

Contexte

Notre projet de recherche sur le long terme consiste à concevoir un assistant intelligent dans le but d'améliorer les interactions entre des usagers (enfants ou adultes autistes, personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer) et les outils informatiques, dans une démarche de diagnostic précoce, de stimulation cognitive et de rééducation des sujets.

Notre hypothèse de départ est que nous pouvons diagnostiquer des troubles mnésiques chez des sujets à partir de l'analyse de leur comportement oculaire. Nous souhaitons identifier les marqueurs du regard permettant une modélisation fiable de la mémoire de travail et une distinction avec des sujets sains.

Constat

- Le diagnostic de l'**Autisme** est tardif et compliqué (5 à 6 ans en France). [Abowd, 2014]
- Les outils numériques rendent la rééducation possible, y compris pour les autistes non verbaux.
- Le diagnostic de la maladie d'**Alzheimer** est souvent établi à partir de tests papier et très peu fiable.
- La stimulation cognitive permet de retarder le vieillissement mental de 5 à 7 ans.

Quelques chiffres

- **Autisme** : 1 naissance sur 100 dans le monde, et 650.000 personnes en France.
- **Alzheimer** : 900.000 patients en France en Juillet 2014, et 1,3 million en 2020. (source : INSERM)

Autisme

- Les troubles perceptifs et déficits d'interactions sociales ont un impact sur la cognition et la mémoire de travail. [Baleyte, 2014]

Alzheimer

- Diagnostic avec des tests tels que le Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS) Trail Making Test (TMT). [Delis et al., 2001]
- Pistes prometteuses d'extension des tests avec des données oculométriques. [Demange et al., 2014]

Regard

- Regard désigne ce qui est au sommet de la pile de processus cognitifs. [Just & Carpenter, 1976]
- Regard révèle préférences. [Glaholt et al., 2009]

Mémoire de travail

- Points de fixation insuffisants pour prédire rappel. [Ryan et al., 2010]
- Lien statistique entre regard et reconnaissance. [Hannula et al., 2010]
- Analyse du parcours visuel. [Steichen et al., 2014]

Modélisation de la mémoire à partir du comportement oculaire

Applications en e-santé (Autisme, Alzheimer)

Sylvain Castagnos, Florian Marchal, Dominique Benmouffek et Anne Boyer
Équipe KIWI - Laboratoire LORIA (Vandoeuvre, France)



Hypothèse

- Nous pouvons distinguer un item qui a été mémorisé d'un item qui ne l'a pas été, uniquement à partir des traces oculaires.

Test de mémoire

- **Base d'images** [Brady et al., 2008]
1.395 objets
93 catégories
- **78 images présentées individuellement à chaque sujet**
3 neutres (primauté)
6 de 12 catégories différentes choisies aléatoirement
3 neutres (récence)
- **Protocole inspiré de** [Maxcey & Woodman, 2014]
20 minutes par sujet
1 phase d'apprentissage et 1 phase de restitution
Passations étalées sur 1 semaine
- **24 sujets sains**
14 hommes et 10 femmes
Entre 23 et 62 ans (moyenne : 32 ans)
Vue normale ou corrigée par dispositif oculaire
- **Matériel**
Eye-tracker Tobii X1 Light
Logiciel Tobii Studio

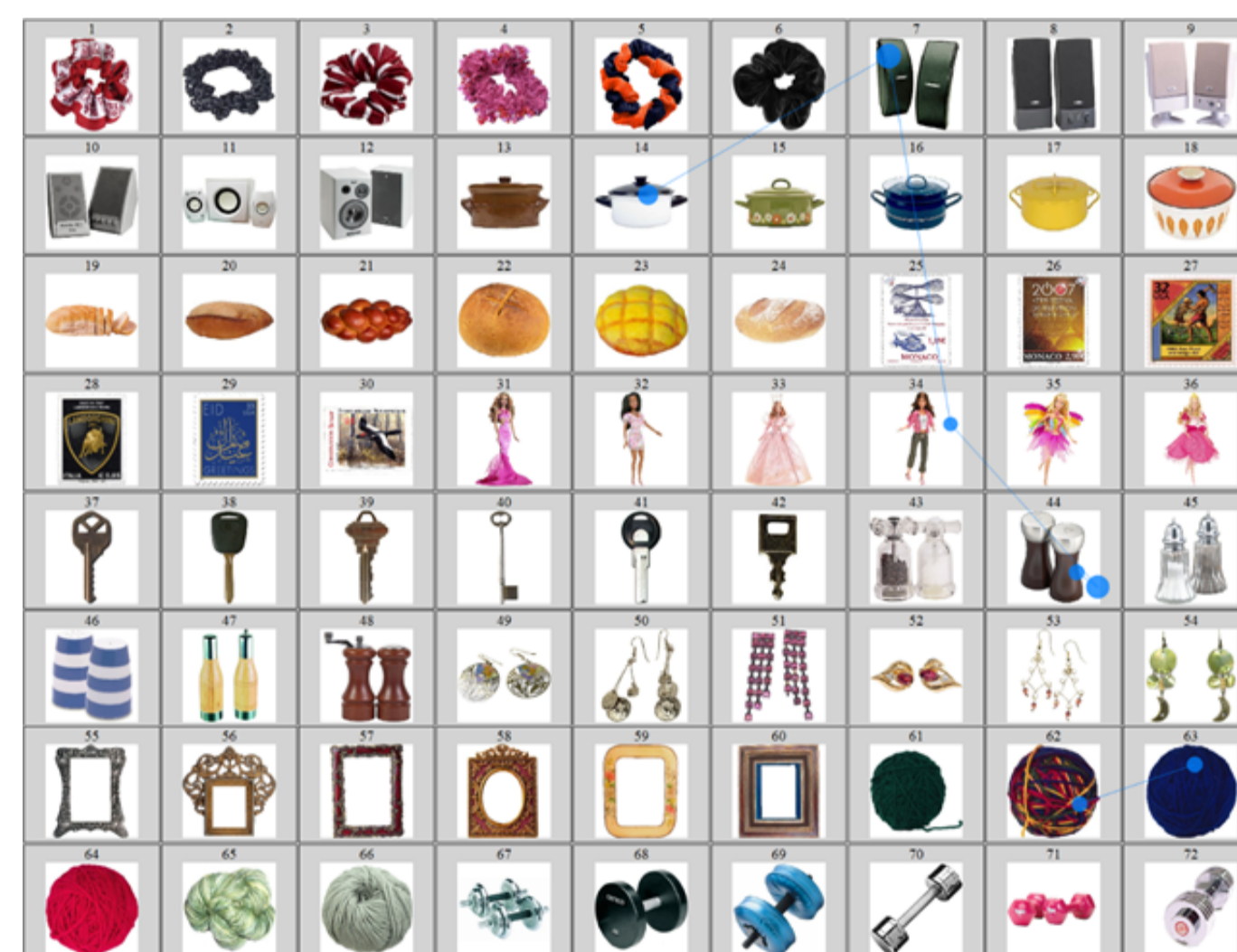
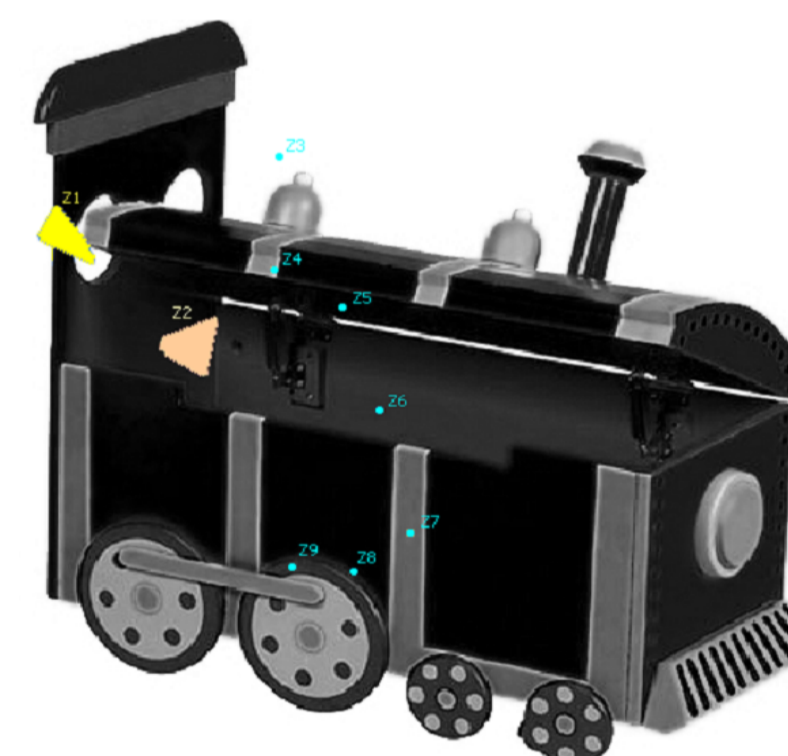
Test utilisateur

- Phase d'apprentissage (mémorisation des items)
- Phase de restitution (description des items et vérification)

Dispositif de collecte des données oculométriques

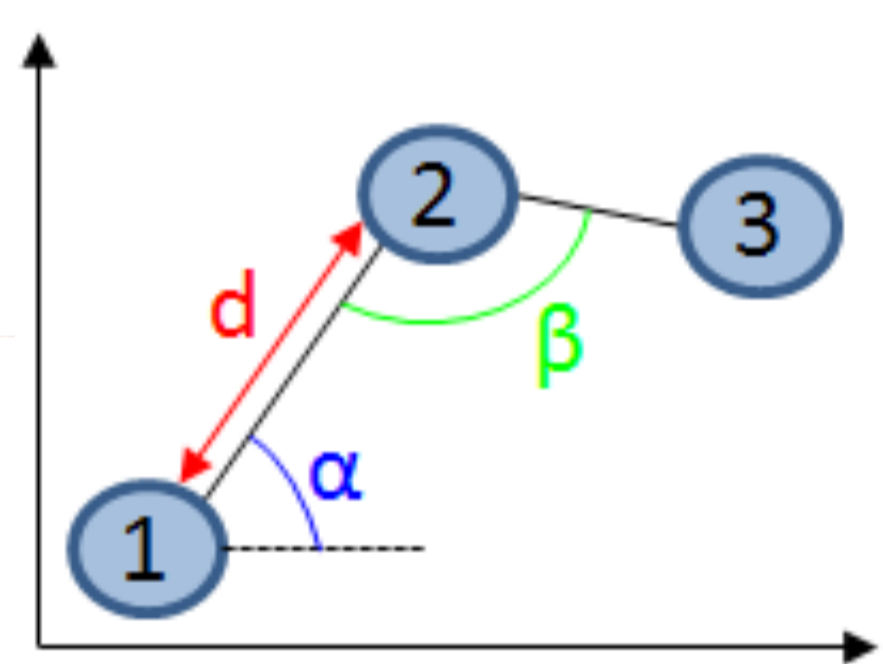


Exemple d'image présentée aux sujets



Traitement et analyse des données

- Création dynamique de zones d'intérêt (*clustering*)
- Calcul des caractéristiques (à partir des points de fixation)



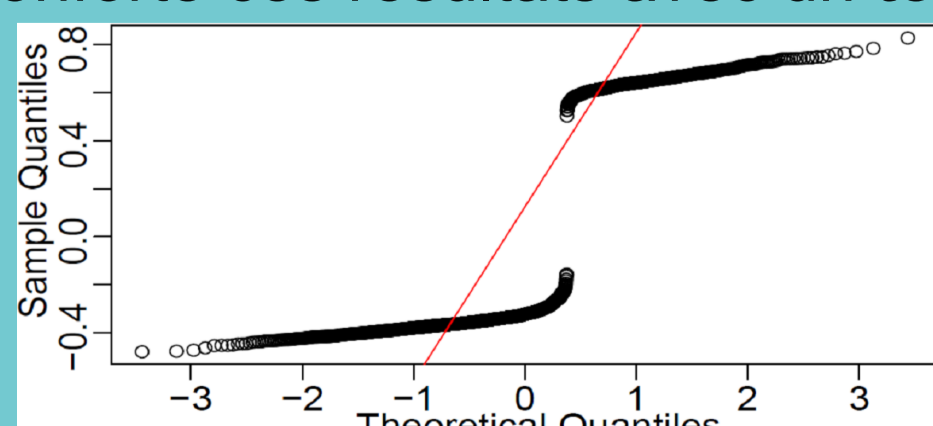
Ensemble des caractéristiques générales du regard

Caractéristique	Description
Nombre de fixations	Le nombre de fixations que l'utilisateur a effectué en regardant l'image.
Durée d'une fixation	Le temps qu'a duré la fixation lorsque l'utilisateur regardait l'image.
Distance d'une fixation	Distance entre la position de la fixation et le bord de l'écran.
Longueur d'une saccade	La distance recalculée entre 2 fixations (d sur la figure ci-dessus).
Angle relatif entre 2 saccades du chemin oculaire	L'angle formé entre 2 saccades consécutives (β sur la figure ci-dessus).
Angle absolu d'une saccade du chemin oculaire	L'angle formé entre l'axe horizontal et la saccade (α sur la figure ci-dessus).
Nombre de zones d'intérêt	Le nombre de zones d'intérêt construites grâce à l'algorithme de <i>clustering</i> .
Nombre de fixations au sein d'une zone d'intérêt	Le nombre de fixations qui sont dans une zone d'intérêt.
Entropie de premier ordre	La prédictibilité des transitions entre les emplacements d'une fixation et de la précédente.

Résultats

Nous avons cherché s'il existait un lien statistique entre le fait de mémoriser les items et chacune des caractéristiques générales du regard, après traitement des données collectées par l'eye-tracker. Une ANCOVA a mis en lumière des corrélations avec le **nombre de points de fixations**, et avec la **somme des angles relatifs du chemin oculaire**. Néanmoins, les résultats étaient marginalement significatifs (*p-values* respectives de 0,08 et 0,07).

Grâce au test de **Shapiro-Wilk**, nous avons identifié que nos échantillons ne suivaient pas une distribution normale. Nous avons conforté ces résultats avec un **test des permutations** (non paramétrique).



Caractéristiques	R	Sum Sq	Pri(Prob)
Somme des angles relatifs du chemin oculaire	0.95	< 2e-10	***
Nombre de fixations	0.70	< 2e-16	***
Écart type des angles relatifs du chemin oculaire	0.57	0.06209	
Écart type de la longueur des saccades	0.33	1.00000	
Durée de la première fixation	0.23	0.11083	
Écart type des angles absolus du chemin oculaire	0.21	0.61579	
Nombre de zones d'intérêt	0.18	0.39103	
Somme de la longueur des saccades	0.12	0.07154	

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
19 observations supprimées en raison de données manquantes

Conclusion

L'évaluation des capacités cognitives des patients reste une étape incontournable dans l'aide au diagnostic de l'autisme ou des maladies neurodégénératives, ainsi que pour sa prise en charge. Ce travail exploratoire vise à faire évoluer les outils numériques de prise en charge des patients.

Nous avons mis en lumière les indicateurs du regard constituant de bons prédicteurs des capacités mnésiques chez des sujets sains. Nous souhaitons désormais transposer ces tests chez des enfants autistes et des personnes atteintes d'Alzheimer pour comparer les performances, et pouvoir à terme fournir un diagnostic précoce à partir de l'analyse du regard.