 10 (83,3 ms). Finalement, une troisième phase consistant en une nouvelle période d'efficacité supérieure à 0 dans l'intervalle 124,9 à 174,9 ms (dont le sommet d'efficacité est atteint à l'image 17 et 18; 141,6 et 149,9 ms). La cohérence inter-sujets est de 0.46 et est significativement supérieure à 0 ($F(23, 345) = 1,88; p < .005$).

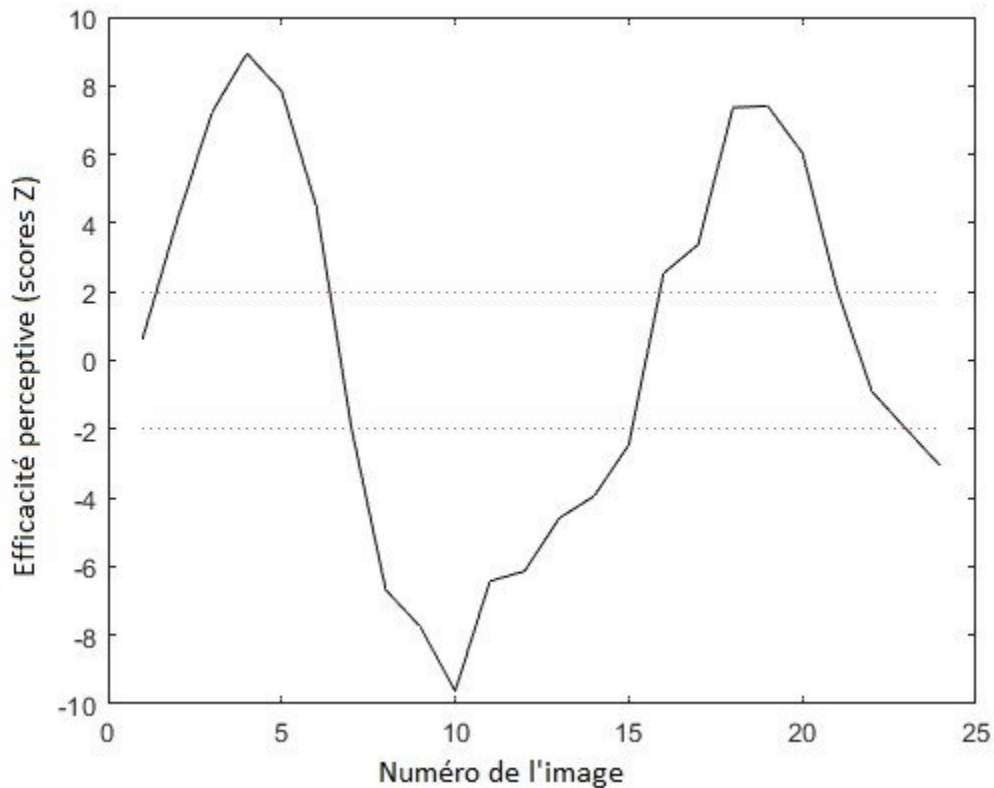


Figure 1. – Image de classification temporelle représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d’objets familiers chez les participants contrôles.

Chez les autistes. (Figure.2.) L’image de classification temporelle moyenne des participants autistes est sensiblement en opposition de phase à celle du groupe contrôle. Ainsi, le test Pixel démontre une efficacité de traitement significativement inférieure à 0 tôt après le début de la présentation de la cible dans l’intervalle 8,3 à 33,3 ms, dont le minimum d’efficacité est atteint à l’image 2 et 3 (16,6 et 24,9 ms). Suivi d’un pic dans l’intervalle 41,6 à 124,9 ms, dont le maximum d’efficacité est atteint à entre l’image 8 à 13 (66,6 à 108,2 ms). Suivi d’un creux dans l’intervalle 15 jusqu’à la fin de la période d’exposition du stimulus (de 124,9 à 200 ms), dont le minimum d’efficacité est atteint à l’image 18 et 19 (149,9 et 158,2 ms). La cohérence inter-sujets est de 0.002 et n’est pas significativement différente de 0 ($F(23, 345) = 1,00; n.s.$).

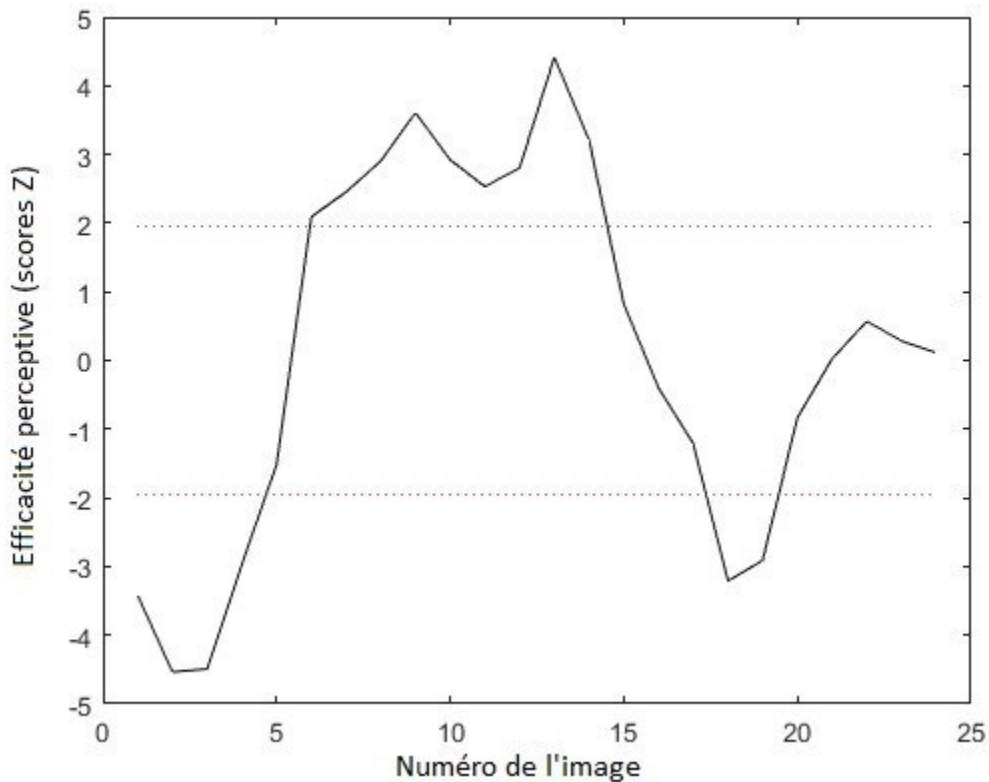


Figure 2. – Image de classification temporelle représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d’objets familiers chez les participants autistes.

IC différentielle – Domaine Temporel

Les images de classification illustrant les contrastes inter-groupes (auxquelles nous référerons sous le terme ‘d’images de classification différentielles’) sont obtenues en faisant la soustraction suivante : IC contrôle – IC autiste. Ceci implique que les valeurs positives reflètent une efficacité plus grande pour les contrôles que pour les autistes et les valeurs négatives reflètent une efficacité plus grande pour les autistes que pour les contrôles. Tel qu’indiqué précédemment, les IC différentielles ont été soumises au test Pixel afin de déterminer les points auxquels les groupes sont significativement différents l’un de l’autre.

La comparaison entre contrôles vs autistes révèle deux périodes importantes où l’efficacité perceptive des contrôles est supérieure à celle des autistes (Figure.3). La première de ces phases

se situe dans l'intervalle 0 à 49,9 ms, pour laquelle la supériorité du groupe contrôle atteint son maximum à l'image 4 et 5 (33,3 et 41,6 ms). La deuxième phase se situe dans l'intervalle 133,2 à 174,9 ms et son point maximal est atteint à l'image 18 et 19 (149,9 et 158,2 ms). Entre ces deux phases, nous constatons une période allant de 49,9 à 124,9 avec un pic à l'image 10 (83,3 ms) pour laquelle ce sont les participants autistes qui présentent une plus grande efficacité de traitement que les contrôles.

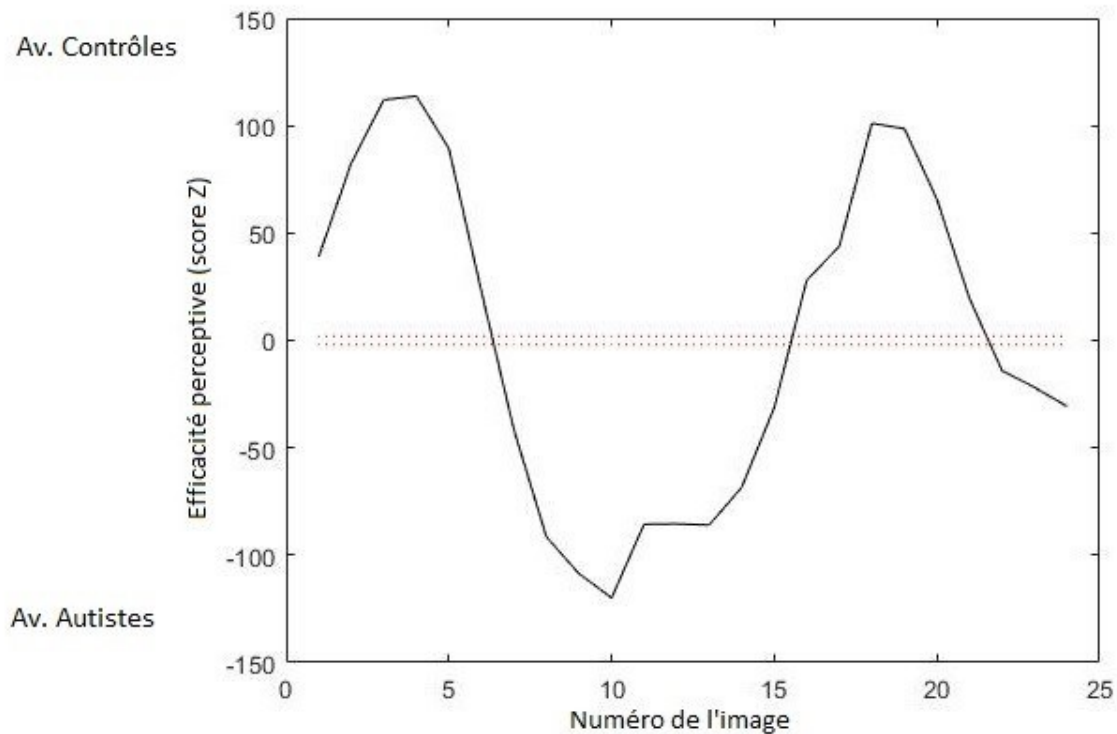


Figure 3. – Image de classification temporelle des participants contrôles vs autistes dans l'expérience des objets familiers.

Images de classification temps-fréquence

Dans les IC temps-fréquences, les couleurs plus chaudes indiquent que la performance des participants est améliorée avec le rapport signal/bruit émis sur le stimulus donné. En revanche, les couleurs plus froides indiquent que les informations affichées sur le stimulus à ce moment-là ont interféré avec les performances. Les zones de l'IC qui sont blanches correspondent à des

combinaisons de temps et de fréquences oscillatoires pour lesquelles l'efficacité de traitement n'est pas significativement différente de 0.

Chez les Contrôles. (Figure. 4.) En se reposant sur le test de Pixel dans le domaine temps-fréquence, l'image de classification montre que dès l'apparition du stimulus, l'efficacité de traitement visuelle est associée à des scores Z positifs dès la première image jusqu'à la quatrième (8,3 à 33,3 ms), pour les fréquences d'oscillation du stimulus qui sont inférieures à 25 Hz. Chevauchant cette période, nous retrouvons une zone importante de scores Z négatifs des images 4 jusqu'à 15 (33,3 à 124,9 ms) pour des fréquences oscillatoires supérieures à 15 Hz. Une deuxième zone de haute efficacité de traitement est retrouvée ensuite des images 16 à 23 (133,2 à 191,5 ms) pour une grande étendue de fréquences oscillatoires allant de 5 à 45 Hz. Enfin, on retrouve une petite zone d'efficacité négative à l'image 24 (200 ms) pour les fréquences oscillatoires de 20 et 25 Hz. La cohérence inter-sujets est de 0.48, ce qui est significativement supérieur à 0 ($F(263, 3945) = 1,92; p < .005$).

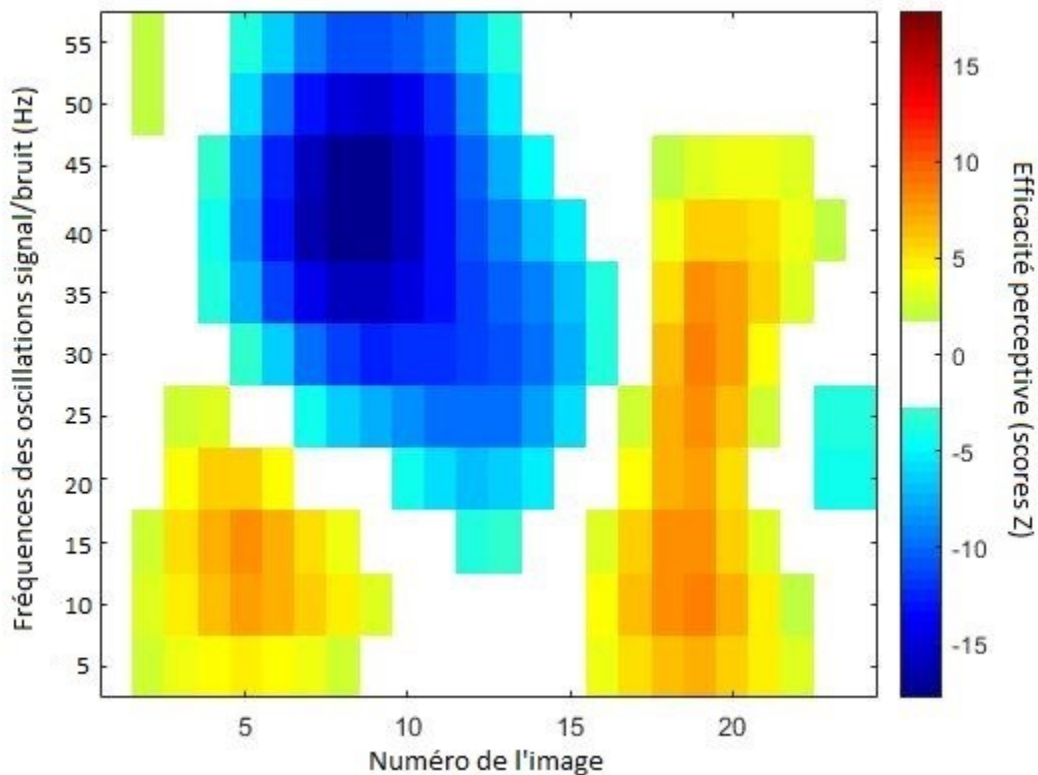


Figure 4. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles du rapport signal/bruit en reconnaissance d'objets familiers chez les participants contrôles.

Chez les autistes. (Figure 5.) En se reposant sur le test de Pixel dans le domaine temps-fréquence, l'image de classification montre qu'à l'apparition du stimulus, les oscillations signal-sur-bruit de haute fréquence entraînent une efficacité élevée de traitement (images 1 à 8; i.e. 0 à 66,6 ms; fréquences de 25 à 55 Hz) alors que des fréquences plus basses (images 3 et 4; i.e. 24,9 à 33,3 ms; fréquences de 10 et 15 Hz) sont associées à des scores Z négatifs. Plus tardivement, ce sont plutôt les basses fréquences d'oscillation du stimulus qui produisent une haute efficacité de traitement alors que nous observons de brefs moments d'efficacité particulièrement faibles avec des hautes fréquences oscillatoires (images 10 à 12; i.e. 83,3 à 99,9 ms; fréquences de 40 à 55 Hz et images 23 et 24; i.e. 191,5 à 200 ms; fréquences de 45 à 55 Hz). La cohérence inter-sujets est de -0.076, ce qui n'est pas significativement différent de 0 ($F(263, 3945) = 0,93; n.s.$).

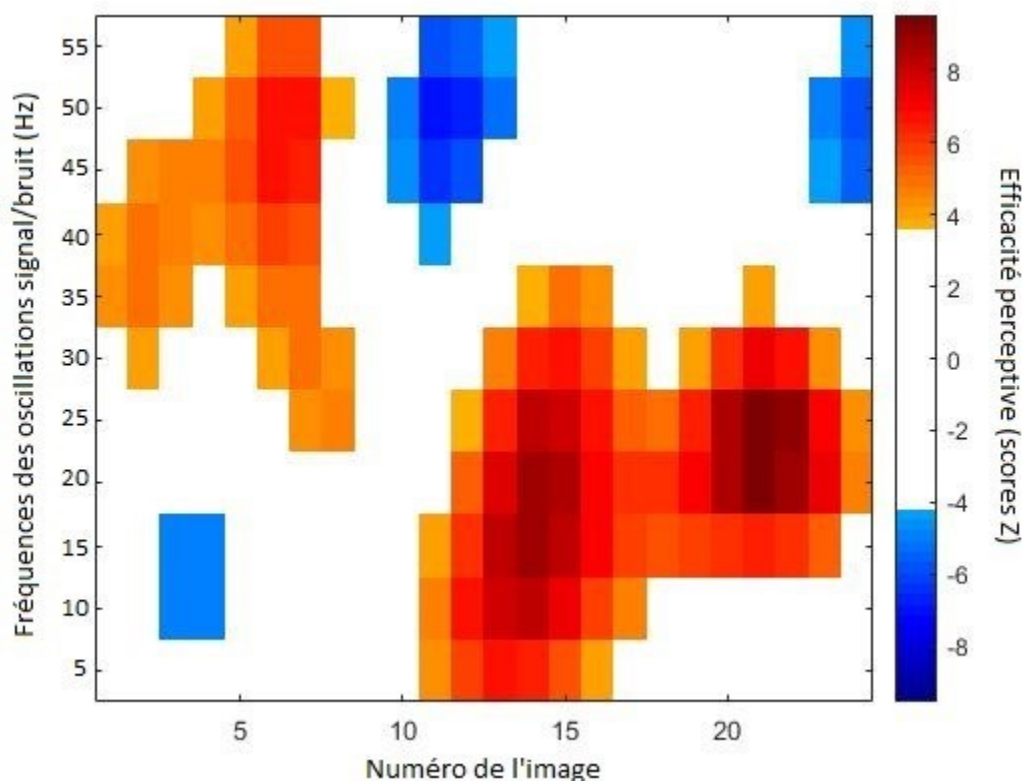


Figure 5. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l'efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles du rapport signal/bruit en reconnaissance d'objets familiers chez les participants autistes.

IC différentielle – Domaine temps x Fréquence

La comparaison entre contrôles vs autistes dans le domaine temps-fréquence démontre deux périodes importantes d'efficacité perceptive supérieure chez les contrôles relativement aux participants autistes. Une zone initiale associée à des scores Z positifs dès la première image jusqu'à la septième (8,3 à 58,3 ms) pour les fréquences d'oscillation signal-sur-bruit qui sont inférieures à 25 Hz. Une deuxième zone allant de l'image 16 jusqu'à la fin de la présentation de la cible (133,2 à 200 ms) pour une grande étendue de fréquences oscillatoires allant de 5 à 55 Hz. Cependant, on trouve aussi chez les autistes trois périodes pendant lesquelles leur efficacité perceptive est supérieure à celle du groupe contrôle. La première va des images 1 à 7 (8,3 à 58,3 ms) pour des fréquences oscillatoires supérieures à 20 Hz. La deuxième se situe des images 7 à 16 (58,3 à 133,2 ms) pour une grande étendue de fréquences oscillatoires allant de 5 à 55 Hz. Enfin, une troisième petite zone d'efficacité plus grande pour les autistes que les contrôles se retrouve des images 20 à 24 (166,6 à 200 ms) pour les fréquences oscillatoires de 10 et 30 Hz.

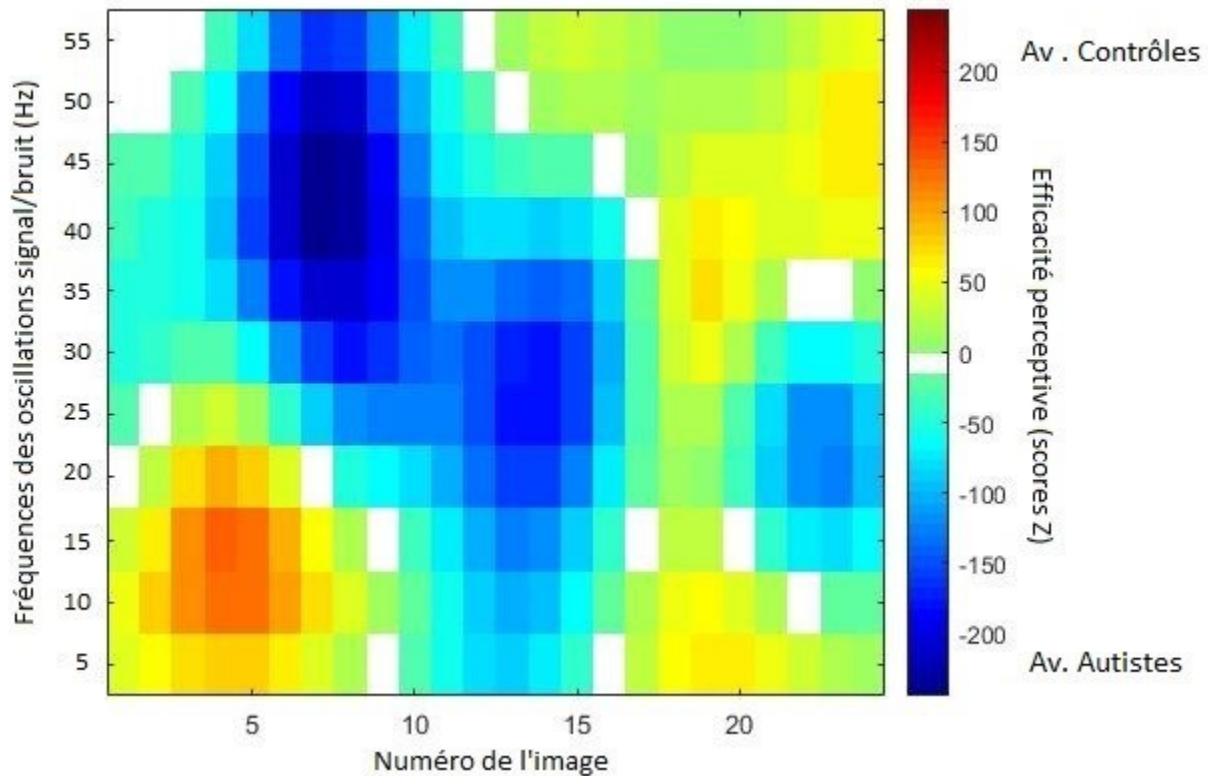


Figure 6. – Comparaison statistique entre les profils temps-fréquence des participants contrôles vs autistes dans l’expérience des objets familiers.

Spectres de phase des images de classification

Chez les contrôles. (Figure 7). L’analyse de Fourier appliquée sur les images de classification a permis de les décomposer en leurs spectres de puissance et de phase. Les spectres de phase extraits des IC du groupe contrôle sont illustrés à la Fig. 7. La cohérence inter-sujets de ces spectres de phase est de .75 pour les IC temporelles et de .67 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 dans les deux cas. ($F(12, 180) = 4,13; p < .005$) et ($F(142, 2130) = 3,10; p < .005$)

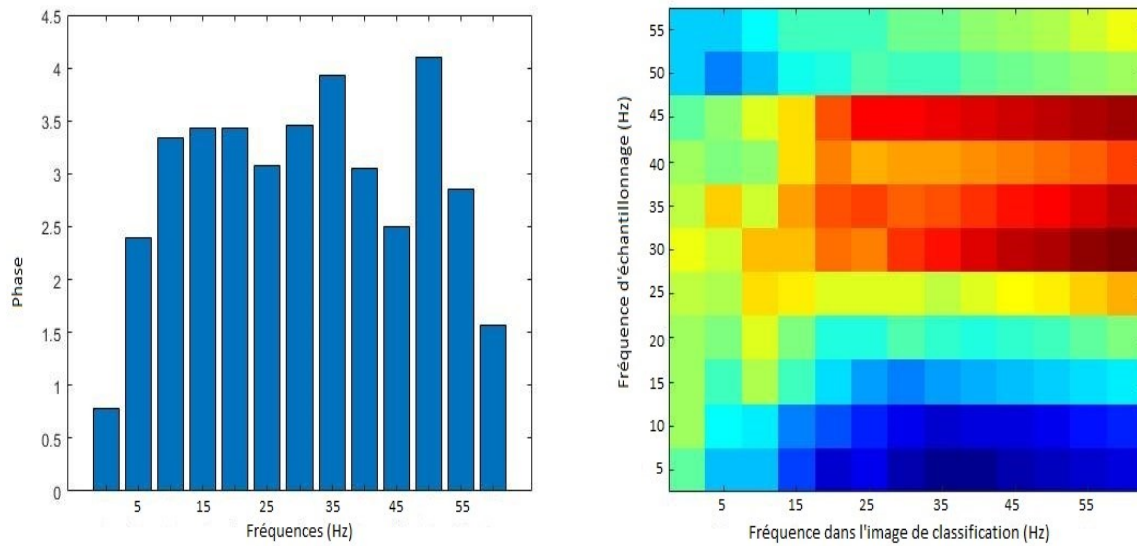


Figure 7. – Spectre de phase des images de classification de l'efficacité de traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les contrôles.

Chez les autistes. (Figure. 8). Les spectres de phase extraits des IC du groupe de participants autistes sont illustrés à la Fig. 8 La cohérence inter-sujets de ces spectres de phase est de .66 (supérieur à 0 : $F(12, 180) = 2,95; p < .005$) pour les IC temporelles et de -.30 (pas différent de 0 : $F(142, 2130) = 0.76; n.s.$) pour les IC temps-fréquence.

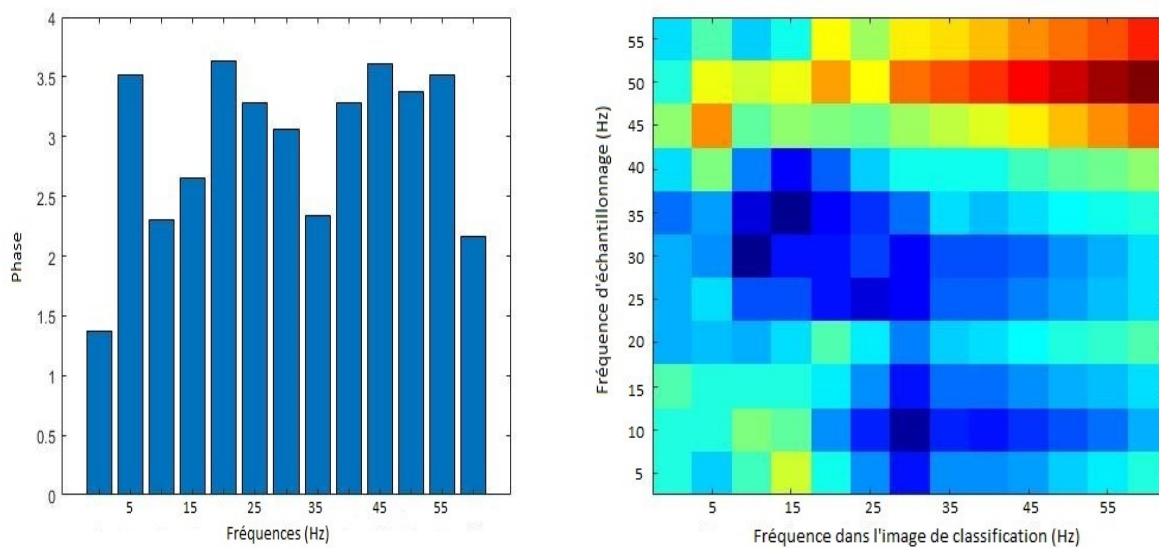


Figure 8. – Spectre de phase des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les autistes.

Spectre de puissance des images de classification

Chez les contrôles. (Figure 9). Les spectres de puissance extraits des IC du groupe contrôle sont illustrés à la Fig. 9. La cohérence inter-sujets de ces spectres de puissance est de .97 pour les IC temporelles et de .98 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 dans les deux cas. ($F(12, 180) = 33,35; p < .005$) et ($F(142, 2130) = 54,20; p < .005$)

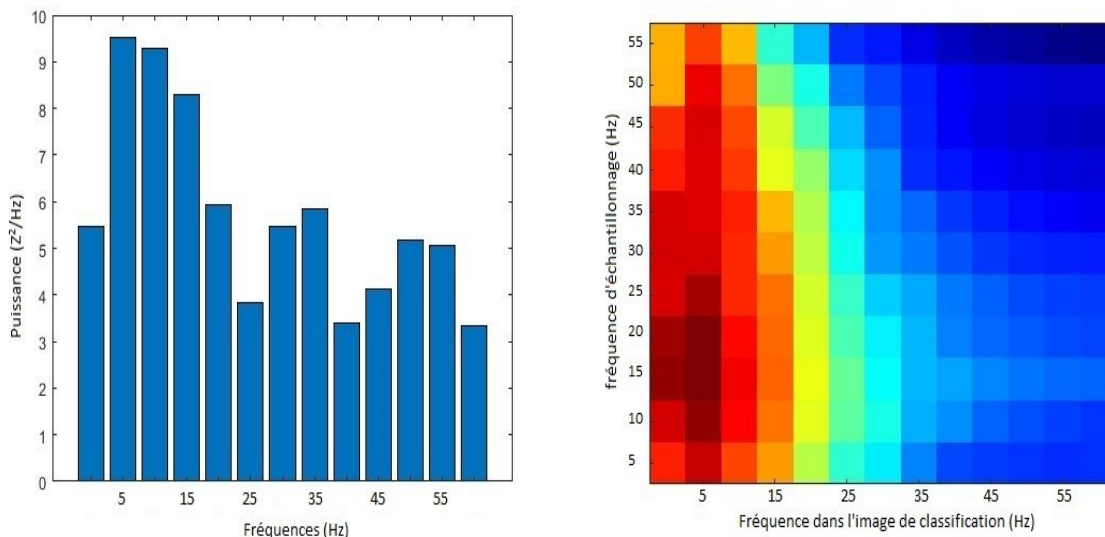


Figure 9. – Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité de traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les contrôles.

Chez les autistes. (Figure. 10). Les spectres de puissance extraits des IC du groupe de participants autistes sont illustrés à la Fig. 10 La cohérence inter-sujets de ces spectres de puissance est de .97 pour les IC temporelles et de .98 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 dans les deux cas ($F(12, 180) = 34,50; p < .005$) et ($F(142, 2130) = 53,02; p < .005$).

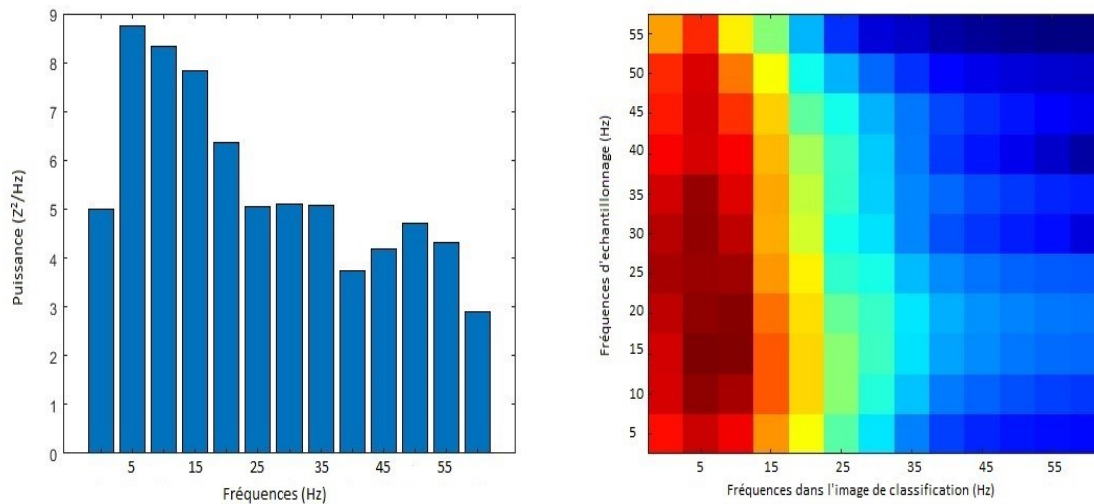


Figure 10. – Spectres de puissance des images de classification de l'efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les autistes.

Comparaison par ANOVA

Les spectres de phase et de puissance des IC ont été comparés entre les deux groupes de participants (autistes et contrôles) avec une ANOVA mixte qui révèle les résultats suivants :

Dans le spectre de phase :

- Les spectres de phase des IC temporelles ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et le facteur intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification. L'effet principal de fréquence est significatif ($F(12,360) = 5,28$; $P < .001$) mais celui de Groupe ne l'est pas (statistiques). L'interaction Groupe x Fréquence est aussi significative ($F(12,360) = 1,92$; $p < .05$).
- Les spectres de phase des IC temps-fréquence ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et les facteurs intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification et de Fréquence oscillatoire du stimulus. L'effet principal de de fréquence dans l'IC est significatif ($F(12,360) = 2,44$; $P < .005$) mais les effets du Groupe (statistiques) et de La fréquence oscillatoire ne sont pas significatifs ($F(10,300) = .96$; n.s.). L'interaction Groupe x Fréquence dans l'IC n'est pas significative ($F(12,360) = 1,37$; n.s.).

Par contre, les interactions de La fréquence oscillatoire x la fréquence ($F(120,3600) = 2,16$; $P < .001$) dans l'IC et de fréquence oscillatoire x fréquence IC x groupe sont hautement significatives (statistiques).

Dans le spectre de puissance :

- Les spectres de puissance des IC temporelles ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et le facteur intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification. L'effet principal de fréquence est significatif ($F(12,360) = 66,00$; $P < .001$) mais l'effet de Groupe ne l'est pas (statistiques). L'interaction Groupe x Fréquence quant à elle est marginalement significative ($F(12,360) = 1,66$; $P = .07$).
- Les spectres de puissance des IC temps-fréquence ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et les facteurs intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification et de Fréquence oscillatoire du stimulus. L'effet principal de fréquence dans l'IC est significatif ($F(12,360) = 21,22$; $P < .001$), comme l'est celui de La fréquence oscillatoire ($F(10,300) = 387,51$; $P < .001$). L'effet principal du Groupe n'est pas significatif (statistiques). Les interactions Groupe x Fréquence dans l'IC ($F(12,360) = .48$; n.s.) et Groupe x Fréquence oscillatoire (statistiques) ne sont pas significatives.

5.3. Discussion

En reconnaissance d'objets familiers, on remarque des variations notables de l'efficacité de traitement visuel à travers le temps, et ce autant à l'intérieur de chaque groupe qu'entre les groupes (Figs. 1-3). Ces variations sont congruentes avec la notion que le traitement visuel repose sur une collection de mécanismes oscillatoires. En effet, ceci implique nécessairement que l'efficacité de traitement varie à travers le temps.

Dans le domaine temps-fréquence (Figs. 4-6), nous retrouvons également des variations de l'efficacité du traitement perceptif à travers la durée d'exposition de la cible autant à l'intérieur de chaque groupe qu'entre les groupes. Ces phénomènes sont également congruents avec la notion de mécanismes oscillatoires sous-tendant la performance à la tâche. Dans les images de classification temps-fréquence, nous notons un autre phénomène à l'effet que l'efficacité de

traitement est également affectée par le contenu fréquentiel des oscillations du rapport signal/bruit à travers le temps.

Les IC moyennes temps et temps-fréquence du groupe contrôle constituent une représentation valide des résultats individuels étant donné les corrélations intra-groupes significativement supérieures à 0 mentionnées plus haut. Pour le groupe de participants autistes toutefois, les IC moyennes semblent constituer une représentation relativement inexacte des IC des individus constituant le groupe.

L'hétérogénéité des IC des participants autistes soulève une certaine difficulté non seulement dans l'interprétation des IC moyennes de ce groupe mais également dans l'interprétation des IC de contraste, qui comparent directement les IC moyennes obtenues par chaque groupe. Cette difficulté est cependant contournée par la décomposition des IC individuelles dans leurs spectres de phase et de puissance par analyse de Fourier. D'une part, hormis pour le spectre de phase des IC temps x fréquence des autistes qui s'avère non significativement différent de 0, ces spectres sont tous relativement homogènes, avec des coefficients de corrélation intra-groupe significativement supérieurs à 0. D'autre part, les comparaisons inter-groupes de ces spectres peuvent être faites avec l'aide d'une analyse de variance qui, contrairement au test Pixel, prend en considération l'existence de différences individuelles à l'intérieur d'un groupe afin de déterminer la présence d'effets significatifs.

Tel que décrit plus haut, les spectres de phase des IC des domaines temps et temps-fréquence sont significativement différentes entre les groupes alors que seulement une différence marginalement significative n'a été retrouvée pour les spectres de puissance, spécifiquement pour ceux concernant les IC dans le domaine temporel. Il est proposé ici que les spectres de puissance des IC sont le reflet du niveau d'engagement (i.e. de la force d'action) des mécanismes oscillateurs impliqués dans la réalisation de la tâche par les participants alors que les spectres de phase reflètent plutôt la chronologie de leur engagement. Sous ce cadre d'interprétation, les présents résultats suggèrent la possibilité d'une différence entre les groupes quant aux mécanismes oscillatoires requis pour la reconnaissance d'objets familiers. Ils démontrent

également de manière claire des différences majeures entre les groupes quant à la chronologie avec laquelle ces mécanismes oscillatoires sont mis en branle.

6. Expérience 2

6.1. Méthodologie

Participants

Les participants sont les mêmes que ceux ayant pris part à l'expérience 1.

Stimuli

Pour la tâche de reconnaissance de mots, les stimuli sont 600 mots de cinq lettres qui ont été sélectionnés notamment sur la base de leur fréquence d'occurrence dans le langage écrit de manière à ce qu'ils soient suffisamment familiers aux participants. (Voir Annexe C pour la liste complète des mots utilisés). Les stimuli ont été présentés une fois à chaque participant dans un ordre aléatoire dans une séquence de quatre blocs de 150 essais chacun. Une autre liste de 24 mots n'appartenant pas à la liste expérimentale a été utilisée pour court bloc de pratique administré immédiatement avant la série de blocs expérimentaux. Les mots étaient imprimés noir sur fonds gris (valeur d'intensité exactement au milieu de l'étendue offerte par l'écran) en police Courier New de 36 points.

Voici un vidéo illustrant l'aspect des cibles de l'Exp. 2 présentées avec ce type de variation du rapport signal-sur-bruit à travers le temps disponible au lien suivant : <https://umontreal.ca.panopto.com/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=e6279cb0-3eaa-4210-b311-aeb300b8a46a>

Matériel

Le matériel utilisé pour l'expérience 2 est exactement le même que celui de l'expérience 1.

Procédure

Hormis pour la classe de stimulus et le nombre d'essais par bloc expérimental, la procédure était identique à celle de l'expérience 1.

Analyses statistiques

Les données de l'expérience 2 ont été analysées exactement comme celles de l'expérience 1.

6.2. Résultats

Niveaux de performance

En moyenne, les participants adultes ont obtenu un taux de réponses correctes de 50,2% pour un niveau de contraste moyen de l'image de la cible de 31,8%. Pour le groupe de participants autistes, les valeurs correspondantes sont de 50,8% et de 26,7%.

Images de classification temporelles

Chez les contrôles. (Figure. 11.) Le test Pixel appliqué sur l'IC temporelle du groupe contrôle révèle quatre périodes importantes caractérisant leur efficacité de traitement. Une phase initiale d'efficacité de traitement significativement inférieure à 0 pour les trois premières images (les premiers 25 ms) est suivie d'une phase d'efficacité significativement supérieure à 0 dans l'intervalle 24,9 à 49,9 ms, dont le maximum d'efficacité est atteint à l'image 5 (41,6 ms). Celle-ci est suivie d'une phase pendant laquelle l'efficacité est significativement inférieure à 0 dans l'intervalle 58,3 à 108,2 ms, dont le minimum d'efficacité est atteint à l'image 10 (83,3 ms). Finalement, une quatrième phase consistant en une nouvelle période d'efficacité supérieure à 0 dans l'intervalle 124,9 à 199,9 ms (dont le sommet d'efficacité est atteint à l'image 19; 158,2 ms). La cohérence inter-sujets est de 0.39 et est pas significativement supérieure à 0 ($F(23, 345) = 1,64; p < .05$).

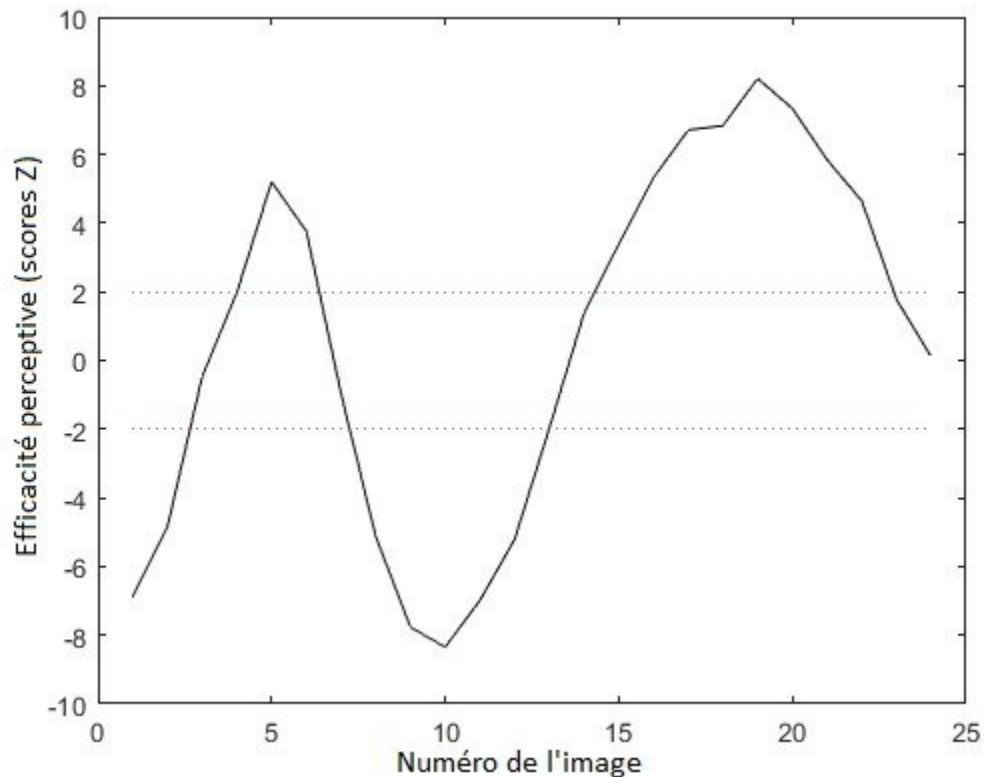


Figure 11. – Image de classification temporel représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance d’objets familiers chez les participants contrôles.

Chez les autistes. (Figure.12.) L’image de classification temporelle moyenne des participants autistes a sensiblement la même forme que celle du groupe contrôle. Ainsi, le test Pixel démontre une efficacité de traitement significativement supérieure à 0 tôt après le début de la présentation de la cible dans l’intervalle 16,6 à 66,6 ms, dont le maximum d’efficacité est atteint aux images 4,6,7 (33,3 ms, 49,9 et 58,3 ms). Suivi d’un creux dans l’intervalle 74,9 à 124,9 ms, dont le minimum d’efficacité est atteint entre l’image 12 à 14 (99,9 à 116,6 ms). Suivi d’un pic dans l’intervalle 124,9 à 166,6 ms, dont le maximum d’efficacité est atteint à l’image 17 (141,6 ms). La cohérence inter-sujets est de 0.23 et n’est pas significativement supérieure à 0 ($F(23, 345) = 1,30; n.s.$).

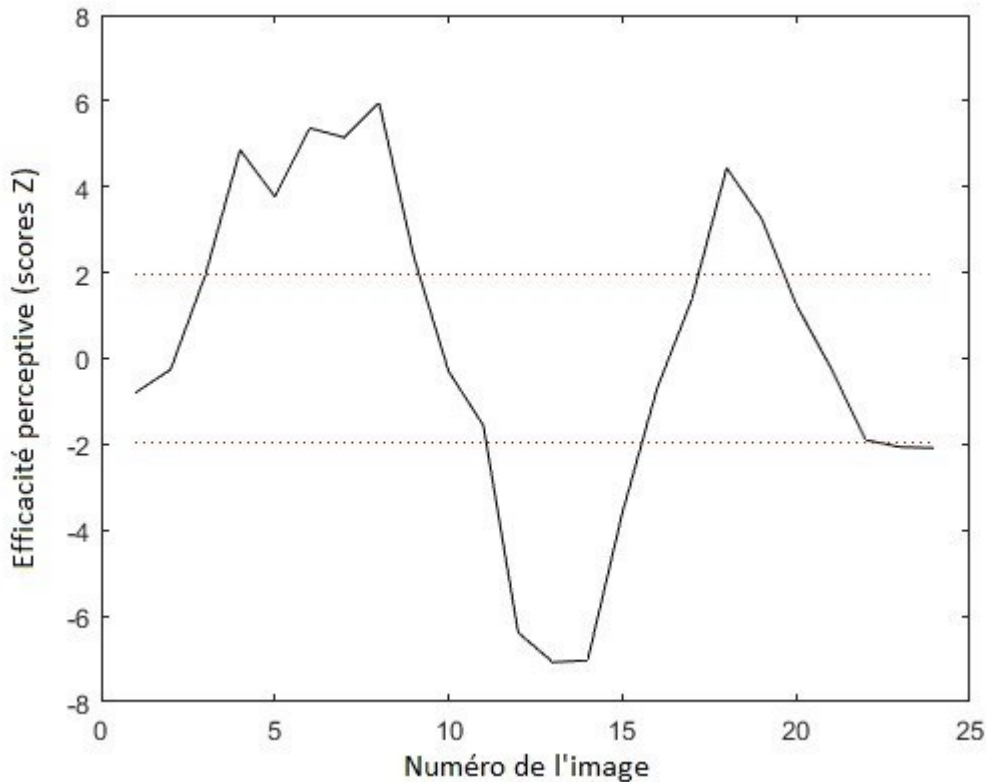


Figure 12. – Image de classification temporelle représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps en reconnaissance des mots familiers chez les participants autistes.

IC différentielle – Domaine temporel

La comparaison entre contrôles vs autistes dans le domaine temporel révèle deux périodes où l’efficacité perceptive des contrôles est supérieure à celle des autistes (figure.13). La première de ces phases se situe à l’image 5 (41,6 ms). La deuxième, d’une beaucoup plus grande durée, se situe dans l’intervalle 116,6 à 200 ms, pour laquelle la supériorité du groupe contrôle atteint son maximum à l’image 14 et 22 (116,6 et 183,2 ms). Entre ces deux phases, nous constatons une période allant de 8,3 à 108,2; pour laquelle ce sont les participants autistes qui présentent une plus grande efficacité de traitement que les contrôles.

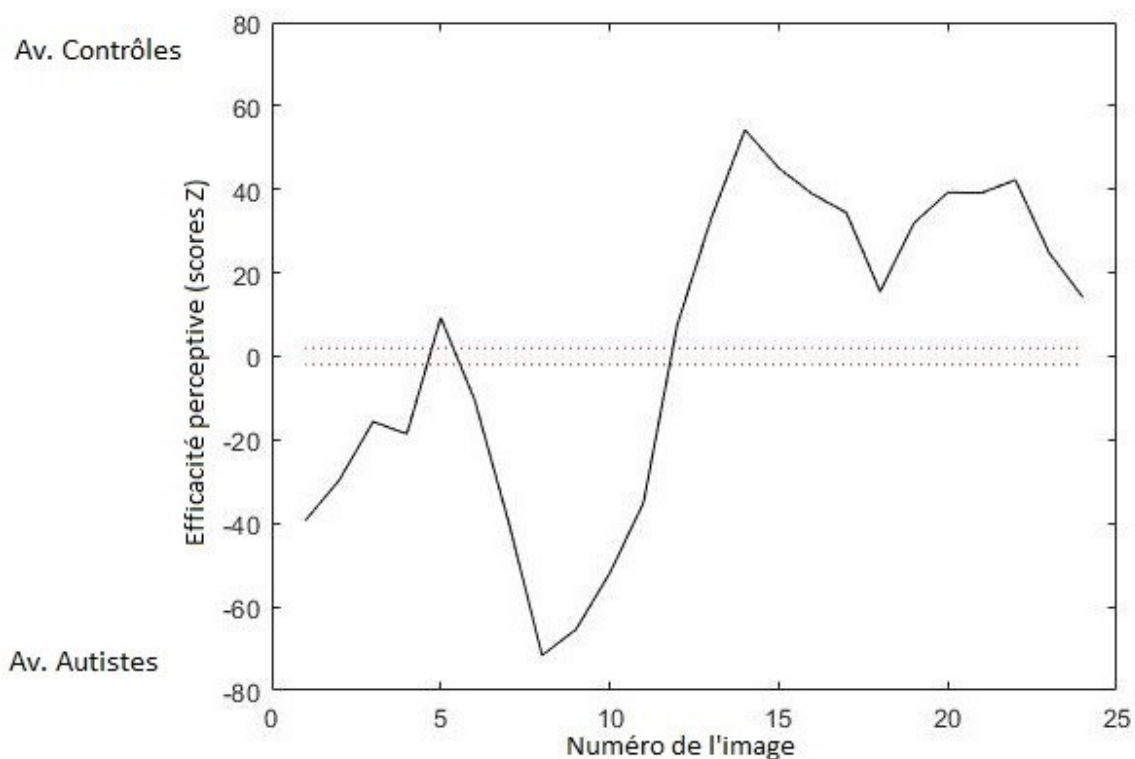


Figure 13. – Image de classification temporelle des participants contrôles vs autistes dans l’expérience des mots familiers.

Image de classification temps-fréquence

Chez les contrôles. (Figure. 14.) En se reposant sur le test de Pixel dans le domaine temps-fréquence, l’image de classification montre que dès l’apparition du stimulus, les oscillations de haute fréquence du stimulus entraînent une efficacité élevée de traitement (images 1 à 3; i.e. 0 à 24,9 ms; fréquences de 40 à 55 Hz) alors que des fréquences plus basses (images 1 à 5; i.e. 0 à 41,6 ms; fréquences de 5 à 35 Hz) sont associées à des scores Z négatifs. Plus tardivement, les participants entrent dans une phase où l’efficacité est élevée pour une grande étendue de fréquences d’oscillation du stimulus (images 5 à 22; i.e. 41,6 à 183,2 ms; fréquences de 5 à 45 Hz). Enfin, on retrouve une petite zone d’efficacité négative à l’image 20 à 22 (166,6 à 183,2 ms) pour les fréquences oscillatoires de 40 à 45 Hz. La cohérence inter-sujets est de .25, ce qui est significativement supérieur à 0 ($F(263, 3945) = 1,33; p < .005$).

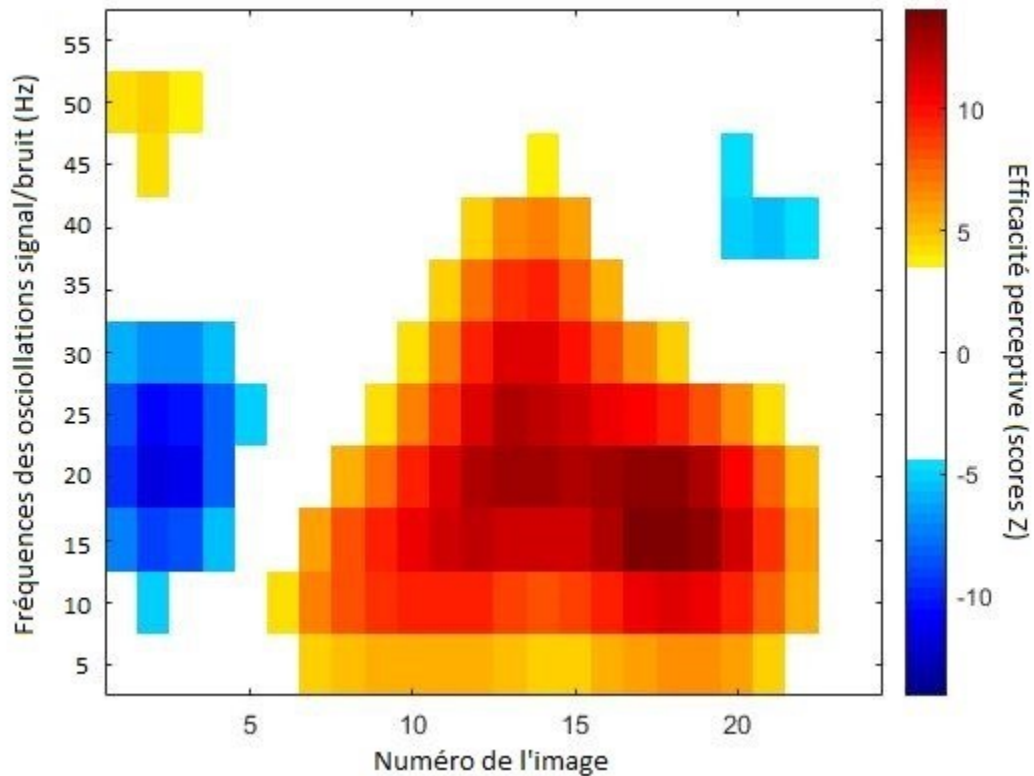


Figure 14. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles e reconnaissance des mots familiers chez les participants contrôles.

Chez les autistes. (Figure. 15.) Sur l’axe du temps, l’IC temps-fréquence des participants est similaire à celle du groupe contrôle, mais des différences importantes sont évidentes quant aux étendues de fréquences oscillatoires concernées. L’efficacité de traitement visuel est associée à des scores Z négatifs dès la première image jusqu’à l’image 12 (0 à 99,9 ms), pour les fréquences d’oscillation du stimulus qui sont supérieures à 25 Hz. Chevauchant cette période, nous retrouvons une zone importante de scores Z positifs des images 4 jusqu’à 14 (33,3 à 116,6 ms) pour des fréquences oscillatoires inférieures à 25 Hz. Cette zone de haute efficacité de traitement s’étend ensuite des images 15 à 20 (124,9 à 166,6 ms) à une plus grande étendue de fréquences oscillatoires allant de 5 à 55 Hz. Enfin, on retrouve une petite zone d’efficacité négative à l’image 22 à 24 (183,2 à 200 ms) pour les fréquences oscillatoires de 15 et 30 Hz. La cohérence inter-sujets est de .56 et est significativement supérieur à 0 ($F(263, 3945) = 2,26; p < .001$).

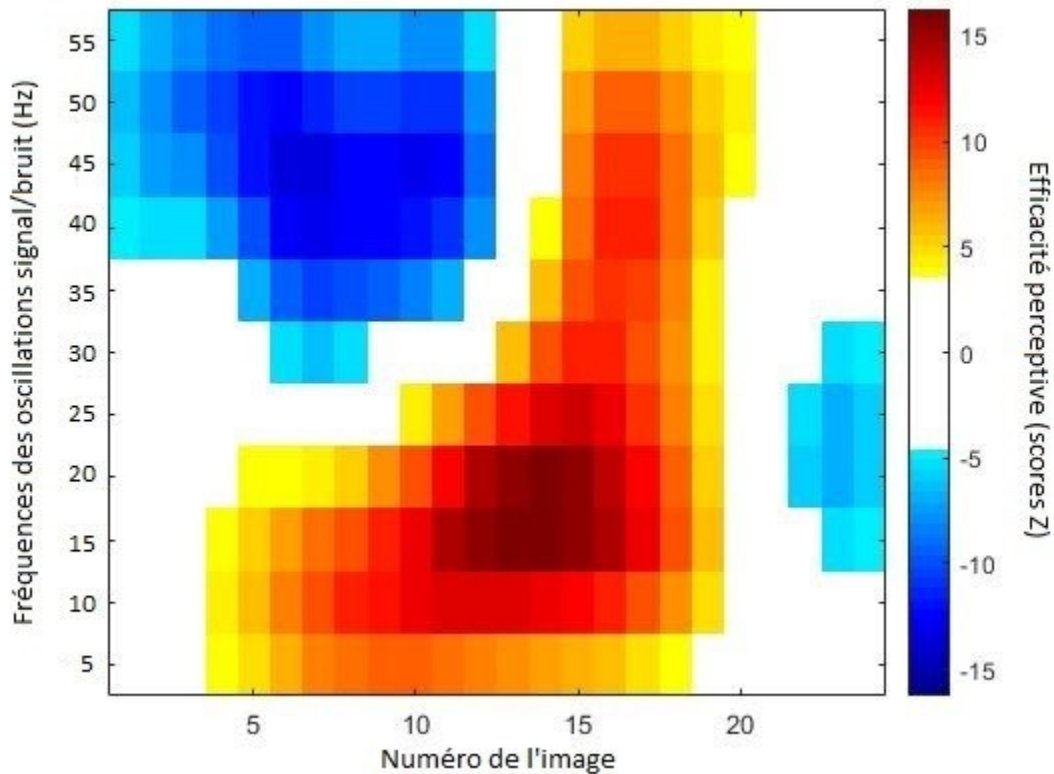


Figure 15. – Image de classification temps-fréquence représentant les variations de l’efficacité du traitement visuel à travers le temps et les fréquences temporelles en reconnaissance des mots familiers chez les participants autistes.

IC différentielle – Domaine temps x fréquence

La comparaison entre contrôles vs autistes dans le domaine temps-fréquence démontre deux périodes importantes d’efficacité perceptive supérieure chez les contrôles relativement aux participants autistes. Une zone initiale s’étend de la première image jusqu’à l’image 13 (8,3 à 108,2 ms) pour les fréquences d’oscillation signal-sur-bruit qui sont supérieures à 30 Hz. Une deuxième zone se trouve à la fin de la période de stimulation, allant de l’image 18 à 24 (149,9 à 200 ms) pour une grande étendue de fréquences oscillatoires allant de 5 à 55 Hz. Cependant, on trouve aussi chez les autistes deux périodes pendant lesquelles leur efficacité perceptive est supérieure à celle du groupe contrôle. La première va des images 1 à 15 (8,3 à 124,9 ms) pour des fréquences oscillatoires inférieure à 25 Hz. La deuxième se situe entre des image 15 à 21 (124,9 à 174,93 ms) avec des fréquences oscillatoires supérieures à 30 Hz.

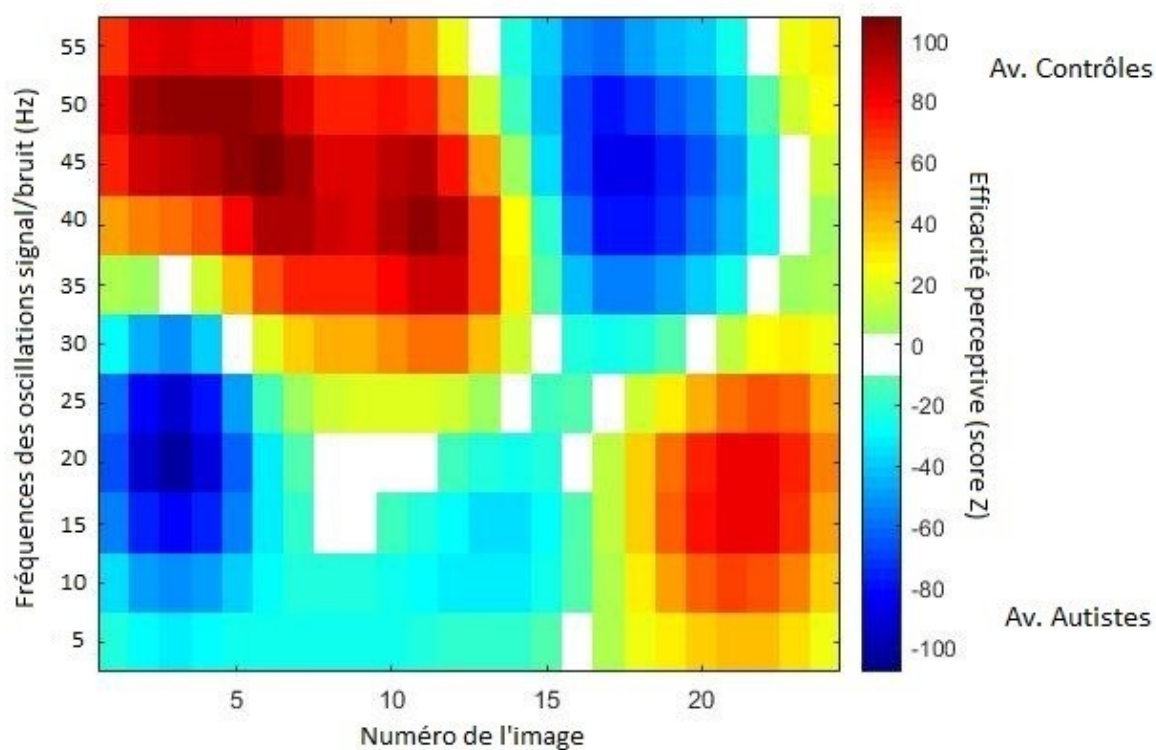


Figure 16. – Comparaison statistique entre les profils temps-fréquence des participants contrôles vs autistes dans l'expériences des mots familiers.

Spectres de phase des images de classification

Chez les contrôles. (Figure. 17). L'analyse de Fourier appliquée sur les images de classification ont permis de les séparer en leurs spectres de puissance et de phase. Les spectres de phase extraits des IC du groupe contrôle sont illustrés à la Fig. 17. La cohérence inter-sujets de ces spectres de phase est de .71 (supérieur à 0 : $F(12, 180) = 3,44; p < .005$) pour les IC temporelles et de -.009 (pas supérieur à 0 : $F(142, 2130) = .99; n.s.$) pour les IC temps-fréquence.

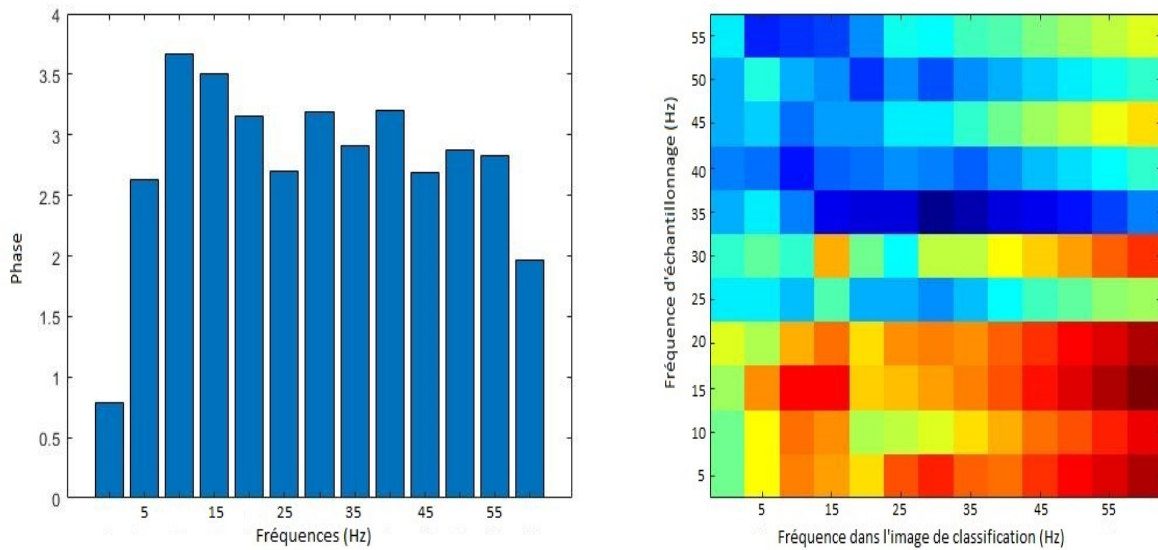


Figure 17. – Spectres de phase des images de classification de l'efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les contrôles.

Chez les autistes. (Figure. 18). Les spectres de phase extraits des IC du groupe de participants autistes sont illustrés à la Fig. 18. La cohérence inter-sujets de ces spectres de phase est de .72 pour les IC temporelles et de -.19 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 seulement dans le domaine temporel. ($F(12, 180) = 3,59; p < .001$) et ($F(142, 2130) < 1$)

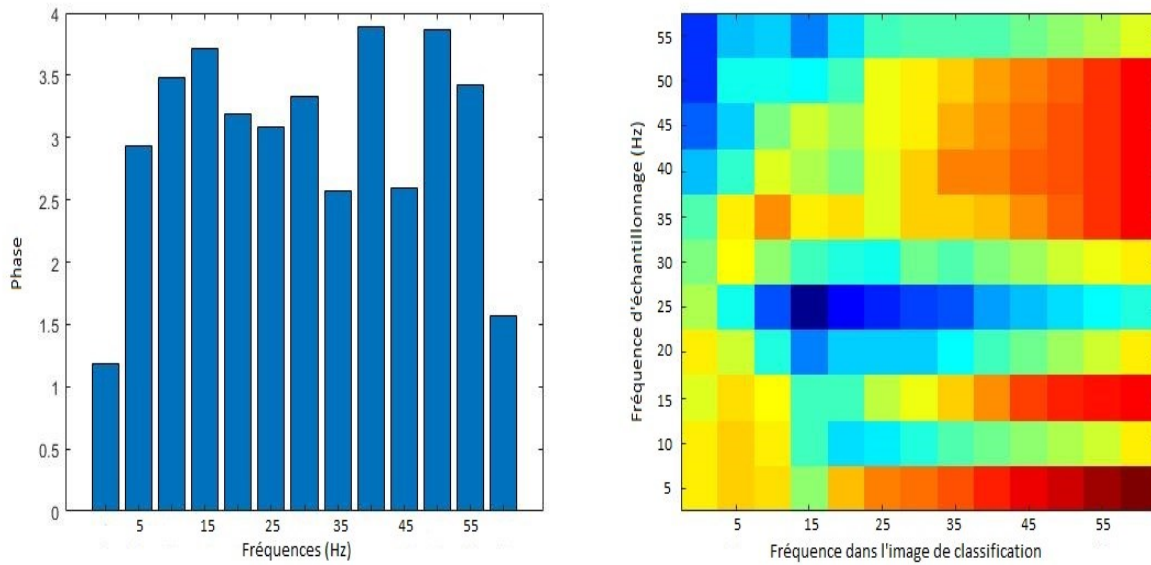


Figure 18. – Spectres de phase des images de classification de l'efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps x fréquence (figure à droite) chez les autistes.

Spectre de puissance des images de classification

Chez les contrôles. (Figure. 19). Les spectres de puissance extraits des IC du groupe contrôle sont illustrés à la Fig. 19. La cohérence inter-sujets de ces spectres de puissance est de .97 pour les IC temporelles et de .98 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 dans les deux cas ($F(12, 180) = 32,89; p < .005$) et ($F(142, 2130) = 48,13; p < .005$).

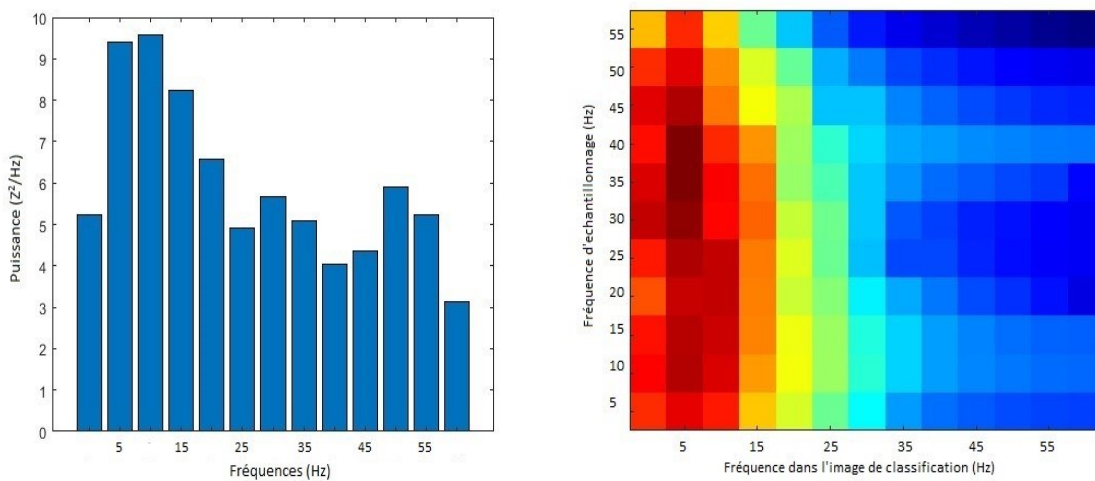


Figure 19. – Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les contrôles.

Chez les autistes. (Figure. 20). Les spectres de puissance extraits des IC du groupe de participants autistes sont illustrés à la Fig. 20. La cohérence inter-sujets de ces spectres de puissance est de .97 pour les IC temporelles et de .98 pour les IC temps-fréquence, ce qui est significativement supérieur à 0 dans les deux cas. ($F(12, 180) = 30,64; p < .001$) et ($F(142, 2130) = 53,61; p < .001$)

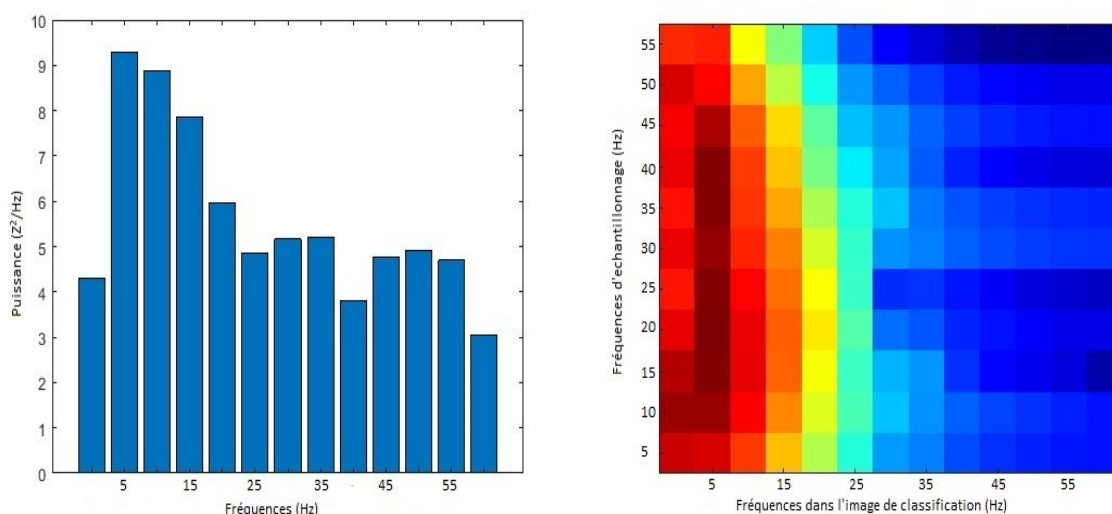


Figure 20. – Spectres de puissance des images de classification de l’efficacité du traitement dans le domaine temporel (figure à gauche) et dans le domaine temps-fréquence (figure à droite) chez les autistes.

Comparaisons par ANOVAs

Les spectres de phase et de puissance des IC ont été comparés entre les deux groupes de participants (autistes et contrôles) avec une ANOVA et on a obtenu les résultats suivants :

Dans le spectre de phase :

- Les spectres de phase des IC temporelles ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et le facteur intra-sujet de Fréquence dans l’image de classification. L’effet principal de fréquence est significatif ($F(12,360) = 6,57 ;$

$P < .001$) alors que celui du groupe ne l'est pas (statistiques). L'interaction Groupe x Fréquence est non significative ($F(12,360) < 1$).

- Les spectres de phase des IC temps-fréquence ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et les facteurs intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification et de Fréquence oscillatoire du stimulus. L'effet principal de fréquence dans l'IC n'est pas significatif ($F(12,360) < 1$) alors que l'effet principal de la fréquence oscillatoire est significatif ($F(10,300) = 5,36$; $P < .001$). L'effet principal de groupe est non significatif (statistiques). L'interaction Groupe x Fréquence est marginalement significative ($F(12,360) = 1,56$; $p = 0,10$) mais aucune autre interaction n'est significative.

Dans le spectre de puissance :

- Les spectres de puissance des IC temporelles ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et le facteur intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification. L'effet principal de fréquence est significatif ($F(12,360) = 62,85$; $P < .001$). L'effet principal de groupe (statistiques) et l'interaction Groupe x Fréquence ne sont pas significatifs ($F(12,360) = .69$; n.s).
- Les spectres de puissance des IC temps-fréquence ont été analysés avec une ANOVA mixte comportant le facteur inter-sujet du Groupe et les facteurs intra-sujet de Fréquence dans l'image de classification et de Fréquence oscillatoire du stimulus. Les effets principaux de fréquence dans l'IC est significatif ($F(12,360) = 19,34$; $P < .001$) et de fréquence oscillatoire ($F(10,300) = 439,89$; $P < .001$) sont significatifs mais l'effet de groupe (statistiques) ne l'est pas. L'interaction de la fréquence oscillatoire x la fréquence dans l'IC extraite par analyse de Fourier présente un effet hautement significatif ($F(120,3600) = 10,03$; $P < .001$) mais aucune autre interaction n'est significative.

6.3. Discussion

En reconnaissance des mots familiers, on remarque des variations notables de l'efficacité de traitement visuel à travers le temps, et ce autant à l'intérieur de chaque groupe qu'entre les groupes (Figs. 11-13). Comme c'était le cas à l'Exp. 1, l'observations de telles variations appuient la notion voulant que le traitement visuel repose sur une collection de mécanismes oscillatoires.

Dans le domaine temps-fréquence (Figs. 14-16), nous retrouvons également des variations de l'efficacité du traitement perceptif à travers la durée d'exposition de la cible autant à l'intérieur de chaque groupe qu'entre les groupes. Ces phénomènes sont également congruents avec la notion de mécanismes oscillatoires sous-tendant la performance à la tâche. Comme dans l'Exp. 1, nous constatons que l'efficacité du traitement est également affectée par le contenu fréquentiel des oscillations du rapport signal/bruit à travers le temps.

Les IC moyennes temps et temps-fréquence du groupe contrôle constituent une représentation valide des résultats individuels étant donné les corrélations intra-groupes significativement supérieures à 0 mentionnées plus haut. Pour le groupe de participants autistes, la corrélation intra-groupe est significativement supérieure à 0 pour les IC temps-fréquence mais pas pour les IC du domaine temporel. Ceci implique donc que l'IC moyenne dans le domaine temporel constitue une représentation relativement inexacte des IC des individus constituant le groupe.

L'hétérogénéité des IC temporelles des participants autistes soulève une certaine difficulté dans l'interprétation de l'IC moyenne et aussi dans l'interprétation de l'IC de contraste comparant les profils d'efficacité perceptive des groupes à travers le temps. La décomposition des IC individuelles dans leurs spectres de phase et de puissance par analyse de Fourier permet cependant de résoudre cette difficulté.

Tel que décrit plus haut, les spectres de phase des IC dans le domaine temporel ne se distinguent pas entre les groupes alors qu'une différence marginalement significative est retrouvée pour les spectres de phase, du domaine temporel et temps-fréquence. Tel que proposé plus haut, les spectres de phase des IC sont conçus comme un index de la chronologie des mécanismes oscillateurs en jeu. Les comparaisons inter-groupes des spectres de phase des IC suggère donc la possibilité d'une faible différence entre les groupes à cet égard. Quant aux spectres de puissance,

ils ne présentent aucune différence significative entre les groupes, que ce soit pour les IC temporelles que les IC temps-fréquence. Selon la logique voulant que les spectres de puissance des IC reflètent le niveau d'engagement des mécanismes oscillateurs impliqués dans la tâche, ce dernier résultat suggère qu'il n'existe aucune différence entre les groupes à cet égard.

7. Discussion générale

Le présent mémoire est constitué de deux expériences impliquant la reconnaissance d'objets familiers et de mots écrits visant à comparer les caractéristiques temporelles du traitement visuel chez des participants autistes à celles de participants neurotypiques. En d'autres termes, caractériser les mécanismes neuronaux oscillatoires sous-jacents à la performance visuelle dans l'autisme.

Les IC obtenues aux Exps. 1 et 2 nous confirment l'existence de variations de l'efficacité de l'encodage visuel pendant la période d'exposition du stimulus. Ces observations appuient l'idée selon laquelle le traitement perceptif est réalisé par une collection de mécanismes oscillatoires. Ceci réplique également les résultats rapportés antérieurement avec la technique d'échantillonnage temporel aléatoire (Arguin et al., 2021).

Pour les deux groupes étudiés ici, comme c'était également le cas dans l'étude d'Arguin et al. (2021), l'efficacité de traitement est également affectée par le contenu fréquentiel des oscillations du rapport signal-sur-bruit et cet effet interagit avec le passage du temps. Ceci suggère que les oscillations signal/bruit ont un impact sur les mécanismes oscillatoires visuels sous-tendant le traitement perceptif. Spécifiquement, il est proposé que les oscillations du rapport signal/bruit interagissent avec les mécanismes perceptifs oscillatoires de telle manière à parfois améliorer les capacités de traitement alors qu'à d'autres moments elles semblent plutôt créer de l'interférence. La nature exacte de la relation reste cependant à élucider: ainsi, on ignore si une différence entre les oscillations signal/bruit et les oscillations neuronales constitue le facteur important ou encore si la relation est plus complexe. Afin de répondre à cette question, il sera nécessaire de disposer de données d'échantillonnage temporel qui pourront être mises en correspondance avec un enregistrement de l'activité cérébrale oscillatoire. À cet égard, une étude est présentement en cours au laboratoire qui étudie la reconnaissance d'objets familiers chez des observateurs adultes neurotypiques avec la technique d'échantillonnage temporel aléatoire conjointement avec l'enregistrement de l'activité électroencéphalographique. Nous espérons que l'analyse des correspondances entre les résultats comportementaux (tels que ceux décrits

ici) et les oscillations de l'activité neuronale offriront un nouvel éclairage sur les probables relations entre les deux.

Pour les deux expériences, les résultats relatifs à la cohérence inter-sujets qui ont été obtenus des IC et de leurs spectres de phase et de puissance montrent des différences inter-individuelles plus marquées à travers les participants autistes qu'à travers les participants du groupe contrôle.

En effet, une étude faite en 2014 montre que des stratégies différentes et peut-être uniques sont utilisées par chaque individu autiste. Cette variabilité de la localisation des activations dans le groupe autiste est plus importante que chez les non-autistes. Ceci soulève la possibilité que l'autisme implique une augmentation et/ou une altération des mécanismes de plasticité typiques. La présente étude souligne également la nécessité de vérifier, dans les études IRMf impliquant des personnes autistes, que l'hypoactivation au niveau du groupe ne résulte pas du fait que chaque individu réussit une tâche en utilisant une allocation cérébrale unique, même par comparaison avec son propre groupe (Poullin-Lord et al., 2014). Les résultats d'une autre étude réalisée en 2021, soutiennent aussi des interactions importantes entre l'hétérogénéité interindividuelle dans l'autisme et les signatures fonctionnelles (Benkarim et al., 2021).

Ceci suggère que les mécanismes perceptifs et cognitifs qui sont requis pour la réalisation des tâches utilisées ici sont plus stables d'un individu à l'autre chez le groupe contrôle que parmi les participants autistes. À noter qu'une plasticité améliorée mais normale peut sous-tendre l'autisme non syndromique (c.à.d. ceux qui n'ont pas d'anomalie génétique), tandis que l'autisme syndromique (comme ceux ayant l'X fragile ou d'autre anomalie génétique) peut survenir lorsqu'une mutation ou un événement déclencheur produit une réaction plastique altérée, entraînant également une déficience intellectuelle et une dysmorphie en plus de l'autisme. Les différences dans la cible de la réorganisation cérébrale (régions perceptives vs langagières) expliqueraient ainsi les principaux sous-groupes autistes (Mottron et al., 2014).

Selon Mottron et ses collègues (2015), les interactions entre le sexe génétique et les hormones peuvent entraîner une plasticité synaptique et consécutivement une plasticité régionale plus élevée dans les zones cérébrales perceptives chez les hommes que chez les femmes. L'apparition de l'autisme peut impliquer en grande partie des mutations altérant la plasticité synaptique qui

créent une réaction plastique affectant les régions cérébrales les plus variables et sexuellement dimorphes (Mottron et al., 2015).

Dans les deux expériences rapportées ici, nous constatons des différences majeures entre les groupes dans les images de classification des domaines temporel et temps-fréquence. Étant donné la faible cohérence inter-sujets des images de classification obtenues par les participants autistes (exception faite de l'IC temps-fréquence pour l'Exp. 1), et la non-considération des différences individuelles par le test Pixel appliqué sur les IC différentielles, ces résultats demandent à être interprétés avec prudence. Heureusement, ce problème peut être résolu par les analyses spectrales appliquées sur les images de classification individuelle. D'une part, ces analyses offrent des résultats beaucoup plus stables à travers les individus que les IC elles-mêmes, particulièrement pour les participants autistes. D'autre part, les spectres de phase et de puissance ainsi obtenus peuvent être comparés entre les groupes avec l'aide d'une analyse de variance. Contrairement au test Pixel, l'ANOVA prend en considération les différences individuelles dans son évaluation de la valeur significative ou non des différences constatées.

Dans le cas de la tâche de reconnaissance d'objets familiers (Exp. 1), les spectres de phase des images de classification des domaines temporel et temps-fréquence diffèrent significativement entre les groupes alors que pour les spectres de puissance, nous retrouvons seulement une différence marginalement significative qui ne concerne que le domaine temporel. Ces résultats suggèrent la possibilité d'une différence entre les groupes quant aux mécanismes oscillatoires requis pour la reconnaissance d'objets familiers. Ils démontrent également de manière claire des différences majeures entre les groupes quant à la chronologie avec laquelle ces mécanismes oscillatoires sont mis en branle.

Dans le cas de la tâche de reconnaissance de mots écrits (Exp. 2), la seule différence entre les groupes en ce qui concerne les spectres des images de classification consiste en une différence marginalement significative des spectres de phase des images de classification temps-fréquence. Ces comparaisons inter-groupes des spectres de phase des IC suggèrent la possibilité d'une faible différence entre les groupes sur le plan de la chronologie des mécanismes oscillatoires impliqués dans la réalisation de la tâche. Quant aux spectres de puissance, ils ne présentent aucune

différence significative entre les groupes, que ce soit pour les IC temporelles ou les IC temps-fréquence. Selon la logique voulant que les spectres de puissance des IC reflètent le niveau d'engagement des mécanismes oscillatoires impliqués dans la tâche, ce dernier résultat suggère qu'il n'existe aucune différence entre les groupes à cet égard.

À la lumière des comparaisons intergroupes discutées plus haut, il apparaît que le traitement perceptivo-cognitif réalisé par les participants autistes dans le contexte de la tâche de reconnaissance de mots écrits est très semblable à celui du groupe contrôle. À l'opposé, nous constatons des différences intergroupes importantes sur la dimension chronologique des mécanismes oscillatoires impliqués dans la tâche de reconnaissance de mots écrits. La raison pour laquelle la différence dans la nature du traitement perceptif semble plus marquée pour la tâche de reconnaissance d'objets que pour la lecture de mots ne nous semble pas claire pour l'instant. Il nous semble peu probable que ceci soit dû au retard du développement du langage chez les participants autistes. En effet, dans un tel cas, il semble qu'on aurait dû s'attendre à des différences inter-groupes plus marquées en lecture qu'en reconnaissance d'objets, qui est une tâche moins chargée sur le plan linguistique. Par contre, les mécanismes impliqués dans la reconnaissance d'objets sont plus complexes que ceux requis pour la lecture. En particulier, la reconnaissance d'objets demande un accès à la mémoire sémantique et un accès à la mémoire de l'aspect visuel des objets familiers. Ces exigences n'existeraient pas chez les autistes pour la lecture de mots. C'est peut-être donc la plus grande complexité des mécanismes cognitifs requis pour la reconnaissance d'objets qui serait à l'origine des différences des résultats entre les participants autistes et le groupe contrôle.

Les résultats rapportés ici et les interprétations auxquelles nous en sommes venus semblent compatibles avec la littérature rapportée dans l'introduction. Notamment, selon (Mottron et al., 2013), chez les autistes « l'efficacité du traitement visuel varie en fonction de la complexité des réseaux neuronaux impliqués. » Ceci est congruent avec nos observations à l'effet que les différences inter-groupes importantes sont observées quant à la chronologie des mécanismes oscillatoires sont mis en branle pour la réalisation de la tâche de reconnaissance d'objets. Pour la tâche de reconnaissance de mots écrits, les différences entre les groupes ne sont que marginalement significatives. Il est proposé que la plus grande sensibilité de la tâche de

reconnaissance d'objets puisse s'expliquer par 3 chose essentielles : 1. la plus grande complexité des mécanismes auxquels elle doit faire appel pour atteindre une bonne réponse. 2. 2. Le surfonctionnement des autistes dans la détection, la manipulation et la mémorisation des informations perceptives. 3. Une variabilité de la localisation des activations qui soulève la possibilité que l'autisme implique une amélioration et/ou une altération des mécanismes de plasticité typiques.

8. Conclusion

Les observations rapportées dans le présent mémoire appuient notre hypothèse de différences significatives entre les autistes et des observateurs neurotypiques quant aux oscillations cérébrales impliquées dans le traitement visuel. Spécifiquement, les différences inter-groupes observées semblent concerner la chronologie des mécanismes oscillatoires impliqués dans la réalisation des tâches et ce uniquement pour la tâche de reconnaissance d'objets. Le fait que ce ne soit que cette tâche qui entraîne des différences inter-groupes a été attribué à la plus grande complexité des mécanismes auxquels elle fait appel, ce qui demandera à être mis à l'épreuve lors d'études futures.

Les observations discutées précédemment concernent la réalisation d'une tâche particulière (reconnaissance d'objets ou mots). Nous sommes intéressés à savoir si des différences inter-groupes de même nature se manifestent dans le contexte d'autres tâches. Les altérations oscillatoires dans l'autisme constituent en effet un phénomène qui affecte de façon généralisée le traitement visuel, non limité à la reconnaissance d'objets. Il serait approprié de refaire la même méthodologie à nouveau et de reproduire des IC temporel et des IC temps-fréquences en reconnaissance d'objet et visages familiers auprès des participants autistes mais cette fois ci entre jeune et adulte.

Références bibliographiques

Achouline, A. & Arguin, M. (2019). Abstracts of the 19th annual meeting of the Vision Sciences Society, p. 78.

American Psychiatric Association. (2013). DSM-5 : Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Arlington, VA : American Psychiatric Publishing

Arguin, M. (2018, mars). Dynamique temporelle de l'encodage visuel. Affiche présentée au 40e congrès annuel de la SQRP, Québec, Québec.

Arguin, M., Ferrandez, R., & Massé, J. (2021). Oscillatory visual mechanisms revealed by random temporal sampling. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00685-w>

Arguin, Martin. & Massé, Justine. (2019, mai). The time course of novel visual object recognition. Affiche présentée au 19e congrès annuel de la VSS, St. Pete Beach, Floride.

Benkarim, O., Paquola, C., Park, B.-yong, Hong, S.-J., Royer, J., Vos de Wael, R., Lariviere, S., Valk, S., Bzdok, D., Mottron, L., & C. Bernhardt, B. (2021). Connectivity alterations in autism reflect functional idiosyncrasy. *Communications Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02572-6>

Berger, H. (1929) Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Archiv f. Psychiatrie* 87, 527-570. <https://doi.org/10.1007/BF01797193>

Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain* 128:2430–2441

Blais, C., Arguin, M. & Gosselin, F. (2013). Human visual processing oscillates: Evidence from a classification image technique. *Cognition*, 128(3), 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.04.009>

Brodeur, M. B., Kehayia, E., Dion-Lessard, G., Chauret, M., Montreuil, T., Dionne-Dostie, E., & Lepage, M. (2012). The bank of standardized stimuli (BOSS): Comparison between French and

English norms. *Behavior Research Methods*, 44(4), 961–970. WorldCat.org. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0184-7>

Brugha, T. S., McManus, S., Bankart, J., Scott, F., Purdon, S., Smith, J., Bebbington, P., Jenkins, R., & Meltzer, H. (2011). Epidemiology of autism spectrum disorders in adults in the community in England. *Archives of General Psychiatry*, 68(5), 459–466.

Chauvin, A., Worsley, K. J., Schyns, P. G., Arguin, M. & Gosselin, F. (2005). Accurate statistical tests for smooth classification images. *Journal of Vision*, 5(9), 659–667. <https://doi.org/10.1167/5.9.1>

Cohen, M. X. (2014). Fluctuations in oscillation frequency control spike timing and coordinate neural networks. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(27), 8988–8998. WorldCat.org. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0261-14.2014>

Cumin, J., Pelaez, S., & Mottron, L. (2022). Positive and differential diagnosis of autism in verbal women of typical intelligence: a delphi study. *Autism*, 26(5), 1153–1164. <https://doi.org/10.1177/13623613211042719>

Diallo, F. B. & Bureau d'information et d'études en santé des populations. (2017). *Surveillance du trouble du spectre de l'autisme au Québec*. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/3200497>

Ferrandez, R., & Arguin, M. (2019). The temporal profile of visual encoding in the recognition of familiar objects. 19(10), 207. <https://doi.org/10.1167/19.10.207b>

Forgeot d'Arc, B., Duret, P., Mottron, L., Moore, R., Mueller, S., Xiong, L., & Jacquemont, S. (2015). Sex differences in brain plasticity: a new hypothesis for sex ratio bias in autism. *Molecular Autism*, 6(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13229-015-0024-1>

Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG oscillations : From correlation to causality. *International Journal of Psychophysiology*, 103, 12–21. WorldCat.org. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>

Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R. & Broussard, C. (2007). What's new in psychtoolbox-3. *Perception*, 36(14), 1-16.

Lundström, S., Taylor, M., Larsson, H., Lichtenstein, P., Kuja-Halkola, R., & Gillberg, C. (2022). Perceived child impairment and the 'autism epidemic.' *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 63(5), 591–598. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13497>

Mandy, W., Chilvers, R., Chowdhury, U., Salter, G., Seigal, A., & Skuse, D. (2012). Sex differences in autism spectrum disorder: evidence from a large sample of children and adolescents. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(7), 1304–1313. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1356-0>

McCabe, É., Blais, C. & Gosselin, F. (2005). Chapter 34 - CATEGORIZATION OF OBJECTS, SCENES, AND FACES THROUGH TIME. Dans H. Cohen et C. Lefebvre (dir.), *Handbook of Categorization in Cognitive Science* (p. 767–791). Oxford: Elsevier Science Ltd. doi:10.1016/B978-008044612-7/50089-5

Mottron, L. (2016). *L'intervention précoce pour enfants autistes : nouveaux principes pour soutenir une autre intelligence* (Ser. Psy : émotion, intervention, santé, 13). Éd. Mardaga.

Mottron, L. (2019). 'Detrimental Sensitivity' framework misses the positive performance, role, and autonomy of autistic perception. *Cognitive Neuroscience*, 10 (3), 168–169. WorldCat.org. <https://doi.org/10.1080/17588928.2019.1596073>

Mottron, L., Belleville, S., Rouleau, G. A., & Collignon, O. (2014). Linking neocortical, cognitive, and genetic variability in autism with alterations of brain plasticity: the trigger-threshold-target model. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 47, 735–52. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.07.012>

Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2013). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(2), 209–228. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.016>

Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2013). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(2), 209–228. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.016>

Mottron, L., Dawson, M., & Soulières Isabelle. (2009). Enhanced perception in savant syndrome: patterns, structure and creativity. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 364(1522), 1385–1391.

Mottron, L., Dawson, M., & Soulières, I. (2009). Enhanced perception in savant syndrome : patterns, structure and creativity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1522), 1385–1391. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0333>

Mottron, L., Dawson, M., Soulières Isabelle, Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27–43.

Mottron, L., Morasse, K., & Belleville, S. (2001). A study of memory functioning in individuals with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(2), 253–260.

Mottron, L., Ostrolenk, A., & Gagnon, D. (2021). In prototypical autism, the genetic ability to learn language is triggered by structured information, not only by exposure to oral language. *Genes*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/genes12081112>

Murad, A., Fritsch, A., Bizet, E., & Schaal, C. (2014). L'autisme à l'âge adulte : aspects cliniques. *Annales Médico-psychologiques*, 172 (7), 577–586.

Palmer, C. J., Lawson, R. P., & Hohwy, J. (2017). Bayesian approaches to autism: towards volatility, action, and behavior. *Psychological Bulletin*, 143(5), 521–542. <https://doi.org/10.1037/bul0000097>

Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced Discrimination of Novel, Highly Similar Stimuli by Adults with Autism During a Perceptual Learning Task. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 39(5), 765-775. doi:10.1017/S0021963098002601

Poulin-Lord, M.-P., Barbeau, E. B., Soulières, I., Monchi, O., Doyon, J., Benali, H., & Mottron, L. (2014). Increased topographical variability of task-related activation in perceptive and motor associative regions in adult autistics. *Neuroimage. Clinical*, 4, 444–53. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.02.008>

Rivet, T. T., & Matson, J. L. (2011). Review of gender differences in core symptomatology in autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 5(3), 957–976. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.12.003>

Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. A. (2012). Enhanced visual functioning in autism: an ale meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 33(7), 1553–81. <https://doi.org/10.1002/hbm.21307>

Shah, A., & Frith, U. (1993). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task? *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 34(8), 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb02095.x>

Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol. Bull.* 86, 420-428.

Simon, D. M., & Wallace, M. T. (2016). Dysfunction of sensory oscillations in autism spectrum disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 68, 848–861. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.016>

Stevenson, R. A., Siemann, J. K., Woynaroski, T. G., Schneider, B. C., Eberly, H. E., Camarata, S. M., & Wallace, M. T. (2014). Evidence for diminished multisensory integration in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3161–3167. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2179-6>

Taylor, M. J., Rosenqvist, M. A., Larsson, H., Gillberg, C., D’Onofrio, B. M., Lichtenstein, P., & Lundström Sebastian. (2020). Etiology of autism spectrum disorders and autistic traits over time. *Jama Psychiatry*, 77(9), 1–8. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2020.0680>

Ye, A. X., Leung, R. C., Schäfer Carmen B, Taylor, M. J., & Doesburg, S. M. (2014). Atypical resting synchrony in autism spectrum disorder. *Human Brain Mapping*, 35(12), 6049–6066. <https://doi.org/10.1002/hbm.22604>

Zeidan, J., Fombonne, E., Scolah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: a systematic review update. *Autism Research*, 15(5), 778–790. <https://doi.org/10.1002/aur.2696>

Annexes

Annexe A – Exemples d'objets familiers utilisées dans l'expérience 1



Annexe B – Liste des 200 objets utilisés dans l’expérience 1

Ethernet-cable	ice cream cone	cookie	pear
doll	Hair-dryer	bagel	CD
tube	slipper	pliers	watch
feather	camera	ladle	strawberry
pineapple	pacifier	party-hat	screwdriver
binoculars	Christmas-ball	cane	bowl
cabbage	dice	saw	bottle of red wine
bike-helmet	pill-bottle	man-shoe	bottle-cap
water-bottle	rope	paintbrush	shorts
bracelet	vase	screw	toy-car
whisk	high-heel-shoe	bleach-bottle	paperclip
wheel	nail	lock	hand-bag
straw	beer	battery	clock
basket	mug	fly-swatter	cherry
fan	medal	Styrofoam-cup	plant
puzzle-piece	pill	pot	paper-towel
lemon	perfume	pants	box
laptop	thread	tuque	watermelon
mug	wineglass	glasses	sand-shovel
broccoli	hammer	gift	sneaker
peanut	champagne	bow	safety-pin
bowl	toy-animal	button	scale
soft-cheese	riding-helmet	cap	jar
gift-bag	office-chair	umbrella	eraser
pepper	crayon	drum	dish-soap
paint-can	violin	toaster	plastic-basket
ping pong paddle	magnifying-glass	glasses-case	Toy-animal
peppermill	lightbulb	cauliflower	pencil-sharpener

pet-carrier	computer	iron	toy-tank
fusilli	keyboard	paint-roller	baguette
kettle	picture-frame	hanger	toothbrush
sandal	jug	tooth-paste-tube	plastic-flower
banana	remote-control	playing-card	boot
needle nose pliers	book	lighter	headphones
stuffed-animal	computer-mouse	toy-hard-hat	pizza
wooden-spoon	tape	glass	comb
cracker	video-camera	mitten	starfish
hair-clipper	syringe	rearview-mirror	stapler
ice-skate	toy-dinosaur	gift-bow	axe
baseball	electric-razor	pillow	hiking-shoe
frying-pan	vase	teapot	moccasin
fork	jar	mushroom	toy-tractor
50dollarbill	work-glove	tissue-box	toy-animal
candle	marker	scrubbing-brush	chessboard
flashlight	scotch	drill	Tupperware
key	tape	chain	apple
broom	propane-tank	candy	clock
toast	garlic	globe	hairclip
tomato	water-bottle	belt	spoon
scissors	telephone	t-shirt	
Hat	radish	teabag	
sunglasses	calculator	car-key	

Annexe C – Liste des 250 mots utilisés dans l’expérience 2

Abord	asile	biais	cadre	comte	dette	faire
achat	assez	bible	calme	connu	deuil	farce
acide	assis	bijou	canal	conte	digne	fatal
acier	astre	bille	canne	copie	digue	faute
actif	atome	blanc	canon	coque	divan	fauve
adieu	aucun	blond	canot	corde	divin	femme
agent	aussi	bœuf	carte	corne	dogme	fendu
agile	autel	boire	cause	corps	doigt	fente
aider	autre	bombe	celui	coton	doute	ferme
aigle	avant	bonne	cesse	coude	douze	fesse
aigre	avare	borne	chair	coupe	doyen	fibres
aimer	avide	bossu	champ	cours	drame	fiche
ainsi	avion	botte	chant	court	durer	fichu
album	avoir	boule	chaos	couru	duvet	filer
aller	avril	bourg	chaud	creux	encre	filet
alors	ayant	brave	chaux	crier	enfer	fille
amant	bague	bravo	chien	crime	enfin	final
amour	balai	bride	choir	crise	engin	finir
ample	balle	brise	choix	croix	ennui	firme
ancree	banal	bruit	chose	cruel	entre	fixer
angle	bande	brume	chute	cuire	envie	flanc
appel	barbe	brune	citer	culte	envoi	fleur
appui	baron	brute	civil	cycle	errer	foire
arabe	barre	bulle	clair	cygne	essai	folie
arbre	basse	buste	clerc	dalle	essor	fonds
arche	bazar	buter	cœur	danse	exact	fondus
aride	belge	butte	cohue	dater	exclu	fonte
armer	berge	cadet	comme	dense	fable	force

forge	genre	honte	lance	magie	moyen	ongle
forme	gerbe	houle	lande	maire	mufle	opium
fosse	germe	huile	lapin	major	mulet	orage
fouet	geste	hutte	large	malin	myope	ordre
foule	gifle	hymne	larme	malle	mythe	orgue
foutu	gilet	idiot	larve	maman	nager	orner
foyer	glace	idole	latin	manie	nappe	otage
frais	globe	image	laver	mardi	natal	oubli
franc	gorge	impie	lever	marge	natte	ouest
frein	gosse	impur	libre	marin	naval	outil
froid	grade	index	lieue	masse	neige	pacte
front	grain	issue	ligne	matin	neveu	paire
fruit	grand	jadis	ligue	mauve	niais	palme
fugue	grave	jambe	lilas	melon	noble	panne
fuite	grief	jaune	linge	mener	nœud	parer
fumer	guide	jeter	liste	merci	norme	parmi
furie	guise	jeudi	litre	messe	notre	paroi
fusil	habit	jeune	livre	meule	nouer	parti
futur	hache	joint	local	mieux	noyau	passe
galon	haine	jouer	loger	mille	nuage	patte
galop	halle	jouet	logis	mince	nuire	paume
gamin	halte	jouir	louer	moine	nuque	pause
gamm	hardi	juger	louis	moins	oasis	payer
e	herbe	jupon	lourd	moite	objet	peine
garce	heure	jurer	loyal	monde	odeur	pelle
garde	heurt	juste	lueur	moral	offre	pendu
garni	hiver	lacet	luire	morne	oisif	pente
gazon	homm	laine	lundi	motif	ombre	perdu
genou	e	lampe	lutte	moule	oncle	perle

perte	pouce	revue	savon	suivi	tordu	verbe
peser	poule	riant	secte	sujet	torse	verni
peste	prier	riche	seize	tabac	total	verre
petit	prise	rieur	selle	table	trace	vertu
phare	proie	rival	selon	tache	train	veste
phase	prose	roche	semer	taire	trait	vider
photo	puits	roman	senti	talon	trame	vieux
piano	punir	rompu	serre	talus	trapu	vigne
pieux	quand	ronce	seuil	tante	tribu	villa
pique	quant	ronde	signe	taper	trois	ville
piste	quart	rouge	singe	tapis	tronc	vingt
place	queue	route	sinon	tasse	tuile	virer
plage	radio	royal	sobre	teint	tuyau	viril
plaie	raide	ruban	sœur	tempe	tyran	viser
plein	rampe	ruche	somme	temps	union	vital
plier	raser	ruine	songe	tenir	usage	vitre
plomb	rater	rural	sorte	tente	usine	vivre
pluie	ravin	russe	souci	tenue	usure	voici
plume	ravir	sable	soupe	terme	utile	voile
poche	rayon	sabot	sourd	terne	vache	voire
poids	recul	sabre	sport	terre	vague	voler
poilu	refus	saint	stade	texte	valet	volet
poing	reine	salle	stock	tiers	valse	vomir
point	rendu	salon	style	tirer	vaste	voter
pomme	rente	salut	subir	tissu	veine	votre
pompe	repas	sapin	subit	titre	vendu	vouer
porte	repli	satin	sucre	toile	venir	voulu
poser	repos	sauce	sueur	tombe	vente	voyou
poste	reste	saule	suite	tonne	venue	wagon

