
FACE ET FAÇADE

La mémorisation à court terme des paréidolies à figure humaine sur les façades de bâtiment.

Mémoire de master
Thibault DECALUWE



CCA : Concevoir et Construire l'Architecture. SAPI 2024
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette.

MÉMOIRE DE MASTER

Thibault DECALUWE

La mémorisation à court terme des paréidolies à figure humaine sur les façades de bâtiment.

Une façade présentant l'illusion d'un visage humain est-elle particulièrement mémorable ?

Séminaire Savoir des Activités de Projet instrumentées.

Enseignants encadrants : François Guéna, Joaquim Silvestre, Anne Tüscher.

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette.

Années 2024-2025



Résumé

Les paréidolies, bien que peu étudiées en architecture, offrent un champ d'investigation en explorant leur influence sur la perception humaine. Une recherche vise à analyser la détection des émotions dans des paréidolies observées sur des façades architecturales via une intelligence artificielle, afin de déterminer une "teinte moyenne émotionnelle" perçue. (Ostwald et al. 2010)

En neurosciences, des études montrent une similarité dans le traitement cognitif des visages humains et des illusions de visages, notamment via l'activation de la Fusiform Face Area (FFA), une région cérébrale dédiée à la reconnaissance des visages. Cette activation est spécifique aux visages humains et à leurs illusions. (Hadjikhani et al. 2009)

Parallèlement, en marketing, des recherches révèlent que les paréidolies de visages augmentent l'attention, favorisent la mémorisation et encouragent l'achat, comme observé avec des produits ou publicités. Des études sur les "faces" de voitures renforcent cette observation, associant ces perceptions à des caractéristiques humaines inconscientes et à l'activation de la FFA. (Kühne et al. 2014)

Cette recherche au travers du mémoire interroge si les paréidolies sur des façades architecturales facilitent leur mémorisation à court terme et explorent les liens cognitifs entre la perception de visages humains réels et leurs illusions.

L'hypothèse principale postule que les paréidolies de visages humains sur les façades améliorent leur rétention à court terme, en raison d'un traitement cognitif similaire à celui des visages humains. Cette étude pourrait ouvrir des perspectives dans la conception architecturale ou sur la perception de notre monde.

Mots clés : *Paréidolie, Reconnaissance des visages, Perception cognitive, Fusiform Face Area (FFA), Architecture, Mémorisation à court terme, Illusion visuelle.*

1. Avant Propos

Ce mémoire a été réalisé dans le contexte du deuxième cycle Master en études d'architecture à Paris la Villette de 2024 à 2025. Il a été encadré par François GUÉNA, Joaquim SILVESTRE et Anne TÜSCHER au sein du Séminaire des Savoirs et Activités de Projet instrumentées.

Il s'axe dans l'intention d'initiation aux méthodes de recherche scientifique de la part des enseignants encadrants. Il reprend le principe de la recherche et des articles scientifiques contemporains.

Un sujet se construit. Les recherches dans le consensus scientifique amènent à le préciser et proposer une problématique. Une hypothèse est soulevée puis est interrogée par une expérience. Cette conclusion est critiquée et s'intègre à son tour dans le consensus. Cette méthode permet de s'appuyer sur un ensemble de travaux en réseau. Elle écarte des biais, des conclusions hâtives et isolées. Elle permet d'unifier vers un prisme théorique commun solide pour une meilleure compréhension du monde.

Je remercie le corps enseignant pour nous avoir sensibilisé aux méthodes de recherche scientifique. J'ai sincèrement aimé le séminaire, été intéressé et évolué vers une approche plus pragmatique, notamment vis à vis de mes propres biais.

Le sujet des paréidolies m'intéresse dans le cadre de l'initiation à la recherche scientifique. A l'origine, je souhaitais comprendre comment fonctionne le cerveau et à quel point nous étions impactés dans notre perception. Notamment en interrogeant si nous percevons certaines façades implicitement comme des visages. J'ai déduit et me suis aperçu que j'étais animé par des biais. L'approche scientifique, notamment avec l'expérience tend à écarter mes conclusions hâtives portées par des biais en lissant plus pragmatiquement mon prisme théorique du monde.

Table des matières

0. Avant Propos.....	3
1. Introduction.....	5
2. L'état de l'art.....	7
2.1 Recherches dans le domaine des neurosciences.....	7
2.2 Recherches dans le domaine commercial.....	15
2.3 Recherches dans le domaine architectural.....	20
2.5 Recherches sur la mémoire à court terme.....	23
3. Dispositif expérimental	28
3.1 Hypothèse.....	28
3.2 Méthode.....	29
3.3 Dispositif expérimental.....	32
3.4 Résultats attendus.....	36
3.5 Autres pistes et propositions.....	37
4. Conclusion.....	40
5. Bibliographie.....	41

2. Introduction

-*"Une paréidoquoi ?..."*.

Ce mot pouvant paraître compliqué relève d'un phénomène courant : celui de percevoir l'illusion d'une forme familière dans ou parmi des objets. -*"Un exemple ?"* : La figure 1, montre une paréidolie à figure humaine sur la devanture de voiture possiblement observable.



*Figure 1 : Photographie d'une paréidolie.
Source : Google.com*

Ce mémoire traite des paréidolies dans le domaine de l'architecture. Plus particulièrement des paréidolies à figure humaine sur les façades de bâtiment. L'intention du mémoire est de pousser la recherche sur ce sujet atypique et peu renseigné dans le domaine architectural.

Le sujet des paréidolies est largement étudié dans d'autres disciplines. Mais il demeure peu abordé en architecture. Parmi les rares articles, l'étude intitulée "Simulating Pareidolia of Faces for Architectural Image Analysis" (Ostwald et al. 2010) présente l'apprentissage d'une intelligence artificielle à reconnaître des images de visages humains et à y associer une émotion. L'intelligence artificielle est ensuite soumise à des images de façades de bâtiments. Elle perçoit une multitude de visages sur les façades et évalue leur émotion. L'une des conclusions montre que la façade de la Villa Savoye est évaluée majoritairement "énervée". Cela m'a amené à m'interroger si par notre conditionnement et interactions quotidiennes, le cerveau compose avec des visages notre perception des façades.

Dans le domaine des neurosciences, de multiples recherches tendent à montrer que le cerveau traite les illusions de visages de manière similaire aux visages réels. Un indicateur observable est l'activation de la Fusiform Face Area (FFA) sur des scanner. C'est une région cérébrale spécialisée dans la reconnaissance faciale. Elle ne s'active pas lors de la perception d'objets. Dans l'expérience "Automobiles as Faces: Face-Sensitive Perception of Automobiles in Fusiform Face Area" (Kühne et al. 2014), les sujets tendent à employer des qualificatifs humains pour décrire des devantures de voiture et l'activation de la FFA est observée pour les voitures. Ce qui montre que les devantures de voitures

dans cette expérience sont traitées similairement que lors de la perception d'un visage humain.

Enfin, les recherches récentes "Human Face and Face-Like Stimuli Are More Memorable" (Zeki et al. 2022), et "People Remember Face Pareidolia More Than Human Face Images During Naturalistic Encoding" (Kreichman et al. 2023), montrent que nous mémorisons plus facilement les stimuli qui ressemblent à des visages humains. Plus un objet se rapproche visuellement d'une figure humaine, plus il nous est facile de nous en souvenir. Couplé à des études à des fins commerciales qui montrent que la présence d'une figure humaine captive plus l'attention et tend à favoriser l'achat. Ces découvertes posent une question intéressante pour l'architecture : un bâtiment présentant une paréidolie de visage serait-il plus mémorable pour un observateur ?

A partir du croisement des recherches, une problématique se forme :

Une façade présentant l'illusion d'un visage humain est-elle particulièrement mémorable ?

Pour formuler une réponse le mémoire sera organisé en quatre parties : Dans une première partie seront exposées les recherches sur les paréidolies. J'aborderais sous différents domaines : l'architecture, le marketing et la neuroscience. Ensuite, j'exposerai les recherches sur la mémoire en me concentrant sur la mémoire à court terme. Dans une seconde partie sera présenté un dispositif expérimental permettant de tester l'hypothèse issue de la problématique : Les façades présentant des paréidolies à figure humaine sont mieux mémorisées que celles qui n'en présentent pas. D'autres pistes et méthodologies seront présentées pour approfondir. Une troisième partie servira de conclusion et d'approche critique. Notamment sur la pertinence des paréidolies dans la conception architecturale.

2. Etat de l'Art

Pour l'état de l'art suivant, l'objectif est de synthétiser les recherches rencontrées autour du sujet, de partager la connaissance. Cette étape dans la recherche est importante car elle m'a aidé à la compréhension du sujet en le spécialisant et à l'émergence de la problématique.

La partie suivante traite des paréidolies dans le cerveau au travers de recherches issues d'articles scientifiques. Selon certains articles les paréidolies sont étroitement liées à une zone dans le cerveau liée à la reconnaissance des visages qui implique une mémorisation facilitée.

2.1. *Recherches dans le domaine des neurosciences*

Les paréidolies, qui désignent la tendance de notre cerveau à reconnaître des formes familières, comme des visages, dans des objets inanimés ou des stimuli visuels ambigus, sont principalement étudiées dans le domaine des neurosciences. Ces phénomènes, bien que souvent observés dans des contextes comme l'art ou l'architecture, font l'objet d'une analyse approfondie en neurosciences. Ces recherches se concentrent sur les mécanismes cérébraux qui permettent de comprendre pourquoi et comment notre cerveau perçoit des visages, même là où il n'y en a pas.

En effet, ce phénomène est intimement lié à une zone du cerveau appelée la *Fusiform Face Area* (FFA), une région située dans le lobe temporal, spécialisée dans la reconnaissance des visages humains (Kanwisher et al., 1997). La FFA joue un rôle crucial dans l'identification des visages et son activation est particulièrement marquée lors de la perception de visages réels, mais également lorsqu'il s'agit de formes qui ressemblent vaguement à des visages. La figure 2, ci-dessous, montre l'activation de la zone sous électroencéphalogramme à la vue d'un visage et d'une illusion d'un visage.

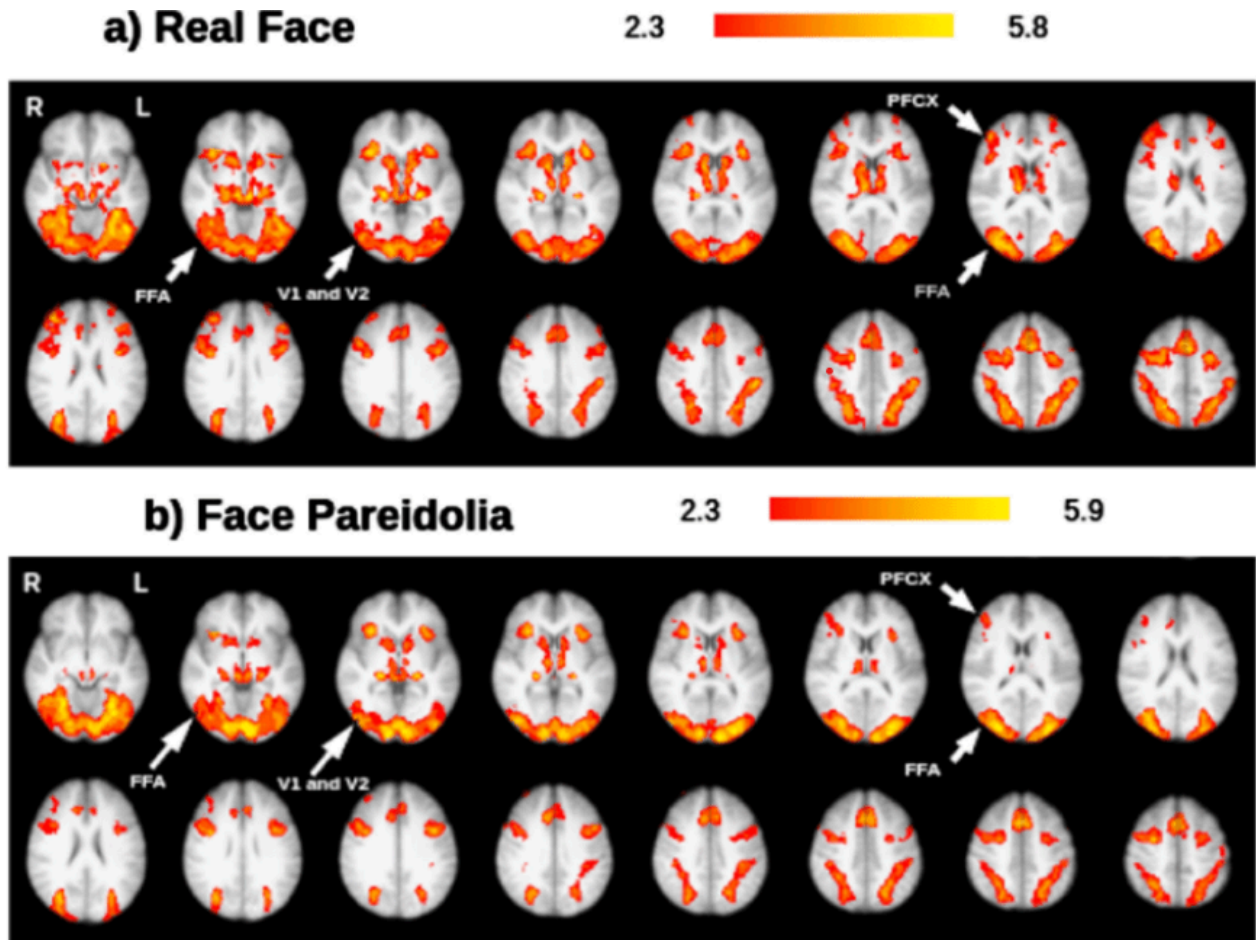


Figure 2 : Synthèse d'image montrant l'activation cérébrale. Source : Akdeniz et al.

La *Fusiform Face Area* est une zone clé dans la perception des visages. Elle est activée de manière très spécifique lors de l'observation de visages humains et semble peu réactive pour d'autres types de stimuli, comme les objets du quotidien, à moins que ces derniers ne présentent des éléments caractéristiques d'un visage, tels que des yeux, un nez ou une bouche. Ainsi, une paréidolie, qui correspond à une illusion visuelle où un visage est vu dans un objet inanimé (comme un nuage, une façade de bâtiment, ou même la grille avant d'une voiture), peut activer cette même zone du cerveau (Alais et al., 2021). Des recherches ont montré que la FFA ne s'active pas de la même manière pour d'autres types d'objets, ce qui souligne l'importance de cette zone dans la reconnaissance faciale, et par extension, dans la perception des paréidolies (Hadjikhani et al., 2009). La figure 3, issue de l'article, montre un comportement et une activation similaire pour une paréidolie à figure humaine et un visage (respectivement en bleu et rouge). Le comportement est différent pour un objet n'ayant pas de trait humain (en vert).

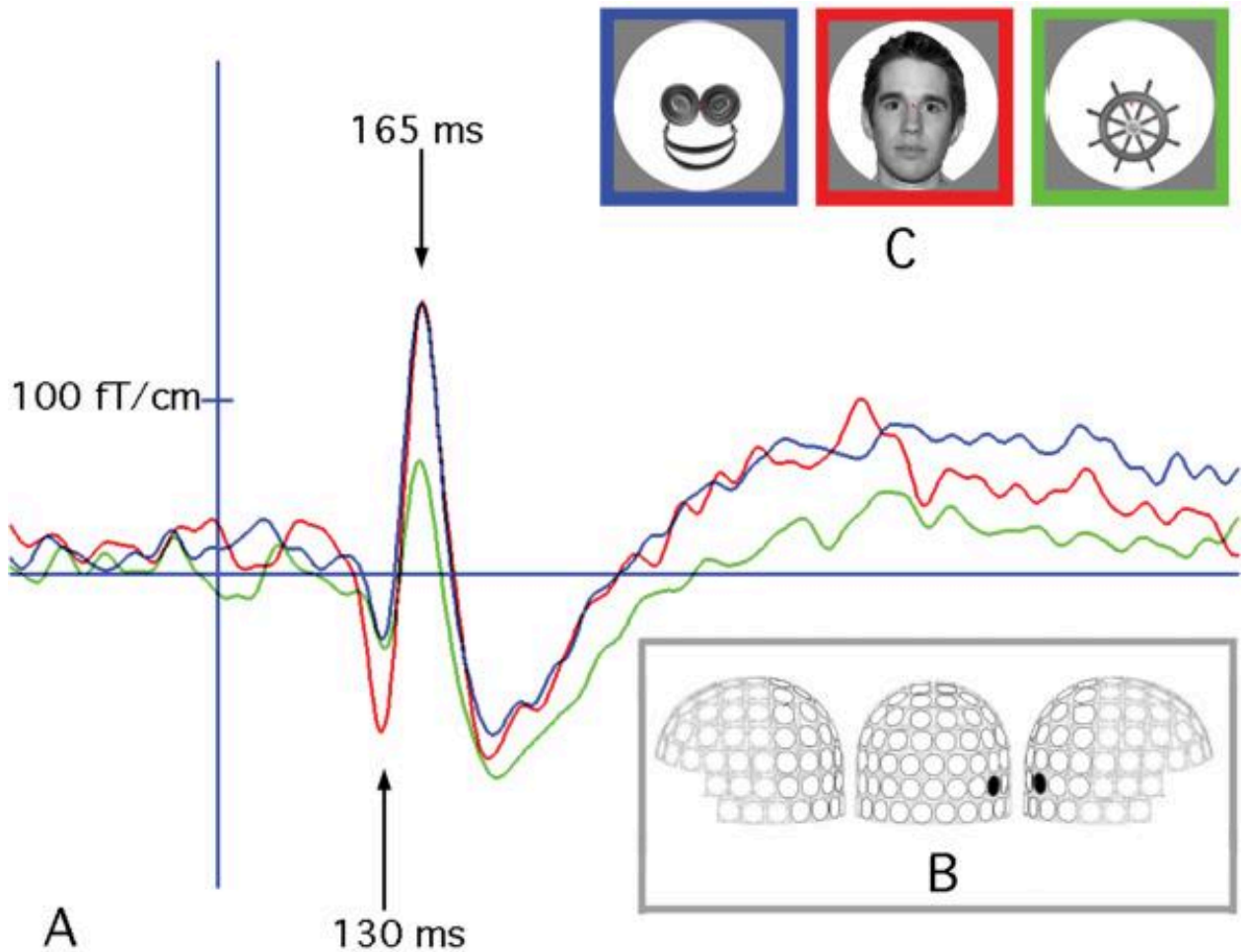


Figure 2 : Résultats d'expérience évaluant l'activation de la FFA. Source : Hadjikhani et al.

Il est intéressant de noter que la *Fusiform Face Area*, en plus de réagir spécifiquement aux visages humains, peut également être activée par des objets ou des images qui possèdent des caractéristiques faciales. Par exemple, dans une étude menée par Kühn et al. (2014), les chercheurs ont observé que lorsque des participants étaient exposés à des images de voitures dont la grille avant semblait ressembler à un visage humain, la *Fusiform Face Area* des participants s'activait de manière similaire à celle observée lors de la perception de véritables visages humains. Cette étude a mis en évidence un phénomène d'anthropomorphisme, où des objets inanimés sont perçus comme des visages en raison de caractéristiques visuelles similaires à celles des visages humains. Les participants ont même décrit ces voitures en utilisant des adjectifs typiquement associés à des êtres humains, comme "sympathique" ou "accueillant", renforçant ainsi l'idée que notre cerveau perçoit ces objets comme des entités humaines. La figure issue de l'étude montre une activation de la FFA lors de la perception de la devanture de voiture.

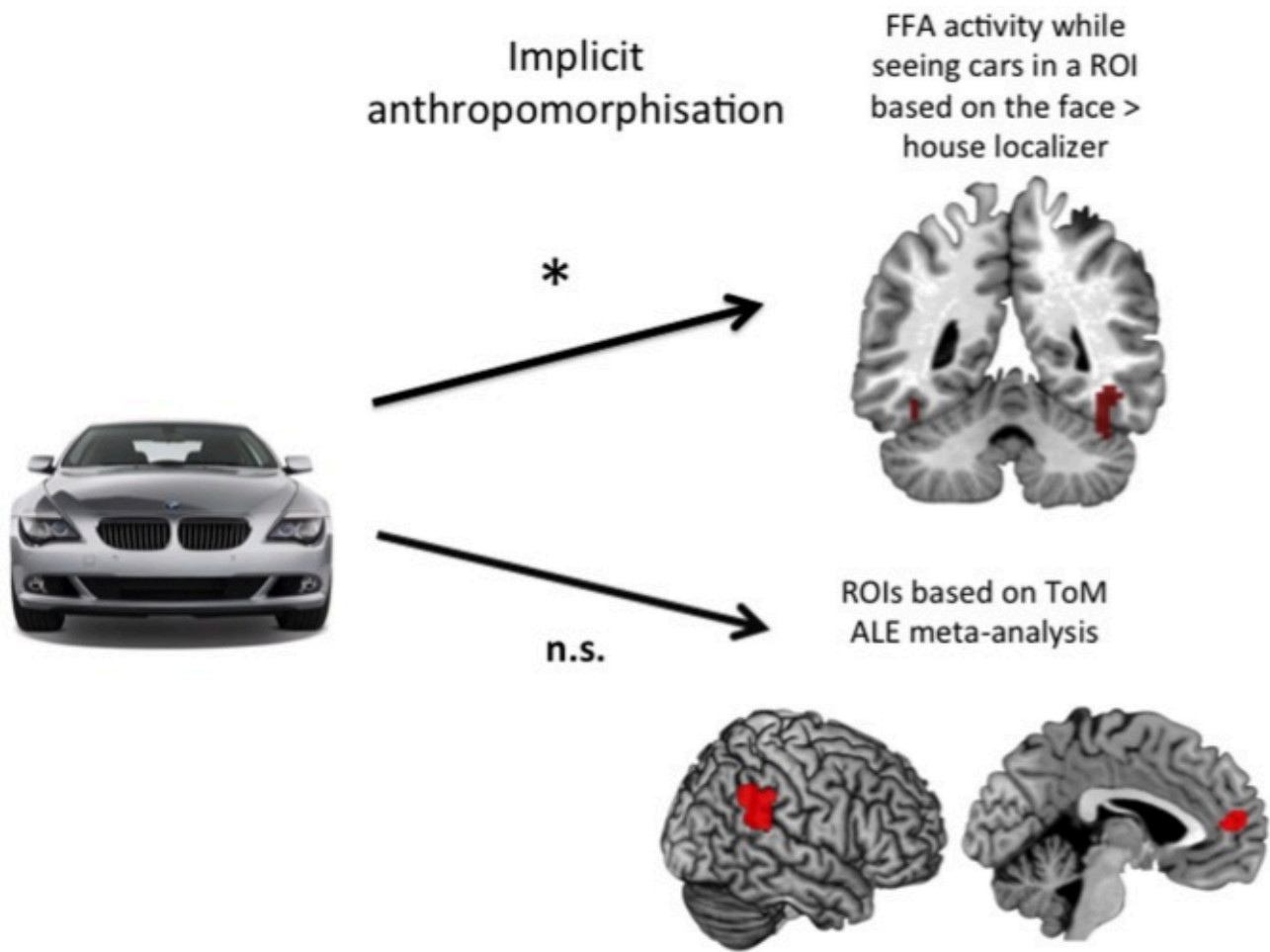


Figure 3 : Activation de la FFA à la vue d'une devanture de voiture. Source : Kühn et al.

D'autres études ont approfondi cette idée d'anthropomorphisme et d'activation de la FFA en observant des comportements visuels face à des objets anthropomorphisés, comme des véhicules ou des appareils électroniques. Par exemple, une étude de Windhager et al. (2010) a démontré que les yeux des participants suivaient les phares d'une voiture de la même manière qu'ils suivent les yeux d'un visage humain. Ce résultat suggère que notre cerveau traite de manière similaire les stimuli visuels liés aux visages et ceux qui imitent un visage, même lorsqu'il s'agit d'objets non vivants. Ce phénomène montre l'importance de l'apparence faciale, qu'elle soit réelle ou perçue, dans la manière dont nous interagissons avec notre environnement visuel. La figure ci-dessous, issue de l'étude, montre avec un traqueur oculaire, la relation entre la perception d'un visage et la devanture de la voiture expérimentée par un sujet.

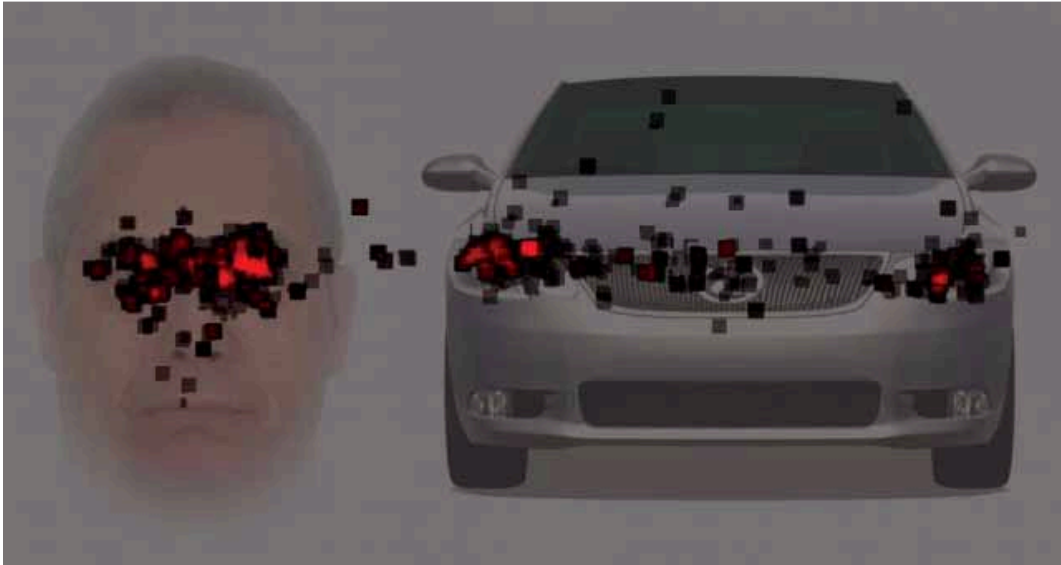


Figure 4 : Similarités observées au traqueur oculaire. Source : Windhager et al.

L'activation de la *Fusiform Face Area* n'est pas seulement importante pour la reconnaissance des visages, mais elle joue également un rôle dans la mémoire. En effet, plusieurs études ont montré que les visages et les stimuli faciaux sont plus facilement mémorisés que d'autres types d'images. Une étude intitulée *"Human faces and face-like stimuli are more memorable"* (Kapsetaki et Zeki, 2022) suggère que les visages humains et les images ressemblant à des visages sont plus facilement retenus par la mémoire, en raison de l'activation de cette région cérébrale spécialisée. Cela a des implications intéressantes dans le domaine de l'architecture, car des façades de bâtiments qui comportent des éléments pouvant être interprétés comme des visages pourraient potentiellement capter l'attention des passants et rester mémorables de manière plus marquée que d'autres types d'éléments architecturaux. La figure 5 représente les catégories exposées (lettres) en fonction de leur "mémorabilité" (barre jaune). Elle montre le lien de corrélation entre mémorisation et perception d'un visage humain.

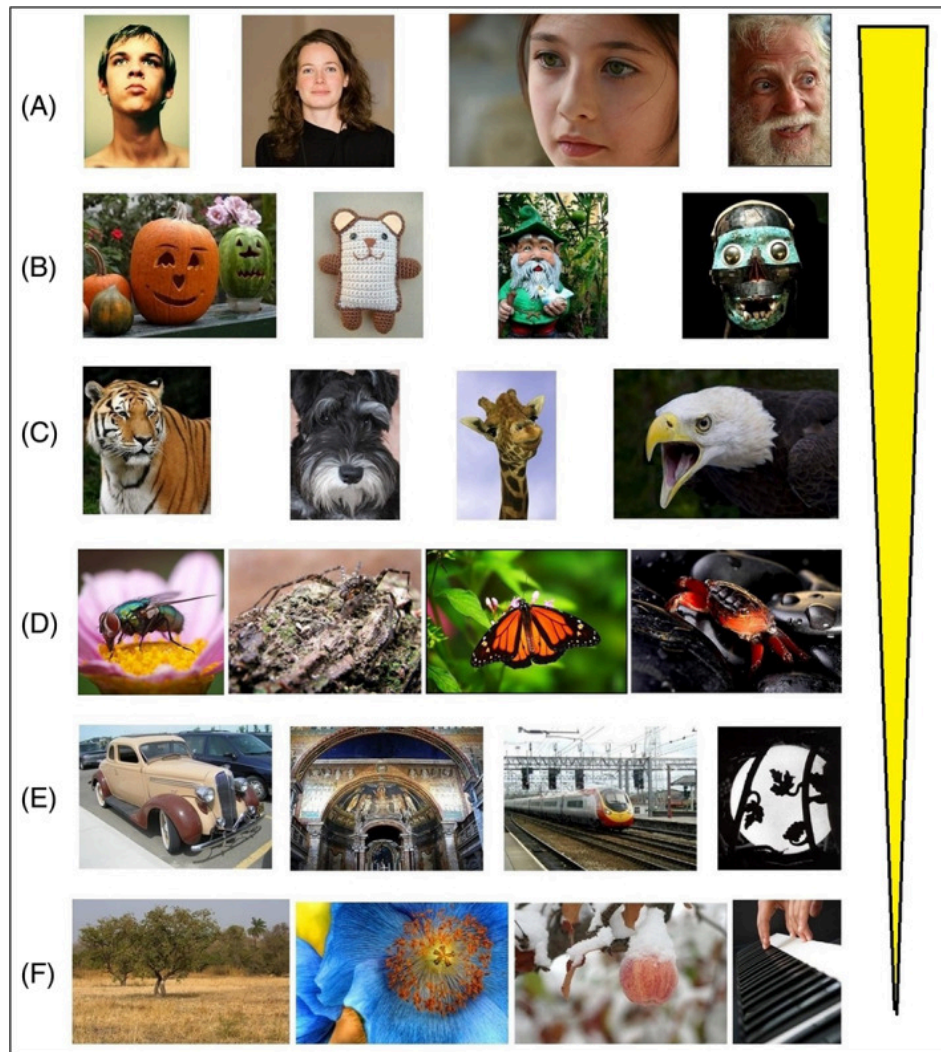


Figure 5 : Catégories d'images en fonction de leur mémorabilité. Source : Kapsetaki et Zeki

Les paréidolies à figure humaine peuvent être encore plus mémorables que de véritables visages humains. Une étude intitulée *“People remember face pareidolia more than human face images during naturalistic encoding”* (Kreichman et al., 2023) a montré que les paréidolies de visages (comme des façades de bâtiments ou des objets où des visages semblent apparaître) sont souvent mieux retenus que des images de visages réels. Cela suggère que notre cerveau accorde une attention particulière aux stimuli visuels qui ressemblent à des visages, ce qui peut rendre ces images plus saillantes et plus mémorables. Cette observation peut avoir des applications concrètes dans le domaine de l'architecture, où l'ajout d'éléments qui suscitent des paréidolies pourrait rendre les bâtiments plus reconnaissables et plus facilement mémorisés par les passants.

Il existe également des recherches qui suggèrent que les paréidolies à figure humaine peuvent être plus mémorables que les visages humains réels lorsqu'elles sont présentées dans un contexte naturel. Les résultats de ces études montrent que notre capacité à retenir des informations est influencée par la forme et la structure des objets que nous observons, en particulier lorsqu'ils ressemblent à des visages humains. Cela renforce l'idée que les éléments anthropomorphisés dans l'architecture ou dans d'autres domaines visuels peuvent avoir un impact sur la mémoire et l'attention des individus. Par exemple, des façades de bâtiments ou des objets avec des formes évoquant des visages humains pourraient être perçus comme plus attrayants et plus mémorables, car ils activent des mécanismes cognitifs profondément enracinés dans notre cerveau, associés à la reconnaissance faciale et à la mémorisation des visages (Alais et al., 2021).

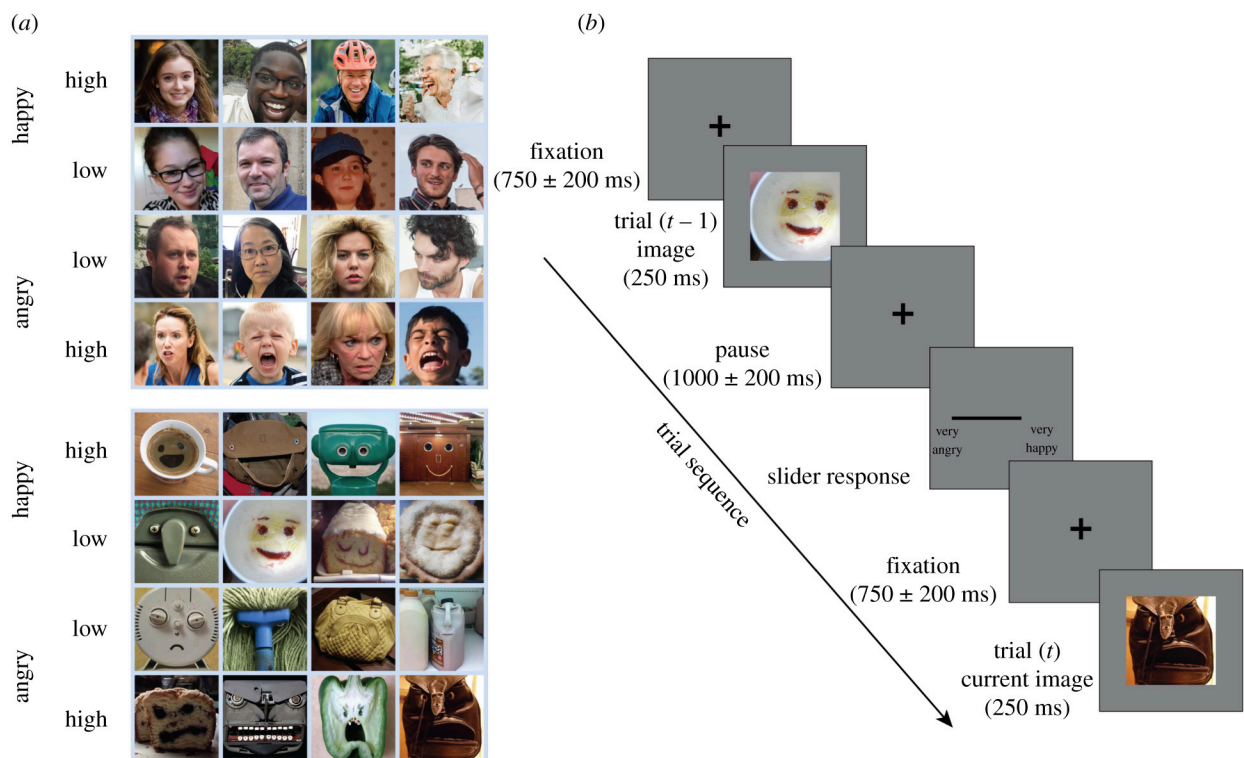


Figure 6 : Dispositif expérimental décrit dans l'article. Source : Alais et al.

En conclusion, les recherches sur les paréidolies et leur lien avec la *Fusiform Face Area* peuvent offrir des perspectives sur la manière dont notre cerveau perçoit, mémorise et réagit aux stimuli visuels. La reconnaissance des visages, qu'il s'agisse de visages réels ou d'illusions visuelles telles que les paréidolies, est un phénomène central pour notre interaction avec notre environnement. Dans le domaine de l'architecture, cela peut avoir des implications pour la conception d'espaces et de bâtiments qui captent l'attention et marquent les esprits, en exploitant les mécanismes cognitifs liés à la reconnaissance des visages et à la mémorisation des stimuli visuels. Se soulève alors la question éthique et de pourquoi les paréidolies peuvent être utilisées, ce qui sera le sujet de la partie suivante, qui traite de l'utilisation de la propriété de captation de l'attention à des fins commerciales.

2.2. *Recherches dans le domaine commercial*

Les paréidolies font également l'objet de recherches sous un angle commercial, où l'objectif est d'exploiter les processus cognitifs humains pour favoriser l'achat. Certaines études montrent que les images contenant des paréidolies captent plus efficacement l'attention des consommateurs, ce qui prolonge cette attention et mène à une plus grande probabilité d'achat. Ces recherches s'appuient sur l'idée que les visages, qu'ils soient réels ou perçus à travers des formes abstraites, sont particulièrement efficaces pour attirer et maintenir l'attention du spectateur.

Il existe plusieurs travaux sur ce sujet, et un nombre d'entre eux tend à montrer que les images de paréidolies influencent le comportement des consommateurs en captant davantage leur attention et en les captivant plus longtemps, ce qui, en retour, favorise l'acte d'achat. Par exemple, certaines études montrent que la présence d'un visage, qu'il soit humain ou simplement perçu, augmente l'engagement des consommateurs, ce qui conduit souvent à un achat plus favorable qui suggèrent que les processus cognitifs impliqués dans la perception des visages sont similaires à ceux activés lors de la détection de paréidolies. La zone cérébrale de la *Fusiform Face Area* (FFA), habituellement activée lors de la reconnaissance des visages, semble également impliquée lorsqu'un individu perçoit un visage dans une forme abstraite, comme dans les paréidolies. Cela implique que les paréidolies captent notre attention de manière similaire à un visage humain réel, renforçant ainsi leur efficacité dans un contexte commercial.

Dans l'article *"Effects of Face Images and Face Pareidolia on Consumers' Responses to Print Advertising: An Empirical Investigation"*, montre que les participants accordent une attention beaucoup plus grande aux images contenant un visage et une paréidolie de visage, et se souviennent mieux de ces publicités que celles qui n'en n'ont pas. De plus, les résultats ont révélé que la reconnaissance de la marque et la préférence pour celle-ci étaient nettement accrues lorsque l'image comportait une figure humaine, comparée à une image sans visage.

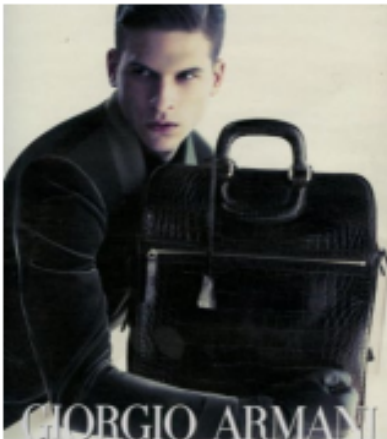


Pareidolian ad



Non-pareidolian ad

Figure 7 : Exemple de pub montré aux participants avec et sans paréidolie. Source : Guido et al.



Face ad



No-Face ad

Figure 8 : Exemple de pub montré aux participants avec et sans visage. Source : Guido et al.

Ce phénomène d'attention accrue n'est pas limité aux publicités imprimées. Sur la plateforme YouTube, par exemple, des créateurs de contenu utilisent régulièrement des visages dans leurs miniatures pour attirer l'attention des spectateurs. Des études comme celle de Kobayash et Ichikawa (2023) ont montré que les images comportant des visages génèrent davantage de clics. Cette approche exploite les mécanismes cognitifs qui rendent les visages naturellement captivants pour les individus et leur utilisation. La figure 8 montre les miniatures du youtubeur ayant le plus d'abonnés en France. Elles contiennent toutes des visages, certains sont accentués.

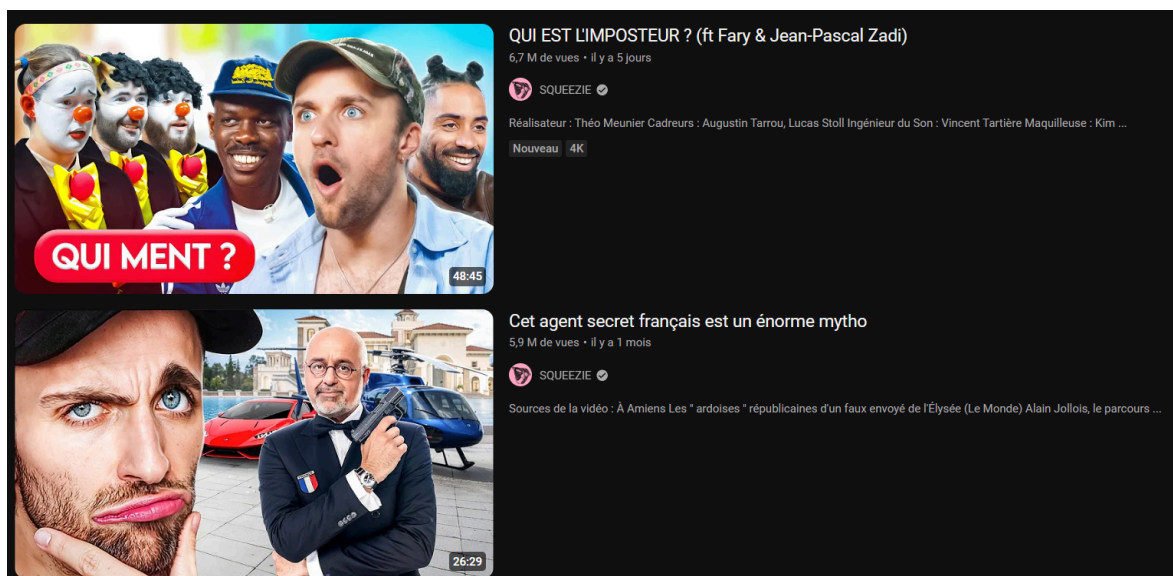


Figure 9 : Miniatures sur la chaîne Youtube de Squeezie . Source : Youtube.com

Un autre domaine où l'impact des paréidolies a été étudié est celui des applications mobiles. L'étude intitulée *"Is an anthropomorphic app icon more attractive? Evidence from neuroergonomics"* met en lumière les effets des icônes d'applications comportant des éléments anthropomorphiques, comme par exemple, des visages souriants. En utilisant un encéphalogramme pour mesurer l'attention, l'étude conclut que ces icônes suscitent une attention plus soutenue et sont jugées plus attrayantes par les utilisateurs qui impactent le téléchargement et leur utilisation.

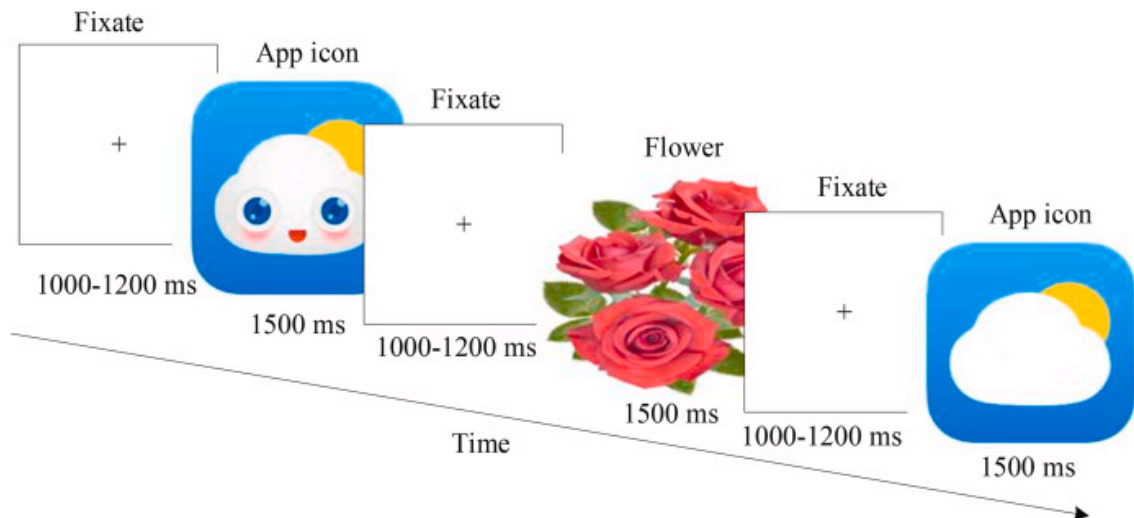


Figure 8 : Dispositif pour évaluer l'attention d'icône d'application. Source : Cao et al.

Pour illustrer l'application de ces principes dans le marketing, une célèbre campagne de McDonald's a utilisé des paréidolies dans ses affiches (Figure 9). L'idée était de créer des visages abstraits dans les éléments visuels pour attirer l'attention des consommateurs. En utilisant ces techniques, McDonald's a réussi à capter l'attention des passants, en exploitant l'attrait inné des visages et leur propriétés sur le cerveau humain.



Figure 9 : Utilisation de paréidolies sur des affiches Mcdonald's. Source : Creapills

En conclusion, les paréidolies, en raison de leur capacité à attirer l'attention en mobilisant des processus cognitifs similaires à ceux utilisés pour reconnaître des visages réels, sont devenues un outil précieux dans le domaine du marketing. Que ce soit dans la publicité imprimée, les miniatures de vidéos en ligne ou les icônes d'applications, leur efficacité pour capter l'attention et influencer les comportements d'achat est bien établie. Cette partie traite de leur utilisation dans le domaine commerciale mais qu'en est-il pour l'architecture ?

2.3. Recherches dans le domaine architectural

Il me semble important de souligner que les recherches portant spécifiquement sur les paréidolies dans le domaine de l'architecture sont très rares mais quelques articles et études existent.

Une étude intitulée "Pareidolia analysis of architecture: Reading the emotional expression of a building façade", explore la détection et l'interprétation de visages humains potentiels sur des façades de bâtiments à l'aide d'une Intelligence Artificielle. Cette étude repose sur l'idée que l'IA peut identifier des visages humains sur les façades en analysant des éléments visuels spécifiques, tels que les formes et les ombres, pour en extraire des émotions associées. Les chercheurs ont d'abord entraîné l'intelligence artificielle à reconnaître des visages humains accompagnés de différentes émotions en utilisant des banques d'images de visage. (Figure 10) Une fois cette étape accomplie, des images de façades de bâtiments ont été présentées à l'IA afin de tester sa capacité à détecter des visages sur ces façades. (Figure 11) L'expérience a ajouté une dimension émotionnelle à cette détection : l'IA, une fois qu'elle identifie un visage, associe une émotion à ce dernier selon l'apprentissage effectué au préalable. De ce fait, certaines façades étaient perçues comme exprimant des émotions spécifiques, les couleurs et les formes de la façade étant interprétées comme des "émotions" déduites de la reconnaissance de ces visages. Par exemple, la Villa Savoye a été perçue par l'IA comme ayant une expression majoritaire de colère, contrairement à la Robie House.

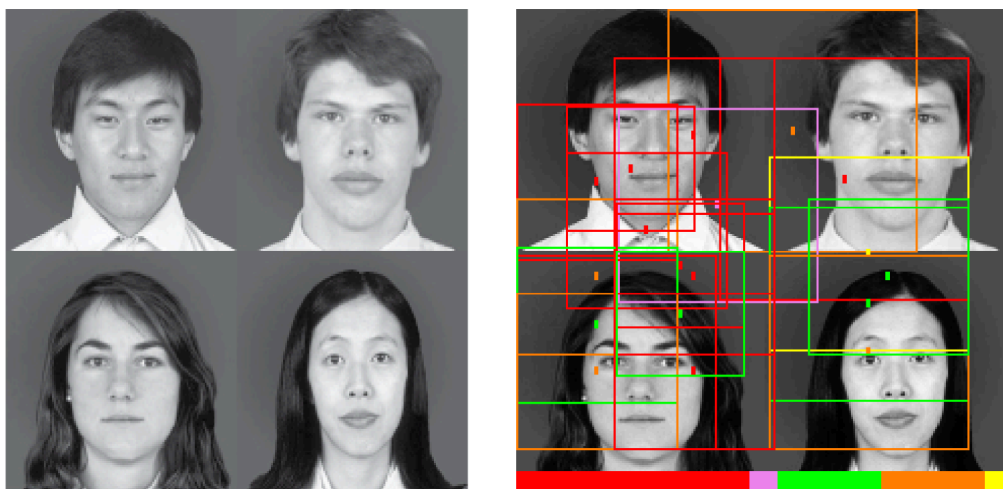


Figure 10 : Banque d'image et détection de visage et émotion par l'IA. Source : Ostwald et al.

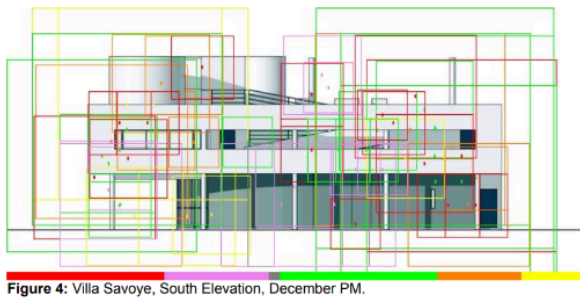


Figure 4: Villa Savoye, South Elevation, December PM.

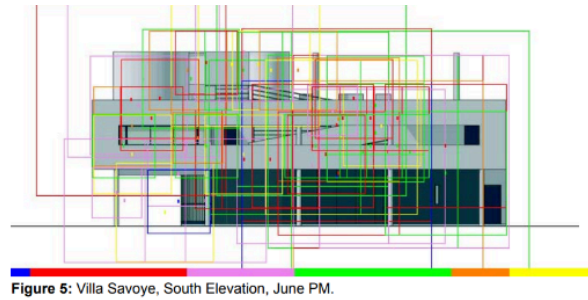


Figure 5: Villa Savoye, South Elevation, June PM.

Figure 11 :Détection de visage et émotion sur la Villa Savoye par l'IA. Source : Ostwald et al.

L'étude conclut que l'intelligence artificielle perçoit des visages à plusieurs échelles, mais souligne que ce mode de détection diffère sensiblement de la perception humaine. En effet, bien que l'IA soit capable de détecter des visages, cette détection à différentes échelles n'est pas nécessairement partagée par les humains de manière intuitive. En outre, le rôle de la temporalité a été mis en avant dans l'étude : les ombres et les variations lumineuses au cours de la journée modifient la perception des façades et peuvent influencer les paréidolies détectées. Cela suggère que les perceptions humaines des façades évoluent selon l'environnement et le moment de la journée, un aspect que l'IA semble moins capable de simuler.

Bien que cette étude soit intéressante, je demeure quelque peu sceptique quant à la pertinence des résultats. En effet, bien qu'il soit fascinant de penser que l'on perçoit des visages sans en être toujours conscient, les visages détectés sur les façades de bâtiments dans cette étude ne semblent pas aussi intuitifs à identifier pour un être humain. Cela soulève une question cruciale sur la subtilité de la perception humaine et le manque de certaines composantes nécessaires pour rapprocher cette expérience de celle d'un véritable fonctionnement humain.

Pour percevoir un visage sur une façade, l'être humain mobilise un ensemble complexe de stimuli sensoriels simultanés, et non une simple addition d'éléments visuels comme le fait l'IA. De plus, il est probable que des mécanismes neurologiques tels que la mémoire sémantique interviennent dans cette perception, ce que l'IA, en l'état actuel de sa conception, ne semble pas reproduire de manière comparable. Ce point pourrait être approfondi dans l'état de l'art sur la mémoire, afin de mieux comprendre les différences fondamentales entre la perception humaine et la perception artificielle.

En parallèle, une autre étude, intitulée "Pareidolia in a Built Environment as a Complex Phenomenological Ambiguous Stimuli", propose d'examiner comment la perception des paréidolies évolue en fonction des groupes de personnes et du moment de la journée. Cette recherche a impliqué 20 participants, répartis en groupes d'âges divers (de 18 à 60 ans), avec une répartition égale entre hommes et femmes. À l'aide d'un questionnaire, l'étude a cherché à explorer comment différentes catégories de personnes perçoivent les mêmes éléments architecturaux en fonction de leur expérience subjective. Ce type d'approche met en évidence la dimension ambiguë de la paréidolie, où les perceptions humaines sont non seulement influencées par des facteurs physiques comme la lumière, mais aussi par des éléments plus subjectifs liés aux individus eux-mêmes montré par la figure 12 ci-dessous, montrant un exemple de résultat de l'étude.





Pareidolian Image	Phenomenon			Reaction		
	6 a.m.	12 p.m.	2 a.m.	6 a.m.	12 p.m.	2 a.m.
	Face is detected	Normal building	Face is detected	Depress and sad	Neutral	Creepy and scary
	Looked like a blue monster	Normal building	Eyes are detected	Scary	Neutral	Creepy
	Cartoon-like face is detected	Fish mouth and eyes are detected	Fierce face is detected	Funny	Neutral	Creepy
	Face is detected	Normal building	Face is detected	Scary	Neutral	Scary

Figure 12 : Résultat de perceptions différentes pour des paréidolies. Source : Wang et al.

En conclusion, ces recherches, bien que limitées dans le champ de l'architecture, ouvrent un champ d'investigation sur les mécanismes de perception des paréidolies dans le domaine. Elles révèlent l'interaction entre l'intelligence artificielle et l'environnement bâti, mais aussi l'importance des facteurs contextuels et subjectifs qui influencent la manière dont nous percevons des formes et des visages dans notre environnement. Ce qui, outre l'intérêt pour la conception, peut renseigner sur notre fonctionnement.

2.4. Recherches sur la mémoire à court terme

Dans cette partie de l'état de l'art, j'ai choisi d'explorer le concept de la mémoire, qui constitue un aspect central de mon sujet. Cette partie se focalise sur la mémoire à court terme en introduisant néanmoins la mémoire plus généralement sous le prisme du consensus actuel. L'objectif de cette démarche est de partager les connaissances sur ce que j'ai pu apprendre.

Pour commencer, selon le consensus scientifique actuel, la mémoire est décrite comme un système dynamique et interconnecté, comprenant cinq types principaux. (Figure 13) Ce système est souvent organisé en deux grandes catégories fonctionnelles : la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, chacune remplissant des rôles distincts mais complémentaires dans le traitement de l'information (Inserm, 2024).

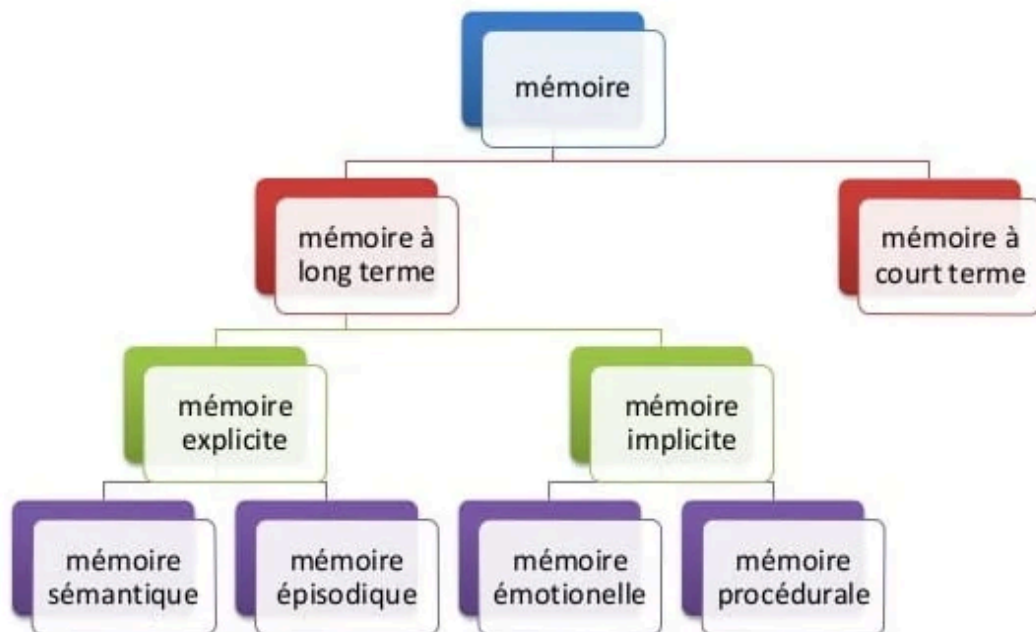


Figure 13 : Illustration de classification de "mémoires". Source : S.Martinez.

La mémoire à court terme, bien que temporaire et limitée en capacité, joue un rôle fondamental en tant que point d'entrée pour les informations dans le cerveau. Elle sert de base au transfert et au renforcement des données dans la mémoire à long terme, permettant ainsi leur stockage durable et leur récupération future.

La mémoire à long terme, pour sa part, est un système vaste et complexe, divisé en sous-systèmes spécifiques qui répondent à des fonctions distinctes au sein du cerveau. Par exemple, la mémoire procédurale concerne les compétences motrices et les habitudes, comme l'apprentissage du vélo. Cette mémoire, une fois activée, transforme une compétence volontaire en une activité automatique et intuitive, libérant ainsi des ressources cognitives pour d'autres tâches. À l'inverse, la mémoire sémantique est plus abstraite et se concentre sur des connaissances factuelles ou conceptuelles. Elle nous permet, par exemple, de nous souvenir du nom de la ville de Paris tout en l'associant à des symboles culturels tels que la Tour Eiffel. Bien que ces deux types appartiennent à la mémoire à long terme, ils diffèrent considérablement par leurs objectifs fonctionnels et par les zones cérébrales impliquées dans leur activation.

La compréhension de la mémoire s'appuie également sur une conceptualisation simplifiée, souvent comparée à un système informatique, avec trois étapes clés : l'encodage, le stockage et la récupération. (Figure 14) La mémoire de travail, ou mémoire à court terme, joue un rôle déterminant dans l'encodage initial des informations perçues dans notre environnement. Elle mobilise l'attention, qui agit comme un filtre pour concentrer les ressources cognitives sur des données spécifiques. Cette phase d'encodage est essentielle pour le transfert des informations vers la mémoire à long terme. Des mécanismes tels que la répétition, l'association et le réemploi contribuent à renforcer ces traces mnésiques, les rendant disponibles pour un usage ultérieur. Cela se reflète dans notre capacité à traiter des informations instantanées, comme retenir une séquence de chiffres ou lire un numéro de plaque d'immatriculation pour une courte durée.

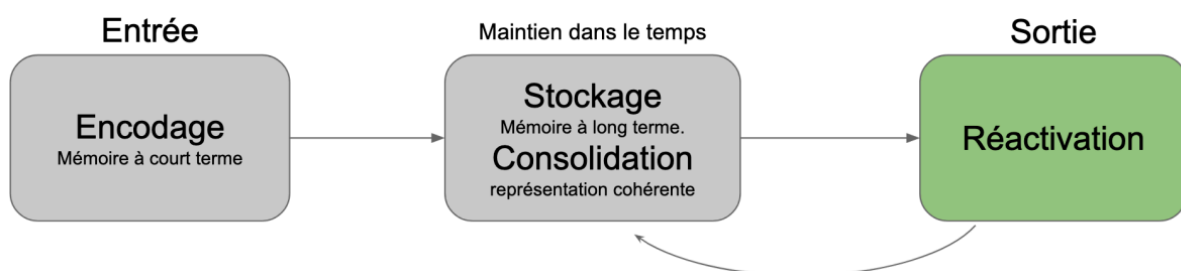


Figure 14 : Concept informatisé d'explication de la mémoire. Source : Univ-Lorraine

Malgré son importance, la mémoire à court terme présente des limites notables. Elle est restreinte non seulement en durée, mais aussi en capacité, et elle est particulièrement vulnérable à une surcharge d'informations. Une étude de référence menée par George A. Miller en 1956 a proposé que la mémoire à court terme pouvait contenir environ sept éléments, plus ou moins deux, avant d'atteindre un point de saturation. C'est l'un des articles scientifiques les plus cités au monde (15 000 fois).

Cependant, des recherches ultérieures ont remis en question cette limite numérique stricte. Nelson Cowan (2015) a notamment démontré que la mémoire à court terme est influencée par des facteurs tels que la complexité et la similarité des éléments à traiter, plutôt que par un nombre défini. Ces travaux mettent en lumière le caractère adaptatif et contextuel de la mémoire humaine.

Sur le plan neurologique, la mémoire à court terme est principalement associée au cortex préfrontal (figure 15), une région située à l'avant du cerveau, derrière le front. Cette zone joue également un rôle central dans les processus attentionnels, qui sont essentiels pour gérer les ressources cognitives disponibles et éviter la saturation (FRC, 2024). En effet, l'attention agit comme un filtre, permettant de sélectionner les informations pertinentes et de les prioriser pour le traitement.

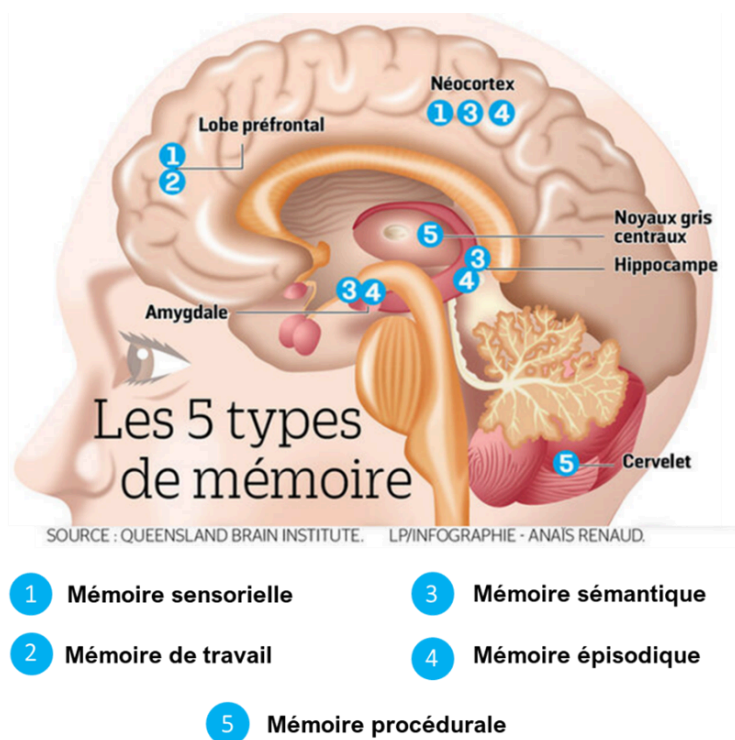


Figure 15 : Illustration de lien de zone et de processus de mémorisation. Source : FRC

L'article "Attention et maintien en mémoire de travail : une revue des données neurophysiologiques" par Fanuel et al. (2021) explore le rôle central de l'attention dans le maintien des informations en mémoire de travail. Les auteurs montrent que des mécanismes tels que le rafraîchissement attentionnel sont essentiels pour stabiliser les représentations en mémoire. Les études en IRMf et en électrophysiologie révèlent une forte interdépendance entre attention et mémoire de travail, impliquant des réseaux neuronaux communs.

Dans "The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective" (2002), Kane et Engle explorent le lien entre l'attention et la mémoire de travail, en mettant en lumière les différences individuelles dans la capacité de mémoire. Ils démontrent que la capacité d'attention joue un rôle crucial dans le maintien et la manipulation des informations dans la mémoire de travail. Les auteurs suggèrent que les individus ayant une capacité d'attention plus élevée sont mieux capables de traiter et de retenir des informations ce qui peut illustrer le lien entre mémoire à court terme et attention.

En conclusion, la mémoire et l'attention sont des mécanismes clés dans le traitement des informations, avec une interaction particulièrement marquée dans la mémoire à court terme. Les paréidolies illustrent cette dynamique en attirant naturellement l'attention et ayant des propriétés facilitant la mémorisation par la ressemblance au visage humain.

En aparté, pour illustrer les limites de la mémoire à court terme et rendre interactive la lecture, j'ai conçu deux exemples visuels sous forme de diapositives. L'une contient un nombre réduit d'informations organisées et synthétisées (figure 16), tandis que l'autre est surchargée de données (figure 17). Elles expriment les mêmes idées et résument la mémoire à court terme.

La première, plus facile à retenir, démontre que la structure et la concision jouent un rôle crucial dans la mémorisation. Cette observation est directement liée à l'importance de la mémoire à court terme dans les processus d'apprentissage. Lorsque cette mémoire est surchargée, l'attention et les mécanismes d'encodage sont affectés, ce qui limite la capacité à transférer les informations vers la mémoire à long terme.

5 systèmes interconnectés

Mémoire à court terme : Mémoire à long terme :

La mémoire de travail La mémoire sémantique

La mémoire épisodique

La mémoire procédurale

La mémoire perceptive

Permet de retenir des informations

Limité

En moyenne 7 éléments sur 15 secondes

Facilement oublié

Porte d'entrée pour retenir à long terme

Les différentes mémoires	
MÉMOIRE ÉPISODIQUE	événements et de leur contexte d'acquisition
MÉMOIRE SÉMANTIQUE	Connaissances générales sur le monde
MÉMOIRE PERCEPTIVE	Enregistrement de percepts
MÉMOIRE PROCÉDURALE	Stocke les compétences: nager, faire du vélo, jouer de la guitare...
MÉMOIRE DE TRAVAIL	Conserve les informations nécessaires à l'exécution d'une tâche

Attention, distraction, interférence

<https://www.inserm.fr/dossier/memoire/>

Figure 16 : Diapositive 1 sur la mémoire à court terme.

Cinq systèmes interconnectés

La mémoire se compose de cinq systèmes interconnectés, impliquant des réseaux neuronaux distincts :

La mémoire de travail (à court terme) est au cœur du réseau.

La **mémoire sémantique** et la **mémoire épisodique** sont deux systèmes de représentation consciente à long terme.

La **mémoire procédurale** permet des automatismes inconscients.

La **mémoire perceptive** est liée aux différentes modalités sensorielles.

On rassemble parfois toutes les mémoires autres que celle de travail sous le nom générique de mémoire à **long terme**.

Par ailleurs, on distingue souvent les **mémoires explicites** (épisodique et sémantique) des **mémoires implicites** (procédurale et perceptive).

La mémoire de travail (ou mémoire à court terme) est la mémoire du présent. Elle permet de manipuler et de retenir des informations pendant la réalisation d'une tâche ou d'une activité.

Cette mémoire est sollicitée en permanence : c'est elle qui permet par exemple de retenir un numéro de téléphone le temps de le noter, ou de retenir le début d'une phrase le temps de la terminer. Elle utilise une boucle phonologique (répétition mentale), qui retient les informations entendues, et/ou un calepin visuospatial, salut c'est moi, vous ne lirez jamais cette phrase, qui conserve les images mentales.

Elle fonctionne comme une mémoire tampon : les informations qu'elles véhiculent peuvent être rapidement effacées, ou stockées dans la mémoire à long terme par le biais d'interactions spécifiques entre le système de mémoire de travail et la mémoire à long terme.

<https://www.inserm.fr/dossier/memoire/>

Figure 17 : Diapositive 2 sur la mémoire à court terme.

2. Dispositif expérimental

Les recherches présentées dans l'état de l'art ont orienté ma réflexion vers une spécialisation de mon sujet, me conduisant à examiner l'impact des paréidolies sur le cerveau. Cela m'a amené à formuler la problématique suivante : « Les façades de bâtiments présentant une paréidolie à figure humaine sont-elles particulièrement mémorables ? »

Cette section propose une expérience visant à approfondir cette problématique. Faute de temps et de moyens, je présente un dispositif expérimental et des pistes méthodologiques pour explorer l'hypothèse et esquisser une réponse à la question posée.

2.1. Hypothèse

Dans le cadre de l'expérience développée, il est essentiel de formuler une hypothèse qui pourra être validée ou invalidée en conclusion. À partir des recherches abordées dans l'état de l'art et de la problématique identifiée, l'hypothèse posée est la suivante :

Les paréidolies à figure humaine sur les façades de bâtiments seraient intuitivement mieux mémorisées à court terme que des façades sans paréidolie, en raison d'un traitement cognitif similaire à celui des visages.

Cette hypothèse repose sur les recherches de l'état de l'art montrant que les figures humaines attirent davantage l'attention et sont généralement plus mémorables que les figures non humaines. Par ailleurs, des études suggèrent que les paréidolies à figure humaine non seulement sont mieux mémorisées à court terme, mais activent aussi des zones cérébrales spécifiques, telles que la Fusiform Face Area, associées à la reconnaissance des visages. La figure ci-dessus illustre ce principe par un schéma explicatif.



Figure 18 : Illustration de l'hypothèse de mémorisation à court terme des paréidolies.

2.2. Méthode

La démarche expérimentale consiste à examiner si les participants mémorisent mieux, à court terme, les façades de bâtiments présentant des paréidolies comparativement à celles qui n'en ont pas. Une seconde étape vise à déterminer si les paréidolies sont traitées cognitivement de manière similaire à des visages humains.

Pour évaluer la mémoire à court terme, la méthode de *rappel libre* sera utilisée. Elle implique de montrer une série de façades aux participants, qui devront ensuite, après une pause, se souvenir et lister le plus grand nombre possible de façades, sans ordre particulier. (Figure 19)

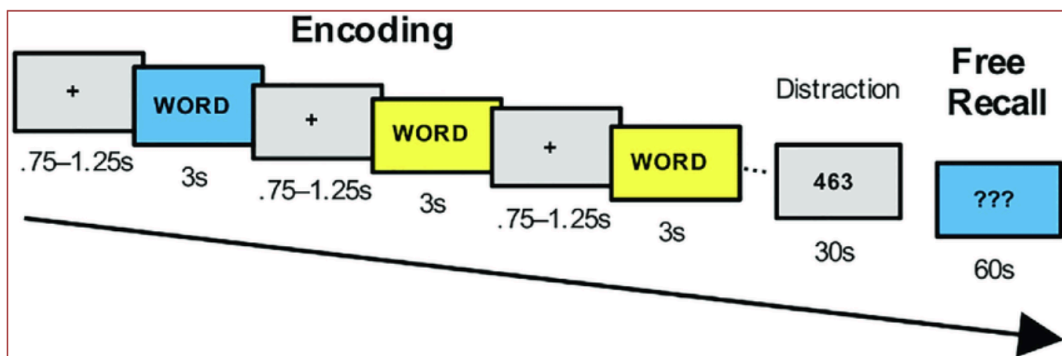


Figure 19 : illustration de la tâche de Rappel libre. Source : Wälti et Al.

“Tâche de rappel durant laquelle le sujet doit récupérer des éléments en mémoire sans être contraint de reproduire l’ordre dans lequel ils ont été présentés et donc en déterminant lui-même cet ordre.” Loterre

Parallèlement, un *Eye Tracker* (figure 20) sera employé pour analyser le comportement oculaire des participants lorsqu’ils observent des façades avec des paréidolies. Cette méthode d’oculométrie permet de mesurer précisément les zones sur lesquelles le regard se concentre (figure 21). L’objectif est de vérifier si les participants explorent les paréidolies comme ils le feraient pour un visage humain, en focalisant leur attention sur une zone englobant typiquement les yeux et la bouche. (figure 22 et 23).

“L’eye tracking, ou « oculométrie », permet d’accéder à ces données en mesurant où et comment une personne regarde. Concrètement, une lumière infrarouge est émise en direction de son œil. Elle s’y reflète et une caméra enregistre les reflets engendrés, permettant un calcul en temps réel de la position du regard. Inoffensive et non invasive, la méthode est utilisée dans de nombreux domaines, du marketing à l’ergonomie web, en passant par la recherche biomédicale.” (Inserm)



Figure 20 et 21 : Principe de fonctionnement d'un traqueur oculaire. Source : Beesley et al.



Figure 22 et 23 : Principe de fonctionnement d'un traqueur oculaire. Source : Beesley et al.

Cette méthode a été utilisée et évoquée dans l'état de l'art précédent. L'article "Laying eyes on headlights: Eye movements suggest facial features in cars" Windhager et al. (2010) a démontré que les yeux des participants suivaient les phares d'une voiture de la même manière qu'ils suivent les yeux d'un visage humain. (Figure 4) Ce résultat suggère que notre cerveau traite de manière similaire les stimuli visuels liés aux visages et ceux qui imitent un visage, même lorsqu'il s'agit d'objets non vivants.

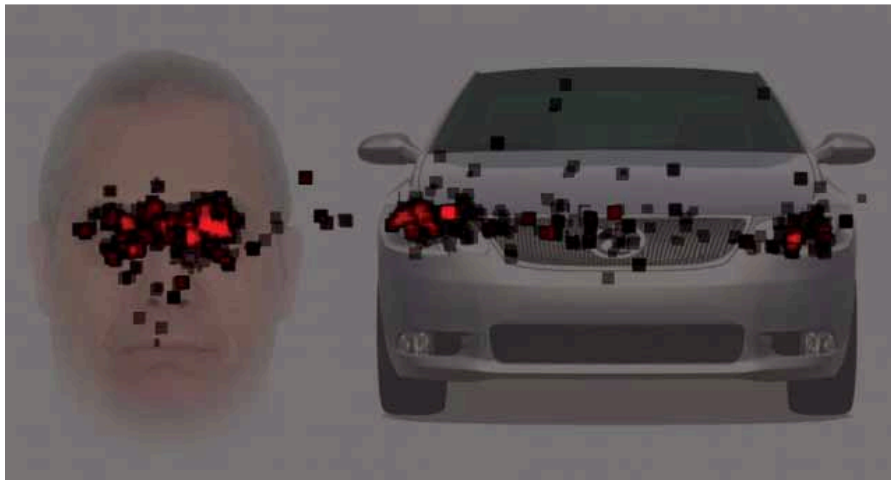


Figure 4 : Similarités observées entre une voiture et un visage. Source : Windhager et al.

Cependant, pour confirmer l'interprétation des paréidolies comme des visages, une méthode complémentaire pourrait consister à observer l'activation de la *Fusiform Face Area* (FFA) à l'aide d'un scanner IRM. Cette région cérébrale, comme le montrent les travaux explorés dans l'état de l'art, s'active spécifiquement lors de la perception de visages humains ou de paréidolies, mais pas pour des objets.

L'étude "Is This Car Looking at You? How Anthropomorphism Predicts Fusiform Face Area Activation when Seeing Cars" (Kühn et al., 2014) illustre cette approche. Vu dans l'état de l'art, les résultats démontrent que la FFA s'active en réponse à des stimuli anthropomorphiques comme des devantures de voitures interprétées comme des visages. (figure 3) Ces conclusions sont renforcées par des observations comportementales où les participants attribuent des traits humains à ces stimuli. Une démarche similaire pourrait être envisagée pour confirmer le traitement cognitif des paréidolies dans l'expérience proposée, cette proposition sera approfondie dans une partie ultérieure évoquant les possibilités d'améliorations et critiques.

2.3. Dispositif expérimental

L'expérience proposée pour tester l'hypothèse se divise en deux points :

La première vise à évaluer la mémorisation à court terme de façades de bâtiment présentant ou non des paréidolies à l'aide de la tâche de rappel libre.

La deuxième vise à évaluer si les participants interprètent ces paréidolies de manière similaire à des visages humains à l'aide d'un traqueur oculaire.

Un groupe de participants diversifiés, en termes de nombre, de genre et d'âge, sera à privilégier pour cette étude et une attention critique sera consacrée à évaluer les potentiels biais.

2.3.1. Expérience principale

Pour cette expérience, les participants sont placés devant un écran où défile une série d'images successives.(figure 24) Chaque image est présentée selon une séquence bien précise, en respectant la méthode du "Rappel Libre", une technique couramment utilisée pour évaluer la mémoire à court terme.

Après la présentation des images, les participants doivent restituer, de mémoire, les éléments qu'ils ont retenus de cette séquence, et ce, dans n'importe quel ordre. Cette méthode permet d'évaluer leur capacité à se souvenir des images vues, sans orientation spécifique, ce qui reflète bien leur mémoire à court terme. (figure 25)

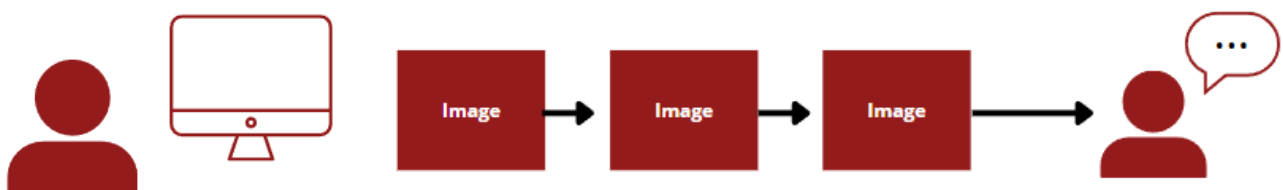


Figure 24 et 25 : Illustration du dispositif expérimental.

Les images utilisées dans cette expérience sont toutes des photographies de façades de bâtiments, prises dans des conditions similaires pour garantir l'homogénéité des stimuli.(figure 26) En particulier, les photos sont prises à partir d'un angle de vue frontal, avec une échelle comparable et un nombre équivalent d'éléments visibles sur chaque façade (dans ce cas, trois fenêtres). L'objectif est de créer des conditions de présentation cohérentes pour que la seule différence entre les images réside dans la présence ou l'absence d'une paréidolie.



Figure 26 : Illustration de restitution des images de façade suivant la méthode de rappel libre.

Les façades sont ensuite réparties en deux groupes distincts : un groupe (A) comprenant des façades avec des éléments disposés de manière à suggérer une paréidolie, et un autre groupe (B) sans aucun élément susceptible d'évoquer une paréidolie. La différence réside principalement dans la disposition des éléments architecturaux tels que les fenêtres, les portes et les décorations, qui sont agencés de façon à ressembler ou non à un visage humain. Par exemple, la figure X montre une façade où la disposition des fenêtres rappelle un visage humain, tandis que la figure Y présente une façade sans aucune suggestion de visage, bien que les éléments soient similaires.



Figure 27 et 28 : Photographies respectives du groupe (A) et (B).

La séquence comprend un total de cinq images, dont une seule représente une façade pouvant être perçue comme une paréidolie à figure humaine, et les autres ne présentent aucune caractéristique de ce type. Cette structure permet de tester si les participants sont plus enclins à mémoriser la façade contenant la paréidolie, en raison de son caractère atypique et plus saillant.

Après la phase de présentation et de restitution des images, les résultats seront analysés pour évaluer dans quelle mesure les participants ont retenu la façade avec la paréidolie par rapport aux autres. En outre, cette restitution permettra de comparer la mémorisation des façades présentant des paréidolies humaines aux façades sans paréidolies, ce qui pourrait apporter un éclairage sur l'impact cognitif particulier des paréidolies sur la mémoire à court terme.

Dans cette partie de l'expérience, l'objectif est de comprendre si la paréidolie, en raison de son potentiel à capter l'attention, a un effet distinct sur la mémorisation par rapport aux façades classiques.

2.3.2. Complément d'expérience

En parallèle de la première partie de l'expérience, une seconde phase serait mise en place afin d'examiner si les participants perçoivent les façades avec des paréidolies comme des visages humains. Cette partie de l'expérience vise à observer les comportements oculaires des sujets lorsqu'ils sont confrontés à ces images de façades.

Pour cette observation, chaque participant serait équipé d'un traqueur oculaire, également connu sous le nom d'eye tracker. Cet appareil serait réglé pour enregistrer les zones du visage qu'ils regardent lorsqu'ils examinent les suites d'images, permettant ainsi de suivre le mouvement de leur regard en temps réel. Cette méthode permet de collecter des données très précises sur la focalisation de l'attention visuelle et de déterminer les régions spécifiques des images qui attirent l'attention du participant.

Des recherches (Joyal et Al, 2014) ont montré que, lorsqu'une personne perçoit un visage humain, son regard se concentre généralement sur une zone spécifique, formant un triangle entre les yeux et la bouche, qui sont les éléments les plus saillants du visage humain.(figure 29) Ce comportement oculaire est intuitif et révèle une attention particulière à cette région du visage, ce qui facilite la reconnaissance et l'interprétation des expressions faciales.

Dans le cadre de cette expérience, si les participants interprètent une façade avec une paréidolie comme un visage, leurs comportements oculaires devraient suivre un modèle similaire à celui observé lors de la perception d'un visage humain. Autrement dit, leur regard devrait se concentrer principalement sur une zone triangulaire, comprenant les fenêtres disposées de manière à suggérer les yeux et la bouche, caractéristique typique de la perception d'un visage. (figure 30) Cette attention particulière devrait être observable dans les données collectées par le traqueur oculaire. (figure 31)

En revanche, pour les façades ne présentant aucune paréidolie, les comportements oculaires devraient être différents. Les participants auront tendance à focaliser leur attention sur des détails architecturaux spécifiques, tels que les fenêtres ou les portes, plutôt que sur un ensemble qui pourrait être perçu comme un visage. Cela se traduirait par une distribution du regard plus dispersée et centrée sur des éléments particuliers. (figure 32).

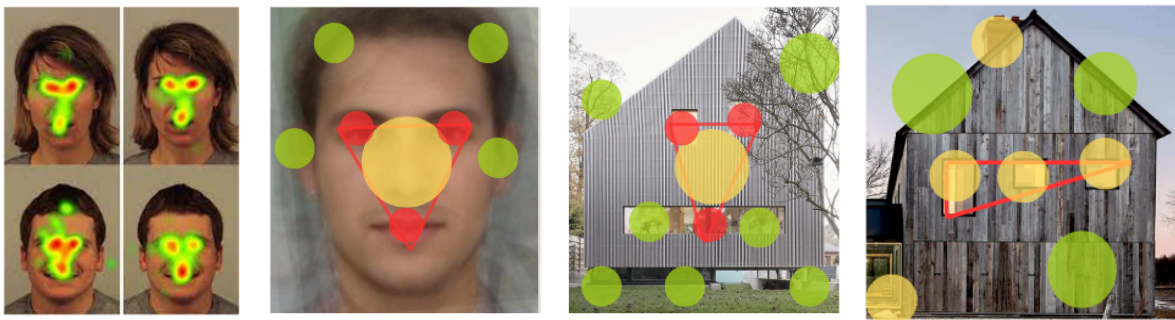


Figure 29 30 31 32 : Photographies respectives du groupe (A) et (B). Joyal et Al

Ainsi, en utilisant un traqueur oculaire pour suivre les mouvements oculaires, cette partie de l'expérience vise à vérifier si les participants traitent les façades avec des paréidolies de manière similaire à un visage humain, en se concentrant principalement sur une zone particulière, ce qui confirmerait l'hypothèse selon laquelle ces paréidolies sont perçues comme des visages. Ce qui peut impliquer et témoigner une cause qu'elles soient mieux retenues à court terme dans le cas où l'expérience 1 est vérifiée.

2.4. Résultats attendus

Pour rappel, la démarche scientifique est la méthode utilisée par les scientifiques pour parvenir à comprendre et à expliquer le monde qui nous entoure. De façon simplificatrice, elle se déroule en plusieurs étapes : à partir de l'observation d'un phénomène et de la formulation d'une problématique, différentes hypothèses vont être émises, testées puis infirmées ou confirmées ; à partir de cette confirmation se construit un modèle ou théorie. L'observation et l'expérimentation sont des moyens pour tester les différentes hypothèses émises. (cea.fr)

Pour ce mémoire et particulièrement dans le cadre du Séminaire des Savoirs et Activités de Projet instrumentée, la méthode scientifique est suivie. Les expériences ont pour but de valider ou non cette hypothèse.

L'hypothèse formulée précédemment est :

Les paréidolies à figure humaine sur les façades de bâtiments seraient intuitivement mieux mémorisées à court terme que des façades sans paréidolie, en raison d'un traitement cognitif similaire à celui des visages.

Pour la première expérience visant à évaluer la mémorisation à court terme de façades de bâtiment présentant ou non des paréidolies à l'aide de la tâche de rappel libre:

Si le sujet est capable de restituer plus précisément la façade présentant la paréidolie parmi les autres façades ALORS une paréidolie est possiblement mieux retenue à court terme parmi des façades sans paréidolies.

Pour l'expérience complémentaire visant à évaluer si les participants interprètent ces paréidolies de manière similaire à des visages humains à l'aide d'un traqueur oculaire :

Si le sujet est capable de restituer plus précisément la façade présentant la paréidolie parmi les autres façades ET QU'il détecte une paréidolie avec les observations du Eye tracker ALORS la cause possible qu'une paréidolie soit mieux retenue à court terme parmi des façades sans paréidolies serait lié au fait qu'elle serait perçue comme un visage.

2.5. Autres pistes et propositions

L'expérience proposée est conçue pour être simple à mettre en œuvre avec peu de moyens, bien qu'elle puisse être améliorée pour augmenter sa précision et son efficacité.

Une première amélioration consisterait à diversifier les sources d'images. Par exemple, la modélisation 3D de façades permettrait de mieux contrôler les variables et de garantir une homogénéité plus grande entre les images utilisées dans l'expérience. En créant des façades virtuelles avec une caméra placée à une distance fixe et un fond de maison constant (figure 33), il serait possible de manipuler les éléments (comme les fenêtres) pour former ou non des paréidolies. (figures 34 et 35) Cela permettrait de tester l'hypothèse en utilisant un ensemble d'images parfaitement uniformes, ce qui offrirait un meilleur contrôle sur les variables. En ajoutant des éléments supplémentaires, comme des objets placés sur la façade, on pourrait également vérifier si, en l'absence de paréidolie, l'attention se porte davantage sur ces objets, comparativement à une façade avec paréidolie, où le regard se concentrerait sur une zone plus globale, typique de la perception des visages. (figures 34 et 35)

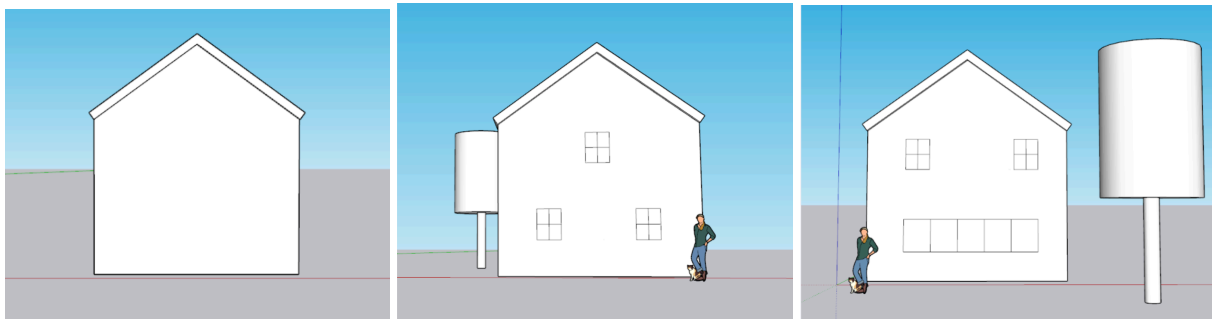


Figure 33 34 35 : Ébauche de modélisation avec Sketchup

Une autre alternative pourrait être l'utilisation de l'intelligence artificielle pour générer des images de façades, avec ou sans paréidolies. L'émergence rapide de technologies d'IA et les générateurs d'images, a ouvert de nouvelles possibilités. Par exemple, le projet GauGan de Nvidia utilise une IA pour créer des images photoréalistes à partir de simples esquisses. (figure 40) Bien que ce logiciel soit conçu pour des paysages, des technologies similaires pourraient être adaptées pour générer des façades avec paréidolies, ce qui améliorerait l'expérience en créant un large éventail d'images

personnalisées. Le processus de génération des images, illustré par l'interface de GauGAN, pourrait être utilisé pour concevoir des façades en intégrant des éléments spécifiques à chaque image.

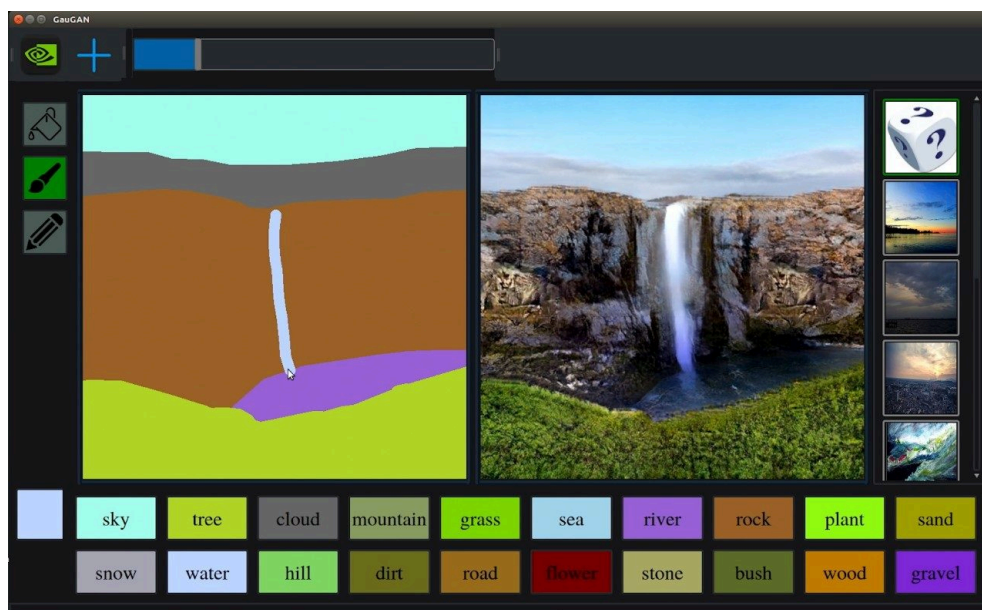


Figure 40 : Interface du programme GauGAN

En termes d'améliorations plus coûteuses mais potentiellement plus pertinentes, une option serait de remplacer le traqueur oculaire par un électroencéphalogramme (EEG), permettant ainsi de mesurer l'activité électrique du cerveau pour observer l'activation de zones spécifiques, telles que la Fusiform Face Area (FFA), responsable de la reconnaissance des visages. L'étude "Is this car looking at you? How anthropomorphism predicts fusiform face area activation when seeing cars" (Kühnet et al., 2014) illustre l'utilisation de l'EEG pour observer l'activation de cette zone du cerveau lors de la perception de véhicules anthropomorphisés, où les participants perçoivent des avantures de voitures comme des visages humains. Cette activation de la FFA, en plus des résultats de questionnaires où les participants attribuent des qualificatifs humains aux voitures, renforce l'idée que certaines formes de paréidolie, même dans des objets non vivants, activent des processus similaires à ceux utilisés pour la reconnaissance des visages humains.

Une approche complémentaire est celle de l'utilisation d'un traqueur oculaire, comme l'a montré l'étude "Laying eyes on headlights: Eye movements suggest facial features in cars" (Windhager et al., 2010), qui a observé des comportements oculaires similaires entre la perception d'une voiture et celle d'un visage humain. En combinant l'EEG et le traqueur oculaire, il serait possible de vérifier si les perceptions des paréidolies, tant sur le plan neurologique que comportemental, reflètent un traitement similaire à celui des visages humains. Ces deux technologies combinées fourniraient des données précieuses pour confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle les paréidolies sont perçues comme des visages.

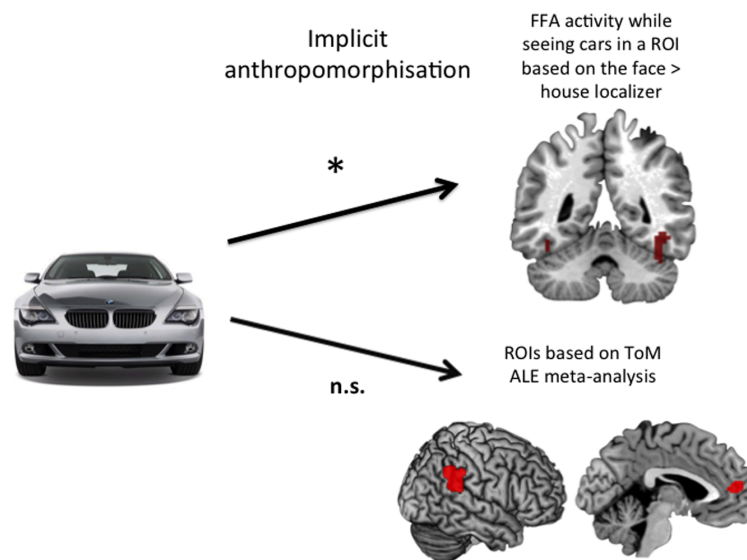


Figure 3 : Activation de la FFA à la vue d'une devanture de voiture. Source : Kühn et al.

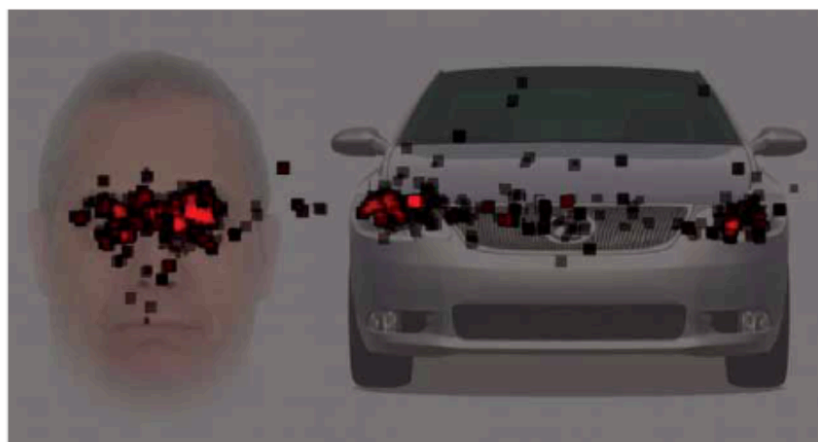


Figure 4 : Similarités observées au traqueur oculaire. Source : Windhager et al.

4. Conclusion

Dans cette dernière section, je vais présenter une conclusion ainsi qu'une réflexion critique sur le travail réalisé.

Pour rappel, ce mémoire explore les paréidolies dans l'architecture, en particulier celles qui créent l'illusion d'un visage humain, et cherche à répondre à la question : **Une façade présentant l'illusion d'un visage humain est-elle particulièrement mémorable ?**

Les recherches menées montrent que les paréidolies de visages humains activent des processus cognitifs similaires à ceux des visages réels. Elles semblent aussi partager des caractéristiques en termes d'attention et de mémorisation, possiblement influencées par des facteurs sociaux et évolutionnaires.

Une expérience a été proposée pour tester cette hypothèse en l'appliquant à l'architecture sur les façades de bâtiment. Toutefois, celle-ci n'a pas été réalisée dans le cadre de ce mémoire. Le dispositif expérimental a été mis en place et constitue une base que quelqu'un pourrait reprendre afin de poursuivre cette recherche. Pour obtenir des résultats plus approfondis, une approche axée sur l'analyse de l'activation de la Fusiform Face Area (FFA) serait nécessaire pour affiner les conclusions et écarter les biais. Ce mémoire ne fournit pas une réponse définitive, mais ouvre la voie à une réflexion sur un sujet atypique dans l'architecture, qui au final, permettrait de mieux comprendre notre perception et les influences cognitives qui nous façonnent, plutôt que de simplement chercher une "utilité" dans la conception des façades.

La réflexion critique qui découle de ce travail est la suivante : si l'hypothèse selon laquelle les paréidolies rendent les façades plus mémorables se vérifie, quelle serait leur pertinence dans l'architecture ? Il me semble intéressant de se poser la question du *Pourquoi* seraient-elles utilisées ?

Pourraient-elles être employées dans un but altruiste, visant à toucher émotionnellement les individus avec des façades « souriantes » ? Ou bien leur utilisation pourrait-elle s'avérer plutôt manipulatrice, en attirant l'attention pour influencer les comportements, comme cela pourrait être le cas dans l'entrée d'un casino ?

Bibliographie

D. Alais, Y. Xu, S. G. Wardle, et J. Taubert, « A shared mechanism for facial expression in human faces and face pareidolia », *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 288, n° 1954, p. 20210966, juill. 2021, doi: [10.1098/rspb.2021.0966](https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0966).

A. Achour Benallegue, J. Pelletier, et G. Kaminski, « Aesthetic Impact of Anthropomorphic Figures in Art: The Case of Facial Expressions », in *Aesthetics and Neuroscience: Scientific and Artistic Perspectives*, Z. Kapoula et M. Vernet, Éd., Cham: Springer International Publishing, 2016, p. 55-80. doi: [10.1007/978-3-319-46233-2_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46233-2_5).

F. Zollner, « Anthropomorphism: From Vitruvius to Neufert, from Human Measurement to the Module of Fascism ».

F. Zöllner, « Anthropomorphism. Towards a Social History of Proportion in Architecture », in *Proportions. Science, Musique, Peinture & Architecture*, vol. 6, S. Rommevaux, P. Vendrix, et V. Zara, Éd., in *Études Renaissance*, vol. 6. , Turnhout: Brepols Publishers, 2012, p. 443-456. doi: [10.1484/M.ER-EB.4.00287](https://doi.org/10.1484/M.ER-EB.4.00287).

M. Flessert, J. Taubert, et M. J. Beran, « Assessing the perception of face pareidolia in children (Homo sapiens), rhesus monkeys (Macaca mulatta), and capuchin monkeys (Sapajus apella) », *Journal of Comparative Psychology*, vol. 137, n° 2, p. 90-101, 2023, doi: [10.1037/com0000320](https://doi.org/10.1037/com0000320).

L. Fanuel *et al.*, « Attention et maintien en mémoire de travail : une revue des données neurophysiologiques », *Revue de neuropsychologie*, 2021, doi: [10.1684/nrp.2021.0681](https://doi.org/10.1684/nrp.2021.0681).

C. Sun, Y. Zhou, et Y. Han, « Automatic generation of architecture facade for historical urban renovation using generative adversarial network », *Building and Environment*, vol. 212, p. 108781, mars 2022, doi: [10.1016/j.buildenv.2022.108781](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108781).

S. G. Wardle, K. Seymour, et J. Taubert, « Characterizing the response to face pareidolia in human category-selective visual cortex », 13 décembre 2017, *bioRxiv*. doi: [10.1101/233387](https://doi.org/10.1101/233387).

D. Navarro-Mateu, O. Carrasco, et P. Cortes Nieves, « Color-Patterns to Architecture Conversion through Conditional Generative Adversarial Networks », *Biomimetics*, vol. 6, n° 1, Art. n° 1, mars 2021, doi: [10.3390/biomimetics6010016](https://doi.org/10.3390/biomimetics6010016).

« Creapills sur X : “Quand McDo joue avec la paréidolie (ou l’art de voir des visages partout) pour promouvoir sa livraison à domicile. Agence : Leo Burnett (Allemagne) <https://t.co/PoEhFpVE3R>” / X ». Consulté le: 18 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur:

<https://x.com/creapills/status/1278998746693619715>

N. Epley, S. Akalis, A. Waytz, et J. T. Cacioppo, « Creating Social Connection Through Inferential Reproduction: Loneliness and Perceived Agency in Gadgets, Gods, and Greyhounds », *Psychol Sci*, vol. 19, n° 2, p. 114-120, févr. 2008, doi: [10.1111/j.1467-9280.2008.02056.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02056.x).

I. A, U. Lg, M. A, S. JI, et H. Jv, « Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 96, n° 16, mars 1999, doi: [10.1073/pnas.96.16.9379](https://doi.org/10.1073/pnas.96.16.9379).

M. Tomonaga et F. Kawakami, « Do chimpanzees see a face on Mars? A search for face pareidolia in chimpanzees », *Anim Cogn*, vol. 26, n° 3, p. 885-905, juin 2023, doi: [10.1007/s10071-022-01739-w](https://doi.org/10.1007/s10071-022-01739-w).

« Do you see the “face”? Individual differences in face pareidolia - Liu-Fang Zhou, Ming Meng, 2020 ». Consulté le: 7 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1017/prp.2019.27>

« Does facial expressions help in youtube thumbnails help with attention? | 5 Answers from Research papers », SciSpace - Question. Consulté le: 13 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://typeset.io/questions/does-facial-expressions-help-in-youtube-thumbnails-help-with-s2zkk5frji>

N. Hadjikhani, K. Kveraga, P. Naik, et S. P. Ahlfors, « Early (M170) activation of face-specific cortex by face-like objects », *NeuroReport*, vol. 20, n° 4, p. 403, mars 2009, doi: [10.1097/WNR.0b013e328325a8e1](https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328325a8e1).

G. Guido, M. Pichierri, G. Pino, et R. Natarajan, « Effects of Face Images and Face Pareidolia on Consumers’ Responses to Print Advertising: An Empirical Investigation », *Journal of Advertising Research*, vol. 59, n° 2, p. 219-231, juin 2019, doi: [10.2501/JAR-2018-030](https://doi.org/10.2501/JAR-2018-030).

« Emotional attention capture by facial expressions », *Scientific Reports*, vol. 5, n° 1, p. 14042-14042, sept. 2015, doi: [10.1038/SREP14042](https://doi.org/10.1038/SREP14042).

Y. Du et X. Lin, « Emotional facial expression model building », *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, n° 16, p. 2923-2934, déc. 2003, doi: [10.1016/S0167-8655\(03\)00153-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(03)00153-3).

M. Kobayashi et M. Ichikawa, « Emotional response evoked by viewing facial expression pictures leads to higher temporal resolution », *i-Perception*, vol. 14, n° 1, p. 20416695231152144, janv. 2023, doi: [10.1177/20416695231152144](https://doi.org/10.1177/20416695231152144).

A. française, « façade | Dictionnaire de l'Académie française | 9e édition ». Consulté le: 29 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9F0020>

A. française, « face | Dictionnaire de l'Académie française | 9e édition ». Consulté le: 29 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9F0021>

E. Noble, A. Wodehouse, et D. J. Robertson, « Face pareidolia in products: The effect of emotional content on attentional capture, eagerness to explore, and likelihood to purchase », *Applied Cognitive Psychology*, vol. 37, n° 5, p. 1071-1084, 2023, doi: [10.1002/acp.4105](https://doi.org/10.1002/acp.4105).

M. A. Pavlova, V. Romagnano, A. J. Fallgatter, et A. N. Sokolov, « Face pareidolia in the brain: Impact of gender and orientation », *PLOS ONE*, vol. 15, n° 12, p. e0244516, déc. 2020, doi: [10.1371/journal.pone.0244516](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244516).

C. J. Palmer et C. W. G. Clifford, « Face Pareidolia Recruits Mechanisms for Detecting Human Social Attention », *Psychol Sci*, vol. 31, n° 8, p. 1001-1012, août 2020, doi: [10.1177/0956797620924814](https://doi.org/10.1177/0956797620924814).

R. Kramer, « Face pareidolia: how pregnant women could help us understand why we see faces in inanimate objects », *The Conversation*. Consulté le: 14 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://theconversation.com/face-pareidolia-how-pregnant-women-could-help-us-understand-why-we-see-faces-in-inanimate-objects-213492>

F. Haist et G. Anzures, « FUNCTIONAL DEVELOPMENT OF THE BRAIN'S FACE-PROCESSING SYSTEM », *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, vol. 8, n° 1-2, p. 10.1002/wcs.1423, janv. 2017, doi: [10.1002/wcs.1423](https://doi.org/10.1002/wcs.1423).

N. Cowan, « George Miller's Magical Number of Immediate Memory in Retrospect: Observations on the Faltering Progression of Science », *Psychol Rev*, vol. 122, n° 3, p. 536-541, juill. 2015, doi: [10.1037/a0039035](https://doi.org/10.1037/a0039035).

D. A. Ross, B. J. Tamber-Rosenau, T. J. Palmeri, J. Zhang, Y. Xu, et I. Gauthier, « High-resolution Functional Magnetic Resonance Imaging Reveals Configural Processing of Cars in Right Anterior Fusiform Face Area of Car Experts », *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 30, n° 7, p. 973-984, juill. 2018, doi: [10.1162/jocn_a_01256](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01256).

« Hoback: Relationships between aggressive driving... - Google Scholar ». Consulté le: 14 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur:
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Relationships+between+aggressive+driving+behaviors.+demographics+and+pareidolia&author=Hoback.+A.S.&publication_year=2019&journal=Transport.+Res.+Interdiscip.+Perspect.&volume=2&pages=100037&doi=10.1016/j.trip.2019.100037

M. E. Kapsetaki et S. Zeki, « Human faces and face-like stimuli are more memorable », *Psych J*, vol. 11, n° 5, p. 715-719, oct. 2022, doi: [10.1002/pchj.564](https://doi.org/10.1002/pchj.564).

Y. Cao, Y. Zhang, Y. Ding, V. G. Duffy, et X. Zhang, « Is an anthropomorphic app icon more attractive? Evidence from neuroergonomics », *Applied Ergonomics*, vol. 97, p. 103545, nov. 2021, doi: [10.1016/j.apergo.2021.103545](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103545).

S. Kühn, T. R. Brick, B. C. N. Müller, et J. Gallinat, « Is This Car Looking at You? How Anthropomorphism Predicts Fusiform Face Area Activation when Seeing Cars », *PLOS ONE*, vol. 9, n° 12, p. e113885, déc. 2014, doi: [10.1371/journal.pone.0113885](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113885).

M. Laisney, « L'évaluation et l'organisation de la mémoire sémantique », *Revue de neuropsychologie*, vol. 3, n° 3, p. 176-180, 2011, doi: [10.1684/nrp.2011.0179](https://doi.org/10.1684/nrp.2011.0179).

G. Barragan-Jason, « La dynamique du traitement des visages: du percept à la familiarité ».

« La mémoire », Fédération pour la Recherche sur le Cerveau (FRC). Consulté le: 12 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur:
<https://www.frcneurodon.org/comprendre-le-cerveau/a-la-decouverte-du-cerveau/la-memoire/>

« la mémoire: aperçu de son fonctionnement – Au son du fle – Michel Billières ». Consulté le: 11 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur:
<https://www.verbotonale-phonetique.com/memoire-apercu-de-fonctionnement/>

S. Windhager *et al.*, « Laying eyes on headlights: Eye movements suggest facial features in cars », *Collegium antropologicum*, vol. 34, p. 1075-80, sept. 2010.

CEA, « Le cerveau », CEA/Découvrir & Comprendre. Consulté le: 25 novembre 2024. [En ligne]. Disponible sur:

<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/sante-sciences-du-vivant/Essentiel-sur-le-cerveau.aspx>

« Le souvenir dans la Littérature », Le souvenir dans la Littérature. Consulté le: 12 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://souvenirsdanslalitterature.wordpress.com/>

« Mémoire · Inserm, La science pour la santé », Inserm. Consulté le: 11 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/memoire/>

N. Hadjikhani et B. de Gelder, « Neural basis of prosopagnosia: An fMRI study », *Human Brain Mapping*, vol. 16, n° 3, p. 176-182, 2002, doi: [10.1002/hbm.10043](https://doi.org/10.1002/hbm.10043).

G. Akdeniz, S. Toker, et I. Atli, « Neural mechanisms underlying visual pareidolia processing: An fMRI study », *Pak J Med Sci*, vol. 34, n° 6, p. 1560-1566, 2018, doi: [10.12669/pjms.346.16140](https://doi.org/10.12669/pjms.346.16140).

A. Patel, G. M. N. R. Biso, et J. B. Fowler, « Neuroanatomy, Temporal Lobe », in *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Consulté le: 25 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519512/>

C. Wald, « Neuroscience: The aesthetic brain », *Nature*, vol. 526, n° 7572, Art. n° 7572, oct. 2015, doi: [10.1038/526S2a](https://doi.org/10.1038/526S2a).

M. van Elk, « Paranormal believers are more prone to illusory agency detection than skeptics », *Consciousness and Cognition*, vol. 22, n° 3, p. 1041-1046, sept. 2013, doi: [10.1016/j.concog.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.07.004).

R. L. Xavier, « Pareidolia analysis of architecture: Reading the emotional expression of a building façade », Consulté le: 25 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.academia.edu/25546202/Pareidolia_analysis_of_architecture_Reading_the_emotional_expression_of_a_building_fa%C3%A7ade

C. Wang, L. Yu, Y. Mo, L. C. Wood, et C. Goon, « Pareidolia in a Built Environment as a Complex Phenomenological Ambiguous Stimuli », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, n° 9, Art. n° 9, janv. 2022, doi: [10.3390/ijerph19095163](https://doi.org/10.3390/ijerph19095163).

M. Kato et R. Mugitani, « Pareidolia in Infants », *PLOS ONE*, vol. 10, n° 2, p. e0118539, févr. 2015, doi: [10.1371/journal.pone.0118539](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118539).

E. G. Abo Hamza, S. Kéri, K. Csigó, D. Bedewy, et A. A. Moustafa, « Pareidolia in Schizophrenia and Bipolar Disorder », *Frontiers in Psychiatry*, vol. 12, 2021, Consulté le: 9 décembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2021.746734>

A. Wodehouse, R. Brisco, E. Broussard, et A. Duffy, « Pareidolia: characterising facial anthropomorphism and its implications for product design », *Journal of Design Research*, vol. 16, n° 2, p. 83-98, janv. 2018, doi: [10.1504/JDR.2018.092792](https://doi.org/10.1504/JDR.2018.092792).

M. Uchiyama *et al.*, « Pareidolias: complex visual illusions in dementia with Lewy bodies », *Brain*, vol. 135, n° 8, p. 2458-2469, août 2012, doi: [10.1093/brain/aws126](https://doi.org/10.1093/brain/aws126).

« (PDF) Pareidolia and Perception of Anger in Vehicle Styles: Survey Results ». Consulté le: 17 décembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/327603572_Pareidolia_and_Perception_of_Anger_in_Vehicle_Styles_Survey_Results

« (PDF) Virtual Faces Expressing Emotions: An Initial Concomitant and Construct Validity Study ». Consulté le: 5 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/266387506_Virtual_Faces_Expressing_Emotions_An_Initial_Concomitant_and_Construct_VValidity_Study

O. Kreichman, L. Brook, S. Wardle, et S. Gilaie-Dotan, « People remember face pareidolia more than human face images during naturalistic encoding », *Journal of Vision*, vol. 23, n° 9, p. 5224, août 2023, doi: [10.1167/jov.23.9.5224](https://doi.org/10.1167/jov.23.9.5224).

A. Albonico et J. Barton, « Progress in perceptual research: the case of prosopagnosia », *F1000Res*, vol. 8, p. F1000 Faculty Rev-765, mai 2019, doi: [10.12688/f1000research.18492.1](https://doi.org/10.12688/f1000research.18492.1).

« Reconnaissance des visages, le code cérébral décrypté », CNRS Le journal. Consulté le: 2 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://lejournel.cnrs.fr/nos-blogs/aux-frontieres-du-cerveau/reconnaissance-des-visages-le-code-cerebral-decrypte>

A. S. Hoback, « Relationships between aggressive driving behaviors, demographics and pareidolia », *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 2, p. 100037, sept. 2019, doi: [10.1016/j.trip.2019.100037](https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100037).

J. Liu, J. Li, L. Feng, L. Li, J. Tian, et K. Lee, « Seeing Jesus in toast: Neural and behavioral correlates of face pareidolia », *Cortex*, vol. 53, p. 60-77, avr. 2014, doi: [10.1016/j.cortex.2014.01.013](https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.01.013).

S. Chalup, K. Hong, et M. Ostwald, « Simulating Pareidolia of Faces for Architectural Image Analysis », vol. 2, p. 262-278, janv. 2010.

E. C. Winton, D. M. Clark, et R. J. Edelman, « Social anxiety, fear of negative evaluation and the detection of negative emotion in others », *Behaviour Research and Therapy*, vol. 33, n° 2, p. 193-196, févr. 1995, doi: [10.1016/0005-7967\(94\)E0019-F](https://doi.org/10.1016/0005-7967(94)E0019-F).

« Suivez mon regard : C'est quoi l'eye tracking ? · Inserm, La science pour la santé », Inserm. Consulté le: 15 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/c-est-quoi/suivez-mon-regard-c-est-quoi-eye-tracking/>

J. K. E. Steeves *et al.*, « The fusiform face area is not sufficient for face recognition: Evidence from a patient with dense prosopagnosia and no occipital face area », *Neuropsychologia*, vol. 44, n° 4, p. 594-609, janv. 2006, doi: [10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.013](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.013).

N. Kanwisher, J. McDermott, et M. M. Chun, « The Fusiform Face Area: A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception », *J. Neurosci.*, vol. 17, n° 11, p. 4302-4311, juin 1997, doi: [10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997).

G. A. Miller, « The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information », *Psychological Review*, vol. 63, n° 2, p. 81-97, 1956, doi: [10.1037/h0043158](https://doi.org/10.1037/h0043158).

A. Ishai, L. Ungerleider, A. Martin, et J. Haxby, « The Representation of Objects in the Human Occipital and Temporal Cortex », *Journal of cognitive neuroscience*, vol. 12 Suppl 2, p. 35-51, nov. 2000, doi: [10.1162/089892900564055](https://doi.org/10.1162/089892900564055).

M. J. Kane et R. W. Engle, « The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective », *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 9, n° 4, p. 637-671, 2002, doi: [10.3758/BF03196323](https://doi.org/10.3758/BF03196323).