



HAL
open science

Arts visuels et cognition : Développement visuel et formation du jugement esthétique

Hélène Mottier

► **To cite this version:**

Hélène Mottier. Arts visuels et cognition : Développement visuel et formation du jugement esthétique. Psychologie. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2020. Français. NNT : 2020GRALS019 . tel-03172035

HAL Id: tel-03172035

<https://theses.hal.science/tel-03172035v1>

Submitted on 17 Mar 2021

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

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

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : **PCN - Sciences Cognitives, Psychologie et Neurocognition**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Hélène MOTTIER

Thèse dirigée par **Olivier PASCALIS**, Directeur de recherche au CNRS, Université Grenoble-Alpes et co-encadrée par **David MÉARY**, Maître de conférences, Université Grenoble-Alpes

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et Neurocognition** (CNRS UMR 5105) dans l'**École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement**

Arts visuels et cognition : Développement visuel et formation du jugement esthétique

Thèse soutenue publiquement le **30 novembre 2020**,
devant le jury composé de :

Monsieur Olivier PASCALIS

DIRECTEUR DE RECHERCHE, CNRS, Directeur de thèse

Madame Nathalie GUYADER

MAÎTRE DE CONFÉRENCE, Université Grenoble-Alpes, Examinatrice

Monsieur Nicolas POIREL

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS, Université de Paris Descartes,
Président

Monsieur Gwenaël KAMINSKI

MAÎTRE DE CONFÉRENCE, Université Toulouse II Jean Jaurès,
Rapporteur

Monsieur Jean-Yves BAUDOIN

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS, Université de Lyon II, Rapporteur

Monsieur David MÉARY

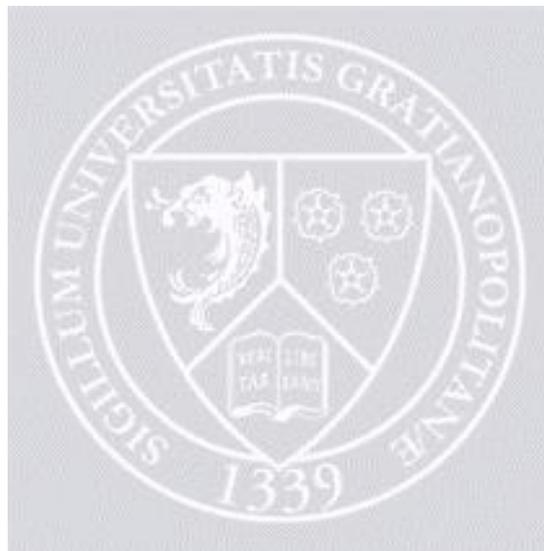
MAÎTRE DE CONFÉRENCE, Université Grenoble Alpes, Membre invité



ARTS VISUELS ET COGNITION

Développement visuel et formation du jugement esthétique

1^{er} octobre 2020



Hélène MOTTIER

Université Grenoble Alpes

Thèse dirigée par OLIVIER PASCALIS et DAVID MÉARY, financée par une allocation de recherche doctorale du pôle SHS de la région AUVERGNE RHÔNE-ALPES (Financement UGA-AGIR-Pole-SHS-2016), réalisée à l'Université Grenoble Alpes, dans le cadre de École doctorale ingénierie pour la santé, la cognition, l'environnement (Grenoble) , au sein de l'équipe Mémoire et Développement Cognitif du laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC UMR 5105, Université Grenoble-Alpes).

RÉSUMÉ

Cette thèse a pour ambition d'approfondir nos connaissances sur la formation de la préférence esthétique pour les objets visuels chez l'humain. Afin d'examiner l'effet de l'expérience personnelle dans l'émergence du jugement esthétique, nous avons étudié la relation entre les jugements de préférence esthétique des adultes et les préférences visuelles des nourrissons âgés de 4 à 24 mois et des adultes. Si l'expérience personnelle est nécessaire à l'émergence du jugement esthétique, des différences sont attendues entre les appréciations subjectives esthétiques des adultes et les temps de regard des nourrissons et des adultes. Des invariances comportementales entre les nourrissons et les adultes soulignent *a contrario* l'importance des traitements perceptifs et d'intégration en mémoire implicite dans la formation du jugement esthétique ; les processus cognitifs de haut niveau et l'expérience jouent alors un rôle secondaire. Notre première étude questionne la relation entre jugement de préférence des adultes et préférence visuelle des nourrissons et des adultes pour des patterns de points en mouvement. Pour ces points en mouvement, les jugements de préférence des adultes prédisent les temps de regard des nourrissons et des adultes. Les études 2.a et 2.b révèlent que pour les portraits, même si les jugements de préférence esthétique des adultes sont robustes et qu'ils prédisent les temps de regard des adultes, ils ne prédisent pas les comportements visuels des nourrissons. De même pour les paysages, les jugements de préférence esthétique ne prédisent pas les temps de regard des nourrissons et des adultes (étude 3). Même si les localisations des fixations sont plus fréquentes dans les régions de saillance visuelle chez les adultes et les nourrissons pour les portraits et les paysages (étude 4), le traitement des informations visuelles traitées est insuffisant pour former un jugement de préférence esthétique. La corrélation entre les jugements de préférence et les préférences visuelles dans le cas des patterns de points en mouvement pourrait s'expliquer par une préférence précoce pour la complexité (Berlyne, 1971). L'étude 5.a et 5.b portent sur les temps de regard des nourrissons envers les mouvements biologiques complexes ou simples, et envers des mouvements biologiques ou leur version perturbée plus complexe. Les résultats vont dans le sens d'une préférence pour la complexité pour les mouvements biologiques ou perturbés. L'expérience personnelle constitue une étape nécessaire dans l'émergence du jugement esthétique pour les œuvres d'art, même réalistes. Pour les stimuli visuels singuliers comme les mouvements ou les stimuli sociaux comme les visages, la formation du jugement esthétique semble antérieure à l'expérience personnelle, pouvant refléter la différence entre attractivité et esthétique.

ABSTRACT

This thesis aimed to improve our knowledge on the emergence of the aesthetic preference for visual objects in humans. In order to examine the effect of personal experience in the emergence of aesthetic judgment, we investigated the link between adults' aesthetic preference judgments and visual preferences of 4-to-24-month-old infants and adults. If personal and cultural experience was necessary for the emergence of aesthetic judgment, differences were expected between subjective aesthetic judgments of adults and infants' preference. Behavioural similarities in both infants and adults would underline the importance of perceptual processing and implicit memory integration in the formation of aesthetic judgment. High-level cognitive processes and personal experience playing a secondary role. Our first study examined the link between adults' preference judgment and visual preference of infants and adults for moving dot patterns. For these moving dots, adult preference judgment predicted the looking time of both infants and adults. Studies 2.a and 2.b used portraits, although adults' aesthetic preference judgments were robust and predicted adults' looking time, they did not predict infants' visual behaviour. Likewise for landscapes, adults' aesthetic preference judgment did not predict the looking time of infants nor adults (study 3). Even if both adults and infants looked more often towards salient regions for portraits and landscapes (study 4), the visual information processed is insufficient to explain the aesthetic preference judgments of adults. The correlation between preference judgment and visual preference in the case of moving dot patterns could be explained by an early preference for moderate degrees of complexity (Berlyne, 1971). Study 5.a focused on the visual preference of infants towards complex or simple biological movements, and study 5.b towards biological movements and their more complex scrambled version. The results supported a preference for complexity in biological and non-biological movement. Personal experience is a necessary step in the formation of aesthetic judgment for works of art, even realistic ones. For singular visual stimuli such as motions or social stimuli such as faces, the formation of aesthetic judgment seems to predate personal experience. Our results may reflect the difference between attractiveness and aesthetics which requires further investigation.

REMERCIEMENTS

A l'issue de cette thèse, j'ai un grand nombre de personnes à remercier pour leur soutien, leur bienveillance, leur aide et leur accompagnement dans cette périlleuse aventure. L'ordre est un brin chaotique, vous m'en excuserez par avance.

Je remercie sincèrement mes directeurs de thèse, Olivier Pascalis et David Méary. Merci, déjà, de m'avoir choisi pour ce projet de thèse et de m'avoir accueilli au sein du laboratoire. Merci infiniment pour votre suivi scientifique, les apprentissages, les encouragements, la bonne humeur et le respect qui ont entouré ce travail. Je vous suis reconnaissante de l'attention que vous avez portée à ce que je puisse réaliser cette thèse dans les meilleures conditions.

De très grands remerciements à Gwenaël Kaminski et Jean-Yves Baudoin pour l'évaluation minutieuse de ce travail de thèse et les nombreux retours constructifs que vous m'avez envoyés. Ils seront précieux dans l'amélioration de ce travail. Merci également à vous, Nathalie Guyader et Nicolas Poirel d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse, du temps pris à l'étude de ce travail malgré le contexte particulier de sa soutenance.

Je tiens également à remercier chaleureusement Sylviane Valdois et Jean-Rémy Hochmann d'avoir été trois années consécutives membres du jury de suivi de thèse. Je vous suis très reconnaissante de vos retours constructifs et bienveillants ainsi que de vos encouragements.

Merci aux membres du laboratoire LPNC pour leur accueil et leur gentillesse. Mes remerciements vont tout particulièrement à l'équipe du Babylab avec qui j'ai eu la joie de travailler en cœur pendant ces années, Marie, Mathilde, Hélène, Anne, Olivier (2), Danaé...

Un grand merci aux participants de ces études, aux parents pour la confiance qu'ils nous ont accordée, et aux membres hospitaliers de la maternité du CHU Grenoble Alpes pour leur aide ; ce travail de thèse aurait été rendu impossible sans vous.

I sincerely thank Kun Guo and all the members of the Perception, Action and Cognition Group of the University of Lincoln, UK. Thank you for the wonderful welcome and the numerous scientific and computer discussions/courses which greatly enriched this thesis work.

Cette thèse n'aurait pas non plus été rendue possible sans le soutien infailible de ma famille. Merci les sœurs, Clara et Maéva, on est dispersé sur le territoire français aujourd'hui, pourtant vous êtes chaque jour avec moi. *Le pouvoir des trois nous...* rendra plus forte, c'est

certain. Merci les frères, Helmi et Matis, Damien et Lucas, vous êtes des bulles d'air frais. J'aimerais que les gens sachent combien il est enrichissant d'avoir plein de sœurs et frères, vous êtes inspirants tous autant que vous êtes. Je sais que je pourrais toujours compter sur vous, votre soutien, votre humour, votre joie. Merci maman, merci papa, vous avez toujours respecté mes décisions sans douter de mes capacités à les accomplir et vous m'avez offert un cadre propice à mon épanouissement intellectuel. Maman, merci de m'avoir transmis la curiosité, la poésie, l'enthousiasme des apprentissages, le goût du perfectionnisme, l'amour des autres, la réflexion éthique et morale sur le monde. Merci aussi pour la relecture complète de cette thèse, je pouvais compter sur tes talents de professeur des écoles ! Papa, merci de m'avoir transmis la philosophie, la psychologie, le goût des débats spirituels et politiques toujours dans le respect de l'autre, le goût de l'entraide, de l'épanouissement dans le travail. Merci à toi Chantal et bravo encore pour ton mémoire, reprendre les études tout en étant femme, maman, belle-mère, amie, c'est quelque chose ! Merci de cette belle leçon de vie, merci aussi de m'encourager à suivre ce qui semble le mieux pour moi. Merci à mes neveux Eluan et Nael d'avoir ensoleillé ces années de thèse par leur venue au monde, vous me comblez de bonheur. Merci à mes grands-parents Maria De Lourdes et Manuel, merci pour tout l'amour que vous m'apportez. Papi Robert, mamie Denise, je pense fort à vous très fort, je sais que vous auriez été fiers. Merci tonton Carlos, tatie Marlène, Mathias, Paola et Manel, de votre soutien sans faille, de votre amour et votre bienveillance. Merci également Andy et Kalina, vous êtes inspirants par votre créativité et vos talents.

Sébastien, pilier de cette thèse, tu en connais tous les détails, les joies, les déboires. Je te remercie de m'avoir épaulé, soutenu, supporté même, sans jamais douter de ma volonté de poursuivre et d'arriver jusqu'au bout. Merci de ta bonne humeur et tes multiples attentions qui ont rendu la rédaction de cette thèse plus légère. Merci de m'avoir rappelé chaque jour que j'allais faire de mon mieux et qu'il est bon aussi de se libérer l'esprit pour y voir plus clair. Merci pour tout ce que tu fais, pour tout ce que tu es et tout ce qui nous attend. Et merci à ta famille de m'avoir si bien accueilli. Merci pour votre soutien Christine et Thierry, Guillaume et Chacha, Delphine et Kevin, sans oublier l'elfe de maison des montagnes Stéphanie (force et honneur pour la prépa, on se revoit dans 2 ans c'est ça ?!). Merci également à Marie et Christiane, une grande pensée pour René.

Je remercie Anne-Laure Cayre, ma professeure de français de collège, qui m'a donné confiance en mes capacités rédactionnelles et intellectuelles. Je suis heureuse de pouvoir te consacrer des lignes ici, tu as été un modèle féminin de réussite, de rigueur, de force à un âge

où on en a toutes besoin. Je pense grâce à toi avec eu un déclic, je me suis sentie à la hauteur de réussir si je le voulais et si je travaillais.

Je tiens à remercier Liliana Rico Duarte et Eric Raufaste, mes directeurs de recherche de Master, vous m'avez permis de m'épanouir et de m'améliorer durant deux mémoires et plus généralement, dans mes études. Je vous remercie de la confiance que vous m'avez accordé, j'ai pu progresser et arriver en thèse grâce à vous. Merci aux professeurs de l'Université Toulouse II Jean Jaurès pour la qualité de leur enseignement, la passion communicative de leur métier et la rigueur à former leurs étudiants dans toutes les conditions possibles -et parfois difficilement imaginables.

Je remercie mes ami·e·s de Toulouse qui m'ont accompagné toutes ces années et avec qui j'espère bien pouvoir fêter la réalisation de cette thèse un jour ou l'autre ! Merci Alice, je suis fière de toi et heureuse de t'avoir à mes côtés, on y est arrivé (« *Ouais je suis trop fort, ouais il est trop fort !* »). Merci Charlotte et Jules, vous êtes dans mon cœur et bravo pour tout ce que vous entreprenez mes petits chats. Merci Julia pour ton écoute, ta bienveillance, ton empathie, courage, je suis avec toi, on en rigolera quand tu auras rendu ton manuscrit, courage à Loan aussi et prenez bien soin de votre citronnier. Merci Jo, je suis heureuse de te compter à mes côtés et que tu viennes te perdre dans le Vercors désormais. Un grand et sincère merci Philippe pour ton soutien, merci de m'avoir encouragé, je te souhaite de poursuivre tes projets avec toujours la même passion et ténacité. Elle est où Jaaade ? Merci à toi ma douce, je pense fort à toi, vivement que l'on puisse se retrouver. Un énorme merci (mais genre énorme) à Floriane et Romain qui ont suivi les aventures de cette fin de thèse comme on suit un mauvais feuilleton tv. Merci pour tous les repas et verres d'encouragements (et il en a fallu un paquet). Merci milles fois à mes ami·e·s et camarades de Master et Licence... Tania, tu es mon rayon de soleil, que dis-je, vous êtes un exemple de persévérance joyeuse, de force tranquille docteur Wittwer. Merci pour les conseils et relectures de cette thèse, ils ont été précieux. Jérémy, on a plus révisé en discutant des cours autour d'une bière (ou deux) que le nez dans les bouquins mais comme quoi, chacun sa technique... Bravo à toi et merci de m'avoir ouvert à d'autres lectures, merci pour toutes ces discussions enrichissantes anciennes et à venir. Vincent, je pense à toi très fort, courage pour la suite, je suis fière de toi. Merci Antoine, je suis colère, euh non je suis joie aujourd'hui, je vais prendre... une Grim ! Bon courage dans la capitale et bravo pour toutes tes réussites. Merci William et bravo à toi aussi, punaise que je suis fière de mes amis, on se retrouve bientôt ! Merci Jean-Loup d'être venu en même temps à Grenoble, tu as été un point de repère dans cette ville qui nous était inconnue. Dans les désordres mais merci pour votre soutien, Salomé-Charlotte, Sandrine, Carlotta, Mélissa, Robin, Lucas, Anne,

Romain, Bapt, Paco, et toi que j'ai oublié et je m'en excuse sincèrement, tu peux m'envoyer un « tu m'as oublié en oubliant qui tu étais », je rajouterai ton prénom, c'est promis.

Enfin, merci aux doctorant·e·s du LPNC et du LIP. Un grand merci à Cédric de m'avoir accueilli et intégré, merci pour l'aide administrative, statistique, Ristique et morale. Merci aux ancien·ne·s doctorant·e·s pour leur accueil, une grande grande pensée pour toi Chloé Stoll aka Docteure Snow (oui c'est nouveau), merci Fabrice, Morgane, Svet, Amélie, Prakhar, Violette, Cindy, Lad et les autres. Merci à vous gente dame du bureau E118, Emilie, Alexia, Audrey 1, Lisa, Audrey A (je vous laisse choisir qui est 1 ou A) et Kevin qui était également une âme importante de ce bureau ! Merci à vous pour tous ces moments partagés. Merci pour ces pauses café, pauses clopes, pauses rigolades, pauses vidéo-débiles, pauses mails drôles, pauses discussions sérieuses, pauses doutes-mais-qu'est-ce-qu'on-fait-là, pauses déjeuner, pauses post-travail etc. Et merci aussi de votre sérieux, il nous arrivait tout de même de travailler entre deux pauses. Heartfelt thanks to Lizzie, Kat and Jon-Jon for their amazing welcome in Lincoln and Kanterbury, I miss you so much, I really hope to be present for your defenses, as you were for my painful oral presentations in English. Merci Elise, Celise, Candice, Elie, Brice, Rémi et les autres, je vous souhaite plein de réussite et de courage.

Et non Guillaume, je ne t'ai pas oublié, je voulais simplement te remercier du fond du cœur mais en toute fin des remerciements : c'est le prix à payer pour être littéralement partie à l'autre bout du monde en plein milieu de cette thèse ! Bacaca !

マリーに挨拶してください。このグーグル翻訳が何か意味があることを願っています。大きなキスを！

Table des Matières

RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vi
REMERCIEMENTS	viii
Table des Matières.....	xii
Table des Figures.....	xiv
Table des Tableaux.....	xvii
INTRODUCTION	1
PARTIE I Théories de l’expérience esthétique.....	5
Chapitre 1 Concept d’esthétique.....	5
1.1. Concept d’esthétique en Philosophie	5
1.2. Concept d’esthétique en psychologie expérimentale	8
1.3. Spécificité de l’esthétique en art visuel.....	9
Chapitre 2 Les modèles théoriques de l’expérience esthétique.....	11
2.1. Théories psycho-évolutionnistes de l'esthétique.....	11
2.2. Modèle Plaisir-Intérêt de l’Appréciation esthétique	19
2.3. Modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique	24
2.4. Modèles de neuroesthétique	38
2.5. Modèles de la saillance visuelle.....	45
2.6. Synthèse des différentes approches théoriques de l’expérience esthétique	50
PARTIE II Développement de la vision et de l’esthétique	56
Chapitre 3 Développement de la vision	57
3.1. De la rétine aux voies dorsale et ventrale.....	57
3.2. Développement au cours de la première année de vie	59
Chapitre 4 Développement de l’attention visuelle.....	64
4.1. Trois formes de l’attention visuelle	65
4.2. Développement des trois fonctions de l’attention visuelle.....	67
Chapitre 5 Développement de l'esthétique	72
5.1. Méthode de préférence visuelle spontanée.....	72
5.2. Attractivité des visages.....	73
5.3. Préférences pour les formes et leur complexité.....	74
5.4. Préférences pour les couleurs et le contraste.....	76
5.5. Préférences pour les mouvements.....	77

5.6. Préférences en art visuel.....	80
5.7. Synthèse du développement de l'esthétique.....	82
PARTIE III Partie Expérimentale.....	84
Hypothèses Générales.....	84
Jugement de préférence chez l'adulte.....	87
Prédiction du temps de regard.....	88
Chapitre 6 Esthétique chez l'adulte et le nourrisson.....	91
EXPERIENCE 1. Esthétique de mouvement abstrait.....	91
EXPERIENCE 2.a. Esthétique des portraits.....	106
EXPERIENCE 2.b. Esthétique des portraits : effet de la tâche.....	121
EXPERIENCE 3. Esthétique des paysages.....	129
EXPERIENCE 4. Effet de la saillance visuelle sur les fixations des adultes et des nourrissons dans les œuvres d'art.....	138
Chapitre 7 Préférence des nourrissons pour les mouvements biologiques.....	150
EXPERIENCE 5.a. Complexité des mouvements biologiques.....	150
EXPERIENCE 5.b. Préférence pour les mouvements biologiques par rapport à leurs versions altérées.....	163
Chapitre 8 Discussion Générale.....	170
8.1. Différences entre préférence esthétique des adultes et préférence visuelle des nourrissons.....	171
8.2. Méthode et perspective.....	180
8.3. Conclusion.....	184
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	185
ANNEXES.....	218
Annexe 1 Questionnaires études 2.a et 3.....	218
Annexe 2 Résultats des questionnaires.....	225

Table des Figures

Figure 1 L'école d'Athènes (1509/1510), Raffaello Sanzio, Stanza della Segnatura, Roma, Italia.	6
Figure 2 Dessin d'un neurone et de ses milliers de synapses dans le cortex cerebelleux d'un pigeon, Pukinje (1899), Museo Cajal, Madrid.	7
Figure 3 Paradox (2005), Robert Pepperell.	10
Figure 4 Aires cérébrales spécialisées dans le traitement des visages dans l'hémisphère droit d'un participant typique (Duchaine & Yovel, 2015).	13
Figure 5 Les différentes structures corticales et sous-corticales du circuit de la récompense.	13
Figure 6 Santé et attractivité : images composites de (a) 15 visages de femme jugés hautement en bonne santé et de (b) 15 visages de femme jugés faiblement en bonne santé. La bonne santé est associée à des évaluations plus positives de l'attractivité (Little et al., 2011).	14
Figure 7 Exemple de paysage urbain et naturel.	16
Figure 8 Région d'intérêt du cortex parahippocampique et pic hémodynamique en fonction des préférences élevées vs. faibles du PPA gauche et droit et du cortex occipital latéral (Yue et al., 2007).	16
Figure 9 Vénus de Laussel ou Vénus à la corne, env. 25.000 ans avant le présent, Musée d'Aquitaine, Bordeaux. Vénus du Paléolithique supérieure sculptée en bas relief sur calcaire et peinte à l'ocre rouge.	17
Figure 10 Exemples de tonnelles décorées réalisées par (a) un mâle jardinier satiné et (b) un mâle jardinier à crête rose (famille : Ptilonorhynchidae). Photos prises par Marion Pannekoek et Garrett Eaton.	18
Figure 11 Modèle Plaisir-Intérêt de l'appréciation esthétique (Graf & Landwehr, 2015).	20
Figure 12 Exemple d'une œuvre d'art originale et de sa version simplifiée. Les œuvres d'art complexes sont préférées à leur version simplifiée (Krentz & Earl, 2013).	21
Figure 13 Différents degrés de fluence perceptive : (a) portraits jugés fluents et (b) portraits jugés disfluents (Belke et al., 2015).	22
Figure 14 Modèle de l'expérience esthétique chez l'adulte (Leder et al., 2004).	24
Figure 15 Exemple de stimuli du Preference for Balance Test (Silvia & Barona, 2009).	25
Figure 16 Exemple d'essai de la tâche de jugement (Jacobsen, Schubotz, Höfel, & Cramon, 2006)	27
Figure 17 Ishtar Pose, 2000 av. J.C., Mésopotamie. Ishtar est une déesse babylonienne.	29
Figure 18 Construction d'un visage prototypique : les traits des visages (yeux, nez, bouche) de chaque visage sont d'abord alignés à même distance puis moyennés pour produire l'image prototypique (repris de Tidderman, Burt, & Perret, 2001).	29
Figure 19 Différences de catégorabilité des œuvres d'art : (a) exemple d'un portrait à haute catégorabilité (temps de réaction moyen à reconnaître le visage RT(ms) = 988), Man on a balcony (1912), Gleizes. (b) exemple d'un portrait à faible catégorabilité (RT(m) = 9976), The typographer (1919), Léger.	30
Figure 20 Structure générale des systèmes neuronaux impliqués dans l'esthétique visuelle (Chatterjee, 2003).	38
Figure 21 Triade esthétique (Chatterjee & Vartanian, 2016). L'expérience esthétique est une propriété émergente de l'interaction entre les systèmes sensori-moteurs, d'émotion-évaluation et de connaissance-signification.	39
Figure 22 Régions cérébrales associées à l'augmentation des traitements perceptifs lors d'une expérience esthétique visuelle ou auditive (Nadal, 2013).	40
Figure 23 Régions cérébrales associées au traitement des informations visuelles et à la récupération des informations pertinentes pour la catégorisation du stimulus visuel qui contiennent des récepteurs opioïdes en partie responsables du plaisir esthétique visuel (Biederman & Vessel, 2006).	41
Figure 24 Régions cérébrales associées à la récompense, aux affects	41
Figure 25 Régions cérébrales associées au jugement évaluatif, à l'attention et à la mémoire lors de l'expérience esthétique (Nadal, 2013).	43
Figure 26 Modèle de saillance fondée sur l'attention visuelle lors de l'analyse rapide d'une scène (Itti, Koch & Niebur, 1998).	45
Figure 27 Classement des modèles de saillance visuelle sur l'ensemble d'images de Bruce et Tsotsos (2005) d'après les trois scores évalués : le CC, le NSS et le AUC.	46
Figure 28 (a) Enregistrement des mouvements oculaires d'un participant en train de regarder "The Wave" (Hokusai, 1832).	47
Figure 29 Voies visuelles et champ visuel humain. A) Faisceaux projetant vers le Corps Genouillé Latéral (CGL) et vers le Colliculus Supérieur (CS), B) Champ visuel humain (Richard et al., 2013).	57

Figure 30 Magnification de la partie centrale du champ visuel : la fovéa, 2% du champ visuel, va couvrir 25% de la surface du cortex visuel primaire (en rouge).....	58
Figure 31 Projection des informations visuelles vers les aires pariétales et temporales (Richard et al., 2013) .	58
Figure 32 Position de l'aire V5 révélée dans les expériences en imagerie cérébrale (au-dessus) et la position de Flechsig's Feld 18 de 1905 (en-dessous ; Zeki, 1993).....	60
Figure 33 Fonctions de sensibilité au contraste (CSFs) des adultes et des nourrissons de 1 mois. La sensibilité au contraste est ici représentée par la fonction de la fréquence spatiale (le nombre de réseau de cycle par degré d'angle visuel).....	63
Figure 34 Exemple d'animation : les participants doivent rechercher un cercle vert entouré de carré vert (côté gauche) ou de cercle rouge (côté droit), soit sans distracteur (en haut), soit avec un item distracteur (bas ; Theeuwes, 1992).....	65
Figure 35 Anatomie des trois systèmes attentionnels : alerter, orienter et attention exécutive (Posner & Rothbart, 2007).	68
Figure 36 Exemples de formes 3D incurvées et angulaires (a) régulières et (b) irrégulières (Amir et al., 2011).	74
Figure 37 Schéma présentant différents exemples de séquence d'évènements ainsi que le modèle de l'observateur qui combine les évènements observés avec les attentes de l'évènement à venir	75
Figure 38 Moyennes et erreurs standard du pourcentage de réponses correctes vers le stimulus le 'plus saillant' par rapport à l'arrière plan et vers le 'moins saillant' par rapport à l'arrière plan chez les groupes de nourrisson de 1 à 12 mois (Sireteanu et al., 2005).....	77
Figure 39 Exemple de peintures utilisées dans l'étude de Cacchione et al. 2011. A droite, Monet, « Water Garden at Giverny » (1904) et à droite Picasso, « Still Life Under a Lamp » (1925).....	81
Figure 40 Proportion de temps de regard dirigé vers l'item choisi ou ses distracteurs au cours des 2 secondes avant la réponse dans la tâche de 8-AFC pour les visages (en haut) et les logos (en bas) dans l'étude de Glaholt & Reingold (2009).	89
Figure 41 Reconstruction d'une section horizontale du cerveau d'un macaque rhésus montrant les positions des aires visuelles V5 et V3. L'aire V1 est grisée (Zeki & Lamb, 1994).....	91
Figure 42 Scores d'uniformité, de cohérence et de continuité des huit patterns de points en mouvement utilisés dans cette étude. Tableau repris des données supplémentaires de l'étude de Zeki et Stutters (2012).	94
Figure 43 Les 8 patterns de mouvement issus de Zeki et Stutter (2012).	95
Figure 44 Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des patterns de mouvement P ₇ et P ₅ .	95
Figure 45 Passation avec un nourrisson à l'oculométre. Le nourrisson est installé dans un fauteuil adapté, à 60 cm environ de l'écran.	97
Figure 46 Fréquence de choix des patterns en mouvement P _x , selon le pattern opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant sur l'animation.	99
Figure 47 Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard.	100
Figure 48 Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de présentation des animations pour les six groupes d'âge.	102
Figure 49 Rappel des configurations initiales des patterns avec un arrangement régulier (P ₈) ou irrégulier (P ₂).	103
Figure 50 A gauche, un autoportrait jeune de Rembrandt (1629), plus uniforme et des niveaux plus forts de détails texturaux. A droite, un autoportrait âgé de Rembrandt (1661) avec une utilisation réduite et plus sélective des détails texturaux (DiPaola et al., 2010).	107
Figure 51 Les 8 oeuvres d'art de portraits sélectionnées.	111
Figure 52 Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des portraits P ₄ à gauche et P ₁ à droite.....	112
Figure 53 Fréquence de choix des portraits P _x , selon le portrait opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation.	115
Figure 54 Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard. L'intercept et la pente de régression linéaire changent avec l'âge et ne sont significatifs que chez les 24 mois et les adultes.....	116
Figure 55 Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation pour les six groupes d'âge.	117
Figure 56 Fréquence de choix des portraits P _x , selon le portrait opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation.	123
Figure 57 Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation lors de l'étude 2b (croix noir) en comparaison à l'étude 2a (rond gris) ..	126

Figure 58 Variation de la p-valeur du z-score (transformation de Fischer) au cours des 3316 premières secondes de présentation entre les deux corrélations indépendantes entre les jugements de préférence et les temps de regard dans l'étude 2a et l'étude 2b.	126
Figure 59 Les 8 oeuvres d'art de paysage sélectionnées.	132
Figure 60 Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des paysages P1 à gauche et P3 à droite.....	132
Figure 61 Fréquence de choix des paysages P_x , selon le paysage opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation.	134
Figure 62 Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard	135
Figure 63 Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation pour les six groupes d'âge.	136
Figure 64 Image des paires de peintures $\{P_1, P_2\}$ dans les études 2a et 3, utilisée pour créer les cartes de saillance visuelle.	141
Figure 65 Image originale et carte de saillance visuelle de cette image d'après le modèle de Itti et Koch (2000).	141
Figure 66 Etapes de création de la carte de saillance visuelle dans le modèle GBVS (Harel et al., 2012).....	142
Figure 67 Comparaison des cartes de saillance visuelle entre le premier modèle bottom-up saliency (Itti & Koch, 2000 ; à gauche) et le modèle GBVS (Harel et al., 2007 ; à droite) pour la paire $\{P_1, P_2\}$ qui comprend à gauche la peinture P_1 (Gustav Klimt, 1912, "Portrait of Mäda Primavesi") et à droite la peinture P_2 (Gustav Klimt, 1912, "Portrait of Mäda Primavesi").	144
Figure 68 Comparaison entre les localisations des fixations des nourrissons (en blanc) et les localisations des fixations des adultes (en noir) pour la paire de portraits $\{P_4, P_8\}$	145
Figure 69 Comparaison des cartes de saillance visuelle entre le premier modèle bottom-up saliency (Itti & Koch, 2000 ; à gauche) et le modèle GBVS (Harel et al., 2007 ; à droite) pour la paire $\{P_4, P_8\}$ qui comprend à gauche la peinture P_4 (Claude Monet, 1882, "Soleil couchant à Étretat") et à droite la peinture P_8 (Vincent van Gogh, 1889, "Wheatfield with Cypress").	146
Figure 70 Comparaison entre les localisations des fixations des nourrissons (en blanc) et les localisations des fixations des adultes (en noir) pour la paire de paysages $\{P_8, P_5\}$	147
Figure 71 Images schématiques de serpent utilisées dans les études de Rakison (2018).	153
Figure 72 A gauche, l'animation en point lumineux de la reptation du serpent, au milieu, celle de la bipédie humaine et à droite, celle de la bipédie de la poule.....	156
Figure 73 Passation au Babylab avec enregistrement vidéo.....	156
Figure 74 Vue côté expérimentateur lors des expérimentations.....	157
Figure 75 Déroulé d'une expérimentation avec contre-balancement intra-sujet entre les deux essais des PLDs de bipédie humaine et apode de serpent.	157
Figure 76 Fréquence relative de temps de regard vers le PLD du mouvement apode du serpent par rapport au (a) PLD du mouvement de bipédie humaine et (b) PLD du mouvement de bipédie de la poule.....	160
Figure 77 Fréquence relative de temps de regard moyen au cours du temps vers le PLD du mouvement de bipédie de l'humain par rapport à la fréquence total de temps de regard vers les deux PLDs présentés.	160
Figure 78 Animations en points lumineux utilisées dans cette étude, les versions originales en haut et les versions perturbées en-dessous : (a) PLD du mouvement apode du serpent, (b) PLD du mouvement bipède humain et (c) PLD du mouvement bipède de poule.....	164
Figure 79 Déroulé d'une expérimentation avec contre-balancement intra-sujet entre les deux essais des PLDs de mouvement biologique de la poule, original et perturbé.....	165
Figure 80 Fréquence relative de temps de regard moyen vers le PLD du mouvement biologique par rapport au temps de regard moyen vers le PLD du mouvement non-biologique lors du premier (en gris) et deuxième (en noir) essai au cours des 8000 ms de présentation.	166
Figure 81 Fréquence des temps de regard vers le mouvement biologique du serpent, de la poule ou de l'humain au cours des deux présentations consécutives de huit secondes (première en noir, seconde en gris).	167
Figure 82 Exemple d'une photographie (à gauche) et de sa transformation par l'interface CycleGANs (Zhu, Park, Isola & Efros, 2017) à la manière de van Gogh (issus de l'article de Clay et al., 2020).....	182

Table des Tableaux

<i>Tableau 1. Details of age's group informations in standard visual preference task</i>	94
<i>Tableau 2. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \epsilon$ in Figure 47</i>	100
<i>Tableau 3. Details of Infants' Group</i>	111
<i>Tableau 4. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \epsilon$ in Figure 54</i>	116
<i>Tableau 5. Comparison between mean choice's frequency towards the eighth paintings in study 2.a and 2.b, with the preference's ordre in brackets.</i>	124
<i>Tableau 6. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \epsilon$ in Figure 57</i>	124
<i>Tableau 7. Infants' group details.</i>	131
<i>Tableau 8. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \epsilon$ in Figure 44</i>	135
<i>Tableau 9. Details of infants and adults groups from the studies on portraits and landscapes</i>	140
<i>Tableau 10. Results for the analysis of variance</i>	147
<i>Tableau 11. Details of Infants' Group</i>	155
<i>Tableau 12. Details of Infants' Group</i>	163
<i>Tableau 13. T-test between relative looking time towards biological PLD and scrambled PLD</i>	167
<i>Tableau 14. Mean looking time and frequency of look towards biological motions compared to scrambled motions by age group.</i>	168

INTRODUCTION

La beauté peut-elle être un sujet discuté sous le prisme scientifique ? La science, par sa démarche réductionniste et objectiviste, ne détruit-elle pas la beauté dès lors qu'elle s'en intéresse ? Il me semble que ces questionnements ont pour origine le fait que nous conférons à la beauté une dimension magique, inaccessible à l'entendement humain, quasi spirituelle. Le beau nous transporte, parfois nous transcende. Il n'est pas étonnant que les premiers écrits philosophiques sur l'esthétique considéraient que le beau permettait à l'humanité d'approcher l'idéal de la Nature (Platon ; *in* Brisson, 2011). La force et l'universalité des expériences esthétiques étaient perçues comme des messages divins. Si l'esthétique a aujourd'hui perdu de son aspect spirituel, l'attribution du critère de beauté ne s'avère pas hasardeuse. Au contraire, les adultes s'accordent souvent sur l'esthétique d'un visage, d'un mouvement, d'un paysage (Chatterjee, 2013 ; Rhodes, 2006 ; Zeki & Stutters, 2012). Même les nourrissons y seraient sensibles puisque très tôt, ils regardent davantage des visages jugés attractifs par les adultes que ceux jugés moins attractifs (Damon *et al.*, 2017a ; *for a review, see* Damon, Mottier, Méary & Pascalis, 2017b ; Rhodes, 2006). La beauté a également une influence sur nos vies : elle attire notre attention et influence grand nombre de nos choix comme le choix du partenaire, du lieu d'habitation, l'appréciation de l'art mais aussi d'autres comportements comme le jugement moral ou les choix de consommation (Hekkert & Leder, 2008 ; Leder, Tinio, Fuchs & Bohrn, 2010 ; Reber, Winkielman & Schwarz, 1998 ; Palmer, Schloss & Sammartino, 2013).

L'émergence de préférences esthétiques communes entre les humains serait liée à la manière dont notre système cérébral a évolué en interaction avec l'environnement (Chatterjee, 2013). La manière dont les propriétés sensorielles des objets sont traitées au sein de notre système cognitif et l'interaction de ces propriétés avec nos émotions et notre système de récompense sont en effet relativement similaires d'un individu à l'autre (Carbon, Ditye, Leder, 2006 ; Carbon, 2011 ; Consoli, 2015a). Ceci expliquerait que les impressions initiales esthétiques des objets puissent être partagées. En revanche, les significations que nous leur associons et la connaissance que nous en avons, influencent également notre jugement esthétique jusqu'à modifier l'appréciation initiale (Leder, Belke, Oeberst & Augustin, 2004). De même, le contexte immédiat influence nos jugements, amenant une variabilité inter et intra-individuelle des jugements esthétiques au cours du temps. Les traitements sensoriels, largement

partagés et les deux sources de variations du comportement que sont les connaissances et le contexte, ont motivé différents champs d'investigation scientifique de l'esthétique. Si les modèles issus des neurosciences se focalisent sur l'influence des traitements perceptifs et mnésiques dans l'appréciation esthétique (Chatterjee, 2004 ; Nadal, 2013), les modèles socio-cognitifs insistent sur l'influence des traitements cognitifs de haut niveau comme la compréhension et l'interprétation (Bullot & Reber, 2013 ; Pelowski & Akiba, 2011). Ces modèles tiennent compte de l'esthétique en termes de critère de beauté mais aussi d'intérêt et de nouveauté. L'expérience personnelle et l'expérience culturelle sont, de fait, considérées comme des facteurs d'influence majeurs sur le jugement esthétique (Leder *et al.*, 2004).

Dans quelle mesure nos jugements esthétiques sont-ils dépendants de l'interaction entre la structure physique des objets perçus et les processus perceptifs ? Poser cette question de la relation entre fonctions sensorielles et vécus subjectifs c'est chercher à savoir dans quelle mesure le stimulus détermine le vécu esthétique. Cette recherche se heurte cependant à la profonde interdépendance de l'expérience et de la perception chez le sujet humain adulte.

Dans les recherches qui sont présentées dans cette thèse j'ai adopté une approche développementale. Le comportement visuel des nourrissons, au vu du peu d'expériences culturelles et selon le niveau de maturité des traitements visuels, est une porte ouverte sur le rôle de l'expérience vis-à-vis de l'attention visuelle et sur le lien stimulus/attention. L'étude du comportement des nourrissons et des nouveau-nés permet de mettre en évidence les processus cognitifs précoces et les étapes développementales importantes qui permettent l'émergence de l'appréciation esthétique chez l'humain. Elle met également en évidence les invariances comportementales dans la préférence visuelle de l'enfance à l'âge adulte. Certaines contraintes de l'attention visuelle peuvent en effet résister aux changements profonds qui accompagnent le développement cognitif et les diverses sources d'influences sociales, culturelles, expérientielles. L'orientation privilégiée de l'attention vers les visages, observable de la naissance à l'âge adulte, est un bon exemple de ces invariances. Parce que l'expérience visuelle et sociale des nourrissons est réduite, l'approche développementale permet indirectement d'évaluer l'influence de l'expérience personnelle et culturelle sur les préférences esthétiques. Si l'expérience personnelle et culturelle joue un rôle secondaire dans l'appréciation esthétique, nous devrions observer des préférences explicites partagées entre les adultes et des préférences visuelles similaires entre les nourrissons et les adultes. *A contrario*, des différences de préférences entre les nourrissons et les adultes ou l'absence de préférences visuelles chez les nourrissons, supposeraient que l'expérience personnelle et culturelle sont nécessaires à

l'émergence de l'appréciation esthétique. Cette logique nous conduit à poser plusieurs questions. L'attention visuelle prédit-elle le jugement chez l'adulte ? Un tel phénomène est-il dépendant de l'objet d'intérêt ? L'attention visuelle des nourrissons est-elle corrélée à celle des adultes et à leurs jugements esthétiques ? Cette correspondance entre l'attention visuelle et le jugement de beauté des adultes observée dans le cas des visages, se retrouve-t-elle pour les objets non-naturels -comme des œuvres d'art ? Pour tenter d'apporter un début de réponse à ces questions, nous avons étudié les relations entre la préférence visuelle d'adultes, de nourrissons de 4 à 24 mois et les jugements de préférence esthétique chez l'adulte pour différents types de stimuli : des mouvements abstraits, des portraits et des paysages. La comparaison de différentes tranches d'âge de nourrissons nous permet d'étudier le développement de ces préférences visuelles et la stabilité de ces dernières au cours du développement.

La suite du manuscrit est organisée de la manière suivante. Après une première partie consacrée au concept d'esthétique et aux grandes théories psychologiques de l'expérience esthétique, la seconde propose une synthèse des recherches sur le développement de l'esthétique au cours de la vie : nous nous intéresserons aux travaux sur le développement du système visuel en lien avec l'attention visuelle et l'attractivité esthétique. La troisième partie présente l'ensemble des études expérimentales que nous avons menées auprès de nourrissons et d'adultes. Nous avons étudié les préférences visuelles spontanées chez le nourrisson en lien avec les jugements de préférence et les préférences visuelles des adultes pour différents stimuli : des patterns de mouvements abstraits, des peintures représentant des portraits et d'autres représentant des paysages. Pour compléter notre compréhension de l'influence des traitements perceptifs sur les préférences visuelles, nous nous sommes intéressés à la prédiction des fixations par des modèles computationnels de saillance visuelle. Au vu des résultats obtenus dans ces premières études, nous nous sommes ensuite interrogés sur le rôle de la perception des mouvements sur la préférence visuelle spontanée des nourrissons dans le cadre de mouvements biologiques. Enfin, la cinquième partie sera consacrée à la mise en perspective de ces nouvelles études empiriques dans les modèles cognitifs de l'expérience esthétique actuels.



PARTIE I | Théories de l'expérience esthétique



Chapitre 1 | Concept d'esthétique

1.1. Concept d'esthétique en Philosophie

Les premiers écrits sur l'esthétique remontent au VII^{ème} et IV^{ème} siècle av. J.C. (ère présocratique ; Lacoste, 2008). Issu du grec *aisthetikos* (*αισθητικός*), le mot esthétique signifie « la relation entre les sens et les concepts » (Acer & Ömerođlu, 2008). Ce concept a évolué en fonction des courants philosophiques majeurs. Il est aujourd'hui communément entendu en Philosophie comme l'attribution du prédicat "beau" ou "laid" à un objet concret ou une idée, un concept (Bouveresse, 1998).

Dans la Grèce antique, l'approche objectiviste de Platon défendait l'idée que le beau était une propriété des objets physiques (Platon ; *in* De Wulf, 1909). L'unité, la symétrie, l'harmonie ou la proportion étaient ainsi des qualités physiques jugées intrinsèquement belles. L'esthétique était alors considérée indépendamment de l'observateur. Le caractère psychologique de l'esthétique n'apparaîtra qu'au Moyen-Âge (Thomas D'Aquin ; *in* De Wulf, 1909) et sera approfondi dans l'approche empiriste de Hume au XVIII^{ème} siècle. L'approche empiriste est souvent résumée dans la phrase "la beauté est dans l'œil de celui qui regarde" (Hume, 1757). Hume définit les principes psychologiques initiaux de l'esthétique : toute chose du monde visuel ne peut être considérée indépendamment du sujet. Les propriétés esthétiques sont subjectives en ce sens où, dans un monde sans observateur, il n'existerait pas de propriétés esthétiques (Léon, 2008),



Figure 1 | L'école d'Athènes (1509/1510), Raffaello Sanzio, Stanza della Segnatura, Roma, Italia. Cette œuvre représente les grands penseurs de la Grèce Antique dont Platon au centre habillé en rouge et accompagné d'Aristote en bleu. Cette œuvre rend compte des règles de l'esthétique de l'approche objectiviste de Platon telles que la symétrie, l'unité dans la diversité et la proportion (Moukaddem, 2018).

Kant (1790) proposa par la suite une théorie unifiée des considérations objectivistes et empiristes de l'esthétique. D'une part, le caractère cognitif de l'esthétique avancé par Hume devient une loi : le beau est un jugement que l'humain porte sur les choses. D'autre part, l'attribution du prédicat beau à un objet n'est pas arbitraire : certaines caractéristiques de l'objet sont considérées comme plus susceptibles que d'autres de produire un sentiment esthétique. Les objets qui seront jugés beaux sont ceux qui "plaisent universellement à l'esprit" (Kant, 1790 ; Zuckert, 2002). L'auteur distingue ici l'agréable -lié à l'expérience subjective des individus- du beau, qui requiert l'emploi de la faculté de juger. La faculté de juger permet selon Kant de passer de l'expérience individuelle à la connaissance universelle. Dans le cadre du jugement esthétique, cette faculté suppose l'extraction des propriétés de l'objet qui seront belles pour tous, c'est-à-dire, celles qui provoquent une satisfaction en elles-mêmes et sans nécessiter de connaissances préalables sur l'objet (*jugement synthétique a priori* ; Kant, 1790 ; De Wulf, 1909). Kant précise que ces propriétés sont celles qui vont faciliter la perception ou la compréhension de l'objet. C'est notamment le cas des propriétés telles que la proportion, la symétrie ou l'harmonie des formes ; les mêmes repérées par les philosophes grecs.

La thèse kantienne de l'esthétique peut se résumer par deux postulats. Le premier postulat avance que le beau est une qualité attribuée à un objet lorsque l'observateur le perçoit

et que les propriétés de cet objet provoquent une satisfaction en elles-mêmes, de manière universelle et sans se référer à aucune connaissance préalable sur l'objet. Le second postulat propose qu'un objet est beau seulement s'il provoque une satisfaction entièrement désintéressée. Le facteur émotionnel apparaît si fort dans l'expérience esthétique qu'il ne laisse pas de place à l'élaboration cognitive, à la logique. Du fait des possibilités d'expérimentation offertes par la thèse kantienne, celle-ci est aujourd'hui la théorie de l'esthétique la plus fertile pour les études en psychologie et neurosciences et reste aujourd'hui la plus étudiée en Philosophie (Guyer, 2017).

Par ailleurs, les courants modernes en philosophie ont affiné la théorie kantienne en intégrant les connaissances issues d'autres disciplines scientifiques comme la psychologie ou les neurosciences. La beauté est une propriété objectivable en ce que, dans un monde où les individus sont dotés de processus cognitifs communs, la beauté est un aspect du monde auquel nous sommes sensibles de manière similaire (Atalay, 2007 ; León, 2008). Cela ne signifie pas pour autant que tout le monde émettra le même jugement mais que chacun peut être d'accord avec ce jugement universel s'il écarte son goût personnel –l'agrément- qui se fonde sur l'expérience subjective et le contexte immédiat.

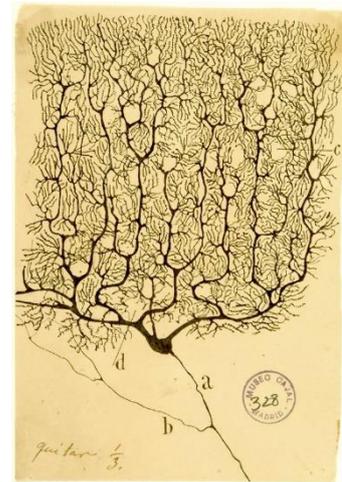


Figure 2 | Dessin d'un neurone et de ses milliers de synapses dans le cortex cérébelleux d'un pigeon, Pukinje (1899), Museo Cajal, Madrid.

Ainsi, l'esthétique est un aspect du monde perceptif et toute chose peut faire l'objet d'une évaluation esthétique (Mulcahy, 2015). La réponse hédonique liée à l'esthétique va permettre à l'observateur d'émettre un jugement de valeur et va guider ses comportements de manière consciente (poursuivre l'observation d'une œuvre d'art) ou non-consciente (consommation ; Shimamura, 2012 ; Mulcahy, 2015).

L'esthétique ayant pour origine les traitements cognitifs (perception, émotion, élaboration), nombreux philosophes s'accordent aujourd'hui sur le fait que l'esthétique est une discipline psychologique (Brachmann & Redies, 2017 ; Lipps, 1907 ; in Bouveresse, 1998 ; Winner, 2007). Selon Zeki (2002), aucune théorie de l'esthétique ne saurait être complète si elle n'intègre pas une compréhension de la manière dont le cerveau fonctionne. Son étude en sciences cognitives permet aujourd'hui de faire évoluer ce concept en le soumettant à l'épreuve de l'expérimentation et, plus généralement, d'approfondir nos connaissances sur le jugement humain.

1.2. Concept d'esthétique en psychologie expérimentale

Fechner a fondé le champ de l'esthétique empirique dans son livre intitulé *Vorschule der Ästhetik* paru en 1876. Il considérait que l'appréciation esthétique pouvait émerger de deux niveaux hiérarchiques de traitement cognitif. Il distinguait déjà des processus cognitifs de bas niveau, dirigés par le stimulus, des processus cognitifs de haut niveau, dirigés par les concepts, tout en reconnaissant les interactions entre ces deux types de processus au cours de l'expérience esthétique. Dans un premier temps, l'appréciation esthétique se fonderait sur une impression globale initiale de l'objet, liée aux processus cognitifs de bas niveau. Elle représenterait une réponse émotionnelle à l'aspect attractif des propriétés de l'objet pour le système perceptif (Fechner, 1876 ; *in* Graf & Landwehr, 2015). Dans un second temps, l'impression esthétique pourrait être modifiée lors d'une phase d'élaboration de l'objet par les processus cognitifs de haut niveau. Cette nouvelle appréciation esthétique correspondrait au jugement esthétique (Fechner, 1876 ; *in* Chatterjee & Vartanian, 2016).

Aujourd'hui, les chercheurs en psychologie et neurosciences s'accordent sur le fait que le jugement esthétique émerge (1) de la manière dont les propriétés sensorielles des objets sont traitées au sein de notre système perceptif et cognitif, (2) des significations que nous leur associons et (3) de l'interaction des caractéristiques de ces objets avec nos émotions et notre système de récompense (Chatterjee, 2014 ; Leder *et al.*, 2004 ; Nadal, 2013). En effet, la manière dont nos perceptions, pensées et actions ont été modelées par l'environnement au cours de l'évolution, expliquerait le caractère universel de la beauté de certaines propriétés du monde visuel (Chatterjee, 2014 ; Krentz & Earl, 2013 ; Nadal, 2013). Les stimuli esthétiques étant traités de la même manière que n'importe quel autre stimulus visuel, les modèles de l'expérience esthétique tentent de déterminer quel rôle remplissent les différents traitements cognitifs dans l'émission du jugement esthétique (Chatterjee, 2003 ; Leder, 2013 ; Leder, Belke, Oeberst, & Augustin, 2004 ; Pelowski, Markey, Luring, & Leder, 2016). Bien que l'attitude esthétique, caractérisée par un contexte émotionnel de plaisir lors de l'observation désintéressée, soit considérée par certains auteurs comme primordiale dans l'appréciation esthétique (Cupchick & Laszlo, 1992), cet aspect reste encore peu approfondi dans les études en psychologie. Ces définitions de l'esthétique sont fortement liées aux arts visuels et la majorité des travaux se focalisent sur l'étude de l'esthétique chez l'adulte dans le cadre des arts visuels bien qu'il s'étende à d'autres objets visuels et à d'autres populations. L'esthétique n'a d'ailleurs pas toujours été mise en relation avec les arts visuels et semble s'appliquer de manière particulière aux objets artistiques.

1.3. Spécificité de l'esthétique en art visuel

L'art et l'esthétique n'ont pas toujours été associés. L'esthétique était supposée permettre aux individus d'apprécier "l'idéal de la nature, du vrai, du réel" (Platon; *in* Brisson, 2011). À l'inverse, l'art était considéré comme une imitation de la nature, aucune fonction esthétique ne pouvait alors lui être accordée. Aujourd'hui, l'esthétique s'applique de manière particulière aux arts visuels. Les concepts de beauté libre et de beauté dépendante –ou fonctionnelle- inventés par Kant (1790) peuvent nous éclairer à ce propos.

La beauté libre renvoie au jugement esthétique universel : la beauté d'un objet est indépendante de son histoire ou de sa fonction (Zangwill, 2002). Le caractère esthétique d'un objet repose ici sur les propriétés non-esthétiques, plus spécifiquement, sur la manière dont ces propriétés sont traitées par les processus cognitifs de bas niveau et leurs interactions (Davies, 2006). *A contrario*, la beauté dépendante nécessite de reconnaître et classer l'objet afin d'évaluer si sa fonction est achevée. L'évaluation des caractéristiques de l'objet lui permettant d'accomplir sa fonction de manière optimale suppose des connaissances sur l'intention de l'objet, de son créateur et du contexte dans lequel il a été réalisé ; c'est une beauté dépendante des connaissances de l'observateur.

Ainsi, l'une des principales fonctions de l'art est de rendre l'œuvre plaisante à contempler : on parle souvent "d'esthétique pour l'esthétique" (Davies, 2006; Thomasson, 2005). De fait, les individus peuvent évaluer si les caractéristiques visuelles telles qu'elles ont été créées permettent à l'œuvre d'être "librement" belle. Toutefois, les œuvres d'art semblent avoir comme dénominateur commun d'exprimer quelque chose (Pouivet, 2000). Les neurosciences reconnaissent également que l'art est avant tout une production du cerveau humain, un artefact : une œuvre d'art serait une forme de communication des états émotionnels, contrainte par des règles artistiques spécifiques (Changeux, 2011 ; 2012). L'art a pour fonction de faire passer des messages, qu'ils soient universels (amour, morale), émotionnels ou historiques (Davies, 2006). De fait, si les caractéristiques visuelles de l'œuvre réussissent à améliorer la compréhension de l'intention de l'auteur alors l'œuvre est "dépendamment" belle. Certaines qualités esthétiques d'une œuvre peuvent être partagées entre les individus (beauté libre) mais l'expertise en art va amener un autre type de jugement de la beauté, la beauté dépendante (Armstrong & Detweiler-Bedell, 2008).

Kant nous apprend ainsi que l'esthétique en art visuel est le plus souvent entendu sur un continuum allant du beau au laid mais l'intention de l'artiste, le contexte de création de l'œuvre et sa dimension symbolique constituent d'autres dimensions de l'évaluation esthétique en art.

À ce propos et selon Soulange (2009), “une peinture est une organisation, un ensemble de relations entre formes [...] sur lequel viennent se faire et se défaire les sens qu’on lui prête”. Cette phrase se prête particulièrement bien à l’observation de l’œuvre *Paradox* représentée dans la figure 3. Le jugement de l’esthétique peut ainsi porter sur des connaissances personnelles de l’observateur, sans rapport avec l’intention de l’artiste.



Figure 3 | Paradox (2005), Robert Pepperell. Pepperell est peintre et chercheur en psychologie de la perception, il a créé des œuvres “visuellement indéterminées” qui sont un jeu entre l’harmonie des formes et l’impossibilité de reconnaissance de ces formes. Ces œuvres permettent de mettre en évidence la beauté libre, liée aux propriétés perceptives (harmonie des couleurs, formes, contraste etc.), de la beauté dépendante, liée au sens, aux connaissances et aux significations que les observateurs vont leur attribuer.

Ainsi, les notions kantienne de beauté libre et dépendante se retrouvent dès les premiers écrits sur l’esthétique expérimentale de Fechner dans la dichotomie processus cognitif de bas et de haut niveau. Les processus perceptifs et mnésiques automatiques vont guider l’appréciation esthétique de la beauté libre, tandis que les processus cognitifs tels que la compréhension, l’interprétation ou la classification explicite des éléments contextuels de l’objet, vont guider l’appréciation esthétique de la beauté dépendante. Le chapitre 2 traite des différents modèles cognitifs actuels de l’appréciation esthétique chez l’adulte, nous y verrons que la plupart des modèles définissent également différentes formes d’appréciation esthétique.

Chapitre 2 | Les modèles théoriques de l'expérience esthétique

Les modèles cognitifs de l'expérience esthétique mettent en évidence les facteurs psychologiques et contextuels qui influencent le jugement esthétique final. Ils intègrent trois temps majeurs dans l'expérience esthétique : en entrée, les influences d'ordre psychologique et social (personnalité, contexte socioculturel et immédiat), puis lors de l'expérience esthétique, les différentes étapes de traitements cognitifs, et en sortie les conséquences psychologiques et comportementales de ces traitements (Pelowski, Markey, Luring, & Leder, 2016). Les stimuli esthétiques étant traités de la même manière que n'importe quel autre stimulus visuel, les modèles tentent de déterminer quels traitements cognitifs amènent au jugement et à l'émotion esthétique (Chatterjee, 2014 ; Leder, 2013 ; Leder, Belke, Oeberst, & Augustin, 2004 ; Pelowski *et al.*, 2016).

Dans ce chapitre, nous étudierons les principaux modèles théoriques de l'expérience esthétique et les intérêts de chacun dans la compréhension des processus cognitifs impliqués lors de l'expérience esthétique chez l'humain.

2.1. Théories psycho-évolutionnistes de l'esthétique

Pourquoi sommes-nous émus, impressionnés ou calmés par des paysages ? Pourquoi certains visages sont plus attractifs, plus beaux que d'autres ? D'après les théories psycho-évolutionnistes, nos réponses comportementales auraient évolué et guideraient l'action vers ce qui augmente les chances de survie et de reproduction. La perception de la beauté pourrait ainsi être une réponse comportementale adaptative qui influencerait toujours actuellement nos préférences visuelles (Killin, 2013 ; Seghers, 2015). Plus généralement, la manière dont nos perceptions, pensées et actions ont été modelées en interaction avec l'environnement au cours du temps évolutif, expliquerait le caractère universel de la beauté de certains stimuli ou propriétés de stimulus (Chatterjee, 2013 ; Krentz & Earl, 2013 ; Nadal, 2013). Trois stimuli sont étudiés d'un point de vue des théories psycho-évolutionnistes : les visages, les paysages et les arts visuels.

L'approche adaptative repose sur une compréhension de la préférence esthétique en termes d'émotion. En général, nos préférences se manifestent par des émotions (Berlyne, 1974 ; LeDoux, 1996 ; Jacobs, 2009). Nous avons tendance à préférer les objets ou situations qui nous provoquent des émotions positives et à ne pas apprécier les objets et situations qui nous provoquent des émotions négatives (Jacobs, 2011). Les recherches sur les émotions génériques ont démontré que plusieurs aspects des émotions sont innés, notamment les réactions corporelles telles que l'accélération du rythme cardiaque ou la tendance à se figer dans le cas de la peur (Darwin, 1872 ; Ekman, 1999 ; LeDoux, 1996). Ces réponses sont bénéfiques pour la survie des organismes et leurs valeurs adaptatives se retrouvent dans des tâches fondamentales de la vie (LeDoux, 1996 ; Ekman, 1999). L'approche adaptative s'intéresse aux réponses émotionnelles automatiques, rapides et innées liées à des caractéristiques cruciales pour la survie de l'être humain comme l'environnement, la santé ou la cohésion sociale (Ulrich, 1983). Comme l'environnement est crucial pour la survie, il est plausible, au regard de la théorie générale de l'évolution, que nous ayons des prédispositions innées à préférer certains aspects de notre environnement. Des prédispositions à réagir émotionnellement envers certains attributs des paysages dans lesquels nos ancêtres ont survécu au cours de l'évolution ont pu émerger dans la mesure où ces réactions se sont avérées des réponses adaptatives à des situations fondamentales de la vie pour l'être humain. Les préférences pour les paysages sont dirigées vers les paysages bénéfiques pour nos ancêtres lointains mais pas nécessairement bénéfiques pour nous dans le présent.

2.1.1. Attractivité des visages

Certains visages sont vus comme universellement attractifs. Cette affirmation ne dénie pas les influences culturelles et contextuelles de l'attractivité ou le fait que les individus peuvent développer des goûts différents. Pour autant, certains visages ressortent plus régulièrement comme attractifs (Chatterjee, 2014). Les études indiquent une forte consistance interne des choix d'un individu ($\alpha = .87$) et une forte fiabilité inter-codeur dans les évaluations d'attractivité (Carbon *et al.*, 2010).

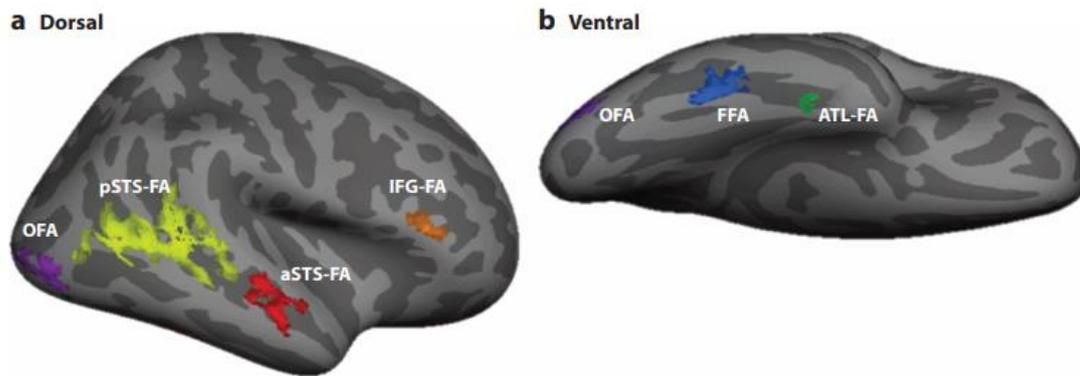


Figure 4 | Aires cérébrales spécialisées dans le traitement des visages dans l'hémisphère droit d'un participant typique (Duchaine & Yovel, 2015). (a) Les aires dorsales-postérieures supérieures temporales du 'sulcus face area' (pSTS-FA), les aires antérieures supérieures temporales 'sulcus face area' (aSTS-FA) et les aires inférieures frontales du 'gyrus face area' (IFG-FA). (b) Les aires ventrales : 'occipital face area' (OFA), 'fusiform face area' (FFA) et 'anterior temporal lobe face area' (ATL-FA).

Plusieurs aires cérébrales comme le *fusiform face area* (FFA) sont spécialisées dans le traitement visuel et la reconnaissance des visages (figure 4 ; *for a review, see* Duchaine & Yovel, 2015). Quand les personnes sont en train de penser à la beauté, ces aires cérébrales spécifiques s'activent plus fortement lors de la présentation des visages les plus attractifs (Chatterjee, Thomas, Smith & Aguirre, 2009). C'est notamment le cas du FFA et du cortex latéral occipital (LOC) qui comprend l'OFA. De même, quand les individus ne pensent pas à la beauté mais à l'identité, le FFA et le LOC continuent de répondre plus vigoureusement aux visages attractifs qu'aux visages non attractifs. Ces résultats indiquent que le système cérébral visuel réagit à la beauté des visages de manière automatique (Chatterjee, *et al.*, 2009).

Kühn et Gallinat (2012) ont également mis en évidence que lorsque les individus regardent des visages attractifs, le circuit de la récompense est impliqué, si bien que l'évaluation de l'esthétique des visages se ferait principalement selon les réponses émotionnelles de ce circuit (Chatterjee & Vartanian, 2016 ; Kühn & Gallinat, 2012). Le circuit de la récompense, aussi nommée voie dopaminergique, regroupe différentes structures corticales et sous-

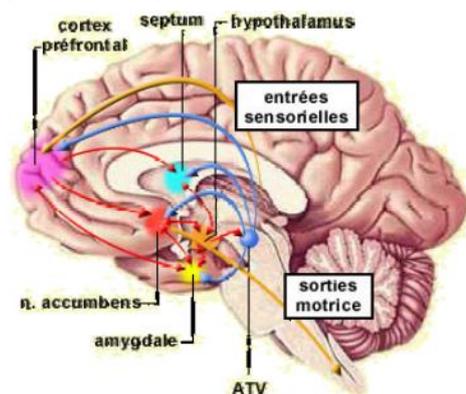


Figure 5 | Les différentes structures corticales et sous-corticales du circuit de la récompense.

corticales telles que le noyau accumbens, l'amygdale, l'hypothalamus ou encore le cortex préfrontal qui jouent des rôles différents (figure 5). Par exemple, le noyau accumbens joue un rôle dans l'anticipation de la récompense tandis que le cortex préfrontal, dans l'obtention active de cette récompense (Richard, Camps, Eugène, Gauthier, & Giobanni, 2013).

De fait, notre cerveau pourrait répondre à la beauté des visages, y compris lorsque nous nous concentrons sur d'autres choses (Chatterjee, 2014). Les études utilisant des indices neurophysiologiques indiquent que les visages attractifs, en particulier ceux du sexe opposé perçus par les hommes, capturent plus longtemps l'attention visuelle (Valuch, Pflüger, Wallner, Laeng & Ansorge, 2015). Ils produisent également des amplitudes plus larges de la composante P2 reliée à l'attention sélective implicite (van Hooff, Crawford & Van Vugt, 2010).



Figure 6 | Santé et attractivité : images composites de (a) 15 visages de femme jugés hautement en bonne santé et de (b) 15 visages de femme jugés faiblement en bonne santé. La bonne santé est associée à des évaluations plus positives de l'attractivité (Little et al., 2011).

Certaines propriétés des visages ont été mises en évidence comme améliorant le jugement d'attractivité : la symétrie verticale (Jones & Hill, 1993 ; Mealey, Bridgstock, & Townsend, 1999 ; Thornhill & Gangestad, 1999), la typicalité (*for a review, see* Little, Jones, & DeBruine, 2011 ; Rhodes, 2006) ou encore le degré de dimorphisme sexuel notamment pour les visages féminins (Bruce, Burton, & Dench, 1994 ; Cunningham, Roberts, Barbee, Druen, & Wu, 1995 ; Perrett *et al.*, 1998). Les caractéristiques qui rendent un visage attractif sont également considérées comme des indicateurs de la "qualité génétique" de l'individu (figure 6 ; Little *et al.*, 2011 ; Rhodes, Chan, Zebrowitz, & Simmons, 2003 ; Scheib, Gangestad, & Thornhill, 1999 ; Thornhill & Gangestad, 1999). L'attractivité est associée à une bonne santé physique et psychique. À l'inverse, l'asymétrie ou l'atypicalité des visages sont liées à la malnutrition infantile, aux infections parasitaires, aux troubles psychiatriques ou encore à la pollution (Rhodes *et al.*, 2003 ; Scheib *et al.*, 1999). Par conséquent, le jugement de l'attractivité des visages pourrait avoir une origine évolutive et agir comme un mécanisme de sélection sexuelle : les visages dénotant d'une meilleure santé génétique et environnementale seraient préférés visuellement ce qui jouerait un rôle lors du choix du partenaire.

2.1.2. Préférence pour les paysages

De manière similaire aux visages, la préférence pour certains paysages serait en partie pré-câblée. Dans ce cas cependant, ce serait la sélection naturelle plutôt que la sélection sexuelle qui jouerait un rôle dominant dans l'évolution de la préférence pour ces paysages. Les préférences innées pour les paysages porteraient sur certaines caractéristiques de ces paysages qui contribuent immédiatement à la survie des individus (Appleton, 1975 ; Orians, 1986). Une abondance de végétation et d'eau sont les propriétés des paysages pour lesquels nous avons une préférence innée, deux éléments nécessaires à notre survie (Appleton, 1988 ; Kaplan, 1992 ; Schroeder & Daniel, 1981 ; Ulrich, 1993 ; Yang & Brown, 1992).

Des études rapportent par ailleurs que les environnements naturels sont préférés à ceux façonnés par l'humain (Biederman & Vessel, 2006 ; Zhang, Tang, He & Lai, 2018). Les temps de latence de la réponse au cours de la tâche de jugement esthétique sont plus courts pour les photographies de paysage naturel, indiquant qu'ils procurent plus facilement un sentiment de beauté que les autres types d'architectures (Zhang *et al.*, 2018). Les adultes présentent un fort biais attentionnel pour les photographies de paysage classique par rapport aux photographiques d'architecture non-naturelles (Zhang *et al.*, 2018). Les enfants, dès 11 ans, préfèrent les paysages de savane et les forêts pour y vivre ou pour visiter (Balling & Falk, 1982). Les adultes préfèrent les scènes naturelles aux scènes construites (figure 7 ; Kaplan, Kaplan & Wendt, 1972) et présentent des taux d'accord inter-observateurs compris entre $\alpha = 0.4$ et 0.6 pour les paysages naturels (Kaplan, 1992 ; Kaplan & Kaplan, 1995 ; Vessel & Rubin, 2010). Les paysages naturels sont associés à des émotions relaxantes : une marche en forêt aide les individus à trouver le calme, ce qu'un environnement construit telle que la ville ne favorise pas (Chatterjee, 2014 ; Joye, 2007).

Toutefois, rappelons que l'ensemble de l'environnement de nos ancêtres était naturel, ce sont donc les paysages naturels les plus abondants en végétation qui sont préférés de manière innée et non pas les paysages naturels par rapport aux paysages non-naturels (Jacobs, 2011). En effet, depuis l'apparition de l'agriculture il y a 10.000 ans, les humains ont façonné leur environnement de manière artificielle à une rapidité bien plus forte que la vitesse à laquelle nos comportements peuvent s'adapter (Jacobs, 2011).



Figure 7 | Exemple de paysage urbain et naturel

Les réponses cérébrales pour les beaux paysages impliquent un ensemble neuronal dans le cortex visuel qui classe les environnements et ces régions s'allient aux neurones des systèmes de récompense (Chatterjee, 2014). Les activations du *parahippocampal place area* (PPA) droit, spécialisé dans la perception des scènes visuelles (Epstein, Harris, Stanley, & Kanwisher, 1999) et du striatum ventral droit sont plus fortes pour les paysages que les individus disent aimer, ou que d'autres individus ont jugé beaux, par rapport à ceux qui ne le sont pas (figure 8 ; Biederman & Vessel, 2006). Il est également constaté une activité plus forte du cortex parahippocampique, contenant de haute densité de récepteurs *m*-opioïds lors de l'observation de scènes visuelles naturelles préférées (Yue, Vessel & Biederman, 2006).

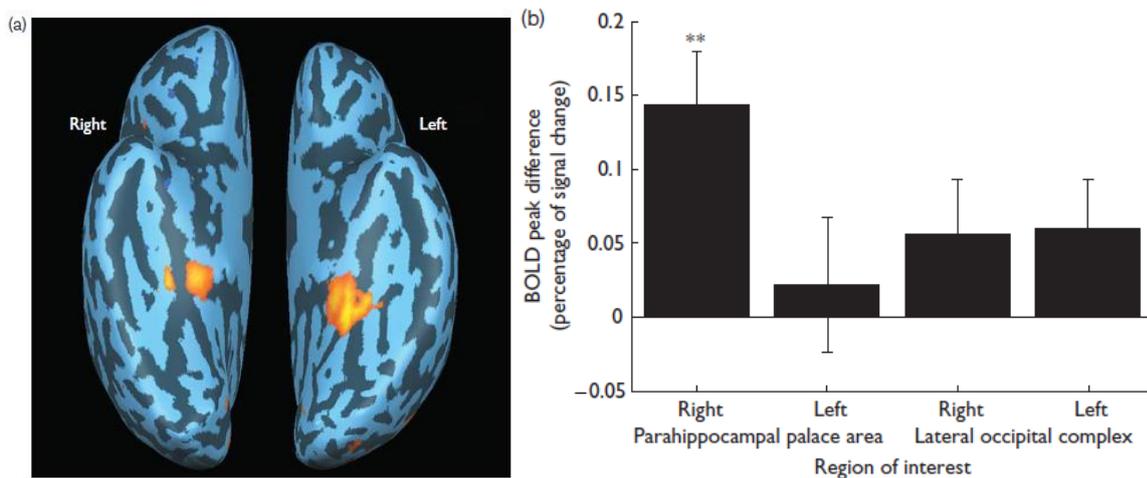


Figure 8 | Région d'intérêt du cortex parahippocampique et pic hémodynamique en fonction des préférences élevées vs. faibles du PPA gauche et droit et du cortex occipital latéral (Yue et al., 2007). (a) Région d'intérêt du PPA. (b) Différence de magnitude BOLD (blood-oxygen level dependent response) entre les scènes visuelles ayant obtenu une évaluation de la préférence élevée ou faible. Les deux étoiles signifient une différence de magnitude BOLD statistiquement significative à .01.

Nous retrouvons ici, comme pour les visages, un niveau d'activation plus fort pour les belles scènes dans les aires du cortex visuel spécialisées dans le pré-traitement des scènes en général. D'après les auteurs, ces résultats suggèrent que le PPA droit classe et participe à l'évaluation des scènes, en coordonnant son activité neuronale avec les aires qui encodent le plaisir et la récompense (Biederman & Vessel, 2006 ; Yue *et al.*, 2007).

Ensembles, ces études proposent que les paysages naturels avec une forte implication dans l'évolution de notre espèce produisent un sentiment de beauté plus facilement que d'autres types de paysage et activent plus fortement les aires visuelles spécialisées dans la perception visuelle des scènes réelles et dans les émotions positives (Dutton, 2009).

2.1.3. Fonction évolutive des arts visuels

Les théories psycho-évolutionnistes se sont également intéressées aux arts visuels. Les œuvres d'art les plus anciennes retrouvées à ce jour, sont datées d'il y a au moins 80.000 ans (Dutton, 2009). Ces œuvres pourraient représenter, avec les armes et les outils, les plus vieux artefacts humains, apparus longtemps avant l'écriture par exemple. Et bien que nous ne sachions rien de la manière dont ces premières œuvres d'art étaient perçues, la création artistique semble profondément ancrée dans notre passé évolutif (Leder *et al.*, 2015). La psychologie évolutionniste considère que l'art pourrait représenter une adaptation : la création artistique représenterait un avantage sélectif individuel pour la séduction du partenaire par exemple (Leder & Nadal, 2014).



Figure 9 | Vénus de Laussel ou Vénus à la corne, env. 25.000 ans avant le présent, Musée d'Aquitaine, Bordeaux. Vénus du Paléolithique supérieur sculptée en bas relief sur calcaire et peinte à l'ocre rouge.

Nous retrouvons des patterns esthétiques qui constituent des signaux pertinents pour la sélection sexuelle chez de nombreuses espèces animales : plusieurs espèces d'oiseaux, couramment nommés les jardiniers, passent ainsi le plus clair de leur temps à nettoyer, décorer leur espace avec des objets d'une même couleur et fabriquer des tonnelles esthétiques (Figure 10 ; Zahavi, 1978). En revanche, la création esthétique non accompagnée d'une volonté apparente de reproduction semble être une caractéristique unique à l'humain (Davies, 2012 ; Dutton, 2009).



Figure 10 | Exemples de tonnelles décorées réalisées par (a) un mâle jardinier satiné et (b) un mâle jardinier à crête rose (famille : *Ptilonorhynchidae*). Photos prises par Marion Pannekoek et Garrett Eaton.

Chez l’humain, l’art représenterait un indicateur de la virtuosité, de la créativité ou de l’intelligence de celui qui produit l’œuvre ; un avantage nommé “fitness esthétique” (*aesthetic fitness* ; Miller, 2001). D’autres théories avancent que l’art conférerait un avantage pour le groupe : la pratique de l’art améliorerait le fitness du groupe dans la compétition pour les ressources contre d’autres groupes. L’engagement dans des activités de groupe et des rituels artistiques renforcerait les compétitions sociales et la cohésion de groupe (Dissanayake, 1992 ; Brown, 2000).

Plus généralement, l’art fournirait des états hédoniques positifs lors de l’expérience de la beauté (Leder *et al.*, 2004). Cette proposition fait écho au second prédicat de la thèse kantienne : l’art serait à évaluer pour lui-même, dans un état de désintéressement, sans autre utilité que l’état hédonique positif qu’il procure. Certains philosophes parlent à ce sujet d’inutilité de l’art comme élément fondamental discriminant, contrairement à tout le reste des habiletés et capacités qui présentent une utilité, une praticité (Lamarque, 2010).

D’autres en revanche, considèrent l’universalité de la création artistique comme une utilité pour l’espèce humaine d’aborder sérieusement des thèmes universels tels que la mort et la vie, l’amour, la spiritualité, et d’autres thèmes qui invitent à de sérieuses réflexions (Lamarque, 2010). L’art serait ainsi un outil pour la diffusion des savoirs, des pensées humaines, similaires en ce sens au langage (Lamarque, 2010; Zaidel, 2006). Le plaisir n’est pas des propriétés de l’environnement. Notre cognition génère des émotions plaisantes -et déplaisantes- en réponse à des aspects de l’environnement qui représentent respectivement un bénéfice ou une menace pour la survie. L’art permettrait, *a minima*, la communication de ces émotions (Johnston, 2003).

Il reste néanmoins difficile de trancher sur ces hypothèses évolutionnistes de l'esthétique d'un point de vue empirique, l'intérêt des théories évolutionnistes étant d'expliquer les raisons pour lesquelles les jugements de beauté entre les humains sont, pour certains objets, partagés. Les interactions entre le développement phylogénétique de la cognition humaine et l'environnement auraient ainsi permis l'émergence de ces jugements de beauté universels.

Les deux modèles suivants se concentrent pour leur part sur les processus cognitifs impliqués lors du jugement esthétique ainsi que leur temporalité.

2.2. Modèle Plaisir-Intérêt de l'Appréciation esthétique

Selon le modèle Plaisir-Intérêt de l'appréciation esthétique (*PIA, Pleasure-Interest Model of Aesthetic Liking* ; Graf & Landwehr, 2015), le jugement esthétique serait la résultante de deux systèmes de processus cognitifs : les processus cognitifs ascendants -dirigés par le stimulus, de bas niveau- et descendants -initiés par l'individu, de haut niveau. Comme dans d'autres modèles de processus duaux (*for a review, see* Evan & Stanovich, 2013), le modèle PIA postule que les processus cognitifs de bas niveau s'opèrent de manière automatique et rapide ; ils sont donc toujours impliqués. Séquentiellement, les processus cognitifs de haut niveau opèrent de manière volontaire et plus lentement. L'esthétique des stimuli serait d'abord traitée de manière automatique puis de manière contrôlée selon que le second système de processus cognitifs est mis en place. Graf et Landwehr (2015) considèrent que l'appréciation esthétique ne s'opère pas tout-à-fait de la même façon selon le degré de fluence perceptive de l'œuvre : lorsqu'une œuvre d'art est dite fluente d'un point de vue perceptif, les processus cognitifs de bas niveau vont jouer un rôle crucial dans l'appréciation esthétique initiale, on parle de plaisir esthétique. *A contrario*, lorsqu'une œuvre d'art est dite « disfluente » d'un point de vue perceptif, l'appréciation esthétique initiale sera négative et ce sont les processus cognitifs de haut niveau qui vont jouer un rôle majeur dans ce qu'il nomme, l'intérêt esthétique (Figure 11).

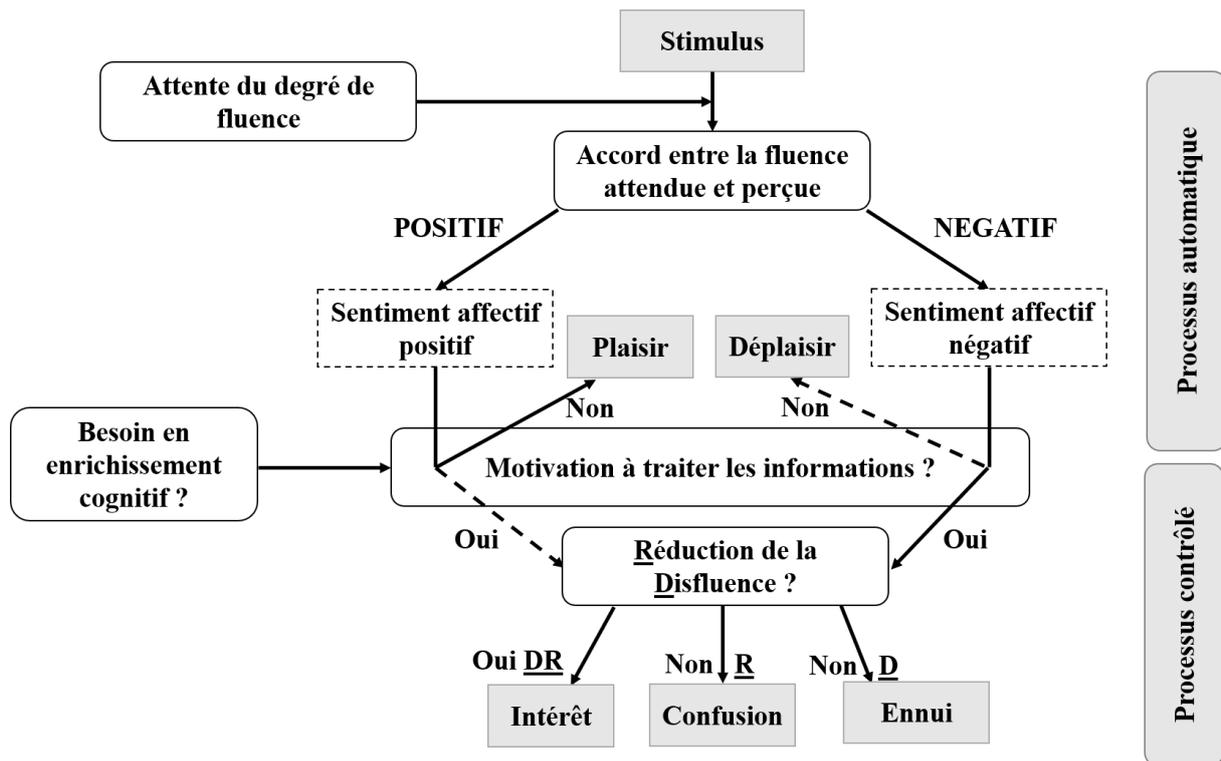


Figure 11 | Modèle Plaisir-Intérêt de l'appréciation esthétique (Graf & Landwehr, 2015)

La fluence perceptive correspond à la facilité perceptive à encoder un stimulus du fait de certaines propriétés telles que la symétrie, la balance ou la prototypicalité de l'objet (Belke, Leder, Strobach & Carbon, 2010 ; Reber, Schwarz & Winkielman, 2004 ; Reber, Winkielman & Schwarz, 1998 ; Oppenheimer, 2008 ; Winkielman, Halberstadt, Fazendeiro & Catty, 2006). Le lien entre fluence du stimulus et appréciation esthétique serait assuré par les émotions : le traitement visuel fluent d'un stimulus donnerait lieu à des émotions positives. Selon ce modèle donc, plus les propriétés visuelles d'un stimulus sont faciles à traiter, plus l'appréciation esthétique initiale se trouvera positive : c'est le plaisir esthétique (Aleem, Correa-Herran & Grzywacz, 2017 ; Bulot & Reber 2013 ; Consoli, 2015). Le plaisir esthétique est défini comme une expérience de plaisir subjective dirigée par l'objet, non modulée par l'intervention de la raison (Reber *et al.*, 2004). La fluence perceptive pourrait ainsi expliquer les relations entre les préférences précoces et les effets de l'expérience ainsi que les apparentes contradictions entre les préférences pour les stimulus moyens et les préférences pour les formes exagérées, tous deux facilitant le traitement visuel de l'objet (Reber *et al.*, 2004). Toutefois, la fluence produirait une réponse affective positive d'intensité moyenne. L'effet de la fluence perceptive serait en forme de U-inversé au cours du temps (Winkielman & Cacioppo, 2001).

En effet, s'il n'existait pas d'autres qualités qui pourraient être appréciées, l'appréciation esthétique se restreindrait à une série fixée de propriétés qui facilitent le traitement perceptif et fournissent une représentation de l'objet facile d'accès en mémoire (Belke, Carbon & Leder, 2015 ; Oppenheimer, 2008). Or, des œuvres d'art simplifiées, auxquelles on a enlevé des éléments, se trouvent dépréciées esthétiquement en comparaison à leur version originale plus complexe d'un point de vue visuel (Figure 12 ; Krentz & Earl, 2013).



Figure 12 | Exemple d'une œuvre d'art originale et de sa version simplifiée. Les œuvres d'art complexes sont préférées à leur version simplifiée (Krentz & Earl, 2013)

Pour expliquer ces effets, plusieurs auteurs ont théorisé le rôle de la violation des attentes dans l'appréciation esthétique des œuvres d'art (Van de Cruys & Wagemans, 2011; Consoli, 2015) ou des objets communs (Topolinski & Reber, 2010). Comme le font remarquer Ramachandran et Hirstein (1999), un objet découvert après un effort cognitif est plus satisfaisant qu'un objet tout-de-suite reconnaissable (*"it is though an object discovered after a struggle is more pleasing than one that is instantly obvious"* ; pp. 30). Pour ces raisons, Graf et Landwehr (2015) introduisent la notion d'intérêt esthétique. L'intérêt esthétique résulte de la réduction réussie du niveau de complexité et d'ambiguïté des œuvres d'art au cours des traitements cognitifs contrôlés. Plus spécifiquement, le phénomène de réduction de la complexité serait lié à l'augmentation de la fluence dite conceptuelle. La fluence conceptuelle correspond au degré de compréhension, d'interprétation et d'évaluation que nous pouvons opérer sur un stimulus (Belke *et al.*, 2010). Plus la fluence conceptuelle d'un individu sur un objet est grande, plus il lui sera facile de réaliser des opérations mentales concernant la signification de l'objet et de mobiliser différentes structures de connaissance sur ce dernier (Schwarz, 1990 ; Winkielman, Schwarz, Fazendeiro & Reber, 2003). Cette fluence des opérations mentales serait hédonique, amenant l'appréciation favorable de l'objet en termes d'intérêt esthétique (Reber *et al.*, 2004 ; Winkielman *et al.*, 2003). Ceci serait particulièrement valable pour les experts (Consoli, 2014).

En résumé, la fluence perceptive entraîne des affects positifs du fait de la facilité de reconnaissance du stimulus. Il en résulte un plaisir esthétique qui s'apparente à une impression globale initiale de l'objet, à une réponse émotionnelle liée à l'aspect attractif de l'objet pour le système perceptif. Cette appréciation initiale pourrait ensuite être renforcée ou modifiée par l'élaboration cognitive si l'observateur décide de mettre en place des processus cognitifs de plus haut niveau (Graf & Landwehr, 2015 ; Phillips, Norman, & Beers, 2010). De son côté, la fluence conceptuelle entraîne des affects positifs du fait d'un traitement sans erreur (*error-free processing*) et de la disponibilité des connaissances appropriées qui rend possible l'interprétation et la compréhension de ce stimulus. Pour les œuvres d'art non-fluents perceptivement, il s'opère une transition entre un état initial d'incertitude associé avec des affects déplaisants et un état subséquent d'augmentation de la compréhension et de l'interprétation de l'objet, ce qui s'avère hautement plaisant et récompensant (Consoli, 2015 ; 2017). Il en résulte un intérêt esthétique qui correspond à un affect positif lié au bon déroulement des processus cognitifs de haut niveau (Graf & Landwehr, 2017).

Pour mettre à l'épreuve ces deux types d'appréciation esthétique (plaisir et intérêt) selon le degré de fluence perceptive, Belke *et al.* (2015) ont mené une série d'expériences avec des portraits jugés fluents perceptivement (facilité de traitement du visage représenté) et des portraits disfluents (Figure 13). Leur première expérience indique que l'appréciation des portraits disfluents reste stable malgré les répétitions d'exposition pour les experts en art tandis que cette appréciation augmente pour les naïfs en art. Ce résultat reflèterait une mise en place des processus cognitifs de haut niveau plus précoce et auto-initiée chez les experts. La seconde expérience précise l'importance des processus cognitifs de haut niveau dans l'appréciation esthétique des portraits disfluents. La restriction du temps d'exposition (500 ms) supposée empêcher la mise en place de ces processus, s'accompagne d'une stagnation de l'appréciation esthétique alors que cette appréciation augmente si le temps n'est pas restreint ou si le protocole expérimental favorise la mise en place des processus cognitifs de haut niveau (Belke *et al.*, 2015).

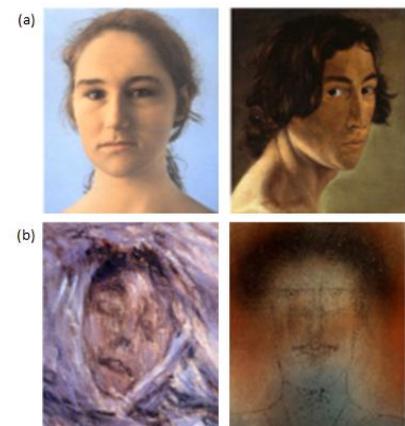


Figure 13 | Différents degrés de fluence perceptive : (a) portraits jugés fluents et (b) portraits jugés disfluents (Belke *et al.*, 2015).

De leur côté, Winkielman et ses collègues (2003) ont présenté des images représentant des objets difficiles à reconnaître. Pour tester l'effet de la fluence conceptuelle, les participants lisaient en amont de la présentation de l'image un mot relié sémantiquement ou non relié

sémantiquement. Les images congruentes au mot étaient préférées par les participants, en comparaison aux images incongruentes aux mots. De fait, l'association sémantique de l'image avec un mot suffirait à récupérer les connaissances appropriées pour reconnaître et interpréter l'image. De même, Belke *et al.* (2010) ont associé des œuvres d'art avec un titre sémantiquement relié à l'œuvre, un titre non sémantiquement relié à l'œuvre ou sans titre, faisant l'assomption que les titres reliés sémantiquement augmenteraient l'intensité de l'expérience esthétique des œuvres d'art difficiles à reconnaître visuellement. Les résultats montrent que l'appréciation esthétique augmente uniquement pour les œuvres d'art difficiles à traiter visuellement lorsqu'elles sont associées au titre sémantique. Cet effet de pré-activation sémantique n'est pas retrouvé pour les œuvres d'art fluides perceptivement. En outre, cet effet est présent lorsque le temps de présentation est suffisant (10 secondes) mais pas lorsque le temps de présentation est trop faible (moins d'une seconde ; Belke *et al.*, 2010). L'expérience de la fluence conceptuelle serait ainsi directement liée à la rapidité de traitement sémantique, la diminution de l'effort mental et la cohérence du traitement, amenant un sentiment positif envers le stimulus (Belke *et al.*, 2010 ; Winkielman *et al.*, 2003).

La distinction entre plaisir et intérêt esthétique est particulièrement adaptée pour différencier les influences liées à la perception du stimulus de celles liées à la compréhension et l'interprétation sur l'appréciation esthétique. Cette distinction est similaire à celle proposée par Fechner entre les processus cognitifs de bas niveau et ceux de haut niveau, ainsi que la distinction entre beauté libre et dépendante de la théorie kantienne. Le modèle PIA ajoute à ces précédentes théories l'importance du type de stimulus : selon le stimulus et l'engagement de l'observateur, les processus cognitifs mis en place diffèrent. Toutefois, le modèle PIA ne décrit pas l'ensemble des processus cognitifs impliqués ni leurs relations au cours de l'expérience esthétique. C'est ce que nous retrouvons dans le modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique de Leder et ses collègues (2004).

2.3. Modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique

Le modèle de l'expérience esthétique chez l'adulte (figure 14 ; Leder *et al.*, 2004) décrit la séquence des traitements cognitifs et émotionnels desquels émergent le jugement et l'émotion esthétique.

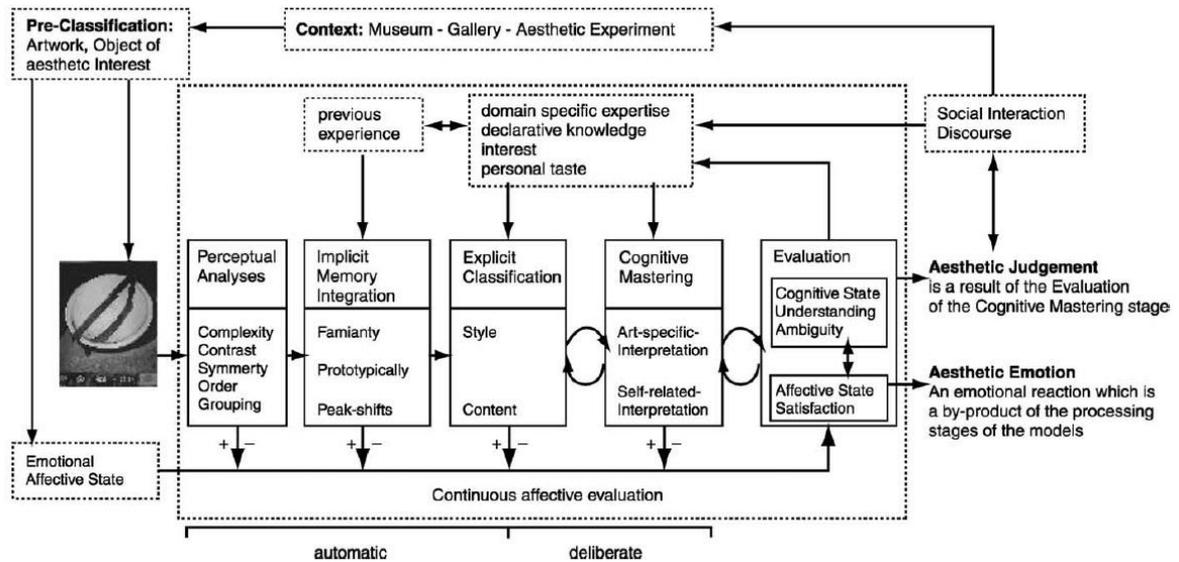


Figure 14 | Modèle de l'expérience esthétique chez l'adulte (Leder *et al.*, 2004).

L'expérience de l'art est un épisode complexe impliquant un objet, un observateur et l'interaction avec des processus cognitifs et émotionnels (Leder *et al.*, 2015 ; Leder & Nadal, 2014). Ce modèle est spécifique aux arts visuels chez l'adulte et inclut une étape de traitement perceptif suivie d'une succession d'étapes plus cognitives, fondées sur l'intégration en mémoire implicite et explicite. L'exposition à un stimulus visuel serait une situation durant laquelle l'individu va (1) percevoir, (2) intégrer en mémoire, (3) classifier explicitement et (4) maîtriser cognitivement ce stimulus afin de (5) l'évaluer. Ces différents traitements cognitifs s'accompagnent d'une mise à jour continue de l'état affectif de l'observateur et sont influencés par des facteurs socio-culturels, contextuels et individuels. En sortie du modèle, nous retrouvons le jugement esthétique, dirigé par la compréhension et l'interprétation de l'œuvre d'art, et l'émotion esthétique, dirigée par la satisfaction ressentie lors de la perception des caractéristiques physiques du stimulus et de la maîtrise cognitive réussie du contenu de l'œuvre d'art. Comme le modèle PIA de Graf et Landwerh (2015), le modèle socio-cognitif de Leder et ses collègues (2004) considère que la profondeur de traitement est fonction de l'étendue des informations traitées dans les étapes les plus tardives de l'expérience esthétique.

2.3.1. Analyse perceptive

La première étape du modèle est l'analyse perceptive des stimuli visuels qui s'opère de manière automatique et inclut l'ensemble des traitements cognitifs liés à la perception visuelle de l'objet. Cette étape comprend un ensemble de traitements cognitifs qui transforme l'information sensorielle en expérience visuelle pouvant susciter une appréciation esthétique positive. Elle s'intéresse aux caractéristiques qui rendent une œuvre fluente visuellement comme dans le modèle PIA (Graf & Landwerh, 2015). Plusieurs propriétés visuelles des stimuli ont été étudiées comme plaisantes d'un point de vue esthétique.

2.3.1.a. Formes

Les premières recherches de Fechner portaient sur la préférence pour des figures simples de rectangles. Ces études mirent en évidence une préférence pour les rectangles ayant un ratio compris en 1 et 1.618, nommé le *Golden Section* (Fechner, 1865 ; in McManus, Cook & Hunt, 2010). Des résultats toutefois contredisent ces premières études sur les propriétés des stimuli les rendant beaux : si les adultes peuvent former des préférences sur des objets aussi simples que des rectangles, cette préférence n'est pas liée à une propriété universelle comme le *Golden Section* (McManus *et al.*, 2010). Les préférences individuelles pour des formes simples comme des rectangles montrent tout de même une forte consistance au cours du temps chez l'adulte (McManus, 1980 ; McManus *et al.*, 2010). L'humain présente en effet une propension à associer du sens et des sentiments à tout objet, même arbitrairement (McManus & Kitson, 1995). Ces préférences chez l'adulte pour les figures simples se retrouvent également pour les nuances de couleur (McManus, Jones & Cottrell, 1981), les compositions de couleur (McManus & Weatherby, 1997), et divers patterns géométriques (Jacobsen, 2004).

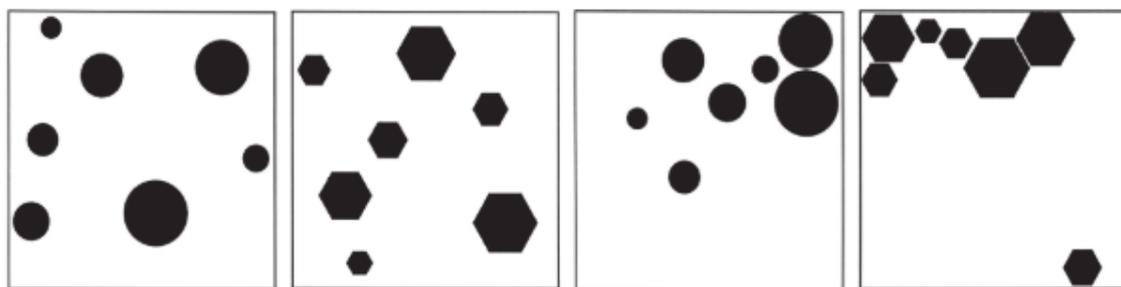


Figure 15 | Exemple de stimuli du Preference for Balance Test (Silvia & Barona, 2009). Quel que soit le niveau de balance, les participants préfèrent les formes incurvées par rapport aux formes angulaires.

Les formes incurvées s'avèrent ainsi préférées par rapport aux formes angulaires mais l'origine de cette préférence est peu claire (Belman *et al.*, 2017 ; Silvia & Barona, 2009). Le terme incurvé fait référence à des changements doux (*smooth*) des contours, par opposition aux changements abrupts des contours comme les angles d'un polygone (Bertamini, Palumbo, Gheorghes & Galatsidas, 2016). Silvia et Barone (2009) retrouvent cette préférence pour les courbes en utilisant des cercles et des hexagones (Figure 15), une préférence répliquée en Espagne et au Ghana (Gomez-Puerto, Munar, Acedo & Gomila, 2013).

Utilisant des formes abstraites dont les contours sont différents (angulaires vs. incurvés) ainsi que différents niveaux de complexité, Bertamini *et al.* (2016) retrouvent une préférence explicite chez les adultes pour les contours incurvés, non liée au degré de complexité perçue. L'expérience 4 de leur étude utilise une mesure indirecte de cette préférence avec une tâche d'approche-évitement. Les résultats indiquent un pattern d'approche vers les formes incurvées mais discréditent l'hypothèse d'un évitement des formes anguleuses (Bertamini *et al.*, 2016).

2.3.1.b. Symétrie

Les individus préfèrent également les objets présentant une plus grande symétrie (Enquist & Arak, 1994 ; Humphrey, 1997 ; Jacobsen, Schubotz, Höfel & Cramon, 2006) et une meilleure balance (Locher, Gray & Nodine, 1996). Le cerveau possède des modules de traitement spécifiques à la symétrie visuelle, situés dans le cortex prémoteur dorso-bilatéral et le sulcus frontal supérieur : il traite donc la symétrie avec plus de facilité (Aleem *et al.*, 2017 ; Jacobsen *et al.*, 2006 ; Rhodes, Proffitt, Grady & Sumich, 1998). Il en est de même de la détection de la balance (Itti, Koch & Niebur, 1998). Les adultes préfèrent les patterns à symétrie verticale par rapport aux patterns à symétrie horizontale ou asymétriques (Bornstein, Ferdinandsen, & Gross, 1981 ; Humphrey, 1997). Plusieurs études rapportent ainsi que la symétrie est un prédicteur du jugement de la beauté pour des formes basiques et des patterns abstraits par rapport aux stimuli asymétriques (Figure 16 ; Jacobsen & Höfel, 2001 ; 2002 ; 2003 ; Jacobsen *et al.*, 2006). Le degré de complexité, défini comme le nombre d'élément individuel qui compose le stimulus, est également prédicteur du jugement de beauté et permet la relation entre symétrie et beauté (Gartus & Leder, 2013 ; Jacobsen, 2004 ; Tinio & Leder, 2009). Cette préférence pour la symétrie est aussi étudiée dans le cadre des visages : la symétrie faciale s'avère corrélée à l'attractivité des visages chez les adultes (Jones & Hill, 1993 ; Mealey, Bridgstock, & Townsend, 1999 ; Thornhill & Gangestad, 1999). De même, la symétrie verticale

est corrélée avec le jugement esthétique pour les corps humains (Concar, 1995 ; Thornhill & Gangestad, 1994). La relation entre la symétrie et la préférence esthétique s'avère toutefois moins robuste et claire lorsqu'il s'agit d'œuvres d'art (McManus, 2005).

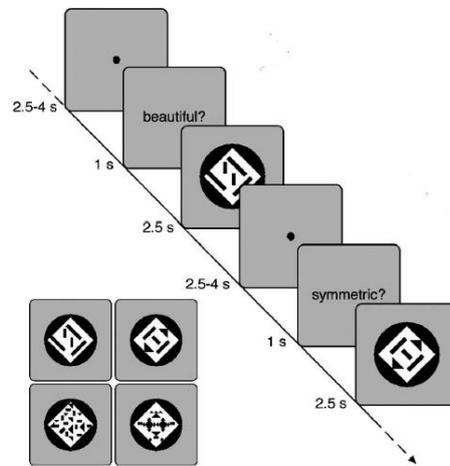


Figure 16 | Exemple d'essai de la tâche de jugement (Jacobsen, Schubotz, Höfel, & Cramon, 2006). Les participants devaient juger de la beauté et de la symétrie de formes abstraites. Les formes jugées symétriques sont aussi celles qui sont jugées belles.

2.3.2. Intégration en mémoire implicite

L'intégration implicite en mémoire des caractéristiques perceptives consiste en la mise en relation entre la représentation construite durant l'analyse perceptive et les informations précédemment rencontrées et stockées en mémoire (Leder *et al.*, 2004). Cette intégration opère de manière automatique et comprend les effets de simple exposition, l'effet *peak-shift* ou encore l'effet de prototypicalité. Ces effets pourraient avoir un effet positif sur l'appréciation esthétique dans la mesure où ils modifieraient l'intensité émotionnelle ressentie (Consoli, 2014).

2.3.2.a. Effet de simple exposition

L'effet de simple exposition (Zajonc, 1968) ou la compréhension liée à l'évaluation répétée (Carbon & Leder, 2005) pourrait permettre une augmentation de l'appréciation esthétique de certaines œuvres fréquemment rencontrées par les observateurs. L'observation répétée d'œuvres d'art abstraites augmentent en effet la préférence esthétique chez les experts mais les résultats s'avèrent contrastés pour les novices (Belke *et al.*, 2006). Les novices en art ne présentent pas plus d'augmentation de la préférence pour des portraits représentatifs : l'effet de simple exposition apparaît plutôt lié à une meilleure compréhension de l'œuvre d'art et serait ainsi lié aux processus cognitifs de haut niveau dans la mesure où une compréhension améliorée est rendue possible par la répétition de l'exposition (Belke *et al.*, 2015).

2.3.2.b. Effet *peak-shift*

L'effet *peak-shift* est une hyperbole délibérée, une exagération, une distorsion de l'objet dans le but de créer un effet plaisant pour le cerveau (Ramachandran, 2004). L'hypothèse de Ramachandran (2004 ; Ramachandran & Hirstein, 1999) est que les artistes tenteraient, consciemment ou non, de réaliser cet effet *peak-shift* pour capturer l'essence de l'objet et l'amplifier pour activer plus puissamment les mêmes mécanismes neuronaux qu'activerait l'objet original. Dans cette perspective, l'exagération des caractéristiques sexuelles secondaires augmente l'évaluation de l'attractivité physique (Perrett, Penton-Voak, Yoshikawa & Akamatsu, 1998). L'effet *peak-shift* des caractéristiques sexuelles secondaires se retrouve notamment dans de nombreuses œuvres d'art anciennes pour représenter les déesses de la fertilité (Figure 17; Ramachandran & Hirstein, 1999).



Figure 17 | Ishtar Pose, 2000 av. J.C., Mésopotamie. Ishtar est une déesse babylonienne. Cette figurine représente la posture classique de la déesse, les mains sur les seins et des hanches exagérément larges.

2.3.2.c. Effet de prototypicalité

Le modèle de la préférence pour le prototype (“preference-for-prototype” model ; Whitfield & Slater, 1979) suppose l’existence de représentations schématiques mentales aussi nommés prototypes catégoriels des choses (Rosch, 1983). Les visages prototypiques sont par exemple construits en combinant plusieurs visages pour n’en former qu’un seul, à l’aide de logiciel comme Psychomorph (figure 18 ; Tidderman, Burt & Perret, 2001).



Figure 18 | Construction d’un visage prototypique : les traits des visages (yeux, nez, bouche) de chaque visage sont d’abord alignés à même distance puis moyennés pour produire l’image prototypique (repris de Tidderman, Burt, & Perret, 2001).

L’appréciation esthétique d’un objet présent dans notre environnement quotidien serait fonction de son degré de prototypicalité. Plus un objet est proche du prototype de la catégorie, plus il sera préféré (Hekkert & van Wieringen, 1990). L’effet de la beauté en moyenne (*beauty-in-averageness* ; Winkielman *et al.*, 2006) correspond à cette préférence pour les visages prototypiques ou moyens. Les prototypes sont traités de manière plus efficiente et le stimulus est catégorisé plus rapidement (Posner & Keele, 1968), tout en recrutant moins de ressources neuronales (Reber, Stark & Squire, 1998). L’effet de prototypicalité se retrouve notamment pour les visages (Langlois & Roggman, 1990 ; Principe & Langlois, 2012). Il est à noter que dans le cas des visages, la prototypicalité est confondue avec la symétrie. En effet, les visages prototypiques sont par définition plus symétriques que les visages naturels sur la base desquels

ils sont construits. L'effet de prototypicalité est également retrouvé pour d'autres types de stimuli que les visages tels que dans les formes. Des patterns géométriques abstraits ont été présentés de sorte à créer un prototype -pattern géométrique abstrait préparé. La présentation de ces patterns préparés s'accompagne d'une activité des zygomatiques -muscle du sourire- plus forte par rapport à des patterns non préparés (Winkielman *et al.*, 2006).

Selon la théorie de la fluence perceptive et conceptuelle, l'effet de prototypicalité pourrait déterminer la préférence esthétique pour les œuvres d'art dans la mesure où il faciliterait la reconnaissance des objets dépeints ou le mouvement artistique d'appartenance. Ces œuvres d'art seraient préférées par rapport aux autres œuvres d'art non-prototypiques.

En accord avec cette supposition, Hekkert et van Wieringen (1990) ont testé la préférence esthétique pour des œuvres d'art dont la "catégorabilité", c'est-à-dire le temps de réaction à l'identification de la figure humaine dépeinte, varie (faible, moyenne et forte ; Figure 19). Les résultats indiquent que les scores de beauté des œuvres ayant une faible catégorabilité ne sont pas influencés par la prototypicalité ; des résultats non surprenants puisque, par définition, l'influence de la prototypicalité est limitée aux stimuli qui sont possibles à catégoriser par les observateurs. La relation entre la beauté et la prototypicalité est modérée pour les œuvres d'art à forte catégorabilité : plus l'œuvre est prototypique de son courant artistique, plus elle sera considérée belle (Hekkert & van Wieringen, 1990).



Figure 19 | Différences de catégorabilité des œuvres d'art : (a) exemple d'un portrait à haute catégorabilité (temps de réaction moyen à reconnaître le visage $RT(ms) = 988$), *Man on a balcony* (1912), Gleizes. (b) exemple d'un portrait à faible catégorabilité ($RT(m) = 9976$), *The typographer* (1919), Léger.

2.3.3. *Classification explicite*

La classification explicite est la première étape où la mise en place de processus cognitifs de haut niveau est requise. Ces processus délibérés peuvent être verbalisés. Cette étape concerne en particulier l'analyse du contenu sémantique de l'œuvre (qu'est-ce qui est représenté ?) ainsi que la représentation stylistique (comment ? Par qui ?). Les œuvres d'art peuvent avoir différentes représentations mnésiques et s'avèrent donc sensibles aux connaissances préalables de l'observateur (Belke, Leder, Harsanyi & Carbon, 2010). Lorsque l'individu a peu de connaissance en art, la classification porterait de manière privilégiée sur le contenu sémantique. Les observateurs naïfs en art associeraient le contenu d'une œuvre d'art avec leur vécu et leur état émotionnel (Augustin & Leder, 2006 ; Cupchik & Lazlso, 1992 ; Parson, 1987). Avec l'augmentation du niveau d'expertise en art, les connaissances relatives à l'artiste, la période historique ou la technique deviennent également le contenu de l'objet. Les historiens en art proposent l'utilisation du style artistique pour catégoriser les œuvres d'art sur la base de (1) la période historique de création, (2) le groupement d'artistes auquel appartient le créateur et (3) le style visuel employé pour peindre (Belke *et al.*, 2010).

De fait, l'expertise changerait les "sorties" de la classification explicite. De manière plus générale, ce niveau de traitement tend à outrepasser les "sorties" cognitives et émotionnelles des traitements précédents (Leder *et al.*, 2004).

Le nom de l'artiste a un statut spécial dans la représentation mnésique de l'art visuel, il peut permettre la reconnaissance d'une œuvre d'art. Dans une tâche de nomination libre, les participants devaient nommer les objets visuels aussi vite que possible avec le premier nom ou mot qui leur venait en tête. Dans la catégorie des arts, le nom de l'artiste était le plus fréquemment mentionné, suivi du titre et du style artistique employé (Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976). Ce phénomène ne semble pas être lié simplement à une convention sociale, le nom de l'artiste semble être une information plus facile à rappeler que le style artistique (Belke *et al.*, 2010).

Les informations relatives au style artistique n'agiraient toutefois pas de la même manière chez les individus déjà experts en art et ceux naïfs en art. L'effet positif des informations descriptives d'une œuvre d'art sur le jugement esthétique est plus fort chez les individus ayant préalablement plus de connaissances artistiques en général (Belke *et al.*, 2006 ; Cupchik, Shereck, & Spiegel, 1994 ; Leder, Carbon & Ripsas, 2006).

Des preuves empiriques mettent toutefois en évidence que la connaissance du style artistique peut s'acquérir de manière implicite par la reconnaissance visuelle des règles de composition (*e.g.* pointillisme), sans apprentissage explicite (Hartley & Homa, 1981). Relier un stimulus particulier à une structure stylistique apprise pourrait constituer une expérience plaisante en elle-même (Gordon & Holyoak, 1983). Une étude en potentiel évoqué indique que le style artistique est traité après le contenu sémantique même si les écarts de traitement sont faibles et non perçus consciemment (Augustin, Defranceschi, Fuchs, Carbon & Hutzler, 2011).

2.3.4. Maîtrise cognitive et évaluation

La maîtrise cognitive, comme l'étape de classification explicite, dépend du niveau d'expertise de l'observateur. Cette étape consiste en la compréhension et l'interprétation de l'œuvre. Chez les individus naïfs, l'interprétation passerait par l'association du contenu de l'œuvre à son propre vécu tandis que les individus experts en art associeraient l'œuvre à un ensemble plus large de connaissances spécifiques à l'art, y compris pour les œuvres d'art abstraites (Cela-Conde, Marty, Munar, Nadal & Burges, 2002). La réussite de la compréhension et de l'interprétation de l'objet seraient primordiales dans l'émergence du jugement et du plaisir esthétique positif de sorte que plus la compréhension est grande, plus le plaisir esthétique est haut (Belke, Leder & Augustin, 2006 ; Bulot & Reber, 2013 ; Leder *et al.*, 2004 ; Leder, Carbon & Ripsas, 2006 ; Russel, 2003 ; Russel & Milne, 1997). Les auteurs font ainsi l'hypothèse que plus les individus sont experts, plus l'expérience esthétique sera différenciée (plusieurs niveaux de compréhension) et satisfaisante : c'est l'hypothèse de la maîtrise cognitive.

Selon l'hypothèse de la maîtrise cognitive, le plaisir esthétique pourrait avoir comme origine une prédisposition humaine pour la recherche de nouvelles informations, mise en évidence dans les théories sur la curiosité "épistémique" humaine (Berlyne, 1966) et les comportements de recherche d'information (Biederman & Vessel, 2006 ; *for a review, see* Lowenstein, 1994). Les œuvres d'art, plus particulièrement celles dont le contenu sémantique est difficile à appréhender au premier regard, pourraient ainsi représenter une catégorie d'objet favorisant l'exploration mentale, la recherche d'informations et les opportunités d'apprentissage (Armstrong & Detweiler-Bedell, 2008 ; Belke *et al.*, 2015). Le plaisir esthétique serait essentiellement lié à la maîtrise cognitive (Leder *et al.*, 2004; Belke *et al.*, 2015; Martindale, 1984). L'hypothèse de la maîtrise cognitive implique trois points centraux :

1. La maîtrise cognitive se fonde sur le degré de difficulté. Un certain degré de conflit, d'incongruité ou de surprise sont requis pour enfreindre les attentes et provoquer ce que Piaget a nommé un "déséquilibre cognitif" (Piaget, 1960 ; *in* Belke *et al.*, 2015). Cela expliquerait pourquoi des œuvres pourtant peu fluentes d'un point de vue visuel peuvent toutefois être hautement plaisantes : les œuvres disfluentes apportent un haut degré de connaissances et d'apprentissage, ce qui s'avère récompensant.
2. Maîtriser une œuvre d'art difficile s'opère à un niveau essentiellement délibéré. D'après Martindale (1984), lorsqu'un individu est confronté à une œuvre d'art, la signification perçue serait le facteur dominant du plaisir esthétique et pourrait supprimer les effets d'exposition répétée, de familiarité ou de fluence perceptive. Les processus contrôlés, dirigés par l'individu sont supposés pouvoir surpasser les étapes précédentes dans leur contribution relative au plaisir esthétique.
3. La dynamique des mécanismes de maîtrise cognitive fait partie des modèles d' "intensité-optimale" (*optimal arousal model* ; Berlyne, 1971). Ces modèles proposent une fonction en U-inversé entre le degré d'appréciation et les niveaux d'intensité induits par d'autres variables telles que la nouveauté ou l'incertitude. Ils prédisent qu'un niveau médian d'intensité sera le plus plaisant (Berlyne, 1971).

Enfin, l'évaluation est en lien avec la maîtrise cognitive, c'est-à-dire que l'évaluation par l'individu de sa propre maîtrise cognitive de l'œuvre d'art va guider la poursuite ou l'arrêt des traitements cognitifs selon le niveau de satisfaction procuré par cet exercice. L'évaluation peut également porter sur les changements de l'état affectif lors de l'exposition à l'œuvre d'art. L'observateur évalue son état affectif et utilise cette information pour arrêter le processus une fois qu'il atteint un état de satisfaction émotionnel, nommé homéostasie (Leder *et al.*, 2004).

L'évaluation donne lieu à deux sorties : le jugement esthétique et l'émotion esthétique. Le plaisir esthétique serait ainsi la résultante de la relation entre émotion et cognition (Armstrong & Detweiler-Bedell, 2008).

2.3.5. Les sorties : Jugement et émotion esthétique

Le jugement esthétique correspond aux justifications proposées par l'adulte sur ce qui rend une œuvre d'art esthétique. Ce jugement porte à la fois sur les qualités visuelles de l'œuvre et sur les éléments de la maîtrise cognitive tels que l'interprétation de l'œuvre au regard de la période historique ou de l'artiste. Ce jugement peut toutefois être plus difficile à verbaliser par les novices en art (Leder *et al.*, 2004). Comparés aux non-experts, les experts en art visuel montrent des réponses émotionnelles atténuées et aiment plus les œuvres d'art mêmes lorsque leurs contenus sont perçus comme négatifs et dérangeants (Leder, Gerger, Brieber & Schwarz, 2014). Ce résultat s'expliquerait par l'attention accrue portée à la qualité du style artistique. L'expertise et l'entraînement formel à l'art influencent l'expérience esthétique, quantifiable autant dans les évaluations subjectives que dans les patterns de fixation en oculométrie. Alors que les individus naïfs en art préfèrent les peintures représentatives par rapport aux peintures abstraites, cet effet est atténué voire absent chez les individus ayant reçus une formation en art (Leder, Gerger, Dressler & Schabmann, 2012). Toutefois, si l'expertise peut permettre de plus haut niveau de compréhension et d'intérêt, elle n'affecte pas nécessairement l'appréciation émotionnelle (Pihko *et al.*, 2011).

L'émotion esthétique dépend du succès subjectif du traitement de l'information. Cette émotion finale souvent décrite comme le plaisir lié à l'expérience visuelle et à la compréhension de l'œuvre d'art, peut aussi être négative dans le cas où les traitements cognitifs n'ont pas permis de comprendre l'œuvre par exemple. Dans le cadre de l'art, différentes émotions peuvent être expérimentées : l'incertitude, la surprise ou encore le plaisir, ce qui rend difficile la compréhension de l'émotion esthétique elle-même (Leder & Nadal, 2014). L'émotion esthétique se distinguerait d'autres émotions plus utilitaristes, qui ont un but ou qui représentent un potentiel avantage (Scherer, 2004) mais il n'existerait pas d'émotion esthétique prototypique (Lazarus, 1991). Elle peut ainsi s'apparenter à différentes émotions mais la spécificité de l'émotion esthétique serait de nous procurer une satisfaction désintéressée (Hanich, Wagner, Shah, Jacobsen & Menninghaus, 2014).

Leder et Nadal (2014) postulent une relative indépendance entre le jugement et l'émotion esthétique. Il serait possible d'être émotionnellement ému par des œuvres d'art que l'on comprend très peu. A l'inverse, il est possible d'être relativement indifférent émotionnellement face à une œuvre d'art que l'on comprend bien ou que l'on juge haute d'un point de vue de l'intérêt esthétique.

2.3.6. Les processus émotionnels au cours de l'expérience esthétique

James (1890) avait proposé une perspective intéressante du rôle de l'émotion dans le traitement esthétique. Il distinguait les strates primaires et secondaires des réponses émotionnelles à des stimuli jugés esthétiques. La strate primaire consiste en un sentiment subtil ("*subtle feelings*"), un plaisir simple et pur lié à la combinaison harmonieuse des lignes, des couleurs etc. La strate secondaire correspond aux émotions produites lors de l'intégration en mémoire implicite qui vont être ressenties au travers du corps et qui sont plus intenses (James, 1890 ; *in* Cupchik, 1995). Cette strate secondaire des émotions est rendue possible par les stimuli esthétiques qui possèdent des propriétés plus riches que les stimuli de la vie ordinaire, incluant le style artistique et des informations sémantiques et symboliques (James, 1890 ; *in* Cupchik, 1995). Le rôle des émotions au cours de l'expérience esthétique reste toutefois peu étudié encore aujourd'hui. La première version du modèle de Leder et ses collègues (2004) sous-estimait la complexité et la pertinence des processus émotionnels au cours de l'expérience esthétique de l'art de sorte que les études ne se sont pas focalisées sur les variations de l'état émotionnel au cours de l'expérience esthétique (Leder, 2013). Plusieurs études ont toutefois mis en évidence que l'état émotionnel initial influençait la suite de l'expérience esthétique.

L'expérience esthétique requiert en effet une pré-classification d'un objet comme de l'art et un état d'esprit particulier, qualitativement différent des expériences quotidiennes, l'attitude esthétique (Cupchick & Laszlo, 1992). Contrairement au traitement pragmatique et dirigé par un but des stimuli visuels, les considérations pragmatiques seraient réduites lors du contexte esthétique, laissant place à un état ambigu lié au plaisir seul de l'observation (Leder *et al.*, 2015). Cette attitude est invoquée lorsque l'objet est vu dans un certain contexte, par exemple dans un musée, ou lorsqu'il est demandé d'évaluer un objet selon sa valeur esthétique en laboratoire (Leder, Gerger & Briber, 2015). Ce contexte esthétique pourrait être marqué par certaines attentes comme le plaisir esthétique et le défi cognitif lors de l'observation de l'œuvre d'art (Leder *et al.*, 2004). De fait, ce contexte encouragerait un style de traitement de l'information évaluatif (Cupchik & Winston, 1996). Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse de l'attitude esthétique, plusieurs études empiriques ont comparé les réponses émotionnelles positives entre un contexte esthétique et un contexte pragmatique de recherche de l'information.

L'activité cérébrale est différente selon que les individus observent les peintures avec une orientation esthétique (en se focalisant sur leur expérience esthétique) ou qu'ils les observent dans le but d'obtenir des informations (en se focalisant sur le contenu dépeint ; Cupchik, Vartanian, Crawley & Mikulis, 2009). Ces différences sont également constatées lorsque l'on présente des images soit comme des œuvres d'art d'une galerie, soit générées par ordinateur, et s'accompagnent d'une préférence esthétique pour les images présentées comme des œuvres d'art plutôt que générées par ordinateur (Kirk, Skov, Hulme, Christensen & Zeki, 2009). L'activation des aires visuelles primaires s'avère plus forte lorsque les individus sont mis dans un contexte esthétique que dans un contexte pragmatique (Cupchick *et al.*, 2009). Les aires cérébrales liées aux émotions de manière générale et à la récompense plus spécifiquement telles que le lobe temporal médian antérieur, les cortex orbitofrontaux médians, préfrontaux et les structures sous-corticales, sont particulièrement impliquées lors de l'expérience esthétique (Chatterjee, 2011). D'autres études en fMRI ont également mis en évidence une activation plus grande du cortex frontomédian (BA10/9) et du cortex préfrontal ventral (BA45/47) lorsque les individus devaient contempler des caractéristiques esthétiques plutôt que de se focaliser sur les éléments dépeints (Cupchik *et al.*, 2009 ; Jacobsen, Schubotz, Höfel & Cramon, 2006). Ces régions ont été reliées au contrôle attentionnel et à l'évaluation de ses propres états mentaux (Cupchik *et al.*, 2009). Les cortex orbitofrontaux et préfrontaux recrutés lors du jugement esthétique pourraient ainsi biaiser les attentes des observateurs envers les œuvres d'art selon le contexte de présentation du fait que la valeur hédonique du stimulus serait attendue comme plus ou moins importante (Kirk *et al.*, 2009). Ces résultats sont en accord avec d'autres indices de la préférence esthétique implicite. Dans une étude sur les œuvres d'art contemporaines et des images issues du système des images affectives internationales (*International Affective Picture System*, IAPS ; Lang *et al.* 1999), les participants devaient évaluer positivement ou négativement la valence de ces images sous une condition "esthétique" ("ces stimuli sont des œuvres d'art") ou dans un contexte réaliste ("ces stimuli sont des photographies de scènes visuelles" ; Gerger Leder & Kremer, 2014). Les réactions positives (appréciation, joie) étaient mesurées par une mesure de l'activité du grand zygomatique, impliqué dans le sourire, et les réactions négatives (haine, dégoût, honte), par l'activité du muscle corrugateur du sourcil, impliqué dans le froncement de sourcil. Les réactions négatives n'étaient pas différentes en fonction du contexte de présentation. En revanche, les réactions positives différaient selon le contexte de présentation : les œuvres d'art à valence négative recevaient des appréciations positives plus grandes dans le contexte esthétique et s'accompagnaient d'une activation plus forte du grand zygomatique (Gerger, *et al.*, 2014) que dans le contexte réaliste. De même, dans

une étude en potentiel évoqué (Jacobsen & Höfel 2003), le contexte esthétique est associé à une plus forte latéralisation du potentiel positif tardif (*late positive potential*, LPP) par rapport au contexte pragmatique lors de la présentation d'œuvres d'art abstraites. Cette plus forte latéralisation serait liée à une augmentation de la valence (positive ou négative) des stimuli (Cuthbert, Schupp, Bradley, Birbaumer & Lang, 2000) et des traitements attentionnels (Hajcak, Weinberg, MacNamara & Foti, 2012).

Ensemble, ces études vont dans le sens d'un contexte émotionnel favorisant l'expérience esthétique et l'émergence d'une appréciation esthétique plus grande. L'attitude esthétique semble de plus favoriser l'émergence des processus cognitifs de haut niveau avec un contrôle attentionnel dirigé vers les états affectifs (Leder *et al.*, 2015).

Le modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique chez l'adulte de Leder et ses collègues (2004) propose une découpe temporelle d'abord linéaire puis accompagnée de boucles de rétro-action entre les étapes de maîtrise cognitive et d'évaluation. Il présente l'avantage d'identifier les divers facteurs qui vont influencer au cours du temps l'émotion et le jugement esthétique comme l'expérience, le contexte immédiat, la culture et bien sûr, les différents processus cognitifs engagés. Ce modèle propose également que, selon le niveau d'engagement de l'individu, son niveau d'expertise en lien avec la représentativité de l'œuvre d'art, les étapes de classification explicite, de maîtrise cognitive et d'évaluation seront plus ou moins riches et complètes.

Enfin, le courant dit « neuroesthétique », a plus spécifiquement étudié les aspects neurofonctionnels de l'expérience esthétique, peu présents dans les modèles précédemment présentés. Les modèles de neuroesthétique rendent ainsi compte des différents pôles cognitifs, leurs interactions et les aires cérébrales impliquées lors de l'expérience esthétique.

2.4. Modèles de neuroesthétique

L'un des premiers postulats neuroscientifiques est que tous les comportements humains ont une contrepartie neuronale. Il n'existe pas de pensées, de désirs, d'émotions, de jugement sans activité cérébrale (Chatterjee, 2014). La neuroesthétique vise à identifier les processus neuronaux qui sous-tendent l'expérience esthétique (Belfi *et al.*, 2019 ; Chatterjee & Vartanian, 2014 ; Pearce *et al.*, 2016). Elle est le prolongement de la Neurogéométrie proposée par Petitot (2008) pour expliquer l'apparence visuelle. Cette discipline tente d'isoler les différentes composantes cérébrales impliquées dans l'expérience esthétique et d'en comprendre les rôles distingués.

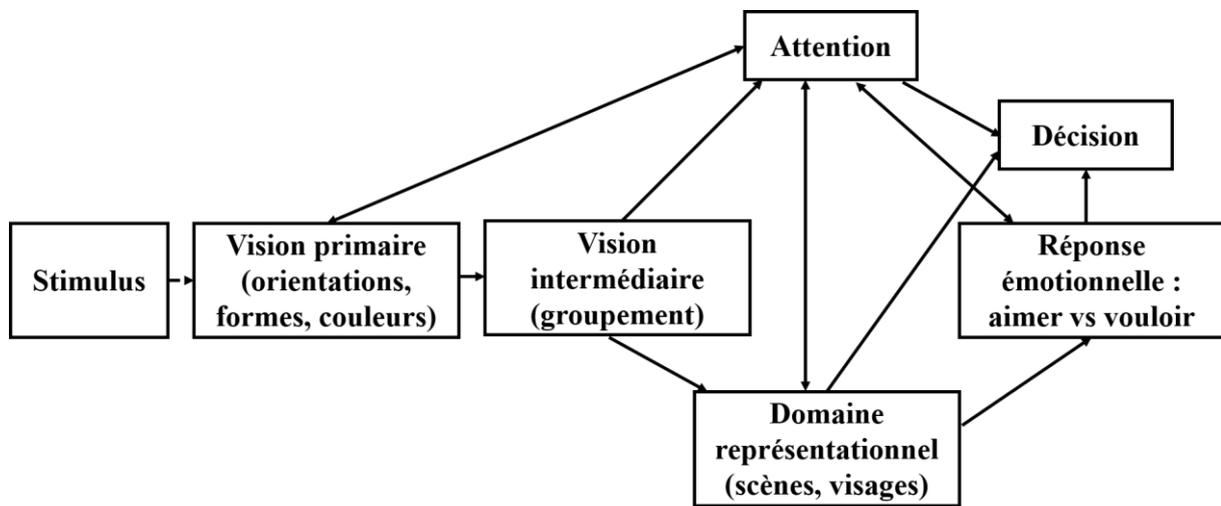


Figure 20 | Structure générale des systèmes neuronaux impliqués dans l'esthétique visuelle (Chatterjee, 2003).

La structure générale des systèmes neuronaux impliquée dans l'expérience esthétique visuelle met en évidence que les attributs visuels esthétiques sont traités par les mêmes réseaux que les autres stimuli visuels (Figure 20 ; Chatterjee, 2003). De même, les processus cognitifs de sélection de l'information et de reconnaissance des objets visuels sont universaux. Les stimuli esthétiques activeraient plus fortement ces différents réseaux (vision, mémoire) ce qui activerait d'autant plus le circuit de la récompense impliqué dans les émotions plaisantes. Les préférences visuelles dépendraient ainsi d'une stimulation optimale du système visuel et les artistes pourraient sélectionner les caractéristiques qui favorisent cette stimulation (Ramachandran & Hirstein, 1999 ; Zeki, 1992, 1999).

De plus, les connaissances et les systèmes d'interprétation sont spécifiques aux types de stimulus visuel et varient selon les individus. Les objets esthétiques auraient plus de chance de provoquer des réponses universelles selon les composantes impliquées : une réponse liée aux

processus visuels précoces et intermédiaires a plus de chance d'être commune entre les individus tandis qu'une réponse liée aux composantes tardives (récupération des souvenirs liés à l'objet et interprétation du sens qui lui est associé) a plus de chance d'être relative à chacun (Grombrich, 1960 ; Chatterjee, 2003). Les processus cognitifs visuels et mnésiques sont liés à d'autres processus cognitifs attentionnels et émotionnels qui vont permettre la prise de décision sur l'appréciation esthétique ; ceux-ci pouvant varier selon le contexte immédiat (Chatterjee, 2003). Certains auteurs comme Belfi et ses collègues (2019) font également l'hypothèse que les objets qui impliquent une relation forte entre les traitements cognitifs de bas et de haut niveau seraient expérimentés comme plus esthétiques. Ramachandran (2003) avance également l'idée qu'une meilleure compréhension des connexions entre les centres visuels cérébraux, les structures limbiques et mnésiques, permet une meilleure compréhension de la distinction entre les jugements esthétiques partagés et personnels.

D'après la triade de l'esthétique (Figure 21 ; Chatterjee, 2003 ; Chatterjee & Vartanian, 2016), l'expérience esthétique est un état mental émergent de l'interaction entre trois systèmes neuronaux : le système d'émotion-évaluation (*emotion-valuation*), sensori-moteur (*sensori-motor*) et de connaissance-signification (*knowledge-meaning*). Des résultats en électro-encéphalogramme (EEG) suggèrent que ces interactions commencent entre 200 et 300 millisecondes après la présentation d'une peinture (Noguchi & Murota, 2013).

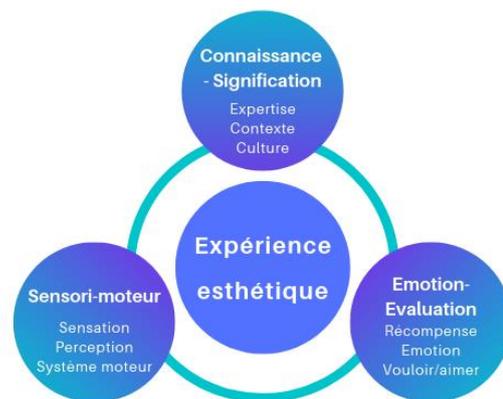


Figure 21 | Triade esthétique (Chatterjee & Vartanian, 2016). L'expérience esthétique est une propriété émergente de l'interaction entre les systèmes sensori-moteurs, d'émotion-évaluation et de connaissance-signification.

D'après ce modèle, l'expérience esthétique inclut les jugements de préférences esthétiques mais ne se limitent pas à eux. Alors que ces jugements proviennent de l'évaluation de sa propre interprétation et des connaissances liées à l'objet, les émotions esthétiques reflètent la facilité subjective avec laquelle le stimulus visuel est traité et plus généralement, la manière dont nous interagissons avec les objets (Chatterjee & Vartanian, 2016). Cela explique pourquoi il est possible d'avoir une expérience esthétique en l'absence d'évaluation explicite. Les trois systèmes pourraient de fait interagir rapidement pour former un jugement esthétique, plutôt que de se réaliser de manière séquentielle.

2.4.1. Le système « sensori-moteur »

Comme tout autre stimulus visuel, les peintures activent différentes régions du cortex visuel, de l'aire V1 à V4, incluant le gyrus lingual, le gyrus occipital médian et le gyrus fusiform (Figure 22 ; Nadal, 2013). Ces activations sont attribuées au traitement des propriétés visuelles primaires (e.g. orientation, forme, couleur), secondaires (e.g. texture, groupement) et tardives (e.g. catégorisation ; Biederman & Vessel, 2006 ; Boccia *et al.*, 2016 ; Chatterjee, 2003). Les aires occipitales latérales et occipito-temporales ventrales traitent les informations locales pour détecter les surfaces, les objets, les visages ou les lieux et contiennent de nombreux récepteurs opioïdes directement impliqués dans le plaisir esthétique (Biederman & Vessel, 2006).

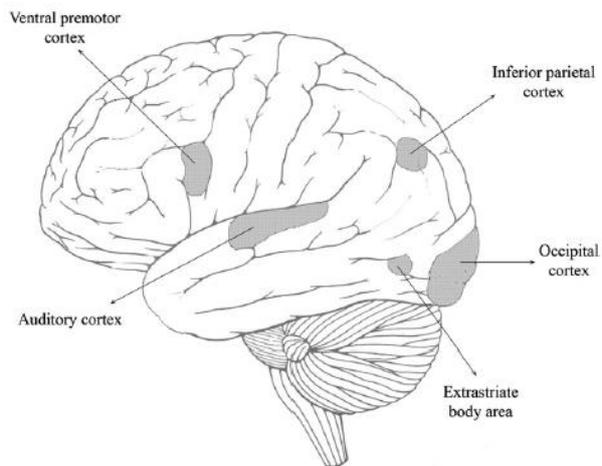


Figure 22 | Régions cérébrales associées à l'augmentation des traitements perceptifs lors d'une expérience esthétique visuelle ou auditive (Nadal, 2013).

L'augmentation des activations des aires visuelles corrèle avec l'évaluation subjective esthétique. Vartanian et Goel (2004) ont utilisé des peintures représentatives et abstraites. Leurs résultats montrent qu'une activation plus grande du gyrus occipital est corrélée positivement aux évaluations de préférences subjectives. L'activité du cortex pariétal dans le gyrus angulaire bilatéral est plus forte lorsque les participants regardent des images jugées belles que lorsqu'ils regardent des images similaires mais jugées non belles (Vartanian & Goel, 2004 ; Cela-Conde *et al.*, 2004 ; 2009 ; 2011). Les auteurs attribuent cette augmentation de l'activité à la cognition spatiale et l'élaboration d'une représentation cohérente de formes indéterminées. De la même manière, l'augmentation de l'activité du cortex occipito-temporal, impliqué dans les traitements visuo-spatiaux, est corrélée positivement à la valeur esthétique rapportée pour des œuvres d'art représentatives et abstraites (Vessel, Starr & Rubin, 2012). Ainsi, l'activation des aires cérébrales spécialisées dans le traitement visuel primaire et intermédiaire est plus forte lors de l'expérience esthétique. Cela pourrait refléter une plus grande mise en place de processus attentionnels et émotionnels (Vuilleumier & Driver, 2007).

Par ailleurs, les préférences perceptives sont liées à une plus forte activité du cortex parahippocampique, une région où la densité de récepteurs au *m*-opioïde est également forte. Cette forte activité du cortex parahippocampique pourrait être expérimentée comme plaisante

et l'activité de cette région pourrait de fait servir à une sélection spontanée de l'attention visuelle vers ce qui est plaisant à observer (Figure 23 ; Boccia *et al.*, 2016 ; Yue, Vessel & Bierderman, 2007).

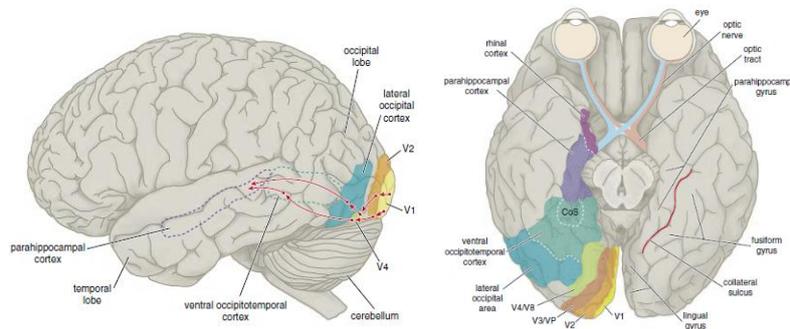


Figure 23 | Régions cérébrales associées au traitement des informations visuelles et à la récupération des informations pertinentes pour la catégorisation du stimulus visuel qui contiennent des récepteurs opioïdes en partie responsables du plaisir esthétique visuel (Biederman & Vessel, 2006).

2.4.2. Le système « Emotion-évaluation »

Bien qu'il n'existe pas de module cérébral spécifique à l'émotion esthétique, celle-ci est considérée distincte des autres émotions du fait des multiples interactions avec les deux autres systèmes sensori-moteurs et signification- connaissance (Chatterjee, 2014).

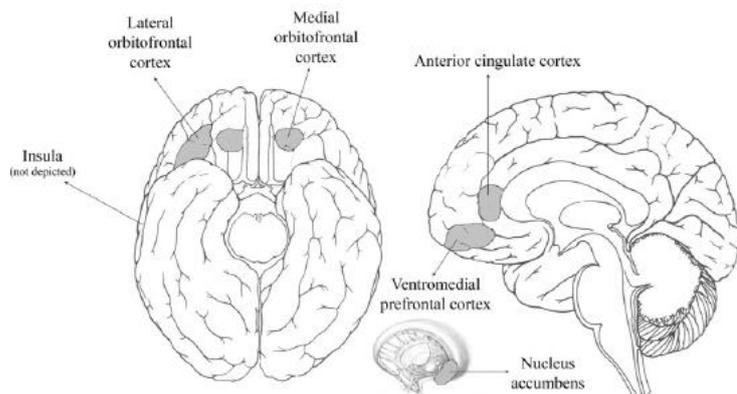


Figure 24 | Régions cérébrales associées à la récompense, aux affects et aux émotions lors d'une expérience esthétique (Nadal, 2013)

L'implication du cortex orbitofrontal et les neurones striataux lors de l'expérience esthétique est caractéristique de l'évaluation par la récompense, quel que soit le type de stimulus visuel (Figure 24 ; Brown, Gao, Tisdelle, Eickhoff & Liotti, 2011). Lors de l'observation libre d'œuvres d'art, les activités du cortex orbitofrontal (OFC), du cortex préfrontal ventromédian et du cortex cingulaire antérieur (circuit de la récompense) sont augmentées pour les œuvres d'art qui ont été jugées belles par rapport aux œuvres d'art jugées moins belles (Ishizu & Zeki, 2011 ; Ishizu & Zeki, 2013 ; Kawabata & Zeki, 2004). Ces résultats sont retrouvés dans le cadre de la photographie (Kirk, 2008 ; Kirk, Skov, Christensen & Nygaard, 2009 ; Kirk, Skov, Hulme, Christensen & Zeki, 2009) ou lors de l'appréciation esthétique de fragments musicaux (Ishizu

& Zeki, 2011). L'augmentation de l'activité de ces deux régions a été associée à l'engagement dans des processus cognitifs d'évaluation auto-référencée (Nadal, 2013 ; Northoff & Bermpohl, 2004 ; Zysset, Huber, Ferstl & von Cramon, 2002) et aux appréciations positives (Cupchik, Vartanian, Crawley & Mikulis, 2009 ; Kawabata & Zeki, 2004 ; Vartanian & Goel, 2004). *A contrario*, plusieurs études ont retrouvé une augmentation de l'activité cérébrale de l'OFC latéral droit pour les images jugées non belles par rapport aux images jugées belles dès 300-400 ms après la présentation du stimulus (Munar *et al.*, 2012 ; Cela-Conde *et al.*, 2013). L'OFC latéral droit serait ainsi lié à la formation d'un jugement rapide des stimuli visuels esthétiquement non plaisants (Cela-Conde *et al.*, 2013).

Aussi, l'insula antérieur droit est impliqué de manière consistante dans le jugement esthétique, une région fortement associée à la perception viscérale et à l'expérience des émotions (Barrett & Wager, 2006 ; Brown *et al.*, 2011 ; Kühn & Gallinat, 2012). Le noyau accumbens, une composante sous-corticale du circuit de la récompense, est engagé lors de l'observation libre d'œuvres d'art (Cupchik *et al.*, 2007 ; Ishizu & Zeki, 2011 ; Kirk *et al.*, 2009). Les régions cérébrales sous-corticales sont impliquées dans de nombreuses situations et s'avèrent cruciales pour des opérations complexes comme l'apprentissage, l'anticipation de la récompense et les émotions (Nadal, 2013).

La triade esthétique distingue le sentiment d'apprécier (*liking*) qui a un impact hédonique, du sentiment de vouloir (*wanting*) qui se caractérise par une motivation à la récompense (Berridge, Robinson & Aldridge, 2009 ; Chatterjee, 2003 ; Chatterjee & Vartanian, 2016). Ces deux types de composante psychologique de la récompense n'impliqueraient pas tout-à-fait les mêmes régions cérébrales. Le *liking* se définit comme l'expérience consciente du plaisir et serait le sentiment lié au plaisir esthétique contrairement au *wanting* (Berridge *et al.*, 2009). La récompense, sous la forme d'une émotion positive, pourrait influencer le comportement même en l'absence d'une conscience de la récompense à venir. Elle serait générée par les récepteurs opioïdes présents dans les régions parahippocampiques, et ceux des régions cérébrales visuelles (figure 23 ; Biederman & Vessel, 2006).

2.4.3. Système « *signification-connaissance* »

Enfin, notre interaction avec les œuvres d'art est fortement affectée par nos connaissances concernant les stratégies de composition, les conventions stylistiques et les pratiques artistiques, même chez les novices en art (Seeley, 2013).

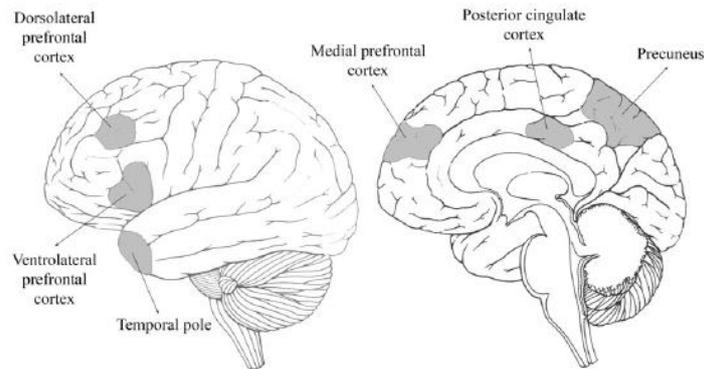


Figure 25 | Régions cérébrales associées au jugement évaluatif, à l'attention et à la mémoire lors de l'expérience esthétique (Nadal, 2013).

Différentes régions cérébrales sont impliquées dans la recollection des informations et la recherche de signification lors de l'expérience esthétique (figure 25). L'activité du cortex dorsolatéral préfrontal est augmentée lors de tâche de jugement esthétique explicite ou lorsque les participants doivent approcher des stimuli qu'ils jugent esthétiques (Cela-Conde *et al.*, 2004 ; Cupchik, Vartanian, Crawley & Mikulis, 2009). L'étude de Cupchik et ses collègues (2009) a mis en évidence des activations cérébrales différentes en fonction du type de processus cognitifs en jeu. Alors que les œuvres d'art qui facilitent l'exploration visuo-spatiale activent plus fortement le lobe pariétal droit, l'orientation dirigée de l'attention vers la recherche des propriétés esthétiques de l'œuvre d'art activent plus fortement le cortex préfrontal gauche par rapport à une orientation de l'attention vers la recherche d'autres types d'information (Cupchik *et al.*, 2009). Le cortex antérieur médian préfrontal est quant à lui engagé lors de l'évaluation et la manipulation de l'information générée (Cela-Conde *et al.*, 2011 ; Jacobsen & Höfel, 2003 ; Kirk, 2008). Enfin, le lobe temporal est lié à la récupération de l'information en mémoire pour créer un contexte sémantiquement et émotionnellement riche (Kirk, 2008).

Biederman et Vessel (2006) supposent que le plaisir des expériences esthétiques est relié à une "faim innée pour l'information" ("*an innate hunger for information*") et désignent les êtres humains comme des "*infovores*", c'est-à-dire à la recherche d'informations. Même les

plus simples stimuli pourraient créer des procédures sophistiquées de recherche visuelle, d'élaboration cognitive et d'association avec les expériences passées (Biederman & Vessel, 2006). Ce mécanisme est entendu comme la maximisation de la recherche de connaissances y compris lorsqu'il n'y a pas de nécessité immédiate. Ces connaissances peuvent bien entendu avoir une valeur pratique *a posteriori*. Ces comportements adaptatifs de recherche de l'information pourraient ainsi expliquer les associations du système de connaissance-signification avec les systèmes sensori-moteurs et émotion-évaluation dans le cadre des expériences esthétiques (Biederman & Vessel, 2006).

De nombreuses aires cérébrales sont impliquées lors de l'expérience esthétique, révélant la complexité de cette expérience. Les modèles neuroesthétiques identifient différents pôles cognitifs impliqués lors de l'expérience esthétique qui travaillent de manière parallèle. Le modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique (Leder *et al.*, 2004) considère plutôt les traitements cognitifs de manière séquentielle avec des boucles de rétroaction. Comme le modèle PIA, le modèle socio-cognitif de Leder *et al.* (2004) considère que les traitements perceptifs et de mémoire implicite se produisent de manière rapide et automatique, tandis que les traitements cognitifs de plus haut niveau liés à la mémoire explicite (classification, recherche de signification personnelle), la compréhension ou l'évaluation, ne sont pas systématiques et pourraient modifier les appréciations esthétiques des premiers traitements cognitifs.

Par conséquent, il apparaît que l'expérience esthétique visuelle engendre des activations plus fortes de différentes aires cérébrales impliquées dans le traitement visuel, mnésique et émotionnel. Ces plus fortes activations indiquent une facilité de traitement des objets et une intensité de l'expérience plus importante pour les objets esthétiques par rapport aux objets non-esthétiques. Elles sont initialement liées aux propriétés visuelles des objets. Le fonctionnement attentionnel s'avère de fait particulièrement important lors des préférences visuelles, un aspect plus développé dans les modèles de saillance visuelle. Les modèles de saillance visuelle sont particulièrement pertinents sur la relation entre les processus visuo-attentionnels et la beauté puisque ces derniers ont pour objet les facteurs qui vont favoriser la capture attentionnelle automatique.

2.5. Modèles de la saillance visuelle

La saillance visuelle réfère aux processus cognitifs de bas niveau qui rendent certaines régions d'une image plus visibles (Borji, Sihite & Itti, 2012). Les modèles de saillance visuelle s'intéressent aux variations locales de certaines propriétés telles que la couleur, la luminance et l'orientation (Fuchs, Ansorge, Redies & Leder, 2011). L'hypothèse de la capture attentionnelle par la saillance (*saliency-capture hypothesis*) suppose que la saillance capture l'attention de manière exogène, c'est-à-dire dirigée par le stimulus, sans intervention volontaire de l'observateur (Marat, 2010 ; Theeuwes, 1992 ; 2010). Les propriétés qui renforcent le contraste local comme les différences de couleur ou de luminance, capturent rapidement l'attention visuelle quelles que soient les intentions ou les buts des participants et ce, de manière similaire chez différents observateurs (Fuchs *et al.*, 2012 ; Theeuwes, 1992 ; 2010). Les modèles computationnels de saillance visuelle visent la prédiction du comportement viso-attentionnel et s'inspirent de l'architecture du système visuel primaire réel (Itti & Koch, 2000 ; Itti, Koch & Niebur, 1998). Les caractéristiques des images sont combinées pour produire une carte de saillance topographique unique. La saillance visuelle définit ainsi une théorie de l'attention visuelle dirigée par le stimulus qui expliquerait en partie les préférences visuelles.

Le *bottom-up saliency model* ou modèle de l'attention visuelle fondée sur la saillance de Itti et Koch (2000 ; Itti, Koch, & Niebur, 1998) est largement le plus utilisé (Röhrbein, Goddard, Schneider, James & Guo, 2015). Ce premier modèle de saillance visuelle, biologiquement plausible, intègre trois catégories de variables : l'intensité locale de luminance, la couleur et l'orientation. La figure 26 met en évidence que la focalisation de l'attention visuelle requiert trois étapes

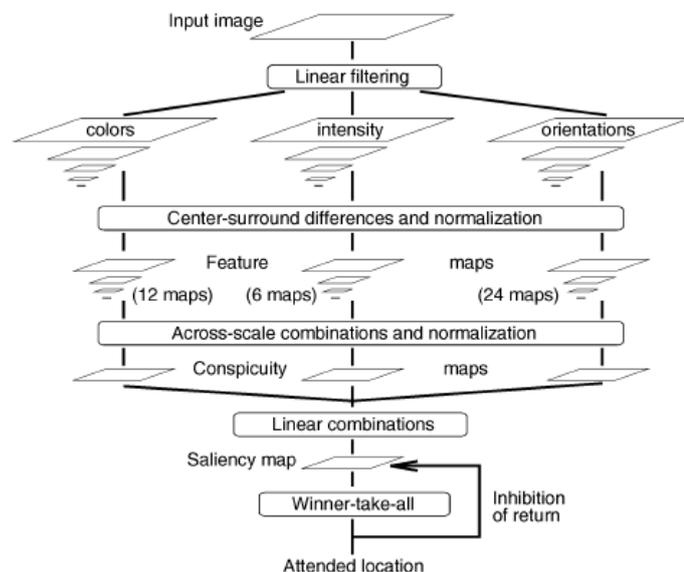


Figure 26 | Modèle de saillance fondée sur l'attention visuelle lors de l'analyse rapide d'une scène (Itti, Koch & Niebur, 1998)

successives. D'abord, les caractéristiques visuelles sont extraites en parallèle et regroupées en indices pour chaque catégorie et sont enfin normalisées afin d'obtenir des cartes d'attributs (*feature maps*). Ces cartes d'attributs décomposent le stimulus de manière similaire au cortex

visuel primaire (Marat, 2010). Elles sont par la suite combinées après une nouvelle normalisation à partir de filtres d'échelle pour donner trois cartes de conspécuité (*conspicuity maps*) correspondant aux trois catégories de variables. Cette seconde normalisation présente l'avantage de favoriser les cartes avec peu de pics d'amplitude élevée (peu de zones saillantes) et de pénaliser les cartes avec de nombreux pics de niveau proche (uniformité de la saillance). Les cartes de conspécuité mettent en évidence les régions qui diffèrent de leur voisinage pour chacun des trois attributs grâce à un mécanisme d'opposition centre-pourtour. Pour finir, ces trois cartes de conspécuité sont combinées linéairement en une unique carte de saillance visuelle. Les systèmes de *winner-take-all (WOA)* et *inhibition-to-return* produisent ensuite une séquence de focus attentionnel, c'est-à-dire des fixations prédites lors de l'observation d'une scène visuelle, en partant des zones les plus saillantes au moins saillantes (Itti & Koch, 2000 ; Itti, Koch & Niebur, 1998 ; Marat, 2010).

Depuis, des dizaines de modèles computationnels de saillance visuelle ont été développées. Ces modèles computationnels peuvent être fondés sur l'espace ou sur l'objet. Dans les modèles fondés sur l'espace, toute opération arrive au niveau de l'image. Le but est de créer une carte de saillance qui pourrait prédire la localisation qui aura la plus grande probabilité de diriger l'attention humaine. Pour les modèles fondés sur l'objet, la détection de l'objet prédit la région saillante. Ces modèles sont supportés par des résultats indiquant que l'objet prédit les fixations mieux que les traitements cognitifs précoces (Borji, Sihite, & Itti, 2012).

Borji, Sihite et Itti (2012) ont réalisé une comparaison de 35 modèles de saillance visuelle afin d'aider les chercheurs à choisir le modèle selon l'application souhaitée et le langage de programmation employé (Figure 27). La comparaison des modèles de saillance visuelle a été réalisée à l'aide de trois indices : le coefficient de corrélation linéaire (CC) entre une carte de saillance témoin (gaussienne) et la carte de saillance à estimer, le Normalized Scanpath Saliency (NSS) et l'aire sous la courbe (*area under curve*; AUC) où 1 est une prédiction parfaite

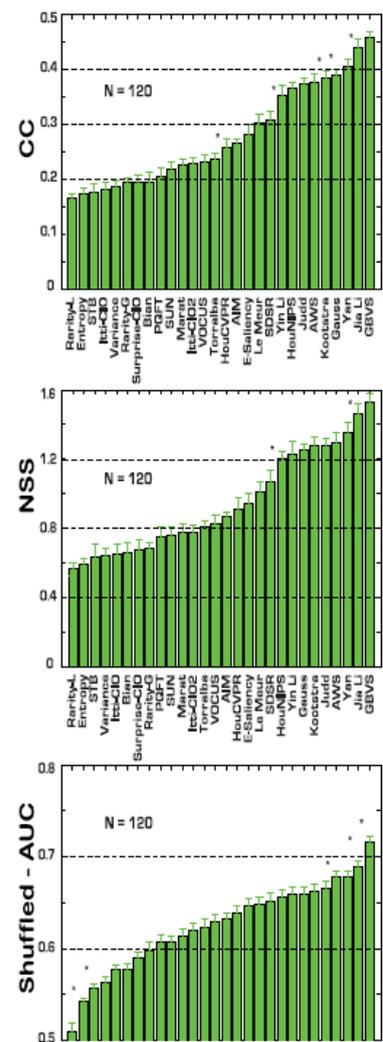


Figure 27 | Classement des modèles de saillance visuelle sur l'ensemble d'images de Bruce et Tsotsos (2005) d'après les trois scores évalués : le CC, le NSS et le AUC. Les étoiles indiquent la significativité statistique sur le t-test (CI 95%, $p < .05$) entre les modèles.

et 0.5 le niveau de chance. Parmi les mieux classés, le modèle *Graph-Based Visual Saliency* (GBVS) de Harel, Koch et Perona (2007) obtient les meilleurs scores de prédiction sur les indicateurs CC et NSS et se trouve en position médiane pour l'indicateur AUC. Ce modèle intègre le biais central observé dans de multiples études sur l'observation libre de scènes visuelles : la valeur de saillance du centre d'une image plate est supérieure à celle des côtés, indépendamment des autres propriétés de la saillance visuelle. Ce biais central permet une meilleure prédiction des fixations et explique 20% des performances du modèle. Il inclut également une meilleure détection des bordures des objets -qui ne reposent pas uniquement sur des différences de contraste, de sorte que les visages sont mieux identifiés (Harel *et al.*, 2007).

Saillance visuelle et exploration visuelle des œuvres d'art

– Avant la création des modèles computationnels, les premières études sur la saillance visuelle se sont intéressées aux comportements oculaires lors de l'exploration visuelle de peintures (Buswell, 1935 ; Yarbus, 1967). Buswell (1935) formait des figures de densité représentant les fixations des participants et mit en évidence que toutes les localisations et les objets n'étaient pas regardés mais que des centres d'intérêt se formaient, qui concentraient la plupart des fixations (Figure 28). Il mit également en évidence de larges différences inter-individuelles de localisation des fixations et observa que ces différences étaient plus ou moins importantes selon les peintures (Figure 28 ; Buswell, 1935). Le temps de présentation est le facteur le plus déterminant

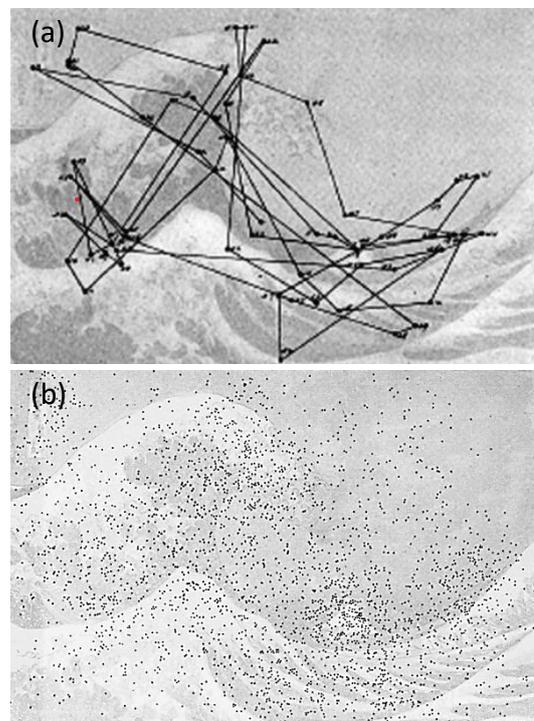


Figure 28 | (a) Enregistrement des mouvements oculaires d'un participant en train de regarder "The Wave" (Hokusai, 1832). Les cercles noirs représentent une fixation réalisée par l'observateur. Les lignes indiquent les saccades qui changent l'oeil d'une fixation à la suivante. (b) Densité de fixations des 42 participants. Issus des études de Buswell (1935).

dans la similarité des lieux de fixations. Les régions de l'image fixées sont plus consistantes entre les observateurs pour les premières fixations que pour les dernières (Buswell, 1935). Il remarque par ailleurs que les durées de fixation augmentent au cours de la présentation de l'image. De son côté, Yarbus (1967) mit en évidence l'effet de la tâche sur le comportement visuel. Il observe des différences de comportements visuels selon que l'observateur regarde librement les peintures ou qu'une consigne lui est confiée, indiquant un effet des processus cognitifs de haut niveau sur les comportements visuels. De fait, selon que les participants

doivent observer un stimulus de manière esthétique ou sémantique, les comportements visuels diffèrent, le groupe « esthétique » explorant les stimuli de manière plus lente (des durées de fixations plus longues) que le groupe « sémantique » (Molnar, 1981). Par ailleurs, il observe un biais central du focus attentionnel, les fixations sont concentrées au centre des stimuli (Yarbus, 1967).

Plus récemment, l'étude de Fuchs et ses collègues (2011) s'est intéressée à la manière dont les modèles computationnels de saillance visuelle permettaient de prédire l'attention visuelle lors de l'observation libre d'œuvres d'art. Des participants naïfs en art ont regardé librement des peintures représentatives et abstraites ainsi que des photographies. Les participants fixaient plus souvent les régions saillantes par rapport aux régions moins saillantes (Fuchs *et al.*, 2011). Quelle que soit la catégorie du stimulus, la carte de saillance visuelle unique était prédicteur de l'orientation visuelle des participants. La carte d'attribut "couleur" contribue à l'orientation visuelle pour les œuvres d'art abstraites et les paysages de Cézanne mais pas pour les œuvres d'art représentatives et les photographies. L'analyse temporelle des comportements visuels a également mis en évidence que l'effet de la saillance est de courte durée et se produit au cours des cinq premières fixations (Fuchs *et al.*, 2011).

Par ailleurs, Walker *et al.* (2017) ont étudié les fixations de participants enfants et adultes en relation avec les cartes de saillances visuelles afin d'évaluer l'influence conjointe des processus cognitifs de bas et de haut niveau lors de l'expérience esthétique. Lors d'une première session d'observation libre, les enfants fixaient en moyenne plus longtemps les zones saillantes des peintures que les adultes, laissant supposer une influence plus grande des processus cognitifs de bas niveau chez les enfants. En outre, lors d'une seconde session où les participants adultes et enfants recevaient des informations sur les œuvres d'art, les enfants regardaient moins longtemps les régions saillantes des peintures lors de la seconde session que lors de la première session ; la différence des temps de fixation entre les deux sessions était moindre pour les adultes. Ensembles, ces résultats suggèrent que les processus cognitifs de haut niveau influencent plus fortement l'expérience visuelle envers des œuvres d'art des adultes par rapport aux enfants et que l'acquisition de connaissances spécifiques à l'art amènent à considérer plus longtemps des zones qui ne sont pas forcément saillantes.

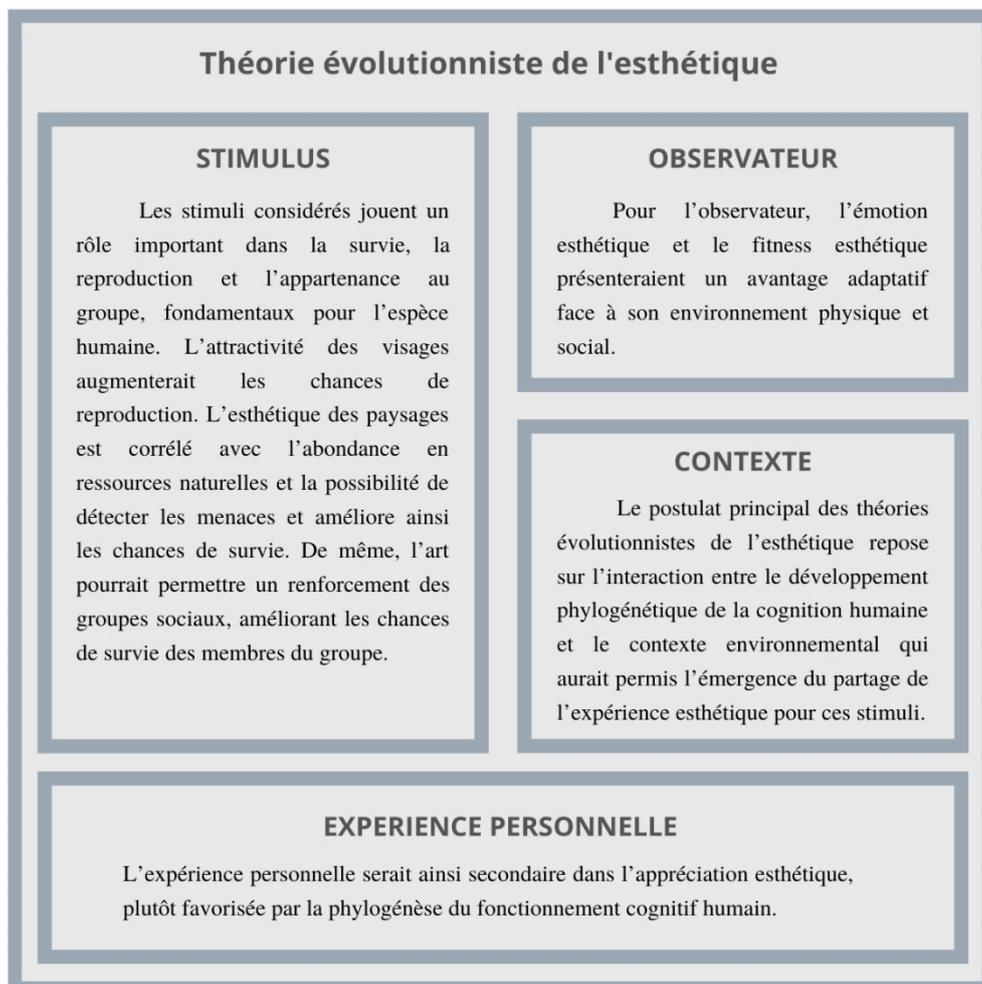
Concernant la création par l'artiste des œuvres d'art, Aleem et ses collègues (2017) ont formulé l'hypothèse que les peintres opéraient des choix parmi les différentes propriétés de la

saillance visuelle plutôt que de toutes les utiliser. Leurs résultats montrent que les peintures ont en moyenne des scores de saillance visuelle plus élevés que les photographies, et que, selon le mouvement artistique des peintres, les propriétés saillantes les plus mises en évidence diffèrent. De manière plus ou moins volontaire, les artistes renforcent l'esthétique de leurs œuvres d'art par l'accentuation de certaines propriétés saillantes pour le système visuel humain, selon le style artistique mais aussi peut-être, selon la thématique et/ou la valence émotionnelle de l'œuvre, un phénomène encore peu exploré (Aleem *et al.*, 2017).

Ainsi, les modèles de saillance visuelle sont intéressants pour prédire les comportements visuels et déterminer l'influence des traitements cognitifs de bas niveau sur les préférences esthétiques. Les relations entre les lieux et temps de fixation et l'appréciation esthétique restent néanmoins à approfondir. La saillance visuelle pourrait être liée à la préférence esthétique dans la mesure où les propriétés saillantes amélioreraient l'analyse visuelle et la compréhension de l'objet, comme proposé dans le modèle PIA (Graf & Landwehr, 2015). L'étude de Walker et ses collègues (2017) suggère toutefois que les adultes mettent en place des processus cognitifs de plus haut niveau et dirigent moins leur regard vers les zones saillantes que les enfants, il pourrait donc y avoir dissociation entre saillance visuelle et jugement esthétique.

2.6. Synthèse des différentes approches théoriques de l'expérience esthétique

Les différentes approches théoriques de l'expérience esthétique ne donnent pas la même importance aux rôles des propriétés du stimulus, de l'observateur et du contexte sur l'appréciation esthétique. L'appréciation esthétique apparaît une combinaison entre les informations issues des processus cognitifs de bas niveau (*bottom-up*) et de haut niveau (*top-down*), eux-mêmes influencés par le contexte (Nayak & Karmakar, 2019 ; Massaro *et al.*, 2012). Le débat actuel, très controversé, porte sur le poids des processus cognitifs liés aux traitements visuels des stimuli d'un côté et de l'observateur, ses connaissances et le contexte d'observation d'un autre côté, au cours de l'expérience esthétique (Massaro *et al.*, 2012). Même si ces théories sont plus complémentaires qu'opposées, ces cinq classes de modèle de l'esthétique ne considèrent donc pas que l'effet de l'expérience personnelle ait le même poids lors de l'appréciation esthétique. Nous résumons ici le rôle des propriétés des stimuli, de l'observateur et du contexte pour conclure sur l'influence supposée de l'expérience personnelle dans l'appréciation esthétique des différentes approches exposées.



Théorie Plaisir-Intérêt de l'Appréciation esthétique (Graf & Landwerh, 2015)

STIMULUS

Les propriétés visuelles vont initialement amener des affects positifs ou négatifs selon leur degré de fluence perceptive. Dans le cas d'un manque de fluence perceptive du stimulus, la fluence conceptuelle sera primordiale pour une appréciation positive du stimulus.

CONTEXTE

Le contexte n'est pas décrit dans le modèle PIA, toutefois les études expérimentales ont tenté de manipuler l'effet du contexte sur la mise en place des processus cognitifs contrôlés et donc sur le degré d'intérêt esthétique. Le temps de présentation (Belke et al., 2015), la répétition d'exposition (Belke et al., 2015) ou la présence d'explication sur l'œuvre d'art (Belke et al., 2010 ; Winkielman et al., 2003) sont des facteurs contextuels importants dans l'émergence de l'intérêt esthétique.

OBSERVATEUR

L'observateur joue un rôle actif dans l'appréciation esthétique notamment dans l'émergence de l'intérêt esthétique. Il peut décider de mettre en place des processus cognitifs de plus haut niveau afin d'évaluer l'intérêt esthétique du stimulus. La fluence conceptuelle du stimulus déterminera si ce dernier est jugé intéressant, confus ou ennuyeux.

Deux types d'appréciation esthétique sont à distinguer selon les propriétés du stimulus, l'engagement de l'observateur et le contexte d'exposition : l'émotion esthétique et l'intérêt esthétique. Ces concepts permettent de préciser les rôles du stimulus et de l'observateur dans l'émergence des deux types de beauté proposés par Kant (libre et dépendante).

EXPERIENCE PERSONNELLE

Selon le type de stimulus et le type d'appréciation esthétique, l'expérience personnelle jouerait un rôle plus ou moins important. Dans le cas de stimulus fluent, l'émergence de l'émotion esthétique serait relativement peu influencée par l'expérience personnelle. Pour les stimuli non-fluents et avec la mise en place de processus cognitif contrôlé, l'expérience personnelle jouerait un rôle prépondérant dans l'évaluation de l'intérêt esthétique.

Modèle socio-cognitive de l'expérience esthétique (Leder et al., 2004)

STIMULUS

Différentes propriétés du stimulus amènent un jugement esthétique plus favorable comme les formes incurvées, la symétrie ou encore un degré moyen de complexité.

OBSERVATEUR

Les connaissances préalables de l'observateur et les processus cognitifs de haut niveau jouent un rôle prépondérant dans l'appréciation esthétique puisque le niveau d'expertise sur le stimulus va amener des jugements et des émotions esthétiques plus complexes et va venir modifier le type de contenu analysé (spécifique au stimulus pour les experts ou lié à soi pour les non-initiés). L'adoption d'une attitude esthétique par l'observateur, c'est-à-dire l'intérêt porté pour les situations de jugement esthétique et la mise en place de comportement d'évaluation esthétique vont également influencer la qualité du jugement esthétique et l'intensité de l'émotion esthétique de l'observateur.

CONTEXTE

Le contexte est, quant à lui, étudié à plusieurs niveaux et différents contextes sont identifiés : contexte culturel, contexte émotionnel initial et contexte de l'exposition. Le contexte joue un rôle avant et pendant de l'exposition puisque le contexte émotionnel est dynamique et que les expériences personnelles précédentes vont déterminer le degré de familiarité et de prototypicalité du stimulus pour l'observateur.

EXPERIENCE PERSONNELLE

Ce modèle offre une vision plus globale de l'appréciation esthétique et met en lumière l'aspect systémique de cette expérience entre les propriétés du stimulus, l'observateur et le contexte passé et immédiat. L'expérience personnelle passée et immédiate jouerait un rôle primordial dans l'appréciation esthétique.

Théories neuroesthétiques

STIMULUS

Les stimuli esthétiques présentent la particularité d'activer plus fortement les réseaux neuronaux impliqués dans les traitements visuels du système sensori-moteur. Les études suggèrent effectivement une corrélation entre l'augmentation de l'activité des aires visuelles primaires et secondaires et le jugement de préférence esthétique.

CONTEXTE

Les modèles neuroesthétiques se focalisent peu sur le rôle du contexte mais plusieurs études s'intéressent à l'observation libre et à l'attitude esthétique qui correspond au sentiment d'appréciation (liking) sans recherche de récompense (Chatterjee & Vartanian, 2016 ; Cupcik et al., 2007). L'augmentation de l'activité des aires visuelles et du circuit de la récompense est considérée comme particulièrement importante dans l'appréciation esthétique.

OBSERVATEUR

Les systèmes « émotion-évaluation » et « connaissance-signification » sont impliqués initiés par l'observateur lors de l'expérience esthétique, et interagissent avec le système « sensori-moteur ». Les processus cognitifs du système "connaissance, signification" - compréhension, association d'idées, mémoire, interprétation- et la mise à jour continue de l'état émotionnel vont influencer la qualité du jugement esthétique et l'intensité de l'émotion esthétique.

EXPERIENCE PERSONNELLE

L'expérience personnelle est entendue dans l'interaction des trois systèmes mais son importance au cours de l'expérience esthétique reste peu étudiée dans les modèles neuroesthétiques actuels.



Pour conclure, les modèles évolutionnistes, neuroesthétiques et de saillance visuelle ne se concentrent pas sur l'effet de l'expérience personnelle alors que cette notion apparaît fondamentale dans le modèle socio-cognitif de l'expérience esthétique. Le modèle PIA, quant à lui, estime que l'importance de l'influence de l'expérience personnelle dépendra du type de stimuli et de l'engagement de l'observateur dans la mise en place de processus cognitifs contrôlés.

Dans la suite de cette partie théorique, nous présenterons le développement du système visuel, de l'attention visuelle et de l'esthétique au cours des premières années de vie. L'approche développementale nous permettra d'étudier d'une autre manière l'importance de l'expérience personnelle dans l'émergence de l'appréciation esthétique.



PARTIE II | Développement de la vision et de l'esthétique



Lorsque nous regardons le monde autour de nous, y compris les œuvres d'art, nos yeux alternent les fixations et les saccades, voire la poursuite lisse dans certains cas. Ces facultés se développent au cours des premières années de vie pour devenir rapidement efficaces. Du fait du très grand nombre d'informations présentes dans notre monde visuel, le développement des mécanismes attentionnels permet une hiérarchisation des lieux où notre regard va se porter. C'est pourquoi les fixations ne sont pas distribuées de manière aléatoire sur la scène visuelle mais plutôt concentrées sur des régions clés (Reinagel & Zador, 1999 ; Yarbus, 1967) ou saillantes (Itti & Koch, 2000 ; Itti, Koch & Niebur, 1998). Dans le domaine des arts, les artistes ont développé des techniques qui mettent en évidence les informations pertinentes à la compréhension de l'œuvre et qui vont diriger notre regard (Conway & Livingstone, 2007). Dans cette troisième partie, nous développerons brièvement le développement du système visuel (chapitre 3), en lien avec le développement du système attentionnel (chapitre 4), qui sont à la base des préférences visuelles spontanées chez l'humain. Nous nous intéresserons dans le chapitre 5 au développement de l'esthétique pour différents stimuli au cours des premiers mois de vie des nourrissons.

Chapitre 3 | Développement de la vision

3.1. De la rétine aux voies dorsale et ventrale

Toute information visuelle commence par une stimulation lumineuse de deux types de photorécepteurs, les cônes et les bâtonnets, présents dans la partie profonde de la rétine (Kauffman, 2015 ; Masland, 2012). Les cônes permettent la vision de la couleur tandis que les bâtonnets, 20 fois plus nombreux, codent les informations achromatiques (du blanc au noir). La répartition de ces deux photorécepteurs n'est pas homogène : les cônes sont principalement présents au niveau de la fovéa, le centre de la rétine, alors que les bâtonnets sont majoritaires en zone périphérique (Camp, Eugène, Gauthier, & Gioanni, 2013 ; Osterberg, 1935). L'information visuelle est ensuite envoyée vers les différentes cellules ganglionnaires pour être ensuite transmise via le nerf optique au système nerveux central (Kauffman, 2015). La grande majorité des fibres du nerf optique est projetée sur les différentes couches du corps genouillé latéral (CGL) tandis qu'une minorité des fibres sera projetée vers le colliculus supérieur notamment impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires. L'information d'un hémichamp visuel est envoyée au CGL controlatérale : les fibres optiques en provenance de chaque œil subissent une décussation au niveau du chiasma optique de sorte que l'information de l'hémichamp visuel gauche, issue de la rétine nasale de l'œil droit et de la rétine temporale de l'œil gauche, est envoyée vers le CGL droit, puis le cortex visuel primaire droit. A l'inverse, l'information de l'hémichamp visuel droit, issue de la rétine nasale de l'œil gauche et de la rétine temporale de l'œil droit, est envoyée vers le CGL gauche, puis le cortex visuel primaire gauche.

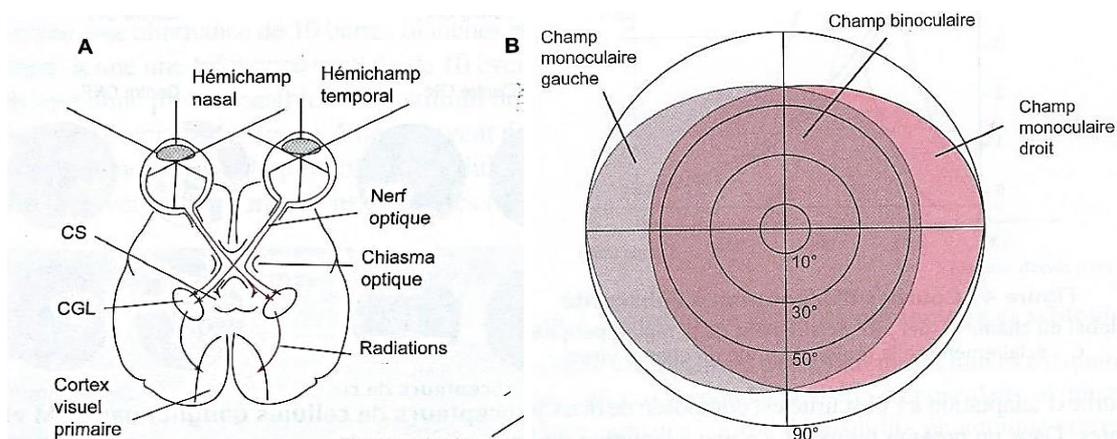


Figure 29 | Voies visuelles et champ visuel humain. A) Faisceaux projetant vers le Corps Genouillé Latéral (CGL) et vers le Colliculus Supérieur (CS), B) Champ visuel humain (Richard et al., 2013).

Le cortex visuel primaire (V1, aire 17 de Brodmann) est aussi nommé cortex strié et se situe dans la partie postérieure du cortex occipital. L'information visuelle en provenance de la fovéa, la partie centrale du champ visuel, va y être magnifiée, le champ visuel de la fovéa couvre moins de 2% du champ visuel mais occupe près de 25% de la surface du cortex visuel primaire (Figure 30 ; Kauffman, 2015). Le champ visuel correspond à l'espace perceptible par les deux yeux, sans que le sujet ne bouge ni la tête, ni les yeux. Chez l'humain, le champ visuel s'étend d'environ 120° sur l'axe horizontal. La totalité du champ visuel correspond à la somme des deux champs visuels monoculaires. Le recouvrement entre les champs visuels de l'œil droit et de l'œil gauche forme le champ binoculaire approximativement circulaire, d'environ 60° de rayon (Camp, Eugène, Gauthier, & Gioanni, 2013).

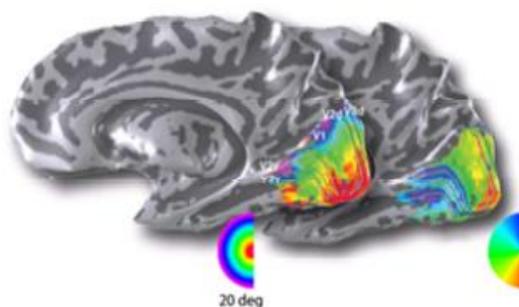


Figure 30 | Magnification de la partie centrale du champ visuel : la fovéa, 2% du champ visuel, va couvrir 25% de la surface du cortex visuel primaire (en rouge).

L'information visuelle va ensuite être transmise à l'aire V2 où une dissociation anatomique va s'opérer entre deux voies : la voie dorsale et ventrale (Figure 31). Les types d'informations visuelles traités par ces deux voies vont différer (de Haan & Cowey, 2011 ; Ungerleider & Haxby, 1994). La voie dorsale, particulièrement rapide, est spécialisée dans le traitement du mouvement et va véhiculer l'information visuelle vers l'aire V5 (MT) puis vers le cortex pariétal (Maunsell & Van Essen, 1983 ; Zeki, 2015). La voie ventrale est spécialisée dans la reconnaissance de la couleur et des formes et projette les informations visuelles vers l'aire V4 puis le cortex inférotemporal (Zeki, 1990 ; 1991).

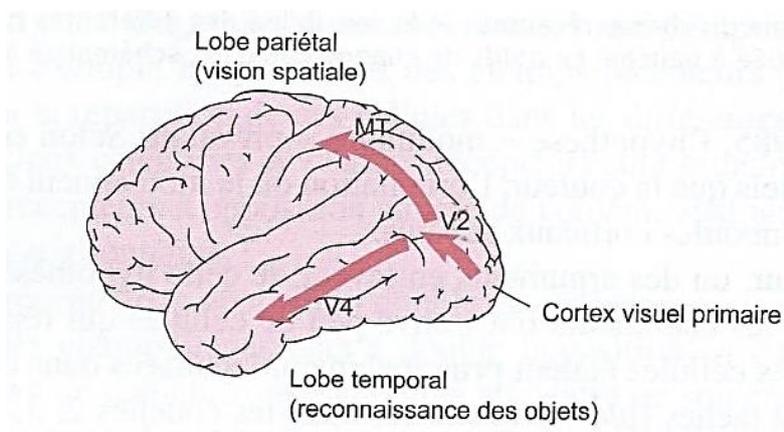


Figure 31 | Projection des informations visuelles vers les aires pariétales et temporales (Richard et al., 2013).

3.2. Développement au cours de la première année de vie

La fonction de la perception visuelle est de fournir au perceveur des informations sur les objets, les événements et les dispositions spatiales dans lesquelles il se trouve. La vision du nouveau-né fut d'abord supposée comme inexistante, puis comme passive et dirigée par les sollicitations extérieures uniquement (Devouche & Provaji, 2019 ; Vital-Durand, 2014). En 1967, on pouvait lire dans le Traité de Psychiatrie que “pendant quelques semaines, le nouveau-né va mener une existence purement végétative”. Or, si le système visuel est encore immature chez le nouveau-né, le fœtus répond déjà à des variations fortes de luminosité sur la paroi abdominale à 36 mois de gestation (Dunn, Reissland & Reid, 2015). Les nouveau-nés sont actifs dans l'exploration visuelle de leur environnement et présentent un réflexe de fixation qui apparaît à la fin de la période fœtale, ce qui traduit une véritable perception consciente (de Meux, 2003).

L'acuité visuelle, c'est-à-dire l'habileté à percevoir une cible dans ses détails, est faible à la naissance et permet seulement de distinguer une barre noire de 1 cm de large lorsque la distance ne dépasse pas 50 cm (Devouche & Provaji, 2019). L'accommodation visuelle qui correspond à la capacité d'effectuer la mise au point sur des objets situés à des distances variables devient mature après 6 mois (Devouche & Provaji, 2019). Ceci s'explique par le fait que la fovéa est la structure la moins développée à la naissance et se différencie progressivement au cours des quatre premiers mois de vie (Bullinger, 2013 ; de Meux, 2003). La myélinisation du nerf optique ne sera complète qu'à partir de 12 mois, âge à laquelle la vision fovéale est proche de celle de l'adulte (de Meux, 2003). Le système saccadique, déjà fonctionnel *in utero*, va subir des modifications importantes et se développer avec l'arrivée de la lumière au niveau de la rétine (Haith, 1980 ; *in* Bullinger, 2013). La lumière, très peu présente *in utero*, est un facteur environnemental qui va bouleverser le développement des mouvements oculaires. Les saccades deviennent plus amples de sorte à pouvoir réaliser des explorations ambiantes de l'espace pour s'arrêter sur les zones contrastées où une exploration de type focal va se mettre en place. Cette manière d'explorer l'espace visuel viserait la maximisation de l'excitation corticale (Bullinger, 2013).

Perception du mouvement - La perception du mouvement est l'acquisition la plus rapide des fonctions visuelles (Wattam-Bell, 1992). Les nouveau-nés ont la capacité de suivre du regard des stimuli en mouvement s'ils se déplacent lentement et s'ils sont bien visibles. La poursuite visuelle est alors saccadée, les yeux réalisent de petits mouvements rapides et elle deviendra

fluide au cours des premiers mois de vie (Devouche & Provaji, 2019). La poursuite lente en réponse à des cibles mouvantes est observée vers 2 mois (Philips, Finocchio, Ong & Fuchs, 1997 ; Rosander & von Hofsten, 2002). L'habileté à discriminer la direction du mouvement émerge également vers 2 mois (*for a review, see* Braddick, Atkinson, & Wattam-Bell, 2003). L'information du mouvement local est fournie par des changements spatio-temporels de l'intensité de lumière et peut être signalée par quelques neurones avec un faible champ réceptif dans l'aire V1. Les nouveau-nés humains possèdent des mécanismes de traitement local du mouvement, mis en évidence par les mouvements oculaires du nystagmus optocinétique (Hainline, 1984). Le traitement global du mouvement est une seconde étape de traitement qui intègre les signaux de direction locale en un signal cohérent de mouvement global. Cette étape survient dans les niveaux supérieurs du cortex extra strié, notamment l'aire temporale médiane V5 (cellules MT), avec un plus grand champ réceptif qui peut intégrer les entrées de plusieurs détecteurs de mouvement local (Blumenthal, Bosworth & Dobkins, 2013 ; Snowden, Treue & Andersen, 1992). Les mécanismes qui signalent la direction globale d'un pattern sont opérationnels vers 2 mois (Blumenthal *et al.*, 2013 ; Dobkins, Fine, Hsueh & Vitten, 2004) ce qui rend possible la réalisation de mouvements oculaires dans la direction appropriée (Mason, Braddick, & Wattam-Bell, 2003).

De fait, plusieurs aires traitent les informations du mouvement de manière indépendante et sont précocement matures, les 2 mois apparaissant une étape importante de la maturation de la vision du mouvement. Réalisant ces études chez les macaques rhésus, Zeki (1992) retrouve que les cellules de l'aire pré-striate (VS) répondent au mouvement, la plupart étant spécialisée pour une direction et aucune ne répondant selon la couleur du stimulus en mouvement. Par contraste, la majorité des cellules d'autres aires de V4 répondent à des longueurs d'onde lumineuse spécifiques et sont spécialisées pour traiter une orientation. Enfin, la plupart des cellules de V3 et V3A sont sélectives sur la forme mais comme les cellules de l'aire VS, elles sont largement indifférentes de la couleur du stimulus (Zeki, 1992). L'aire V5, identifiée en 1969 par Hubel et Wiesel, joue un rôle critique dans la perception visuelle du mouvement (Figure 32 ; *for a review, see* Zeki, 2015). En effet, l'aire

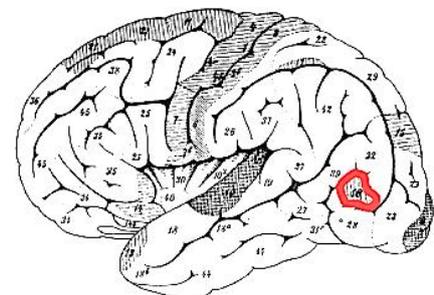
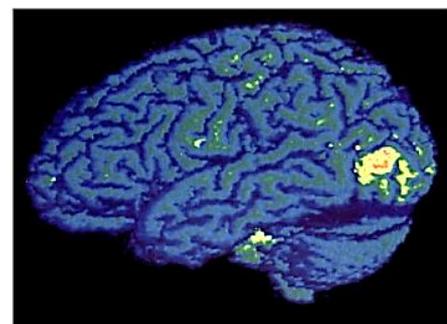


Figure 32 | Position de l'aire V5 révélée dans les expériences en imagerie cérébrale (au-dessus) et la position de Flechsig's Feld 18 de 1905 (en-dessous ; Zeki, 1993)

V5 détecte et signale la présence et la direction du mouvement visuel (Dubner & Zeki, 1971 ; Hock & Nichols, 2013 ; Zeki, 1974). Beaucoup de ces cellules traitent la direction globale du mouvement d'un objet plutôt que les directions locales des éléments qui composent l'objet (Rust, Mante, Simoncelli & Movshon, 2006). De plus, les cellules de V5 ont la capacité de traiter le mouvement sur un plan fronto-parallèle, les propriétés directionnelles, la vitesse et elles signalent la profondeur du mouvement (Zeki, 2015).

Perception des couleurs – La perception des couleurs inclut la perception des nuances comme celles visibles de l'arc-en-ciel (rouge, orange, jaune, vert, bleu et violet) et la perception de la saturation qui va donner des variations comme le rose et le bleu clair (Teller, 1981). Ces variations de nuances perçues et de saturations sont largement corrélées à la composition des longueurs d'ondes de la lumière qui arrive à nos yeux. Dans le champ de la perception visuelle et de la psychophysique, le terme de vision de la couleur correspond à la composition en longueur d'onde des stimuli comme variable indépendante, notamment indépendante du degré de luminance (Teller, 1981).

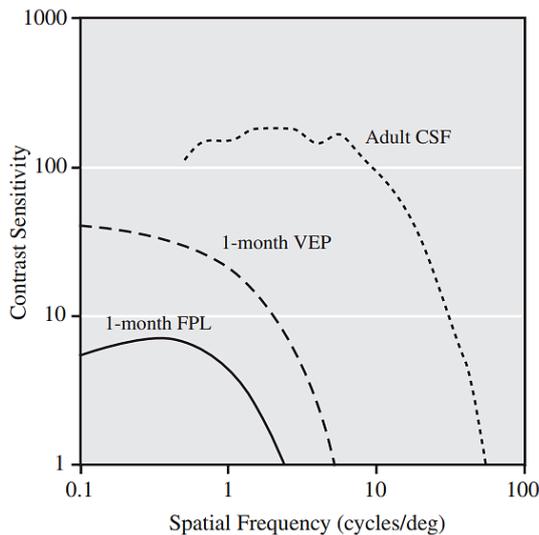
Au niveau du développement, il est important de connaître le développement de la *sensibilité spectrale*, c'est-à-dire la capacité de détection de la lumière en fonction de sa longueur d'onde et la *discriminabilité entre deux lumières* de longueur d'onde différente. Bornstein (1975) a mis en évidence que les nourrissons de 4 mois regardent différenciellement huit ondes lumineuses spectrales monochromatiques de luminance égale, indiquant leur sensibilité spectrale et la capacité à discriminer les couleurs entre elles. Ils présentent le même pattern d'attention visuelle quel que soit le groupe, chaque groupe voyant à un niveau de luminance particulier un sous-ensemble de toutes les paires possibles des huit couleurs. Ces résultats sont retrouvés quelle que soit la méthode expérimentale employée (comparaison par paire ou présentation seule d'un stimulus ; Bornstein, 1975). Aussi, les nourrissons de 4 mois catégorisent les longueurs d'onde par similarité perceptive et distinguent plus de nuances du spectre que les adultes (Bornstein, Kessen & Weiskopf, 1976). Ceci a été mis en évidence lors d'une tâche d'habituation dans laquelle les nourrissons devaient regarder des stimuli spectraux correspondant aux catégories basiques de nuances de couleur (bleu, vert, jaune et rouge). Ces stimuli étaient présentés de manière répétée jusqu'à ce que leur attention visuelle diminue. Cette phase d'habituation était suivie dans la phase test d'une série de stimuli de longueurs d'ondes identiques ou différentes du premier stimulus. Dans une seconde étude, les nourrissons voyaient une altération de deux longueurs d'onde d'une même catégorie de nuance ou de catégories de

nuance différentes. Les temps d'habituation étaient plus lents lorsque les catégories de nuance étaient différentes suggérant un haut degré d'organisation de la couleur (Bornstein *et al.*, 1976).

Avant 4 mois, les nourrissons, sont capables de discriminer entre des différentes combinaisons de nuances de couleur (rouge et jaune-vert, rouge et bleu-vert, jaune-vert et vert, jaune-vert et bleu-vert, vert et bleu-vert ; Chase, 1937). Le contrôle expérimental montre que ces discriminations ne sont pas réalisées sur la base de différence de luminosité ou sur les aspects mécaniques de la situation expérimentale de cette étude (Chase, 1937). Toutefois, la vision de la couleur n'est pas mature. Si la majorité des nouveau-nés et nourrissons âgés de 1 mois semblent discriminer différentes nuances de rouge d'un fond achromatique, moins de la moitié discriminent le fond achromatique des nuances de bleu, de vert et de jaune (Adams, Courage & Mercer, 1994). La discrimination chromatique-achromatique est possible dès la naissance mais dépend du seuil d'excitation qui s'avère très élevé en comparaison à celui des adultes (Adams & Courage, 1998) et elle apparaît véritablement fonctionnelle à 3 mois (Brown, Lindsey, McWeeney & Walters, 1995 ; Mercer, Courage & Adams, 1991).

Perception des contrastes – La capacité à détecter des différences spatiales de contraste correspond à la détection de variations de luminance et s'avère cruciale pour la reconnaissance des objets et leur identification (Kellman & Arterberry, 2007 ; Stephens & Banks, 1987). Le contraste spatial définit les frontières de l'objet et les caractéristiques de surface de ce dernier, elles-mêmes définies par les différences de brillance (contraste de luminance) et les différences de nuances (contraste chromatique). De fait, la capacité à discriminer un contraste d'un autre est une facette importante du traitement visuel et confère au contraste un rôle central dans l'acuité visuelle (Carlson, 1983) et l'accommodation visuelle (Green, Powers & Banks, 1980). Cette capacité est mesurée par la fonction de discrimination de contraste qui représente, pour X variété de conditions, la plus petite différence de contraste requise pour discriminer deux patterns identiques dont seul le degré de contraste diffère (Stephens & Banks, 1987). La procédure du temps de regard préférentiel en choix forcé est la plus utilisée pour estimer les seuils d'incrément de contraste en arrière-plan, souvent exprimé comme l'incrément de contraste divisé par le contraste en arrière-plan, aussi nommé la fraction de Weber. Banks (1980) a montré que l'accommodation de cibles hautement contrastées peut être prédite avec précision chez les nourrissons de 1 à 3 mois si l'on considère que les fractions de Weber ne sont pas encore similaires à celles des adultes. Plusieurs résultats indiquent en effet que les fractions de Weber de nourrissons âgés de 6 à 12 semaines étaient supérieures d'environ une unité logarithmique des valeurs des adultes pour les contrastes de fond, allant de 0.14 à 0.55

(Hartmann & Banks, 1992 ; Stephens & Banks, 1987). De plus, les pentes de la fonction de discrimination des nourrissons sont moins profondes que celles des adultes, indiquant des changements dans les mécanismes neuronaux qui encodent le contraste au cours du développement. La différence de sensibilité au contraste entre les adultes et les nourrissons est



observée dans plusieurs études (Figure 33 ; *for a review, see* Keller & Arterberry, 2007 ; Banks & Salapatek, 1978 ; Norcia, Tyler & Allen, 1986). Les différentes techniques de mesure expérimentale utilisées amènent à des différences de résultats concernant le cours développemental de la sensibilité au contraste. En potentiel évoqué, le pic de sensibilité au contraste s'approchant de celle des adultes apparaît vers 6 mois, tandis que les mesures comportementales rapportent un développement plus lent (Peterzell, Werner & Kaplan, 1995).

Figure 33 | Fonctions de sensibilité au contraste (CSFs) des adultes et des nourrissons de 1 mois. La sensibilité au contraste est ici représentée par la fonction de la fréquence spatiale (le nombre de réseau de cycle par degré d'angle visuel). La plus haute courbe représente le CSF des adultes. La plus basse courbe en trait plein correspond à la moyenne des CSFs des nourrissons de 1 mis, mesurée dans une tâche de préférence visuelle standard. La courbe du milieu est la moyenne des CSFs des nourrissons de 1 mois, mesurée en potentiel évoqué (études de Banks & Salapatek, 1978 et Nocia, Tyler & Allen, 1986).

Ainsi, la sensibilité aux contrastes est plutôt lente, les nourrissons de moins de 5 semaines ne distinguent pas les contrastes inférieurs à 20% et la sensibilité au contraste ne sera complète qu'à l'adolescence (de Meux, 2003).

Par conséquent, si la perception du mouvement est relativement développée à 3 mois, la perception de la couleur et du contraste est plus lente, avec des pics de sensibilité à 4 mois pour les nuances de couleur et à 6 mois pour les contrastes. La perception visuelle s'accompagne par ailleurs de processus visuo-attentionnels qui se développent de manière parallèle. De fait, le développement d'une habileté visuelle va influencer le développement d'une habileté attentionnelle au cours de la première année de vie, et inversement. Si le développement de la perception visuelle est une prémisses à toute étude comportementale chez le nourrisson, le développement de l'attention visuelle est primordial pour comprendre les comportements visuels observés dans les tâches de préférences visuelles ou d'habituation.

Chapitre 4 | Développement de l'attention visuelle

Les capacités de traitement de l'information du cerveau humain sont largement insuffisantes pour analyser l'ensemble des informations contenues dans une scène visuelle (Adler & Orprecio, 2006 ; Xu, Yue, Menchinelli, & Guo, 2017). Des mécanismes de sélection de l'information visuelle ont émergé afin de hiérarchiser les informations à traiter (Anderson, 2013) et ne traiter qu'un nombre restreint de localisation d'une scène ou d'un stimulus visuel selon leur pertinence pour l'action et/ou l'acquisition de connaissances (Xu *et al.*, 2017). L'attention visuelle est ce processus qui permet au système visuel cette sélection des régions dans une scène (Borji, Sihite, & Itti, 2013). L'attention est une habileté plus générale consistant à déployer des ressources cognitives pour optimiser les performances comportementales dirigées vers un but (Atkinson & Braddick, 2012). Pour l'attention visuelle, ces ressources peuvent être perceptives, pour analyser les stimuli les plus pertinents pour la tâche, mais aussi spatiales, en dirigeant des processus cognitifs vers la localisation de la source (Posner & Rothbart, 1998). L'attention visuelle représente ainsi une étape de pré-traitement économique et rapide, cruciale dans le développement des habiletés cognitives des nourrissons (Atkinson & Braddick, 2012 ; Borji *et al.*, 2013).

En effet, les mécanismes attentionnels de sélection s'avèrent importants chez le nourrisson pour acquérir rapidement un grand nombre de connaissances sur le monde au vu de sa faible expérience visuelle (Adler & Orprecio, 2006). Ces mécanismes attentionnels peuvent être de différentes natures. Nous verrons dans la section suivante que l'attention visuelle peut être de trois formes : (1) les facteurs de bas niveau telle que la saillance visuelle (*salient-driven attentional capture*) vont orienter automatiquement le regard vers des zones importantes des scènes visuelles tandis que (2) les facteurs de haut niveau (*goal-driven attentional capture*; Anderson, 2013; Borji *et al.*, 2013) vont permettre à l'individu d'orienter intentionnellement son attention visuelle vers des zones importantes au vu de la tâche qu'il doit réaliser. Plus récemment, Anderson et ses collègues ont proposé que l'attention visuelle pouvait également être dirigée par (3) la récompense (*value-driven attentional capture* ; Anderson, 2013 ; Anderson & Halpern, 2017 ; Anderson, Laurent, & Yantis, 2011) procurée par un objet visuel après association directe ou indirecte entre cet objet et une récompense.

4.1. Trois formes de l'attention visuelle

Attention visuelle dirigée par la saillance (*salient-driven*) – cette forme d'attention visuelle serait non-consciente, automatique (bottom-up) et dépendrait de propriétés physiques telles que les différences de luminance, les formes ou les nuances de couleurs. Cette forme d'attention est au centre des modèles de saillance présentés plus haut dans la section 2.5. Les conséquences de ce mécanisme rapide d'orientation de l'attention incluent des effets d'interférence. Par exemple, la recherche visuelle d'une cible non saillante est ralentie par la présence de distracteurs saillants (couleur, forme) qui dirigent de manière involontaire les mouvements oculaires (Figure 34 ; Theeuwes, 1991 ; 1992 ; 2010).

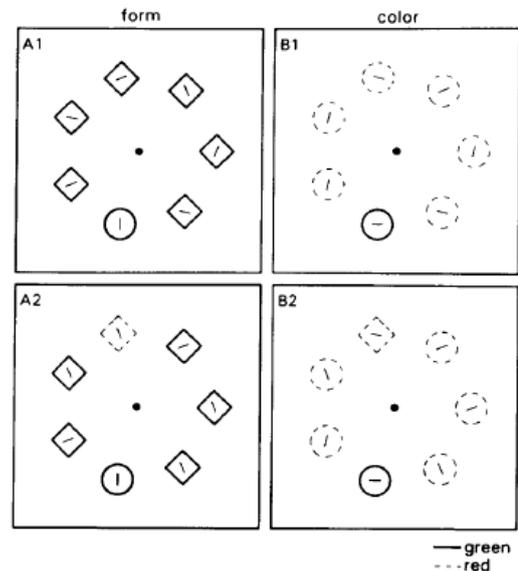


Figure 34 | Exemple d'animation : les participants doivent rechercher un cercle vert entouré de carré vert (côté gauche) ou de cercle rouge (côté droit), soit sans distracteur (en haut), soit avec un item distracteur (bas ; Theeuwes, 1992).

Le *pop-out* est un autre effet de saillance qui correspond à la situation où un stimulus qui diffère sur une unique caractéristique perceptive par rapport à d'autres stimuli, va guider automatiquement l'attention (Treisman & Gelade, 1980). Dès 3 mois, les nourrissons orientent leur attention vers ce stimulus, ce qui suggère que l'attention visuelle dirigée par la saillance est fonctionnelle de manière précoce, avant le développement complet des aires visuelles cérébrales (Atkinson & Braddick, 1992 ; Quinn & Bhatt, 1998 ; Salapatek 1975). De plus, même si les latences saccadiques des nourrissons de 3 mois sont plus lentes que celles des adultes, quel que soit le nombre de stimuli présentés, leurs performances à une tâche de *pop-out* sont similaires (Adler & Orprecio, 2006). En lien avec la saillance, quoi qu'à distinguer, l'attention visuelle est également capturée par les nouveaux stimuli. Les stimuli peu fréquemment rencontrés dans un contexte particuliers capturent l'attention par rapport aux stimuli familiers (Anderson, 2013). Ce phénomène est également présent de manière précoce au cours du développement, de nombreuses études utilisent la capture attentionnelle pour la nouveauté dans les paradigmes d'habituation depuis les années 60 afin d'étudier les habiletés mnésiques ou de discrimination perceptive des nourrissons (Cohen, 1972 ; Fagan, 1974 ; Fantz, 1964 ; Salapatek, 1975).

Attention visuelle dirigée par le but (*goal-driven*) – Cette seconde forme d’attention visuelle est volontaire (top-down) et correspond à la recherche visuelle liée à une tâche particulière. Ces buts sont souvent adaptatifs en ce qu’ils permettent de prioriser les caractéristiques des stimuli qui préparent à l’action (Anderson, 2013). Ils permettent également une meilleure efficacité dans l’exploration visuelle d’une scène, une tâche coûteuse d’un point de vue cognitif (Leber, 2010). Ces buts sont également flexibles et peuvent rapidement être adaptés selon les attentes de l’individu ou les demandes spécifiques d’une tâche (Lien, Ruthruff, & Johnston, 2010). Durant les premières années de vie, les nourrissons vont graduellement générer des actions intentionnelles ou motivées (Klossek & Dickinson, 2012). Les études utilisant la contingence visuelle (*-gaze-contingency*) permettent de mettre en évidence l’intentionnalité dans le comportement visuel des nourrissons. Dans ce paradigme, l’action oculaire du nourrisson va produire quelque chose en temps réel. Lors d’une tâche en oculométrie, des nourrissons de 8 mois voient des images colorées attractives recouvertes d’une pellicule noire et doivent « érafler » la pellicule noire en réalisant des mouvements oculaires de gauche à droite. Comme les adultes, les nourrissons de 8 mois sont capables de réaliser le comportement visuel motivé, c’est-à-dire, d’érafler la pellicule pour voir l’image (Miyazaki, Takahashi, Rolf, Okada & Omori, 2015). L’attention visuelle dirigée par un but (voir l’image colorée) semble ainsi se développer dès les premiers mois de la vie.

Attention visuelle dirigée par la récompense (*value-driven*) – Plus récemment, Anderson et ses collègues (2011) ont développé le concept d’attention visuelle dirigée par la récompense (*value-driven*). L’attention visuelle portée vers des objets ne serait ici pas liée à son degré de saillance visuelle ou à une recherche volontaire de la part de l’individu mais plutôt par une forme de captation automatique de l’attention liée à l’association apprise entre cet objet et une récompense. De fait, cette forme d’attention visuelle fonctionne indépendamment des deux autres formes d’attention : ce sont les émotions positives liées au stimulus qui vont pousser l’individu à orienter son attention vers celui-ci lorsqu’ils sont rencontrés dans l’environnement visuel (Anderson *et al.*, 2011). L’association stimulus-récompense est souvent apprise de manière implicite voire pré-câblée comme un visage souriant (Hodsoll, Vinding, & Lavie, 2011), ou apprise de manière plus explicite et abstraite comme l’association entre une cible colorée et de l’argent (Serences, 2008). Par exemple chez l’adulte, l’association arbitraire entre un stimulus sans signification (cercle coloré) et une récompense (argent) peut être apprise très rapidement en comparaison à d’autres formes d’apprentissage. Une fois apprises, ces associations stimulus-récompense ont une forte influence sur les priorités attentionnelles. Ainsi,

en l'absence de nouvelles récompenses monétaires, le stimulus arbitraire attirera l'attention visuelle de l'individu, même lorsque ce stimulus est moins saillant visuellement que d'autres distracteurs et que la tâche ne requiert pas l'attention vers ce stimulus (Anderson *et al.*, 2011 ; Anderson & Yantis, 2012). Ces associations forment rapidement une asymptote de sorte que les renforcements ultérieurs ont peu ou pas d'influence sur l'attention visuelle (Anderson *et al.*, 2011 ; Anderson, 2013). Dans la phase test, la capture attentionnelle involontaire d'un stimulus, au préalable associé arbitrairement à une récompense, est d'autant plus forte que les individus présentent de plus faibles capacités en mémoire de travail (Anderson *et al.*, 2011). De plus, plus la récompense monétaire offerte est forte, plus la capture attentionnelle du stimulus-distracteur associé est importante lors de la phase test (Anderson & Halpern, 2017). Ces résultats sont retrouvés aussi bien lorsque les récompenses sont de nature extrinsèque (gain d'argent, nourriture) que sociale (retour social positif ; Anderson, 2016). L'influence de la récompense sociale sur la capture attentionnelle s'avère même plus rapide et efficace pour les adultes et les enfants de 3 ans qu'une récompense non-sociale (Vernetti, Smith, & Senju, 2017).

Quelle que soit sa forme, l'attention visuelle remplit trois fonctions indépendantes : orienter le regard, maintenir le regard et inhiber d'autres informations visuelles non pertinentes.

4.2. Développement des trois fonctions de l'attention visuelle

L'attention implique les systèmes corticaux de haut niveau, incluant les lobes frontaux qui modulent et contrôlent l'activité d'autres processus cognitifs dont les aires sensorielles primaires (Zanto, Rubens, Thangavel, & Gazzaley, 2011). Cependant, l'attention n'est pas un processus unitaire. Les études de Posner et ses collègues (Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum & Posner, 2010 ; Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002 ; Posner & Petersen, 1990 ; Posner & Rothbarth, 2007) ont mis en évidence dans des tâches neuropsychologiques et en imagerie par résonance magnétique trois systèmes fonctionnels majeurs (figure 35) :

- (1) L'orientation dans l'espace comprend les structures pariétales connectées aux champs visuels frontaux et le colliculus supérieur. Ce système s'occupe d'orienter l'attention dans l'espace. Il s'agit d'une forme importante de l'attention sélective qui prépare le système à répondre à certains types d'entrée et à ignorer d'autres (Desimone & Duncan, 1995 ; Posner, 1980).

- (2) Un second système d'alerte, impliquant le cortex pariétal, le cortex frontal droit et le coeruleus locus, maintient la sensibilité d'ensemble du système vers les informations entrantes lors de tâche coûteuse (Coull, Frith, Frackowiak & Grasby, 1996).
- (3) Le troisième système inclut les aires frontales gauche et droite, le cortex préfrontal latéral et le cortex cingulaire antérieur (Bush, Luu & Posner, 2000 ; MacDonald, Cohen, Stenger & Carter, 2000). Il est engagé dans le contrôle attentionnel, un complexe de processus qui permet la sélection et le changement de buts, l'inhibition des réponses bien établies mais non-appropriées et la résolution des conflits comportementaux. Dit autrement, l'attention exécutive est un processus de résolution des conflits entre différentes entrées en compétition dans le but de sélectionner la stratégie attentionnelle pertinente à engager pour l'action (Miller & Cohen, 2001).

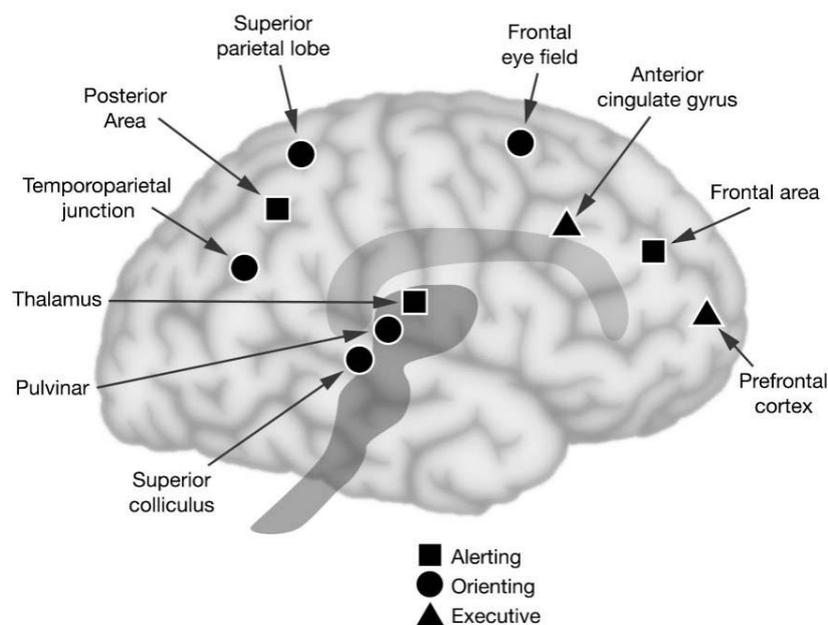


Figure 35 | Anatomie des trois systèmes attentionnels : alerter, orienter et attention exécutive (Posner & Rothbart, 2007).

Mirsky et ses collègues (1991) ont montré l'indépendance de fonctionnement des trois systèmes ainsi que des trajectoires développementales propres. Le développement structurel du cerveau n'est pas uniforme et ces trois fonctions présentent différents départs développementaux (Fan *et al.*, 2002 ; Posner & Petersen, 1990). Ces fonctions de l'attention opèrent sur les différentes modalités sensorielles et agissent ensembles pour réguler l'intégration multi-sensorielle de l'information (Amso & Scerif, 2015 ; Matusz *et al.*, 2015).

Le système d'orientation – L'orientation est le processus par lequel le nourrisson va orienter son regard en direction d'un stimulus, aussi nommé *attention-getting process* (Cohen, 1969 ; 1972). Durant les premiers mois de la vie, les nourrissons sont capables d'orienter leur regard en direction d'un point de fixation vers une cible saillante apparaissant en périphérie à condition que les deux cibles ne soient pas présentées en même temps (Atkinson, Hood, Wattam-Bell, & Braddick, 1992 ; Tronick, 1972). Les systèmes sous-corticaux, impliquant le colliculus supérieur, soutendraient les habiletés attentionnelles initiales des nouveau-nés (Atkinson, 1984 ; Atkinson *et al.*, 1992). Les nouveau-nés présentent une capacité d'orientation dans sa forme la plus basique, c'est-à-dire le réflexe de fixation (Amso & Scerif, 2015). Avant 3-4 mois, les capacités d'orientation visuelle consistent en de simples processus qui facilitent l'orientation de l'attention du nourrisson vers les informations saillantes visuellement (Atkinson, Hood, Wattam-Bell & Braddick, 1992 ; Butcher *et al.*, 2000 ; Johnson, Posner & Rothbart, 1991). Ce n'est qu'autour des 3 mois que les systèmes corticaux commencent à jouer un rôle dans l'orientation visuelle, permettant aux nourrissons de désengager leur attention d'un objet visuel d'intérêt vers une nouvelle cible (Atkinson *et al.*, 1992). En effet, les systèmes neuronaux de l'attention visuelle et des mouvements oculaires se recoupent (Corbetta *et al.*, 1998). Le contrôle attentionnel des mouvements saccadiques impliquent des connexions entre les régions du système visuelle primaire (V1) et secondaire (V4), le colliculus supérieur et les ganglions de la base (Johnson, 1990). Or, ces zones connaissent une maturation après la naissance pour être efficaces dans les tâches d'anticipation saccadique à partir de 3 mois (Atkinson *et al.*, 1992 ; Johnson, 1990 ; Tronick, 1972). Les mécanismes d'orientation de l'attention visuelle plus complexes qui permettent notamment le désengagement attentionnel ne deviennent fonctionnels qu'entre 4 et 6 mois (Amso & Johnson, 2006 ; 2008 ; Butcher, Kalverboer & Geuze, 2000 ; Hood, 1993). Comparant des nourrissons de 2, 3 et 4 mois, Johnson et ses collègues (1991) ont mis en évidence que les 4 mois étaient un âge critique pour le développement de l'orientation visuelle : les nourrissons peuvent facilement désengager leur attention visuelle d'une cible centrale vers une cible périphérique présentée simultanément, le pourcentage de mouvements oculaires anticipatoires double et les nourrissons deviennent capable de prédire la location future d'une cible d'après un indice visuel central. De même, l'habileté de supprimer l'orientation visuelle vers les zones saillantes de stimuli en périphérie émerge vers 4 mois (Johnson, 1995).

Le système d’alerte – Le système d’alerte détermine le temps que le nourrisson va passer à maintenir son regard vers le stimulus, aussi nommé *holding-attention process* (Cohen, 1972). Des indices électrophysiologiques (e.g. changement de rythmicité des battements de cœur) et des réponses comportementales se produisent lorsque l’attention est soutenue vers un stimulus visuel. Ces évènements sont utilisés dans les procédures d’habituation dans lesquelles un stimulus va d’abord orienter et soutenir le regard, puis, à force de répétition de présentations, cette attention va décliner (Richard, Reynolds & Courage, 2010). La procédure d’habituation est utilisée chez le nourrisson pour étudier différentes habiletés cognitives au cours de la première année de vie comme la mémorisation ou la catégorisation (Atkinson & Braddick, 2012 ; Fagan, Singer, Montie & Shepherd, 1986). L’attention soutenue, à l’origine de la procédure d’habituation, s’avère donc présente tôt au cours du développement humain, dès le premier mois de la vie (Atkinson & Braddick, 2012). Le système d’orientation et d’alerte agissent indépendamment de sorte que le temps de latence d’orientation (*attention-getting*) vers des patterns de damier chez des nourrissons de 4 mois est déterminé plutôt par la taille du damier que par le nombre de carré tandis que la durée de fixation (*attention-holding*) est fonction du nombre de carré du damier plutôt que par sa taille (Cohen, 1969 ; 1972).

Le contrôle attentionnel – Les habiletés attentionnelles liées aux fonctions exécutives comme la capacité à inhiber une réponse oculaire, se développent plus tard, à partir de 4 ans (Hughes & Russel 1993). Plusieurs études suggèrent cependant que des aspects du comportement dans l’enfance correspond au développement des mécanismes inhibiteurs préfrontaux. Les nourrissons de 5 et 9 mois peuvent par exemple apprendre à retarder un changement de fixation ou à conserver leur attention vers d’une cible dynamique plutôt que vers des distracteurs, indiquant des prémisses de l’inhibition préfrontale (Holmboe, Fearon, Csibra, Tucker & Johnson, 2008 ; O’Gilmore & Johnson, 1995). Malgré ces ébauches comportementales des fonctions exécutives au cours de la première année, les systèmes préfrontaux s’avèrent relativement lents à se développer de manière structurelle et fonctionnelle chez l’humain (Atkinson & Braddick, 2012).

Conclusion sur le développement de l'attention visuelle

L'attention visuelle détermine nos comportements visuels, c'est un pré-requis primordial à l'acquisition de connaissance pour le nourrisson. Les fonctions indépendantes de l'attention visuelle n'empruntent pas les mêmes trajectoires développementales. Le système d'alerte permettant le maintien de l'attention visuelle vers un stimulus est à la base des procédures d'habituation et s'observe dès le premier mois de vie. Le système d'orientation dans l'espace qui permet d'orienter le regard vers certaines entrées visuelles et d'en ignorer d'autres est présente dès trois mois. Le contrôle attentionnel qui implique la sélection d'une stratégie attentionnelle est en revanche observé plus tardivement, à partir de 4 ans, bien que des ébauches de cette troisième fonction soit observée après 5 mois.

L'esthétique pourrait influencer les fonctions d'alerte et d'orientation chez le nourrisson. Concernant la fonction d'alerte, l'esthétique pourrait engendrer un maintien plus long de l'attention visuelle vers le stimulus esthétique par rapport à des stimuli non-esthétiques. L'esthétique pourrait également jouer sur la fonction d'orientation dans la mesure où l'esthétique serait lié à la saillance visuelle. Si tel est le cas, l'esthétique amènerait à orienter le regard préférentiellement vers le stimulus esthétique par rapport à un stimulus non esthétique. C'est ce que nous tenterons de déterminer dans le chapitre suivant.

Par ailleurs, nous avons vu que l'attention visuelle pouvait être dirigée par l'association entre un stimulus et une récompense (*value-driven*). Il est possible que les expériences esthétiques répétées puissent par la suite amener à ce que les individus dirigent leur attention visuelle vers les stimuli esthétiques, de part l'association entre stimulus esthétique et émotion esthétique positive. Toutefois, cette hypothèse n'a pas été étudié à notre connaissance.

Chapitre 5 | Développement de l'esthétique

5.1. Méthode de préférence visuelle spontanée

La mesure du temps de regard préférentiel consiste à montrer deux stimuli côte-à-côte afin d'observer une préférence visuelle pour l'un ou l'autre des stimuli et s'avère la plus employée pour étudier le développement cognitif des nourrissons (Damon, 2015). Développée par Robert Fantz (1956), cette méthode rend possible l'étude de la discrimination, de la catégorisation ou de la préférence visuelle des nourrissons de différentes espèces comme les poussins (Fantz, 1957), les chimpanzés (Fantz, 1958b) et les humains (Fantz, 1958a). Cette méthode a montré la tendance des nourrissons humains à présenter très tôt des préférences visuelles spontanées. Les nourrissons ont tendance à orienter et maintenir leur attention visuelle vers certains stimuli par rapport à d'autres (Banks & Ginsburg, 1985). Ceci serait le reflet de biais visuels systématiques dont l'origine peut être multiple comme nous l'avons vu au chapitre 2 : la saillance visuelle de l'objet, l'intérêt évolutif à orienter son regard vers cet objet (*e.g.* visages), la nouveauté, *etc.* L'esthétique pourrait être un des facteurs d'orientation préférentiel de l'attention visuelle chez le nourrisson.

Toutefois, nous ne pouvons pas affirmer que cette orientation préférentielle envers les stimuli soit systématiquement accompagnée d'une émotion positive (Amir, Biederman, & Hayworth, 2011). Il est donc compliqué de parler d'esthétique chez le nourrisson. En réponse au postulat que les habiletés cognitives de haut niveau sont nécessaires à la production du plaisir esthétique, les études chez le nourrisson suggèrent que certaines propriétés visuelles de l'art peuvent être appréciées même par les nourrissons et démontrent que l'appréciation de la beauté commence très tôt au cours du développement humain (Ewald & Krentz, 2012). Cependant, peu d'études se sont intéressées au développement de l'esthétique chez le nourrisson, d'autant moins en art visuel (Ewald & Kretz, 2012 ; Leder & Nadal, 2014). De plus et contrairement aux adultes, les temps de regard des nourrissons ont peu de chance d'être influencés par les standards culturels de beauté. Les relations entre les scores de préférence des adultes et les préférences visuelles des nourrissons suggèrent que les caractéristiques sur lesquelles les adultes émettent leurs jugements sont corrélées avec les caractéristiques qui dirigent l'attention visuelle des nourrissons. C'est notamment le cas des visages attractifs.

5.2. Attractivité des visages

Alors que l'attention visuelle et la représentation mnésique pour certains stimuli subissent de profonds changements au cours du développement, des principes fondamentaux s'appliquent à la cognition visuelle des adultes et des nourrissons. Parmi ces principes, l'attractivité des visages humains attire l'attention visuelle indépendamment de l'âge, du sexe ou de l'ethnicité des visages (Langlois, Ritter, Roggman, & Vaughn, 1991).

Dès le premier jour de naissance, les nouveau-nés vont préférer regarder des visages schématiques par rapport à d'autres formes (Goren, Sarty, & Wu, 1975). Dès 4 jours, les nourrissons regardent plus longtemps le visage de leur mère par rapport à un visage étranger même lorsqu'ils n'ont que l'information visuelle (Bushnell, Sai & Mullin, 1989 ; Field, Cohen, Garcia & Greenberg, 1984 ; Pascalis, de Schonen, Morton, Deruelle & Fabre-Grenet, 1995). Les nourrissons vont également orientés leur attention visuelle plus longtemps envers les visages jugés attractifs par les adultes. Le jugement de préférence de l'attractivité des visages, réalisé par un groupe indépendant d'adulte, est un bon prédicteur de comportements visuels comme le temps de regard chez d'autres adultes (Hayden, Parikh, Deaner, & Platt, 2007 ; Leder, Tinio, Fuchs, & Bohrn, 2010 ; Shimojo, Simion, Shimojo, & Scheier, 2003) ainsi que chez les nourrissons âgés de 2-3 jours à 15 mois (Damon *et al.*, 2017a ; Damon *et al.*, 2017b ; Langlois *et al.*, 1987 ; Langlois, Ritter, Roggman, & Vaughn, 1991 ; Samuels, Butterworth, Roberts, Graupner, & Hole, 1994 ; Samuels & Ewy, 1985 ; Slater *et al.*, 1998 ; Slater, Quinn, Hayes, & Brown, 2000 ; Van Duuren, Kendell-Scott, & Stark, 2003). De fait, quel que soit l'âge des participants, les visages jugés attractifs attirent l'attention visuelle par rapport aux visages jugés moins attractifs. Ces préférences visuelles des nourrissons pour les visages attractifs se retrouvent pour des visages européens mais aussi pour des visages de types différents (Langlois *et al.*, 1991). Cette préférence précoce pour les visages attractifs s'étend aux faces d'autres espèces animales comme les félins (Quinn, Kelly, Lee, Pascalis, & Slater, 2008).

Cette catégorisation des visages attractifs s'avère également précise : les nourrissons de 6 mois discriminent parmi les visages féminins attractifs, lesquels sont plus attractifs que les autres (Ramsey, Langlois, Hoss, Rubenstein & Griffin, 2004). De plus, les nourrissons entre 12 et 24 mois sont sensibles au dimorphisme sexuel pour les visages féminins qui est associé à l'attractivité chez les adultes. Ils regardent plus longtemps la version "féminisée" par manipulation expérimentale d'un visage comparée à la version originale de ce visage (Griffey & Little, 2014).

5.3. Préférences pour les formes et leur complexité

Nous avons vu dans le chapitre 2 que les adultes préféraient les formes incurvés et symétriques (voir 2.3.1.a. Les formes et b. La symétrie).

De manière similaire, les nourrissons de 12 mois présentent une préférence spontanée pour les patterns symétriques verticalement par rapport à des patterns symétriques horizontalement ou asymétriques (Bornstein, Ferdinandsen, & Gross, 1981).

La préférence visuelle pour les lignes incurvées se retrouvent à 3-4 mois, les nourrissons regardent plus longtemps le centre d'une cible avec des lignes incurvées que celles avec des lignes droites même lorsque ces stimuli présentent des contours pointus (Quinn, Brown, & Streppa, 1997). Des préférences spontanées ont également été retrouvées chez les nouveaux-nés d'une semaine pour les contours incurvés par rapport à des contours pointus (Fantz & Miranda, 1975). Ces résultats sont plus ambigus pour les formes 3-D. Les adultes regardent en moyenne plus longtemps les formes 3D incurvées irrégulières (figure 36 ; Amir *et al.*, 2011). Les nourrissons de 5 mois regardent plus souvent ces formes au premier regard indiquant un biais attentionnel précoce pour les localisations des stimuli qui permettent une réduction de l'incertitude par rapport à la nature de l'objet. Toutefois ils ne les fixent pas plus longtemps en moyenne que les formes régulières ce qui pourrait s'expliquer par un temps de présentation relativement long de forme inanimée -5 secondes- et/ou du manque d'enthousiasme pour ces stimuli particuliers (Amir *et al.*, 2011). Cette préférence pour les formes incurvées reste stable au cours des premières années de vie, les enfants de 3 ans préférant les jouets avec des formes incurvées que les formes angulaires (Jadva, Hines & Golombok, 2010). Ces préférences pour les formes incurvées et irrégulières pourraient s'expliquer par le fait que les premières fixations ont tendance à se produire sur les régions saillantes (Itti & Koch, 2000) et sur les régions ayant un plus grand degré d'incertitude ou une plus forte concentration locale d'informations dans le but de réduire rapidement l'incertitude concernant l'identité du stimulus (Renninger, Verghese, & Coughlan, 2007).

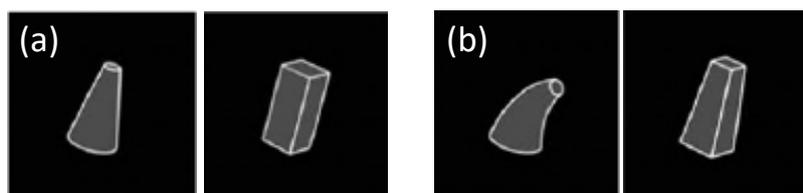
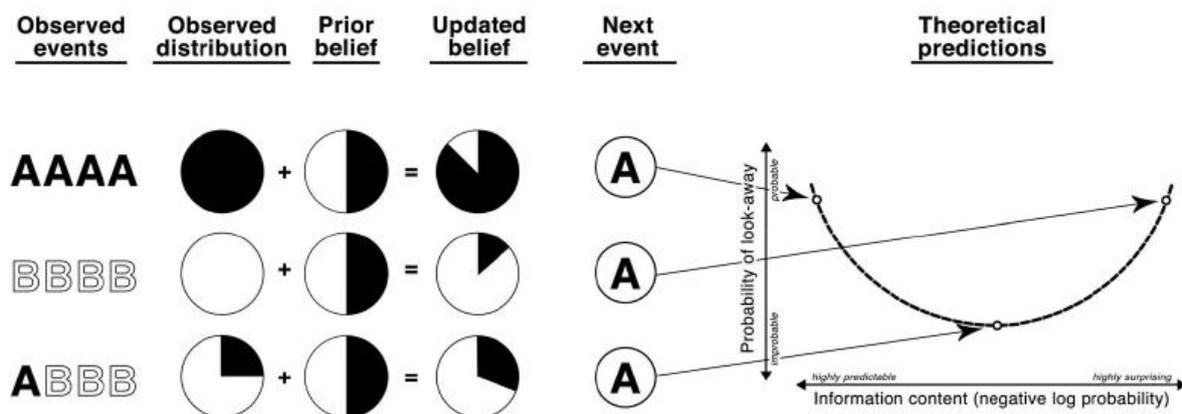


Figure 36 | Exemples de formes 3D incurvées et angulaires (a) régulières et (b) irrégulières (Amir *et al.*, 2011).

Concernant la complexité des formes, la préférence visuelle pour la complexité est retrouvée dès 1 mois. Les patterns géométriques comprenant plusieurs éléments et des arrangements irréguliers sont regardés plus longtemps lors d'une procédure d'habituation que les patterns géométriques plus simples et réguliers (Fantz, 1964 ; Fantz & Fagan, 1975). De même, une préférence spontanée pour la complexité est constatée chez les nourrissons âgés de 3 semaines à 4 mois de sorte que plus le pattern d'un damier est complexe (i. e., nombre supérieur de carré), plus les nourrissons vont les regarder (Brennan, Ames, & Moore, 1966 ; Cohen, 1972). La complexité du pattern influence également la rapidité avec laquelle le nourrisson dirige son attention vers le stimulus (Cohen, DeLoache, & Rissman, 1975) et le maintien de l'attention vers ces patterns au cours des présentations (Caron & Caron, 1969). La préférence spontanée des nourrissons pour la complexité a été liée indirectement à la fluence de traitement dans la mesure où les caractéristiques visuelles d'un niveau intermédiaire de complexité sont les plus informatifs pour classifier un stimulus (figure 37 ; Ullman, Vidal-Naquet, & Sali, 2002). Le maintien de l'attention visuelle des nourrissons devrait de fait être supérieur lorsqu'une séquence d'évènement est modérément complexe (Kidd, Piantadosi & Aslin, 2012). Plusieurs séquences d'évènements de niveaux de complexité différents (e.g. variation de la probabilité d'apparition d'un évènement, de hautement probable à hautement surprenant) sont présentées à des nourrissons de 7 à 8 mois. Ils regardent plus longtemps les séquences d'évènement modérément complexes, lorsque le taux intermédiaire d'informations leur permet d'apprendre quelque chose de leur environnement (Kidd *et al.*, 2012).



*Figure 37 | Schéma présentant différents exemples de séquence d'évènements ainsi que le modèle de l'observateur qui combine les évènements observés avec les attentes de l'évènement à venir. Selon la probabilité d'apparition de l'évènement, les croyances sont mises à jour et pour le prochain évènement, les prédictions théoriques de la probabilité que le nourrisson regarde ailleurs forment une fonction en U. La probabilité que le nourrisson regarde ailleurs augmente lorsque l'apparition de l'évènement est hautement observée ou rarement observée. À l'inverse, la probabilité que le nourrisson regarde ailleurs diminue lorsque l'apparition de l'évènement est moyennement observée (Kidd *et al.*, 2012).*

5.4. Préférences pour les couleurs et le contraste

La nuance, c'est-à-dire la propriété perceptive des couleurs qui correspond à la longueur d'onde dominante (Teller, Civan, & Bronson-Castain, 2004), apparaît être le meilleur prédicteur de la préférence spontanée des nourrissons (Teller *et al.*, 2004 ; Zemach, Chang, & Teller, 2007). Les nourrissons, dès 3 mois, montrent une préférence visuelle similaire à celle de l'adulte pour les stimuli chromatiques par rapport aux achromatiques (Adams, 1987). Les nourrissons de 3 à 5 mois regardent plus longuement et de manière spontanée les longueurs d'onde extrêmes du spectre de la lumière visible (i.e., rouge et bleu) par rapport aux longueurs d'onde intermédiaires (i.e., bleu-vert, vert, jaune-vert ; Bornstein, 1975 ; Franklin, Bevis, Ling & Hurlbert, 2010). Toutefois, ces préférences spontanées pour les nuances de rouge et de bleu apparaissent réduites lors de la variation du niveau de saturation (i.e., profondeur de la nuance selon le niveau de blanc) et de brillance (i.e., la luminance perçue et relative à d'autres stimuli ; Taylor, Schloss, & Palmer, 2013 ; Teller *et al.*, 2004 ; Zemach *et al.*, 2007). Bornstein (1975) a mis en évidence que la préférence des nourrissons de 4 à 5 mois pour les nuances de rouge et de bleu n'était pas significativement différente de celle des adultes. En revanche, des différences significatives sont retrouvées entre les nourrissons et les adultes pour les nuances de vert et de jaune (Bornstein, 1975). Adams (1987) retrouve que les nourrissons de 3 mois préfèrent les longueurs d'onde rouge et jaune par rapport au bleu et vert, un pattern de préférence opposé à celui des adultes. Zemach *et al.* (2007) indiquent également que les préférences des adultes pour certaines couleurs est un faible prédicteur des préférences chez le nourrisson (Taylor *et al.*, 2013).

Le contraste amène aussi une orientation visuelle préférentielle chez les nourrissons. Au cours des trois premiers mois, la sensibilité des nourrissons au contraste augmente et la tâche de préférence visuelle montre une préférence systématique vers les réseaux d'ondes sinusoïdales les plus contrastés (Atkinson *et al.*, 1977 ; Stephens & Banks, 1987). Dès le premier mois, les nourrissons présentent une préférence visuelle pour les patterns géométriques avec un haut contraste (Milewski, 1976, 1978). Le contraste peut aussi permettre la vision des textures qui correspondent à des séries de micro-motifs contenant un groupe d'items différents des éléments de l'arrière-plan par une seule caractéristique (comme la différence de contraste ; Sireteanu, Encke & Bachert, 2005). Les nourrissons repèrent dès 5 mois les différences de textures, présentant une préférence pour les nouvelles textures (Rieth & Sireteanu, 1994). Testant la préférence visuelle des nourrissons pour différentes textures, Balas et Woods (2014) ont utilisé des textures réelles (contraste par polarité) et des textures générées par ordinateur

(contraste négatif), qui s'apparentent à des négatifs de photographies. Les résultats indiquent que les nourrissons de 9 mois regardent plus longtemps les contrastes par polarité et de fait, ils préfèrent regarder les textures naturelles par rapport aux synthétiques (Balas & Woods, 2014). Le contraste est par ailleurs un aspect important des capacités de détection de l'objet (Bertenthal, Campos, & Haith, 1980). En effet, les différences de contraste rendent possible la segmentation, c'est-à-dire la capacité à repérer l'objet de l'arrière-plan (Sireteanu *et al.*, 2005). Utilisant des stimuli présentés sur des espaces texturés, Sireteanu et ses collègues (2005) ont présenté d'un côté un stimulus plus saillant que la texture en arrière-plan et de l'autre côté un stimulus moins saillant que la texture en arrière-plan. Les nourrissons, dès 1 mois, préféraient regarder la cible plus saillante que la texture de fond et préféreraient regarder la texture de fond lorsque celle-ci était plus saillante que la cible. Ces résultats ne sont pas retrouvés chez les enfants de 3 à 4 ans qui présentaient une préférence visuelle pour le stimulus cible quelle que soit la configuration de l'arrière-plan (figure 38 ; Sireteanu *et al.*, 2005).

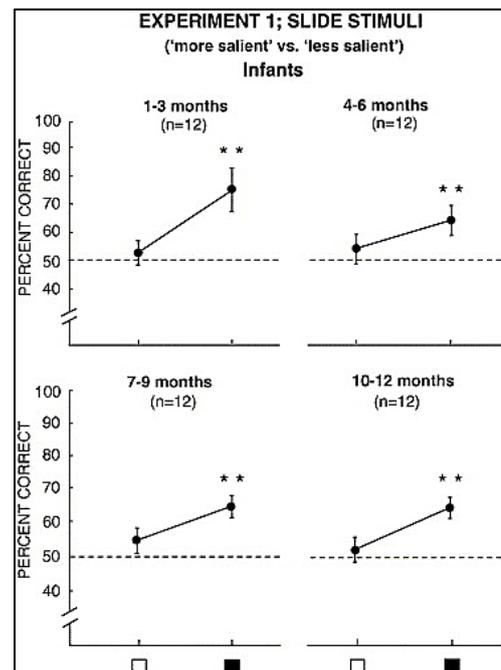


Figure 38 | Moyennes et erreurs standard du pourcentage de réponses correctes vers le stimulus le 'plus saillant' par rapport à l'arrière plan et vers le 'moins saillant' par rapport à l'arrière plan chez les groupes de nourrisson de 1 à 12 mois (Sireteanu *et al.*, 2005).

5.5. Préférences pour les mouvements

Sensibilité et préférence pour le mouvement – La préférence spontanée pour le mouvement par rapport au statique apparaît forte comme le démontre une tâche de discrimination des mouvements illusoire. Les nourrissons de 6 à 9 mois regardent plus longtemps des figures statiques présentant un mouvement illusoire que les figures contrôles (pas de mouvement perçu) révélant la capacité de discriminer les mouvements illusoire dans une image statique et leur aspect attractif (Kanazawa, Kitaoka & Yamaguchi, 2013). Les nourrissons à partir de 1 à 2 mois discriminent la direction de points en mouvement et préfèrent regarder les animations dans lesquelles les points qui bougent vont dans une même direction par rapport aux animations où les points bougent dans des directions différentes (Atkinson, Hood, Wattam-Bell, & Braddick, 1992 ; Wattam-Bell, 1996a ; 1996b). D'autres études en tâche

standard de préférence visuelle montrent qu'à partir de 3 mois, les nourrissons préfèrent regarder les mouvements globaux où les points bougent dans des directions différentes que ceux où les points bougent dans une même direction (Bertenthal & Bradbury, 1992). Tous les mouvements ne semblent pas présenter le même intérêt pour les nourrissons. Dans une tâche de préférence visuelle, des nouveau-nés de 3 jours voient des scènes en points lumineux décrivant des trajectoires circulaires ou elliptiques selon des cinématiques biologiques ou non-biologiques, c'est-à-dire qui satisfaisaient ou non la loi puissance deux-tiers qui lie la cinématique et la géométrie du point en mouvement (Méary, Kitromilides, Mazens, Graf & Gentaz, 2007). Les nouveau-nés regardent plus longtemps les mouvements non-biologiques par rapport aux mouvements biologiques lors des premières secondes de l'exposition, traduisant une violation des attentes des nouveau-nés à 3 jours seulement (Méary *et al.*, 2007).

La préférence visuelle pour le mouvement est particulièrement développée dans le cas du mouvement biologiques. Les mouvements biologiques des êtres vertébrés se caractérisent par (1) une semi-rigidité liée à la structure du squelette, (2) une relation spatiale entre certaines parties du corps présentant des changements continus et (3) une invariance de distance entre les points connectés (Bardi, Regolin, & Simion, 2011). Le terme de mouvement biologique réfère communément au mouvement humain en point-lumineux animé mais peut être utilisé pour d'autres types de mouvement (Chouchourelou, Golden, Shiffrar & Chouchourelou, 2013 ; Johansson, 1973). Les études ont mis en évidence une préférence spontanée précoce des nourrissons pour des animations en point lumineux (*point-light display* ; *PLD*) représentant les mouvements biologiques humains ou d'autres animaux bipèdes (*e.g.* poule) en comparaison avec leurs versions perturbées ou inversées (Bertenthal & Proffitt, 1984 ; Bertenthal, Proffitt, & Kramer, 1987 ; Simion, Regolin, & Bulf, 2008).

Préférence pour les mouvements biologiques – Dès deux jours, les nouveaux-nés regardent plus longtemps les animations représentant un mouvement biologique qu'un mouvement non-biologique tel que la rotation d'un objet rigide (Bardi, *et al.*, 2011), la translation de points (Bertenthal, 1993), ou encore un mouvement biologique perturbé ou randomisé (Bidet-Ildei, Kitromilides, Orliaguet, Pavlova & Gentaz, 2014 ; Simion *et al.*, 2008). Ce résultat est retrouvé à 3 mois, les nourrissons discriminent les PLDs de marche humaine avec seulement 14 points lumineux lorsque les relations spatiales entre certains points sont perturbées par rapport à la même animation respectant les caractéristiques du mouvement biologique (Bardi *et al.*, 2011 ; Bertenthal, *et al.*, 1987). De plus, la préférence pour la rigidité locale des animations

biomécaniques est dépendante du sens canonique puisqu'elle n'est pas retrouvée lorsque les animations sont présentées en sens inverse (Bertenthal *et al.*, 1987). De même, les nourrissons de 6 mois apparaissent extraire l'information de la direction d'un mouvement biologique (humain marchant comme sur un tapis de course) lorsque l'animation est présentée en sens canonique mais pas lorsqu'elle est présentée en sens inverse (Kuhlmeier, Troje, & Lee, 2010). La balistique des mouvements de jambes s'avère importante puisque la modification d'autres parties du corps (*e.g.* buste en sens inverse seulement) n'empêche pas la discrimination de la direction de ces mouvements (Troje & Westhoff, 2006). De plus, le traitement cognitif des mouvements biologiques humains en PLD chez le nourrisson de 8 mois est semblable à celui des adultes (Gliga & Dehaene-Lambertz, 2005 ; Reid, Hoehl, Landt, & Striano, 2008 ; Reid, Hoehl, & Striano, 2006), avec notamment une amplitude positive plus grande des régions pariétales droites entre 200 et 300 ms lorsque les animations sont présentées dans le sens canonique et sans distorsion (Reid *et al.*, 2006). A partir de 6 mois, les nourrissons perçoivent les PLDs humains comme des formes solides, recouvrant une plus grande attention lorsque la solidité du PLD humain est compromise (Moore, Goodwin, George, Axelsson, & Braddick, 2007). Ensembles, ces résultats suggèrent que la capacité à discriminer les mouvements biologiques est une contrainte non-apprise du système visuel (Bardi *et al.*, 2011 ; Bertenthal *et al.*, 1987 ; Simion *et al.*, 2008). Ce biais préférentiel pour le mouvement biologique humain aurait ensuite tendance à augmenter au cours des deux premières années de vie (Sifre *et al.*, 2018). Le déplacement translationnel et notamment le mouvement des jambes pourraient être des "attracteurs" du système visuel humain dès la naissance, qui desservirait un système de détection de la présence d'animaux terrestres (Bidet-Ildei *et al.*, 2014 ; Troje & Westhoff, 2006).

5.6. Préférences en art visuel

Comme indiqué dans la précédente section, il demeure impossible d'affirmer que l'orientation préférentielle envers un stimulus visuel soit systématiquement accompagnée d'une émotion positive chez le nourrisson (Amir, Biederman, & Hayworth, 2011). Même si l'objet d'étude est l'art visuel, l'emploi de préférence visuelle sera préféré au terme d'appréciation esthétique. Plusieurs études chez le nourrisson suggèrent que certaines propriétés visuelles de l'art sont plus longtemps regardées y compris par les nourrissons et tendent à montrer que l'appréciation de la beauté commence très tôt au cours du développement humain (Ewald & Kretz, 2012). Actuellement et à notre connaissance, seulement deux études se sont intéressées aux préférences visuelles des nourrissons en art visuel.

Fondée sur les expériences d'entraînement à la discrimination et catégorisation des peintures chez le pigeon (Watanabe, Sakamoto, & Wakita, 1995), l'étude de Cacchione, Möhring, and Bertin (2011) s'est intéressée à ces mêmes capacités chez des nourrissons de 9 et 10 mois. Selon la condition d'habituation, 6 peintures de Monet ou 6 peintures de Picasso étaient présentées côte-à-côte (jusqu'à 15 combinaisons possibles) jusqu'à ce que l'enfant regarde ailleurs pendant deux secondes consécutives (figure 39). La phase d'habituation prenait fin lorsque le temps de regard moyen de trois essais consécutifs était inférieur ou égal à la moitié du temps moyen de regard des trois premiers essais, ou lorsque le maximum des 15 essais d'habituation était atteint. Immédiatement après la phase d'habituation, les nourrissons ont été exposés lors de deux tests (10-sec) à une nouvelle peinture de la catégorie familière, appariée à une peinture de la nouvelle catégorie. Les résultats de cette première étude montrent que, dans la condition d'habituation avec des peintures de Monet, les nourrissons peuvent former une représentation catégorielle des peintures de Monet qui exclut les peintures de Picasso. Dans la condition d'habituation avec des peintures de Picasso en revanche, la majorité des nourrissons (83%) regardaient significativement plus longtemps la peinture de Picasso que celle de Monet dans la phase test. Ces résultats indiquent une préférence spontanée pour les peintures de Picasso. Dans trois expériences, Cacchione *et al.* (2011) ont alors tenté d'isoler les caractéristiques saillantes pouvant expliquer ce résultat. La préférence spontanée pour les peintures de Picasso persiste malgré l'altération des œuvres comme l'absence de couleur, les contours rendus flous ou la distorsion des objets représentés.



Figure 39 | Exemple de peintures utilisées dans l'étude de Cacchione et al. 2011. A droite, Monet, « Water Garden at Giverny » (1904) et à droite Picasso, « Still Life Under a Lamp » (1925).

Toutefois, Krentz et Earl (2013) font remarquer un manque de contrôle rigoureux des stimuli de l'étude de Cacchione *et al.*, (2011). Ils ont alors exploré les préférences visuelles des enfants et des adultes entre une œuvre d'art abstraite originale et sa version altérée. Dans une série d'expérimentations, les auteurs ont séparément manipulé différentes caractéristiques telles que le contraste, la complexité, le point focal ou la balance des couleurs. Les œuvres originales étaient présentées en même temps que leur version altérée à des nourrissons entre 6 et 10 mois ainsi qu'à des adultes. Les adultes devaient choisir entre l'une des deux versions de l'œuvre d'art. Le temps de fixation a été calculé pour évaluer la préférence visuelle des enfants. Les résultats indiquent une préférence des adultes pour les œuvres originales lorsque les niveaux de complexité, de contraste et de focal ont été diminués dans leurs versions altérées. Les nourrissons regardent également plus longuement les œuvres d'art originales lorsque les niveaux de complexité, de contraste et de balance des couleurs ont été diminués dans leurs versions altérées. L'influence de l'expérience, de la culture, de l'histoire, est limitée chez les nourrissons, de même que les habiletés cognitives de haut niveau et émotionnelles qui ont été mises en lien avec une appréciation mature de la beauté chez l'adulte (Krentz & Earl, 2013). Pourtant, ces résultats indiquent que la simple perception des caractéristiques telles que le contraste et la complexité peut jouer un rôle dans la valeur hédonique accordée à des œuvres d'art, de manière similaire chez l'adulte et le nourrisson. Les traitements visuels de bas niveau pourraient donc suffire à l'émergence d'une appréciation visuelle esthétique, sans faire appel à des connaissances en art visuel.

5.7. Synthèse du développement de l'esthétique

Dans cette seconde partie, nous avons vu les relations entre vision, attention visuelle et préférence visuelle ainsi que leur développement au cours du développement.

Les nourrissons ont effectivement tendance à orienter et maintenir leur attention visuelle préférentiellement vers certains stimuli par rapport à d'autres (Banks & Ginsburg, 1985). Le développement de la vision et des fonctions de l'attention visuelle représente un prérequis à ces préférences visuelles. Concernant la vision, la perception du mouvement s'avère relativement développée dès 3 mois, la perception de la couleur et du contraste atteignent un pic de sensibilité à 4 et 6 mois respectivement. C'est à 6 mois également que l'acuité visuelle commence à ressembler de celle de l'adulte. Outre les capacités visuelles, l'attention permet la sélection des régions dans une scène visuelle, c'est un pré-traitement rapide qui peut être dirigé par le stimulus, par un comportement motivé ou par une récompense. L'attention visuelle remplit trois fonctions indépendantes. La fonction d'alerte qui permet le maintien de l'attention visuelle se développe précocement, et est observé dès les premiers mois de la vie. La fonction d'orientation, qui consiste à répondre à certains types d'entrée et à en ignorer d'autres, atteint son développement critique à 4 mois. La fonction de contrôle attentionnel est plus tardive, des ébauches de sélection de stratégie attentionnelle sont observée après 6 mois et ne sera réellement développée qu'à partir de 4 ans. Les habiletés visuelles et les fonctions de l'attention visuelle, notamment la fonction d'alerte et d'orientation, sont ainsi en cours de développement au cours de la première année de vie et 4 et 6 mois apparaissent être des âges critiques au cours desquels de nombreux changements s'opèrent.

La méthode de préférence visuelle spontanée a révélé que les nourrissons humains présentent très tôt des préférences qui pouvaient être reliées au jugement de préférence des adultes. Ainsi, le jugement de préférence de l'attractivité des visages réalisé par des adultes, est un bon prédicteur des comportements visuels des nourrissons, dès les premiers jours de vie et ce jusqu'à 15 mois : les nourrissons regardent plus longtemps des visages jugés attractifs par des adultes que des visages jugés non attractifs. Comme les adultes, les nourrissons orientent plus rapidement et longtemps leur regard vers les patterns géométriques complexes. Les informations chromatiques sont également plus regardées que les informations achromatiques par les adultes et les nourrissons. La préférence visuelle pour les stimuli à forte saillance visuelle par rapport à l'arrière-plan est présente dès les premiers mois de la vie. Enfin, la préférence pour les œuvres d'art originales par rapport à leurs versions altérées est commune entre les

nourrissons et les adultes. L'esthétique peut-il orienter l'attention visuelle des nourrissons pour des mouvements et des œuvres d'art ?

S'il reste difficile de parler de sentiment esthétique chez les nourrissons, les facteurs qui influencent le jugement esthétique chez l'adulte et ceux influençant l'attention visuelle s'avèrent être similaires pour différents types de stimuli. Toutefois, la préférence pour les mouvements esthétiques ou pour les œuvres d'art reste encore largement inexplorée chez le nourrisson et les relations entre les jugements de préférence des adultes et les préférences visuelles des nourrissons sont principalement mises en évidence dans le cadre de l'attractivité des visages à ce jour.

La partie suivante regroupe les études expérimentales que nous avons menées dans le but d'améliorer notre compréhension sur les relations entre les jugements de préférence des adultes d'un côté, et les préférences visuelles des adultes et des nourrissons d'autre part. Ces études ont porté sur des points en mouvement et des œuvres d'art. Nous avons également étudié la prédiction des modèles computationnels de saillance visuelle sur les comportements visuels des adultes et des nourrissons lors de la présentation d'œuvres d'art. Pour finir, nous nous sommes intéressés à la préférence visuelle spontanée des nourrissons dans le cadre de l'étude des mouvements biologiques.



PARTIE III |

Partie Expérimentale



Hypothèses Générales

Cette thèse s'intéresse à l'effet de l'expérience dans la formation du jugement esthétique. Plus particulièrement, nous avons tenté de comprendre l'influence de l'expérience dans l'émergence de l'appréciation esthétique au cours de la vie selon le type de stimulus présenté.

Pour ce faire, nous avons adopté une approche développementale. Parce que l'expérience visuelle et sociale des nourrissons est réduite, l'approche développementale permet d'évaluer l'influence de l'expérience personnelle et culturelle sur les préférences esthétiques. Nous postulons, sur la base des travaux précédents sur les visages (Hayden, Parikh, Deaner, & Platt, 2007 ; Leder, Tinio, Fuchs, & Bohrn, 2010 ; Shimojo, Simion, Shimojo, & Scheier, 2003) que l'attention visuelle est un indicateur de la préférence esthétique. Le comportement des nourrissons pourrait ainsi nous renseigner sur le rôle de l'expérience vis-à-vis de la préférence visuelle. L'approche développementale permet de mettre en évidence les processus cognitifs précoces et les étapes développementales importantes qui permettent l'émergence de l'appréciation esthétique chez l'humain. Si l'expérience personnelle et les processus cognitifs de haut niveau sont nécessaires à l'appréciation esthétique, nous devrions observer des différences entre les jugements de préférence des adultes et les préférences visuelles des nourrissons. *A contrario*, si l'expérience personnelle et les processus cognitifs de haut niveau jouent un rôle secondaire dans l'appréciation esthétique, nous devrions observer des invariances comportementales dans la préférence visuelle de l'enfance à l'âge adulte. Les jugements de préférence des adultes devraient alors prédire les préférences visuelles d'autres adultes et de nourrissons. Nous pourrions alors avancer que les préférences visuelles esthétiques

précèdent l'expérience personnelle et culturelle dans l'émergence de l'appréciation esthétique. Certaines contraintes de l'attention visuelle peuvent en effet résister aux changements profonds qui accompagnent le développement cognitif et les diverses sources d'influences sociales, culturelles, expérientielles.

L'attention visuelle prédit-elle le jugement chez l'adulte ? Un tel phénomène est-il dépendant de l'objet d'intérêt ? L'attention visuelle des nourrissons est-elle corrélée à celle des adultes et à leur jugement de préférence esthétique ?

Pour tenter d'apporter un début de réponse à ces questions, nous avons réalisé trois études sur les relations entre la préférence visuelle d'adultes, de nourrissons de 4 à 24 mois et les jugements de préférence esthétique chez l'adulte pour différents types de stimuli. La première étude s'intéresse à la beauté de patterns de points en mouvement abstraits, la seconde étude à la beauté d'œuvres d'art représentant des portraits et la troisième étude, à la beauté d'œuvres d'art représentant des paysages. La comparaison des comportements de plusieurs groupes d'âge chez les nourrissons nous permet d'étudier le développement des préférences visuelles et la stabilité de ces dernières au cours du développement pour ces trois types de stimuli. Ces trois études utilisent la même méthodologie : un groupe adulte devait indiquer sa préférence entre deux stimuli au cours d'une tâche de jugement de préférence en choix forcé. Un second groupe adulte et des nourrissons âgés de 4, 6, 9, 12 et 24 mois sont testés sur une tâche standard de préférence visuelle spontanée. Un oculomètre servait à mesurer précisément l'orientation de l'attention visuelle des nourrissons et ses changements au cours du temps de présentation. Les analyses statistiques se focalisent sur la corrélation entre les jugements de préférence à l'âge adulte et la préférence visuelle à chaque âge. Dans une étude contrôle, nous avons enregistré le comportement visuel des adultes pendant la tâche de jugement de préférence pour les œuvres d'art représentant des portraits de sorte à identifier l'effet de la consigne sur le comportement visuel.

Pour compléter notre compréhension de l'influence de l'expérience sur les préférences visuelles en art visuel, nous nous sommes intéressés dans une quatrième étude à la prédiction des fixations oculaires par deux modèles de saillance visuelle pour les portraits et les paysages. Si l'expérience joue un rôle important dans l'appréciation esthétique, nous devrions retrouver que les nourrissons fixent plus fréquemment les zones saillantes des images que les adultes. En effet, les fixations des adultes devraient être moins influencées par la saillance visuelle, ce qui traduirait la mise en place de processus cognitifs de haut niveau lors de la comparaison des œuvres d'art. Auxquels cas les scores de prédiction des modèles de saillance visuelle seront

plus forts pour les groupes de nourrissons que pour les adultes. *A contrario*, des patterns de fixation similaires entre les nourrissons et les adultes permettraient d'avancer l'idée que l'expérience joue un rôle secondaire par rapport aux traitements visuels sur l'appréciation esthétique des adultes.

Enfin, dans une cinquième partie expérimentale, nous nous sommes intéressés à la préférence visuelle des nourrissons pour les mouvements biologiques et non-biologiques. La première étude sur la beauté des mouvements abstraits esthétiques peut être interprétée comme une préférence pour les patterns de location des points variés avec une direction complexe par rapport aux patterns de points réguliers avec une direction unique. Cette préférence pour les mouvements complexes chez les nourrissons (comme les adultes) pourrait être liée à une préférence pour les mouvements biologiques complexes.

Dans une tâche de préférence visuelle standard, des nourrissons âgés de 6 à 24 mois ont vu des animations en points lumineux (*point-light display* ; PLD) comparant un mouvement biologique simple (mouvement apode du serpent) avec un mouvement biologique complexe (mouvement bipède de l'humain ou de la poule). Les mouvements biologiques complexes devraient être regardés plus longtemps que le mouvement biologique simple. A l'encontre d'études précédentes sur les préférences pour les mouvements biologiques chez le nourrisson, le mouvement biologique de bipédie de la poule, plus complexe (mouvement du haut du corps) devrait être regardé plus longtemps que le mouvement biologique de bipédie de l'humain, moins complexe (mouvement de pédalisme uniquement).

Dans une seconde partie sur les mouvements biologiques, nous avons examiné les temps de regard de nourrissons âgés de 6 à 24 mois vers les trois mouvements biologiques par rapport à leur version perturbée au cours d'une tâche de préférence visuelle standard. Si la complexité du mouvement prime sur l'aspect biologique du mouvement dans la préférence visuelle des nourrissons, les versions perturbées des mouvements biologiques devraient être regardées plus longtemps que les versions originales. La préférence inverse indiquerait une préférence pour les mouvements biologiques. Ces deux études nous permettront ainsi de compléter nos connaissances sur ce qui motive l'attention visuelle des nourrissons.

Jugement de préférence chez l'adulte

Dans les trois premières études sur la beauté des stimuli, nous concentrons nos analyses sur la prédiction du temps de regard des différents groupes d'âge par le jugement de préférence des adultes. Différentes méthodes peuvent être envisagées pour mesurer le jugement de préférence explicite esthétique des adultes.

Les deux types d'évaluations de la préférence explicites de la préférence chez l'adulte les plus utilisées en psychologie diffèrent par le type de présentation. Soit les stimuli sont montrés un par un et sont jugés sur une échelle de Likert, soit l'évaluation est réalisée lors de la présentation par paire des stimuli ; le jugement se fait alors par choix forcé d'un des stimuli par rapport à l'autre. Les échelles de Likert présentent comme principale limitation qu'elle ne requiert pas de comparaison entre les stimuli alors même que les observateurs tendent à évaluer un stimulus par rapport à ceux précédemment évalués, nommés l'effet d'ancrage (Parducci, Knobel & Thomas, 1976; Tourangeau, Rips & Rasinski, 2000). De manière générale, le jugement est une préférence relative d'une chose par rapport à une autre comparable. La méthode de la comparaison par paire, en présentant deux stimuli simultanément côte-à-côte, semble de fait une méthode mieux adaptée au fonctionnement cognitif humain (McManus, Cook & Hunt, 2010). Cette méthode ne requiert pas de se souvenir des précédents stimuli ou d'anticiper sur les futurs stimuli et ne s'avère pas trop complexe d'un point de vue cognitif (McManus *et al.*, 2010).

La comparaison par paire semble fournir des jugements de préférence ayant un pouvoir prédictif des comportements visuels plus fort que les échelles de Lickert. L'ordre de préférence mis en place par une tâche de choix forcé est corrélé au temps moyen de fixation : les stimuli les plus souvent choisis (les plus esthétiques) étaient aussi fixés plus longtemps (Isham & Geng, 2013). Cette prédiction n'était pas rendue possible par l'évaluation esthétique des stimuli à l'aide d'une échelle de Likert (Isham & Geng, 2013).

Pour nos études, nous avons choisi une évaluation du jugement de préférence par choix forcé. Cette méthode, outre son meilleur pouvoir prédictif sur les comportements visuels, nous permet de conserver les mêmes présentations que lors de la tâche de préférence visuelle standard utilisée pour étudier la préférence visuelle des adultes et des nourrissons.

Prédiction du temps de regard

Les comportements visuels fournissent une mesure indirecte de l'intérêt et des préférences de l'observateur (Glaholt, Wu & Reingold, 2009 ; Locher, 2009 ; Isham & Geng, 2013). La mesure du comportement visuel présente des avantages par rapport aux mesures auto-rapportées de préférence (ex. questionnaires, interviews, tâche en choix forcé). Déjà, l'observateur ne fournit pas de réponse pour indiquer sa préférence, celle-ci est déterminée par l'enregistrement des temps de fixations notamment. Comparés à l'évaluation explicite de la préférence, les comportements visuels peuvent fournir une mesure des préférences spontanées, non-verbales, automatiques et sont donc moins susceptibles d'être biaisées par les attentes des participants concernant les buts de l'étude. Enfin, l'étude des comportements visuels rend possible les comparaisons entre adultes et nourrissons, nous permettant d'examiner le développement des préférences visuelles les premières années de vie et de mettre en évidence des invariants au cours du temps. Etant donné ces possibles avantages, il est surprenant que peu d'études empiriques examinent la relation entre le jugement de préférence esthétique et les comportements visuels des adultes et des nourrissons.

L'oculométrie s'avère une technique fiable et rapide qui rend compte de l'attention visuelle des observateurs lors de l'appréciation esthétique (Graham *et al.*, 2009 ; Wallraven, Cunningham, Rigau, Feixas & Sbert, 2009). Plusieurs études mettent en évidence le lien entre le jugement de préférence esthétique et l'attention visuelle chez l'adulte. Les études de Simion et Shimojo (2006 ; 2007) rapportent un biais préférentiel chez l'adulte durant une tâche en choix forcé : le visage jugé le plus attractif des deux est regardé plus longtemps par les individus. L'analyse au cours du temps du comportement visuel révèle que le biais préférentiel visuel envers le visage jugé attractif est présent avant que l'individu n'émette son choix (entre 1 et 1.5 secondes de présentation ; Simion & Shimojo, 2006). Ce biais de regard envers les stimuli attractifs est d'autant plus robuste lors de tâche en choix forcé à 8 alternatives (8-AFC, Glaholt & Reingold, 2009 ; Glaholt *et al.*, 2009). Cette relation entre le choix et le comportement visuel est également présente lors du jugement de photographies artistiques et non pas seulement pour des photographies de visage (Glaholt & Reingold, 2009). La mesure du temps de fixation de l'observateur adulte rend possible la prédiction du jugement de préférence esthétique postérieure ; l'item choisi ayant plus de chance d'avoir le plus long temps de fixation. Ce

résultat est plus robuste lors de tâche en 8-AFC mais ces prédictions restent précises dans les tâches en 2-AFC (figure 40 ; Glaholt *et al.*, 2009 ; Glaholt & Reingold, 2009). Cette possibilité de prédiction a ainsi été mise clairement en évidence dans les études de Bee et ses collègues (2006a ; 2006b). Les participants adultes devaient choisir parmi deux images de cravate laquelle ils préféraient. Les mouvements oculaires étaient mesurés en temps réel à l'aide d'un eye-tracker, de même que d'autres signaux physiologiques liés aux émotions positives. Ces données collectées permettaient au système *AutoSelect* de prédire avec une précision moyenne de 81%, le choix postérieur du participant (Bee *et al.*, 2006a ; 2006b). Dans une étude sur l'expérience esthétique, les participants devaient choisir dans une tâche en 2-AFC la plus esthétique des deux images abstraites (Isham & Geng, 2013). En accord avec les études précédentes, les résultats indiquent que les images jugées plus esthétiques étaient en moyenne fixées plus longtemps que les images non choisies. Les différences de temps de fixation entre les deux stimuli commençaient à 3000-3500 ms avant la réponse manuelle du choix, ce qui suggère que le résultat du choix final peut être prédit avant la préférence esthétique explicite (Isham & Geng, 2013).

Si le comportement visuel d'un adulte peut prédire son jugement de préférence esthétique postérieure, le jugement de préférence esthétique moyen des adultes peut également prédire la préférence visuelle d'autres participants adultes, de nourrissons mais également d'autres espèces animales. Les macaques rhésus regardent plus longtemps les visages de macaques jugés attractifs par des adultes humains (Damon *et al.*, 2018). De même, comme nous l'avons vu dans le chapitre 5 sur le développement de l'esthétique, de nombreuses études mettent en évidence que les jugements esthétiques des adultes permettent de prédire les préférences visuelles spontanées des nourrissons au cours de la première année de vie envers les visages humains (Damon *et al.*, 2017a ; *for a review, see* Damon *et al.*, 2017b ; Langlois *et al.*, 1987 ; Langlois *et al.*, 1991 ; Samuels *et al.*, 1994 ; Samuels & Ewy, 1985 ; Slater *et al.*, 1998 ; Slater *et al.*, 2000 ; Van Duuren *et al.*, 2003) ou d'autres espèces animales (Quinn *et al.*, 2008).

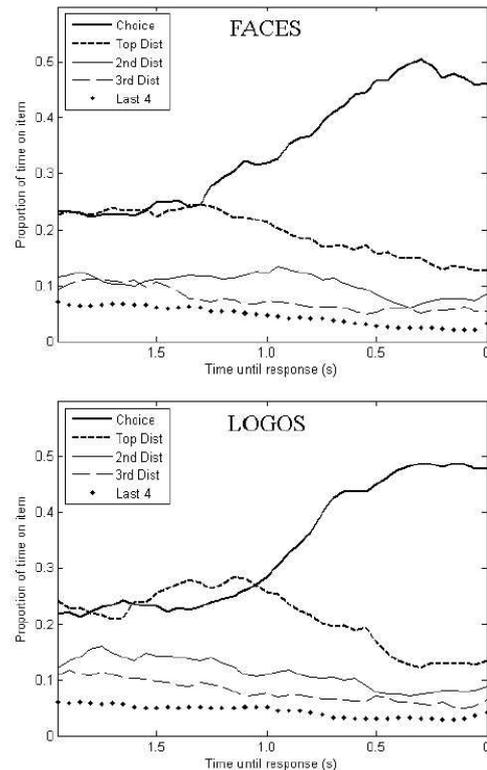


Figure 40 | Proportion de temps de regard dirigé vers l'item choisi ou ses distracteurs au cours des 2 secondes avant la réponse dans la tâche de 8-AFC pour les visages (en haut) et les logos (en bas) dans l'étude de Glaholt & Reingold (2009).

À notre connaissance, nous n'avons pas actuellement de connaissances sur les différences potentielles de comportements visuels entre des adultes et des nourrissons lors de l'observation d'œuvres d'art. Or, des différences sont observées entre des adultes experts et non-experts en art. Par exemple, le niveau de préférence esthétique des sujets naïfs est fortement influencé par le niveau d'abstraction et les propriétés de surface des peintures (*e.g.* palette de couleurs) alors que les experts sont plus sensibles aux propriétés structurelles des œuvres d'art (*e.g.* balance compositionnelle). Les experts extraient des informations différentes alors que les patterns de fixation varient peu parmi les novices (Kristjanson & Antes, 1989). Par contre, les experts présentent une distribution du temps de fixation plus consistante d'une peinture à l'autre par rapport aux novices (Ylitalo *et al.*, 2016). Les experts réalisent aussi des saccades plus courtes que les novices mais plus nombreuses et sur des régions moins centrées (Kristjanson & Antes, 1989 ; Vogt & Magnussen, 2007 ; Ylitalo, Särkkä & Guttorp, 2016).

Le chapitre 6 présente nos trois études sur la relation entre jugement de préférence et préférence visuelle. Nous avons estimé le jugement de préférence des adultes dans une tâche en choix forcé et déterminé si ces jugements prédisent les temps de regard d'autres adultes et de nourrissons dans une tâche standard de préférence visuelle pour différents stimuli : des mouvements abstraits, des œuvres d'art représentant des portraits et des paysages.

Chapitre 6 | Esthétique chez l'adulte et le nourrisson

EXPERIENCE 1. Esthétique de mouvement abstrait

Introduction

D'après Zeki et Lamb (1994), l'expérience esthétique naîtrait d'une plus forte stimulation physiologique des aires visuelles impliquées dans le traitement des stimuli. Afin d'étudier cette assomption, Zeki et Stutter (2012) ont mené une étude sur la beauté des mouvements et ont émis l'hypothèse que les mouvements jugés les plus beaux produiront une activation des aires visuelles spécialisées dans le traitement du mouvement plus forte que les mouvements non-esthétiques. Le mouvement est un attribut visuel autonome, traité séparément d'autres attributs visuels. Les aires cérébrales V1, V2, le complexe V3 et V5 comportent des cellules neuronales spécialisées dans le traitement du mouvement (figure 41 ; Zeki & Lamb, 1994). Dans une étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Zeki et Stutter (2012) ont créé des stimuli visuels simples afin d'examiner les corrélats neuronaux des préférences subjectives chez l'adulte. Ces stimuli représentent huit patterns de points blancs en mouvement sur un plan fronto-parallèle, connus pour activer le complexe V5 humain (Braddick *et al.*, 2001 ; Zeki & Stutter, 2012). Ces patterns se meuvent dans l'espace de manière plus ou moins uniforme, cohérente et lisse. Les résultats indiquent que les jugements de préférence, et non les caractéristiques physiques des stimuli, sont associés à une activation corticale supérieure du complexe V3, V5 et du cortex pariétal. Les patterns de mouvement activent les aires V1, V2 et V3 mais seules les aires V3a, V3b et V5 sont plus fortement activées lorsque les participants regardent les patterns de mouvement préférés par rapport à ceux non préférés. Résultat intéressant, un participant préférant le pattern P₄ (et diffère de ce fait des préférences des autres participants), montre une corrélation entre son

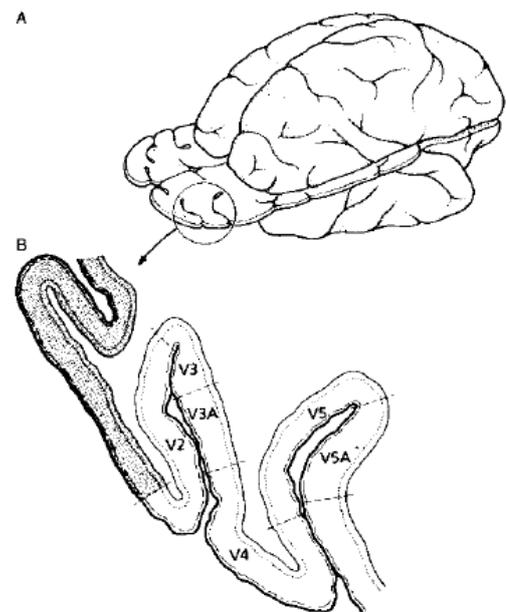


Figure 41 | Reconstruction d'une section horizontale du cerveau d'un macaque rhésus montrant les positions des aires visuelles V5 et V3. L'aire V1 est grisée (Zeki & Lamb, 1994).

activité corticale et sa préférence subjective, même si ce pattern de mouvement présente des caractéristiques physiques différentes de ceux préférés par la majorité.

Par ailleurs, les patterns de mouvement préférés produisent chez l'adulte une activité du champ A1 du cortex orbitofrontal médian (mOFC) que ne produisent pas les autres patterns de mouvement non préférés. L'activité de mOFC a été mise en évidence comme corrélant avec l'expérience de la beauté lors de l'observation libre d'œuvres d'art (Ishizu & Zeki, 2011; Ishizu & Zeki, 2013; Kawabata & Zeki, 2004), de photographies (Kirk, 2008; Kirk *et al.*, 2009a; Kirk *et al.*, 2009b) ou lors de l'appréciation esthétique de fragments musicaux (Ishizu & Zeki, 2011). Quel que soit le type de stimulus employé, l'activation neuronale de mOFC s'avère reliée à la préférence subjective chez l'adulte.

Les réseaux de neurones du nourrisson activés en fonction du jugement de préférence des adultes n'ont pas, à notre connaissance, été étudiés. L'utilisation de l'IRMf chez le nourrisson présente en effet des contraintes méthodologiques fortes (Hertz-Pannier, Noulhiane, Dubois & Chiron, 2013). L'étude des relations entre le jugement de préférence des adultes et les préférences visuelles spontanées du nourrisson s'avère être la méthodologie la plus largement employée. Cette méthode a mis en lumière des corrélations entre le jugement de préférence chez l'adulte et les préférences visuelles des nourrissons pour différents types de stimuli comme des patterns complexes, des visages et même des œuvres d'art abstraites (voir Chapitre 5.3 ; p. 75-76). Les préférences visuelles chez le nourrisson ne peuvent être imputables à une expérience esthétique complète comme chez l'adulte, avec l'interaction des informations visuelles et des systèmes mnésiques et émotionnels. Il s'avère notamment que le mOFC, particulièrement impliqué dans les tâches de jugement de préférence esthétique, est une région cérébrale qui n'atteint sa pleine maturité que très tardivement au cours du développement cérébral, après la deuxième décennie de vie (Fuster, 2002 ; Lenroot & Giedd, 2006). Il est possible en revanche que l'impression initiale esthétique, observable chez l'adulte lors de présentation brève d'un stimulus esthétique où les processus cognitifs descendants sont peu ou pas mobilisés, puisse émerger tôt au cours du développement et être observable par la mesure du temps de regard préférentiel d'un stimulus jugé beau par des adultes par rapport à un stimulus jugé non beau.

Dans cette étude, nous avons utilisé les mêmes patterns de points en mouvement que dans l'étude de Zeki et Stutters (2012) afin d'étudier les relations entre les jugements de préférence des adultes et les préférences visuelles d'autres adultes et de nourrissons âgés de 4 à 24 mois. L'aire V5, spécialisée dans la perception et l'interprétation des mouvements, s'avère

en effet mature à la naissance (Zeki, 1974; Zeki, 2015; Zeki & Lamb, 1994). D'après Zeki et Lamb (1994), ceci expliquerait que les nourrissons sont attirés visuellement par le mouvement dès la naissance. Sachant que les aires visuelles codant le mouvement sont matures très tôt au cours du développement cérébral et que les nourrissons orientent aisément leur regard vers le mouvement, l'étude de la corrélation du jugement de préférence réalisé par des adultes et des temps relatifs de regard d'autres adultes et de nourrissons sera facilitée par l'utilisation de ces patterns de points en mouvement.

Si les jugements de préférence des adultes prédisent les temps relatifs de regard d'autres adultes et de nourrissons, nous pouvons supposer que le jugement de préférence esthétique des adultes repose ici sur une impression esthétique initiale. Cette impression esthétique initiale serait observable tôt au cours du développement par un regard préférentiel en direction des stimuli jugés beaux par rapport à ceux jugés non beaux. De ce fait, les temps relatifs de regard des adultes et des nourrissons devraient également être corrélés. Par ailleurs, nous analyserons le regard au cours des cinq secondes de présentation afin de déterminer si la relation entre jugement de préférence des adultes et regard préférentiel des adultes et nourrissons est rapide ou si elle se renforce au cours de la présentation.

Méthode

Participants

Trente-cinq participants adultes ($M_{age} = 23$ ans, $SD = 4$, 26 femmes) ont réalisé une tâche de jugement de préférence en choix forcé afin d'estimer le score de beauté relatif des 8 stimuli. Cent quatre-vingt-deux nourrissons entre 4 et 24 mois, nés à terme et sans pathologies connues, ont vu au cours d'une tâche standard de préférence visuel les stimuli. Les informations relatives aux nourrissons, répartis par groupe d'âge de 4, 6, 9, 12 et 24 mois, sont reportées dans le Tableau 1. Un groupe de 41 adultes ($M_{age} = 22$ ans, $SD = 3$, 31 femmes) a également participé à l'étude dans une tâche standard de préférence visuelle dans laquelle aucune instruction n'a été fourni aux participants de sorte à rester proche de la tâche des nourrissons. Les parents et leur nourrisson ont été recrutés à la Maternité du pôle Parent-Enfant du CHU de Grenoble puis ils ont été rappelés lorsque l'enfant avait l'âge de l'étude pour venir au Babylab du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC) à l'Université Grenoble-Alpes (UGA, CNRS UMR 5105). Les participants adultes ont été recrutés via une annonce dans le bâtiment de Psychologie de l'Université Grenoble-Alpes. Des formulaires de consentement ont été remplis par les

parents des nourrissons et les participants adultes avant l'expérience. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes, sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Tableau 1. Details of age's group informations in standard visual preference task

Age group	<i>N</i>	<i>N males</i>	Age (days)	Valid trials	Lost trial [†] (%)
4-m-o	43	18	119 (9)	500	14.09
6-m-o	31	15	186 (15)	372	14.68
9-m-o	32	21	284 (7)	330	22.54
12-m-o	39	23	380 (10)	446	18.76
24-m-o	37	18	742 (34)	371	27.25

[†] using a lower limit of 2 seconds of looking at patterns.

Stimuli et procédure

Les 8 stimuli représentent des patterns de mouvement en points lumineux. Ces stimuli ont été créés de sorte à avoir différentes valeurs esthétiques (Zeki & Stutters, 2012). Chaque stimulus se compose d'un maximum de 192 points blancs en mouvement (encadré de 400 x 300 pixels) sur fond gris (largeur de l'écran soit 768 x 1024 pixels). Le nombre de point à l'écran peut toutefois varier pour un même mouvement selon la séquence de l'image (5 points seulement à la première séquence d'image pour le pattern P_5 par exemple) ou lorsque la position des points est hors des limites de l'animation. Seules les premières 300 séquences d'image de la version originale des stimuli ont été utilisées, ce qui correspond à 5 secondes d'animation à 60Hz. Les huit patterns n'obéissent pas à un principe commun. Dans l'article original, les caractéristiques des patterns de mouvement sont définies selon trois variables : l'uniformité (e.g. variance moyenne de la position des points présents dans un encadré de 120x80 pixels), la cohérence (e.g. variance moyenne de la direction des points) et la continuité (e.g. variance moyenne de la direction du mouvement d'un point sur l'ensemble des trames d'image). Le degré d'uniformité ($M = 3.26$, $SD = 2.50$) varie de 1.62 (le plus uniforme ; P_1) à 9.3 (le moins uniforme ;

<i>Pattern</i>	<i>Uniformité</i>	<i>Cohérence</i>	<i>Continuité</i>
P_1	1.62	0.03	2.35
P_2	9.3	2.25	1.44
P_3	2.51	0.03	3.26
P_4	2.28	3.28	2.91
P_5	3.48	1.63	0.18
P_6	2.13	0.07	3.25
P_7	2.3	0.14	3.39
P_8	2.42	0.05	3.26

Figure 42 | Scores d'uniformité, de cohérence et de continuité des huit patterns de points en mouvement utilisés dans cette étude. Tableau repris des données supplémentaires de l'étude de Zeki et Stutters (2012).

P₂). Le degré de cohérence ($M = 2.05$, $SD = 1.15$) est compris entre 0.03 (le plus cohérent; P₃) et 3.28 (le moins cohérent; P₄). Enfin, le degré de continuité du mouvement des points ($M = 1.00$, $SD = 1.28$) fluctue de 0.18 (le moins continu; P₅) à 3.39 (le plus continu; P₇). Ainsi, certains patterns présentent un arrangement régulier (pattern P₁, P₃, P₅ et P₈), d'autres présentent un arrangement randomisé (pattern P₄, P₆ et P₇) ou pseudo-randomisé (pattern P₂). La rapidité du mouvement et le chemin du mouvement varient également selon les patterns (figure 43).

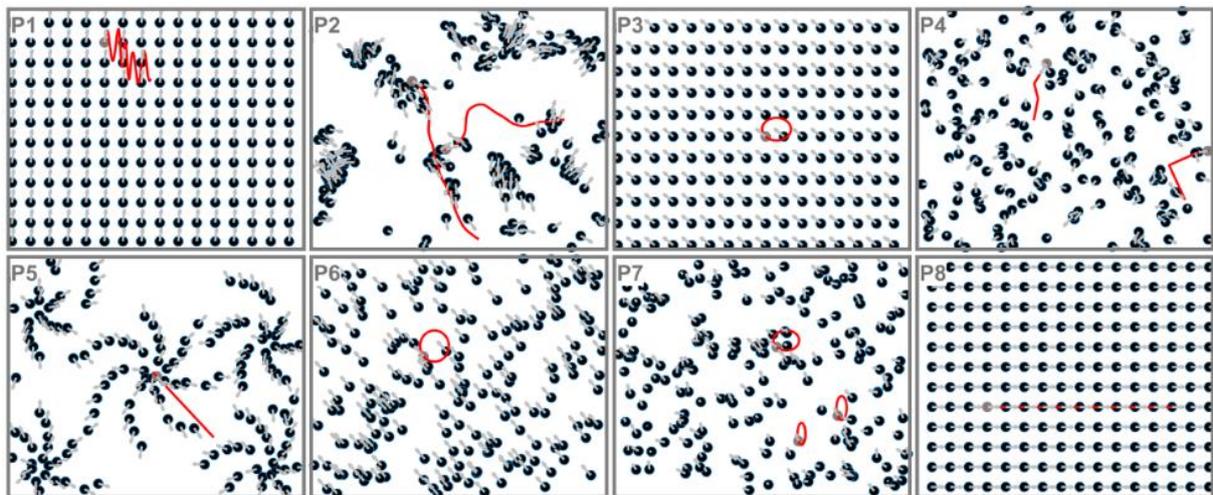


Figure 43 | Les 8 patterns de mouvement issus de Zeki et Stutter (2012). La ligne pleine rouge indique le chemin du mouvement au cours des 5 secondes. La direction actuelle d'un point du pattern est représentée par les flèches grises. P₁) animation uniforme avec une déviation en oscillation, P₂) nuage de points avec dépendance de trajectoires entre points, P₃) animation uniforme avec trajectoire ellipsoïdale uniforme du mouvement, P₄) animation randomisée avec trajectoire rectiligne et des changements de direction, P₅) tourbillon en expansion, P₆) animation randomisée avec trajectoire circulaire uniforme, P₇) animation randomisée avec des trajectoires elliptiques différentes (impression de profondeur), P₈) animation uniforme avec trajectoire rectiligne uniforme. Dans l'animation expérimentale, le fond est gris et les points sont blancs.

Les patterns de mouvement sont montrés par paire sur un moniteur couleur (Iiyama Vision Master Pro 514, 40.5 x 30.5 cm) avec une résolution de 1024 x 768 pixels et une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz (figure 44). La distance entre les yeux du participant et l'écran est d'environ 60 cm, l'écran se trouve ainsi à 37° d'angle visuel horizontal et 28° d'angle visuel vertical. Deux rectangles invisibles (400 x 300 pixels, soit 15° x 11° d'angle visuel) sont positionnés côte-à-côte par rapport au centre de l'écran avec une séparation de 160 pixels (soit 5.5° d'angle visuel). Les patterns de mouvement sont joués dans ces aires pendant 5 secondes. L'arrière-plan est gris. Les points sont blancs avec un diamètre de 7 pixels (0.26° d'angle visuel).

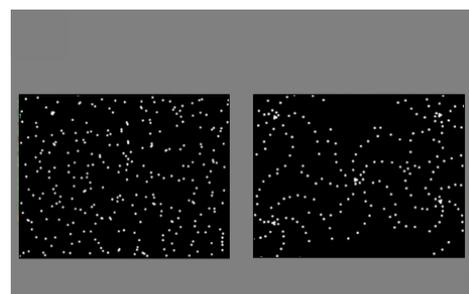


Figure 44 | Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des patterns de mouvement P₇ et P₅.

Tâche de jugement de préférence en choix forcé – Les stimuli sont composés de 56 paires ordonnées $\{P_i, P_j\}$, ($\{P_1, P_2\}$, $\{P_1, P_3\}$, $\{P_1, P_4\}$, ..., $\{P_2, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_7\}$). Nous avons retiré les paires avec l'exemplaire en double (e.g. $\{P_1, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_8\}$) pour éviter les effets de nonsens. Les participants adultes ont reçu pour instruction d'indiquer leur pattern préféré pour chaque paire en pressant sur les flèches gauche ou droite du clavier. La décision est prise avec un point de vue esthétique : les participants devaient choisir le pattern qu'ils jugeaient le plus beau entre les deux patterns présentés. Les 56 paires de patterns de mouvement étaient successivement montrées dans un ordre randomisé. Le temps de réponse était enregistré entre le début de présentation de la paire de patterns et le moment où ils pressaient une touche sur le clavier. Le temps de présentation était limité à 5 secondes mais les participants pouvaient répondre pendant la présentation des animations ou une fois qu'elles disparaissaient de l'écran.

Tâche de préférence visuelle – Les mouvements oculaires des nourrissons et des adultes ont été enregistrés pendant que les paires de pattern étaient jouées (figure 45). Les adultes et bien sûr les nourrissons, n'ont reçu aucune instruction particulière. Les plus jeunes nourrissons étaient installés dans une chaise pour nourrisson, les enfants de 24 mois étaient assis sur les genoux d'un des parents et les adultes étaient assis sur une chaise à hauteur modulable. Les mouvements oculaires ont été enregistrés avec le système EyeLink® 1000 (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) avec une fréquence d'échantillonnage de 250Hz. Pour des raisons techniques, nous avons utilisé une source d'illumination de 940nm au lieu de l'illumination classique de 890nm de EyeLink®. Nous avons utilisé la configuration 'tête libre' avec un sticker-cible sur le front. Cette configuration permet d'enregistrer la position d'un oeil sans restreindre la position de la tête. Les adultes et nourrissons ont été testés avec cette même configuration. Avant de réaliser la tâche de préférence visuelle, nous avons lancé la procédure de calibration en 5-points. Les cibles utilisées sont des animations customisées avec du son conçues pour attirer l'attention des nourrissons (diamètre = 2.4 degrés). Afin de minimiser les différences entre les groupes, la calibration a été réalisée sans instruire les participants de regarder vers les cibles. Après calibration, nous avons validé la procédure pour nous assurer de la précision de l'oculomètre. Comme lors de la tâche de jugement de préférence, les adultes ont vu les 56 paires dans un ordre randomisé. Les nourrissons ont seulement vu un sous-ensemble de paires entre 6 et 27 ($M = 13.66$ pairs, $SD = 2.23$), selon leur niveau d'attention. Un *attention-getter* (même cible mouvante que lors de la calibration) au milieu de l'écran a été montré avant

chaque présentation de paire. La présentation était démarrée manuellement par l'expérimentateur lorsque le participant regardait l'attention-getter.

Pour le traitement des données oculométriques, les fixations et saccades ont été identifiées grâce à l'algorithme de découpe de EyeLink® à un seuil de $8000^\circ/s^2$, $30^\circ/s$, et 0.4° pour l'accélération, la vitesse et la position respectivement. L'analyse des résultats de découpe indique que les aires des patterns en mouvement provoquent des mouvements de poursuites lentes. Nous avons ensuite utilisé le nombre d'échantillon des aires d'affichage plutôt que le temps de fixation afin de mieux estimer le temps de regard pour chacun des deux patterns d'une même paire. Nous avons employé une limite basse de 2 secondes du temps total de regard (sur les 5 secondes de présentation de la paire) comme critère d'inclusion de l'essai. Cette procédure de filtrage a permis d'exclure 0.9% des essais des adultes et entre 14% et 27% des données des nourrissons. Nous avons calculé le temps moyen de regard de chaque pattern pour les 56 paires ordonnées et pour chaque groupe d'âge. Enfin, nous avons calculé le temps relatif de regard en divisant le temps de regard du pattern de gauche avec le temps total de regard des deux patterns. La présentation des stimuli et l'acquisition des données oculométriques ont été réalisées sur MatLab (R2007b) et la toolbox EyeLink® de la PsychToolbox (Cornelissen, Peters, & Palmers, 2002). Les analyses statistiques ont été réalisées avec MatLab et R (R Development Core Team, 2008).



Figure 45 | Passation avec un nourrisson à l'oculométre. Le nourrisson est installé dans un fauteuil adapté, à 60 cm environ de l'écran. Une cible est installée sur son front pour l'enregistrement de ses mouvements oculaires. Le parent se tient derrière le nourrisson et reste en contact physique avec son enfant.

Résultats

Tâche de jugement de préférence – Les ratios moyens de préférence des huit patterns de mouvement, présentés avec les 7 opposants possibles à droite ou à gauche du pattern d'intérêt, sont disponibles dans la figure 46. Les ratios moyens de préférence des huit patterns en mouvement, par paires, sont corrélés avec les résultats de Stutters et Zeki (2012), $r = .88$, $p < .01$. Les quatre patterns préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₅ (tourbillon en expansion), P₄ (animation randomisée avec trajectoire rectiligne et changement de direction), P₂ (nuages de points avec trajectoire dépendante des autres points) et P₇ (animation randomisée avec des trajectoires ellipsoïdales variantes donnant une impression de profondeur). Ces quatre patterns préférés reçoivent respectivement 0.74, 0.69, 0.65 et 0.60 en fréquence de choix moyen face aux patterns opposants. Les patterns les moins préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₈ (animation uniforme avec trajectoire rectiligne uniforme), P₃ (animation uniforme avec trajectoire ellipsoïdale uniforme du mouvement), P₆ (animation randomisée avec trajectoire circulaire uniforme) et P₁ (animation uniforme avec dérive uniforme sans oscillation). Ces quatre patterns non-préférés reçoivent respectivement 0.40, 0.32, 0.31 et 0.30 en fréquence de choix moyen face aux patterns opposants. En résumé, les patterns avec des points répartis uniformément et les lois de mouvement uniforme ont moins de chance d'être trouvé beaux que ceux avec des lois de mouvement varié et des arrangements randomisés. Plus précisément, les trois patterns préférés, à savoir P₅, P₄ et P₂, présentent la particularité d'être les plus complexes sur un des trois critères de construction de la trajectoire des points, à savoir la continuité (P₅, trajectoire des points la moins continue), la cohérence (P₄, trajectoire des points la moins cohérente) et l'uniformité (P₂, trajectoire des points la moins uniforme). L'ordre de préférence des patterns de points en mouvement, calculée à partir de la fréquence moyenne de choix des huit patterns par participant, présente une forte consistance inter-sujet ($\alpha = 0.94$).

Les ratios moyens de jugement de préférence tels que présentés dans la figure 45 ne peuvent être utilisés comme une mesure du jugement de préférence dans les analyses à venir des résultats de la tâche de préférence visuelle. Nous tenons compte ici des 112 valeurs de rapport de préférence, les ratios moyens de la paire {P₁, P₂} (P₁ est choisi 8 fois face à P₂, lui-même choisi 27 fois, $M = 0.23$) étant différent de la valeur des ratios moyens pour la paire {P₂, P₁} (P₂ est choisi 28 fois face à P₁, lui-même choisi 7 fois, $M = 0.80$) par exemple. Nous avons donc réduit à un ensemble de 56 valeurs de rapport de préférence, une pour chaque paire ordonnée, en notant par convention le premier pattern d'une paire ({P₁, P₂}) pour représenter le rapport de préférence au sein des deux paires ({P₁, P₂} et {P₂, P₁}).

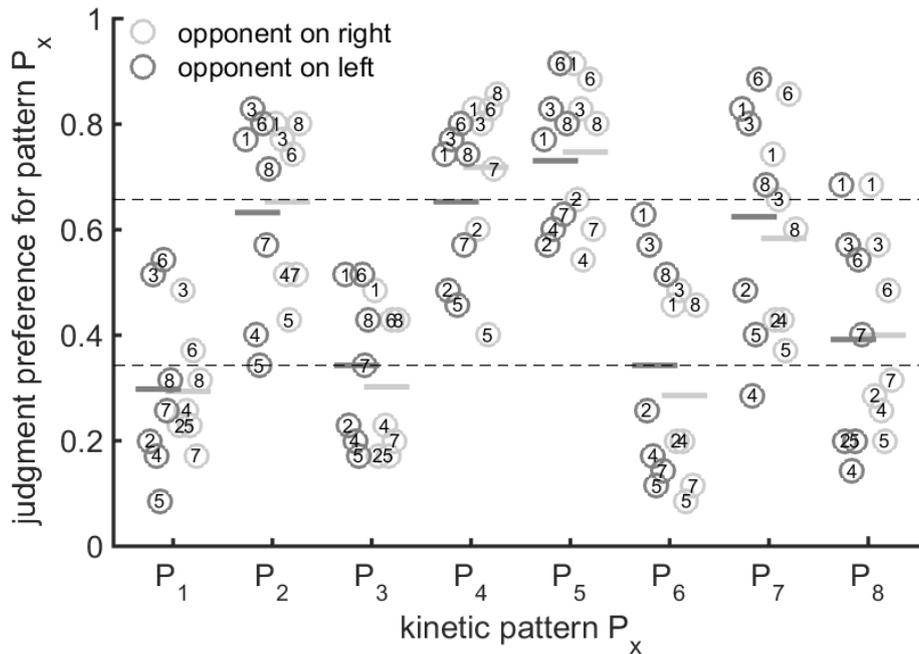


Figure 46 | Fréquence de choix des patterns en mouvement P_x , selon le pattern opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant sur l'animation. Les lignes pointillées donnent les frontières de l'intervalle de confiance à 95% sous l'hypothèse binomiale d'une préférence nulle dans le jugement de la paire. Les patterns P_2 , P_4 , P_5 et P_7 sont au-delà du score de chance contre les opposants P_1 ou P_6 . Le pattern P_1 est jugé moins beau que P_2 , P_4 , P_5 , P_7 et P_8 mais est semblablement préféré contre P_3 et P_6 , quelle que soit la position de l'animation (gauche ou droite). Les lignes pleines colorées donnent le ratio moyen de préférence contre les sept paires possibles du pattern quand l'opposant est à droite en gris clair et quand l'opposant est à gauche en gris foncé.

Tâche de préférence visuelle – La figure 47 montre la relation entre les ratios de préférence pour le premier pattern d'une paire, mesurée dans la tâche de jugement de préférence (*preference judgment* ; PJ) et le temps relatif de regard (*relative looking time* ; RLT) du même pattern dans la tâche de préférence visuelle pour chacun des six groupes d'âge testés. Les résultats de l'analyse de régression linéaire, rapportés dans le Tableau 2, indiquent que le jugement de préférence du groupe indépendant d'adulte, prédit les temps relatifs de regard de tous les groupes d'âge testés. L'effet du jugement de préférence est capturé par le paramètre de la pente (β_1). Le paramètre de l'intercept (β_0) correspond au temps relatif moyen de regard pour un pattern d'un jugement de préférence hypothétique de zéro. En utilisant le temps de regard par essai dans le Tableau 2 (MLT), le ratio minimal entre temps de regard moyen et le jugement de préférence est de 0.085 ($MLT_{0.085}$). Il est ainsi possible d'estimer par l'équation $MLT_{0.085} = (\beta_0 + \beta_1 * 0.085) * MLT = 1.63$, que le temps moyen minimal de regard chez les nourrissons de 4 mois est de 1.63 secondes. Même le moins préféré des patterns reçoit de l'attention visuelle. Le ratio maximal étant de 0.914, nous retrouvons que le temps moyen maximal de regard est de $MLT_{0.914} = 2.39$ secondes chez les nourrissons de 4 mois.

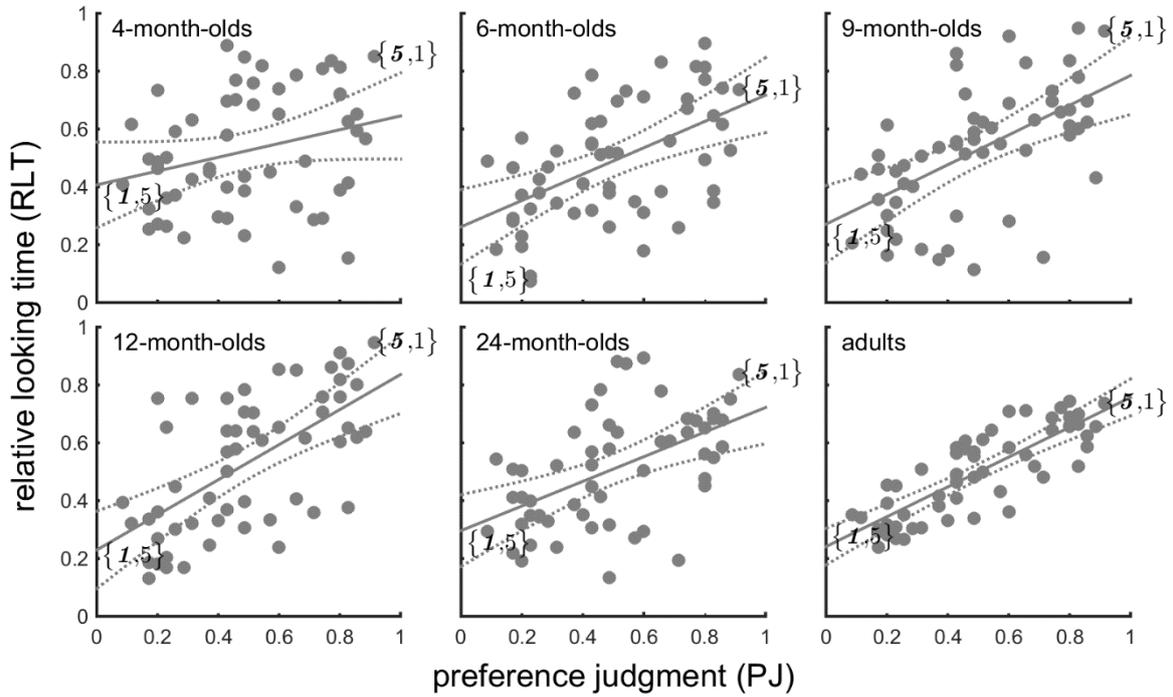


Figure 47 | Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard. L'intercept et la pente de régression linéaire change avec l'âge mais sont significatifs dans tous les groupes d'âge. Les lignes pointillées donnent l'intervalle de confiance à 99% pour la pente et le paramètre intercept de la ligne pleine. Sont représentés entre accolades le score des patterns 1 et 5 des paires $\{P_1, P_5\}$ et $\{P_5, P_1\}$ respectivement.

Tableau 2. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \varepsilon$ in Figure 47

Age group	Intercept (β_0)	t_{54} value intercept	Slope (β_1)	t_{54} value slope	R^2	MLT [†] per trial (s)
4-m-o	0.40 (0.06)	6.52***	0.24 (0.11)	2.10*	0.07	3.87 (0.41)
6-m-o	0.26 (0.05)	4.82***	0.46 (0.10)	4.63***	0.28	3.71 (0.40)
9-m-o	0.27 (0.06)	4.80***	0.51 (0.10)	5.02***	0.32	3.80 (0.30)
12-m-o	0.23 (0.06)	4.08***	0.60 (0.10)	5.93***	0.39	3.82 (0.40)
24-m-o	0.30 (0.05)	5.66***	0.42 (0.10)	4.48***	0.27	3.86 (0.41)
Adults	0.24 (0.03)	9.05***	0.52 (0.04)	10.66***	0.67	4.35 (0.22)

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, † Mean looking time on the pattern (SD)

Analyse du regard au cours du temps – Nous avons trouvé un effet significatif du jugement de préférence sur le temps relatif de regard en faisant la moyenne des comportements au cours des 5 secondes de présentation. Pour examiner si l'attention visuelle dirigée vers les patterns de points en mouvement jugés beaux était une réponse rapide ou si elle gagnait en force au cours du temps, nous voulions déterminer le moment à partir duquel l'effet du jugement de préférence émergeait et s'il évoluait durant les 5 secondes de présentation. Pour ce faire, nous avons calculé la corrélation sur une base échantillon par échantillon (e.g. pour chaque 4 ms de temps passé, taux d'échantillonnage = 250Hz). La corrélation peut seulement être calculée lorsque nous avons les valeurs de temps relatif de regard d'un nombre raisonnable de patterns. Nous avons fixé cette quantité à 40 (max = 56 paires). Autrement, le coefficient de corrélation donne une valeur de zéro.

La figure 48 montre l'évolution du coefficient de corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard. Les valeurs de la corrélation sont négatives dans la première partie de la présentation, en particulier chez les jeunes participants. Cela suggère que pour certains patterns avec de faibles scores, d'autres caractéristiques que le jugement de beauté vont capturer l'attention visuelle en début de l'essai. Les temps d'occurrence des premières valeurs significatives et négatives sont 376 ms, 324 ms et 316 ms pour les 4, 6, 9 et 12 mois respectivement. Aucune corrélation significative négative n'a été retrouvée pour les 24 mois, qui montrent toutefois un pic négatif à 324 ms après le début de la présentation. Une corrélation significative négative se produit dès 220 ms après le début de l'essai pour les adultes. Les périodes observées de corrélations négatives suggèrent que les réponses visuelles les plus rapides vont plus souvent se diriger vers les patterns avec de faibles scores de beauté.

Suivant cette phase négative initiale, la corrélation passe dans des valeurs positives. Ces valeurs deviennent significatives après 1864 ms de présentation chez les 4 mois. L'effet du jugement de préférence se produit plus tôt alors que les nourrissons grandissent, 1080 ms, 816 ms, 900 ms et 596 ms pour les 6, 9, 12 et 24 mois respectivement. Chez les adultes, la significativité est dépassée dès 436 ms après le début de l'animation et reste stable par la suite. Ces réponses visuo-attentionnelles à la beauté des patterns de mouvement suggèrent que les nourrissons sont sensibles aux caractéristiques qui rendent possible le jugement de la beauté chez l'adulte. Comme les adultes, les nourrissons ont été saisi par ces caractéristiques et ont préféré regarder ces beaux mouvements.

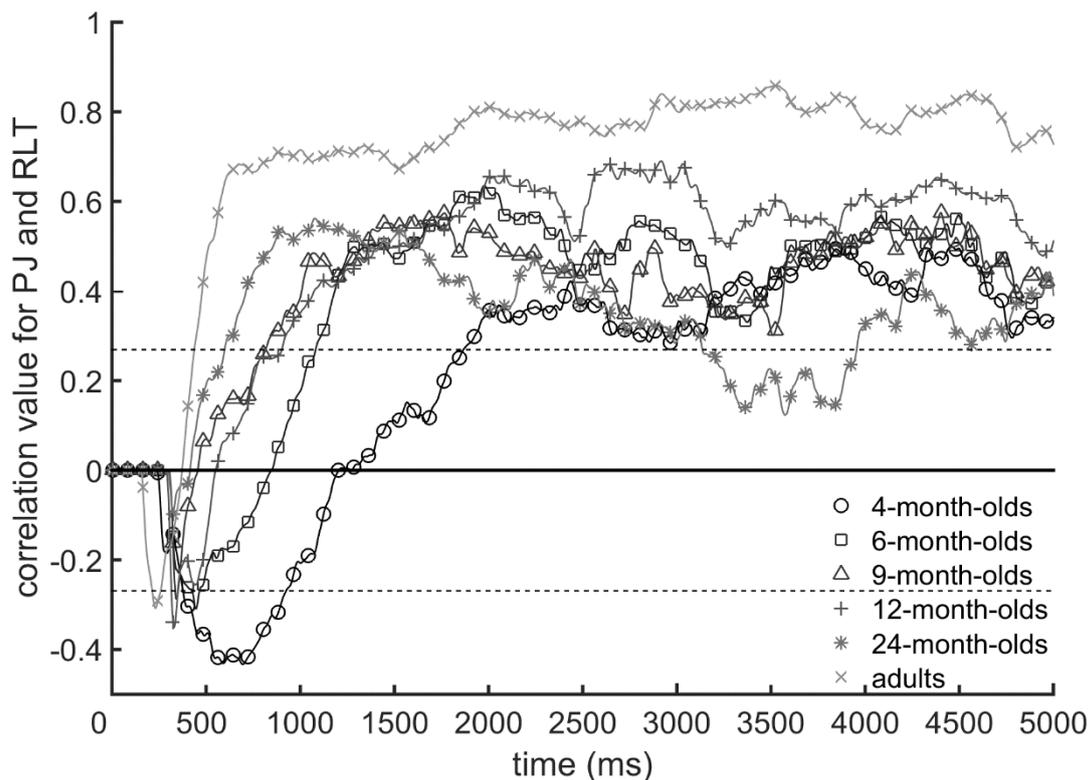


Figure 48 | Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de présentation des animations pour les six groupes d'âge. Les lignes pointillées donnent le minimum moyen de la valeur de la corrélation à $p < .05$ (dépendant du nombre de patterns disponible pour la régression).

Discussion

En utilisant des patterns de points en mouvement, nous avons mis en évidence que les jugements de préférence esthétique des adultes pour ces patterns prédisent les temps relatifs de regard d'un groupe adulte indépendant et de groupes de nourrissons entre 4 et 24 mois. Ainsi, nos résultats font écho à d'autres études montrant une augmentation de l'attention visuelle envers la beauté de différents stimuli comme les visages (Samuels & Ewy, 1985; Langlois *et al.*, 1987, Quinn *et al.*, 2008) ou les contours de formes géométriques et la symétrie (Bornstein, Ferdinandsen, & Gross, 1981, Fantz & Miranda, 1975).

La corrélation entre les jugements de préférence des adultes et temps relatifs de regard des adultes et des nourrissons poursuit la même dynamique au cours du temps : nous retrouvons un pic de corrélation négative brève en tout début de présentation où les patterns préférés par les adultes sont moins regardés que les non préférés. S'ensuit une plus longue phase de corrélation positive où les patterns préférés par les adultes sont aussi les plus regardés par les nourrissons de 4 à 24 mois. Ces premières corrélations négatives semblent indiquer que

l'attention visuelle, d'abord dirigée par les stimuli, est orientée vers des caractéristiques qui ne sont pas liées au jugement de préférence.

Les arrangements réguliers de points comme P₁, P₃ et P₈ sont plus souvent regardés en début de présentation et sont pourtant les moins préférés par les adultes. La rapide réponse attentionnelle est ainsi d'abord mieux décrite par un plan spatial plus informationnel: les patterns de points à arrangement

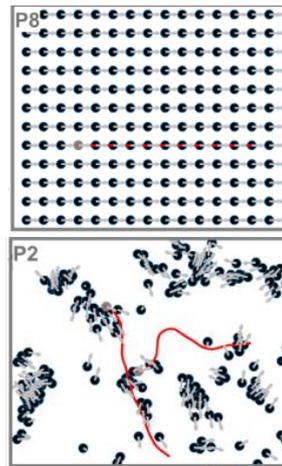


Figure 49 | Rappel des configurations initiales des patterns avec un arrangement régulier (P₈) ou irrégulier (P₂).

La surface d'informations visuelles des patterns réguliers est plus grande que celle des patterns irréguliers.

régulier présentent au cours des premières millisecondes de présentation plus d'informations dans l'espace que les patterns irréguliers (figure 49 ; Itti, & Koch, 2001; Torralba *et al.*, 2006; Carmi & Itti, 2006). De précédentes études ont montré que les nourrissons de 4 mois et moins présentaient une préférence visuelle spontanée pour les damiers les plus complexes, c'est-à-dire, ceux ayant un nombre plus élevé de carré (Brennan *et al.*, 1966 ; Cohen, 1972). Ce serait la fonction d'orientation de l'attention visuelle qui serait particulièrement sensible à la complexité de ces patterns puisque les nourrissons dirigent plus rapidement leur regard vers ces stimuli (Cohen *et al.*, 1975). Bien que tous nos patterns de points en mouvement disposent du même nombre de points (192), ce nombre peut varier au début de la présentation -avec un nombre inférieur de points pour P₅ par exemple. De fait, les arrangements réguliers présentent plus d'informations singulières que les arrangements irréguliers où les points peuvent apparaître peu après, se superposer ou former des groupements visuels.

Le degré de complexité des patterns de points en mouvement semble toutefois jouer également un rôle dans le jugement de préférence. Si les patterns de points à arrangement régulier sont spatialement plus complexes au départ, les informations sur leur trajectoire sont en revanche plus simples que celles sur les trajectoires des patterns de points à arrangement irrégulier. Le pattern de points P₅ est le plus complexe sur la dimension de la continuité du mouvement, le pattern P₄ sur la dimension de la cohérence du mouvement et le pattern P₂ sur la dimension de l'uniformité de la trajectoire des points. La complexité de la trajectoire, quel que soit le critère choisi, semble donc influencer le jugement de préférence des adultes ainsi que le temps de regard des adultes et des nourrissons puisque ces trois patterns sont les trois préférés et les plus longtemps regardés. Le maintien de l'attention visuelle vers des trajectoires moins prévisibles et des patterns irréguliers est retrouvé dans de précédentes études. Les séquences d'évènements modérément prévisibles sont plus longtemps regardées par les

nourrissons (Kidd *et al.*, 2012) de même que les patterns géométriques irréguliers attirent plus longtemps le regard lors d'une procédure d'habituation (Caron & Caron, 1969 ; Fantz, 1964 ; Fantz & Fagan, 1975). Cette préférence visuelle et esthétique pour des degrés de complexité moyen à fort est retrouvé pour différents stimuli abstraits et réels statiques (Berlyne, 1971 ; Aitken, 1974 ; Nicki & Moss, 1975 ; Saklofske, 1975 ; Imamoglu, 2000 ; Stamps, 2002 ; Nadal *et al.*, 2010).

Concernant les différences entre les groupes d'âge, la corrélation entre les jugements de préférence des adultes et les temps relatifs de regard est plus forte chez les adultes que chez les nourrissons. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les nourrissons aient vu un sous-ensemble de paires de patterns tandis que les adultes ont tous vu les 56 paires possibles. La variabilité inter-sujet étant confondue avec les paires, ce plus faible échantillonnage de paires est en partie responsable d'une augmentation de la variance résiduelle dans la relation entre le jugement de préférence des adultes et les temps de regard des nourrissons. Les résultats utilisant un modèle mixte fournissent de meilleures concordances puisqu'ils prennent en compte la dépendance participant-pairing plutôt que la moyenne des participants. Cette amélioration du pouvoir prédictif suggère qu'une partie de l'augmentation de la variance dans les groupes de nourrissons peut être liée à cette différence méthodologique.

De plus, si les courbes de corrélation entre jugements de préférence et temps relatifs de regard au cours du temps sont similaires dans leur dynamique (corrélation négative brève suivie d'une corrélation positive jusqu'à la fin de la présentation), nous observons avec l'augmentation en âge une apparition plus précoce de la corrélation positive entre les jugements de préférence des adultes et les temps relatifs de regard. Les nourrissons de 4 mois sont ainsi plus lents à regarder vers les patterns de points en mouvement préférés par les adultes que les autres groupes d'âge. De même, tous les groupes de nourrissons sont plus lents à regarder vers les patterns de points en mouvement préférés par les adultes que le groupe indépendant d'adultes. Ces plus longs délais observés chez les jeunes groupes de nourrissons peuvent être liés à la rapidité de traitement cérébral. Le cortex des nourrissons est fonctionnel et actif bien que immature à en juger par les délais de latence en potentiel évoqué (Dehaene-Lambertz, & Pena, 2001; Kushnerenko *et al.*, 2002). Même si les délais sont plus longs à 4 mois, l'effet du jugement de préférence des adultes sur les temps relatifs de regard suggère que très tôt les nourrissons ont des comportements visuels similaires aux adultes et maintiennent leur regard sur les mêmes caractéristiques physiques des stimuli qui s'avèrent être préférés à l'âge adulte. Il reste difficile

d'en conclure que les comportements visuels des nourrissons sont guidés par une impression esthétique initiale des mouvements. Ces résultats nous informent toutefois sur le fait que les propriétés visuelles des stimuli en mouvement qui amèneront à l'âge adulte à une appréciation esthétique positive, maintiennent l'attention visuelle des nourrissons. Cette attention visuelle accrue et stable au cours des deux premières années de vie pour ces propriétés pourrait être constitutive de la formation de l'expérience esthétique au cours du développement. Les stimuli, du fait de leur propriétés visuelles, recueillant une plus forte attention visuelle au cours du développement auraient ainsi plus de chance de faire émerger une appréciation esthétique positive à l'âge adulte. Il serait intéressant d'observer si des caractéristiques physiques de stimuli peuvent ne pas du tout maintenir l'attention visuelle des nourrissons mais pour autant être préférés par les adultes. Cette information empirique nous permettrait d'écarter l'hypothèse du rôle du maintien de l'attention visuelle dans la formation de l'expérience esthétique au cours du développement, que nous venons d'énoncer.

La contribution des études empiriques sur l'attention visuelle des nourrissons à notre compréhension de la cognition humaine est double. Déjà, elles révèlent les compétences précoces et les étapes importantes développementales. Elles révèlent également la continuité des comportements visuels de l'enfance à l'âge adulte. Quoique moins étudiées, ces invariances comportementales sont fondamentales pour comprendre la cognition visuelle car elles révèlent que les contraintes de l'attention visuelle surpassent les profonds changements qui accompagnent le développement cognitif. La stabilité de l'attention visuelle envers des caractéristiques de stimuli au cours du développement pourrait en outre jouer un rôle dans l'émergence de l'appréciation esthétique. La prise en compte de la temporalité de l'attention visuelle dans les études chez le nourrisson est un outil à valoriser pour approfondir la compréhension sur les différentes formes d'attention visuelle et leur influence au cours des expérimentations.

Les invariances comportementales au cours du développement cognitif signalent la dominance des processus ascendants. Les différences entre les nourrissons et les adultes signalent *a contrario* la contribution de l'expérience personnelle, du développement cérébral d'autres comportements et des connaissances apprises. Une question s'est donc posée sur la consistance des résultats observés pour l'attractivité des visages et l'esthétique des mouvements pour d'autres catégories de stimuli. Les deux études suivantes s'intéressent à la relation entre le jugement de préférence et les temps de regard envers des peintures réalistes représentant des portraits et des paysages.

EXPERIENCE 2.a. Esthétique des portraits

Introduction

Les portraits sont des peintures plus ou moins réalistes représentant des visages. La relation entre les jugements d'attractivité des visages d'adultes et les préférences visuelles des nourrissons est largement mise en évidence. Quels que soit les critères considérés, l'attention visuelle des nourrissons est maintenue plus longtemps vers les visages jugés attractifs par les adultes (voir chapitre 5.2 p.74 ; Damon *et al.*, 2017a ; Damon *et al.*, 2017b ; Langlois *et al.*, 1987 ; Langlois *et al.*, 1991 ; Samuels *et al.*, 1994 ; Samuels & Ewy, 1985 ; Slater *et al.*, 1998 ; Slater *et al.*, 2000 ; Van Duuren *et al.*, 2003). Comme dans notre étude sur les patterns de points en mouvement, nous observons donc une stabilité de l'attention visuelle au cours du développement vers les visages attractifs. Par ailleurs, les jugements d'attractivité des visages s'avèrent particulièrement similaires entre les adultes. La part de variance de la préférence partagée par rapport à la part de variance de la préférence privée pour les visages est comprise autour des 50% dans différentes études (Germiné *et al.*, 2015 ; Hönekopp, 2006 ; Leder *et al.*, 2016). D'autres études mettent également en évidence de hautes consistances intra-sujets ($\alpha = .87$; Carbon, Grüter, Weber & Lueschow, 2010) et une forte fiabilité inter-codeurs ($r = .88$; Carbon *et al.*, 2010) dans les évaluations d'attractivité. Les adultes présentent de plus grandes différences dans leurs préférences pour l'art, notamment abstrait (Leder *et al.*, 2016 ; Vessel & Rubin, 2010). Qu'en est-il de l'influence du jugement de préférence esthétique pour des œuvres d'art représentant des portraits sur le temps de regard ?

L'exploration d'œuvres d'art est un processus dynamique qui comprend des facteurs de différents niveaux cognitifs ascendants et descendants. Dans les œuvres d'art, les visages humains sont considérés comme un facteur critique de l'attention visuelle (Villani, Morganti, Cipresso, Ruggi, Riva & Gilli, 2015). Cette importance des visages en art visuel se traduit par des patterns de fixation chez l'adulte plus rapides et prolongés vers les visages que le reste de la scène dépeinte, y compris les autres parties du corps (Massaro *et al.*, 2012 ; Villani *et al.*, 2015). Le corps humain, de manière plus générale, s'avère avoir un fort impact sur l'orientation et le maintien de l'attention visuelle des adolescents et adultes (Abbas & Duchaine, 2008 ; Savazzi *et al.*, 2014 ; Young *et al.*, 1987). Toutefois, les caractéristiques des visages qui rendent un portrait plus beau qu'un autre sont difficiles à mettre en évidence, les peintures étant libres de respecter ou non les règles physiques d'un réel visage. Par exemple, la vitalité perçue dans

le visage dépeint joue un rôle important dans le jugement de préférence esthétique et dans le maintien de l'attention visuelle des adultes. Les portraits représentant des visages endormis sont préférés et regardés plus longtemps que les portraits représentant des visages morts (Di Dio *et al.*, 2019). Quelle que soit la technique artistique employée, leur utilisation permettrait d'améliorer l'expérience visuelle du stimulus par l'utilisation de différents principes améliorant la saillance visuelle de l'objet dépeint (Ramachandran & Hirstein, 1999).

L'effet de la saillance visuelle sur les comportements visuels comme la latence des fixations et le temps de regard est mis en évidence dans des études comparant des portraits peints et photographiés. Les portraits imitant le style artistique de Rembrandt sont plus rapidement et plus longtemps regardés que des portraits photographiés (DiPaola, Riebe & Enns, 2010). Ce phénomène serait lié au fait que les portraits peints augmentent la saillance visuelle de certaines parties des visages par des agencements de textures (jeux de contraste) qui guident le regard de l'observateur et influencent par la même l'expérience visuelle (DiPaola *et al.*, 2010 ; DiPaola, Riebe & Enns, 2013 ; Aleem, Correa-Herran & Grzywacz, 2017). Cette hypothèse est confortée par l'étude des autoportraits de Rembrandt au cours de sa vie. Les derniers autoportraits utilisant de manière plus détaillée les agencements de textures sont regardés plus longtemps que ses premiers autoportraits (figure 50 ; DiPaola *et al.*, 2010).



Figure 50 | A gauche, un autoportrait jeune de Rembrandt (1629), plus uniforme et des niveaux plus forts de détails texturaux. A droite, un autoportrait âgé de Rembrandt (1661) avec une utilisation réduite et plus sélective des détails texturaux (DiPaola *et al.*, 2010).

D'autre part, les portraits réalistes sont jugés plus beaux que les portraits plus abstraits aussi bien par des adultes naïfs en art que par des adultes experts (Belke, Leder & Carbon, 2015). Cette préférence pour les portraits réalistes serait liée au niveau de fluence perceptive, les portraits réalistes étant plus symétriques et équilibrés (Aleem *et al.*, 2017) et seraient ainsi plus facilement et rapidement reconnus comme des visages. Par ailleurs, l'expertise en art jouerait un rôle dans l'appréciation esthétique des portraits non-réalistes dans la mesure où les participants experts en art initieraient d'eux-mêmes des processus cognitifs d'élaboration des

peintures tandis que les participants naïfs en art ne les mettraient pas en place de manière systématique (Belke *et al.*, 2015). Il en résulte des scores de beauté supérieurs pour les portraits non réalistes chez les participants experts par rapport aux participants naïfs en art. L'étape de maîtrise cognitive des œuvres d'art pourrait ainsi avoir un rôle secondaire dans l'expérience esthétique des adultes naïfs en art pour des portraits, en particulier lorsque les consignes ou le design expérimental n'invitent pas à la mise en place de processus cognitif de haut niveau (Belke *et al.*, 2015). Le degré de complexité amène également des préférences pour les portraits. Comme pour les patterns de points en mouvement étudiés précédemment, la complexité est associée positivement à la préférence esthétique de peintures de portraits chez les adultes (Saklofske, 1975).

Les nourrissons perçoivent-ils les visages dans des peintures ? À partir de 7 mois, les nourrissons perçoivent les visages dans les portraits abstraits d'Arcimboldo. Ces peintures représentent des visages dans des assemblages d'objets comme des légumes et des fruits. Les nourrissons de 7 et 8 mois regardent plus longtemps les portraits présentés à l'endroit par rapport à leur version inversée mais pas les nourrissons de 6 mois (Kobayashi *et al.*, 2011). En revanche, les nouveau-nés détectent les visages sur la base des principes de la Gestalt fondée sur les relations d'information de premier ordre dans les « Mooney faces » (arrangement basique des caractéristiques des visages ; Leo & Simion, 2006). Les « Mooney faces » sont des images bicolores de visages obtenus par seuillage de photographies de visages montrés dans des conditions d'éclairage asymétriques noir-blanc (Mooney, 1957). Les nouveau-nés regardent préférentiellement les images de Mooney faces présentées à l'endroit par rapport à leurs versions inversées (Leo & Simion, 2006). Ce résultat est retrouvé à 3 et 4 mois (Otsuka, Hill, Kanazawa, Yamaguchi & Spehar, 2012 ; Otsuka, 2014). De même, les nourrissons de 6 à 8 mois préfèrent les visages représentés dans des caricatures présentées à l'endroit par rapport à leurs versions inversées (Kobayashi, Kakigi, Kanazawa & Yamaguchi, 2020). À partir de 7 mois, les nourrissons reconnaissent le visage de leur mère représenté en caricature et préfèrent regarder ce visage par rapport à d'autres (Kobayashi *et al.*, 2020). Ces études nous indiquent l'habileté des nourrissons à reconnaître des visages dans des peintures et à identifier l'identité du visage familier dans des dessins.

Certaines œuvres d'art représentant des portraits sont-elles plus à même que d'autres de diriger et maintenir l'attention visuelle de manière stable au cours du développement ? Ces portraits sont-ils associés à des jugements de préférence positifs chez les adultes ? Dans cette étude, nous avons choisi d'étudier des portraits artistiques classés dans les mouvements artistiques réalistes (symbolisme, impressionnisme et expressionnisme). Si les caractéristiques visuelles des portraits qui dirigent et maintiennent l'attention visuelle des nourrissons et des adultes sont les mêmes que ceux qui procurent une expérience esthétique positive, nous devrions retrouver une corrélation entre les jugements de préférence des adultes et les temps moyens de fixations d'autres adultes et des nourrissons. Nous analyserons la relation entre les jugements de préférence des adultes et les temps moyens de fixations d'autres adultes et des nourrissons au cours de la présentation des paires afin de déterminer les différences entre les différents types d'attention visuelle à savoir l'orientation du regard et le maintien du regard. Comme dans notre étude précédente sur les patterns de points en mouvement, il est possible que les caractéristiques visuelles qui orientent l'attention visuelle soient dissociées de celles qui amènent à une préférence esthétique chez l'adulte tandis que les caractéristiques visuelles qui maintiennent l'attention visuelle soient associées à ces préférences esthétiques pour des portraits réalistes.

Méthode

Participants

Trente-six participants adultes ($M_{age} = 21$ ans, $SD = 5$, 34 femmes) ont réalisé une tâche de préférence en choix forcé afin d'estimer le score de beauté relatif des 8 stimuli. Cent soixante-cinq nourrissons entre 4 et 24 mois, nés à terme et sans pathologies connues, ont été inclus dans l'étude. Un groupe de 36 adultes ($M_{age} = 20$ ans, $SD = 1.95$, 33 femmes) ont vu librement les paires de peintures lors d'une tâche standard de préférence visuelle. Les parents et leur nourrisson ont été recrutés à la Maternité du pôle Parent-Enfant du CHU de Grenoble puis ils ont été rappelés lorsque l'enfant avait l'âge de l'étude pour venir au Babylab du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC) à l'Université Grenoble-Alpes (UGA, CNRS UMR 5105). Les participants adultes ont été recrutés via une annonce dans le bâtiment de Psychologie de l'Université Grenoble-Alpes. Aucune instruction n'a été fournie aux participants de sorte à rester proche de la tâche des nourrissons. Après la tâche principale (jugement de préférence ou préférence visuelle), les participants des deux groupes adultes ont répondu à une série de questions concernant leur niveau d'expertise en art, leur connaissance des peintres célèbres, et la reconnaissance des œuvres d'art présentées. Ces questionnaires ont été utilisés afin de s'assurer que notre population adulte était naïve en art, avec des notions de base (connaissance de noms de peintres célèbres) et n'était pas familière aux œuvres d'art présentées. Comme indiqué précédemment dans les modèles cognitifs de l'expérience esthétique (voir chapitre 2.3, p.29-31), les effets de familiarité et l'expertise en art amènent à des différences de préférences esthétiques entre les naïfs en art et les experts. Les questionnaires et les résultats sont détaillés en annexe p.219-227. En résumé, nos participants déclarent ne pas être experts en art, aucun n'ayant réalisé des études directement ou indirectement liées aux arts visuels et ne fréquentent pas régulièrement des expositions artistiques. Ils ont une connaissance générale des grands peintres mais ne sont pas familiers des œuvres d'art présentées et ne reconnaissent pas l'auteur des peintures. L'expertise en art et les effets de familiarité sont donc à écarter des potentielles variations observées dans nos données. Nous avons exclu un participant de notre échantillon, ce dernier connaissant une œuvre d'art présentée et ayant suivi des études en art visuel. Des formulaires de consentement ont été remplis par les parents des nourrissons et les participants adultes avant l'expérience. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes, sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Tableau 3. Details of Infants' Group

Age group	N	N males	Age (days)	Valid trials	Lost trial [†] (%)
4-m-o	21	11	114 (9)	244	13.17
6-m-o	34	18	192 (5)	413	13.24
9-m-o	34	15	283 (8)	398	15.32
12-m-o	33	16	376 (8)	389	15.80
24-m-o	43	20	762 (23)	534	9.49

[†] using a lower limit of 2 seconds of looking at patterns.

Stimuli et procédure



Figure 51 / Les 8 oeuvres d'art de portraits sélectionnées. P₁) Gustav Klimt, 1909, “Lady with Hat and Featherboa”, Österreichische Galerie Belvedere, Vienne, Austria, dimension de l’image originale 1200x971 ; P₂) Gustav Klimt, 1912, “Portrait of Mäda Primavesi”, Metropolitan Museum of Art, New York, US, dimension de l’image originale 1200x868 ; P₃) Edvard Munch, 1934, “Annie Stenersen”, Private Collection, dimension de l’image originale 953x768 ; P₄) Edvard Munch, 1921, “Inger Barth”, Sternersensemuseet, Oslo, Norway, dimension de l’image originale 1280x968 ; P₅) Pablo Picasso, 1901, “The Absinthe Drinker”, The State Hermitage Museum, St-Petersburg, Russia, dimension de l’image originale 1140x826 ; P₆) Pablo Picasso, 1901, “The Absinthe Drinker”, Kunstmuseum Basel, Basel, Swiss, dimension de l’image originale 467x344 ; P₇) Vincent van Gogh, 1889, “La Berceuse, Portrait of Madame Roulin”, Art Institute of Chicago, Chicago, US, dimension de l’image originale 1300x1020 ; P₈) Vincent van Gogh, 1885, “Head of a Woman with Loose Hair”, Van Gogh Museum, Amsterdam, Netherlands, dimension originale de l’image 1156x800.

Les 8 stimuli sont des reproductions d’œuvres d’art représentant des portraits, créées entre 1885 et 1934 par quatre peintres célèbres (figure 51) : Gustav Klimt (P₁ et P₂), Edvard Munch (P₃ et P₄), Pablo Picasso (P₅ et P₆) et Vincent van Gogh (P₇ et P₈). Les deux peintures de chaque peintre appartiennent au même mouvement artistique : le symbolisme pour Klimt, l’expressionnisme pour Munch, l’impressionnisme pour van Gogh et le post-impressionnisme pour Picasso. Tous les portraits sont représentatifs, les visages, exclusivement féminins, sont

reconnaissables et ne présentent pas d'expressions faciales marquées (*e.g.* sourire, froncement de sourcil). Les œuvres d'art sélectionnées sont libres de droit (notées par le sigle *-public domain*) et accessibles sur le site <http://www.the-athenaeum.org/> (première visite le 28/09/2017). Toutes les toiles sont peintes à l'huile et sont exposées dans des collections privées ou des musées hors de France. Nous avons choisi des œuvres mineures et hors de France afin d'éviter qu'elles ne soient déjà familières aux participants adultes. Les informations respectives des œuvres sont disponibles en description de la figure 51. Les peintures originales ont un ratio {hauteur x largeur} compris entre 1.24 et 1.45. Le ratio moyen est de 1.33, valeur que nous avons prise pour redimensionner les peintures sur MatLab (R2007b). Les dimensions finales des peintures étaient de 673x512 pixels.

Les portraits sont montrés par paire sur un moniteur couleur (Iiyama Vision Master Pro 514, 40.5 x 30.5 cm) avec une résolution de 1024 x 768 pixels et une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz. La distance entre les yeux du participant et l'écran est d'environ 60 cm, l'écran se trouve ainsi à 37° d'angle visuel horizontal et 28° d'angle visuel vertical. Les deux portraits (673x512 pixels, soit 19° x 14° d'angle visuel) sont positionnés côte-à-côte par rapport au centre de l'écran avec une séparation de 123 pixels, soit 3° d'angle visuel (figure 52). Les portraits sont présentés dans ces aires pendant 5 secondes. L'arrière-plan est gris [128 128 128].

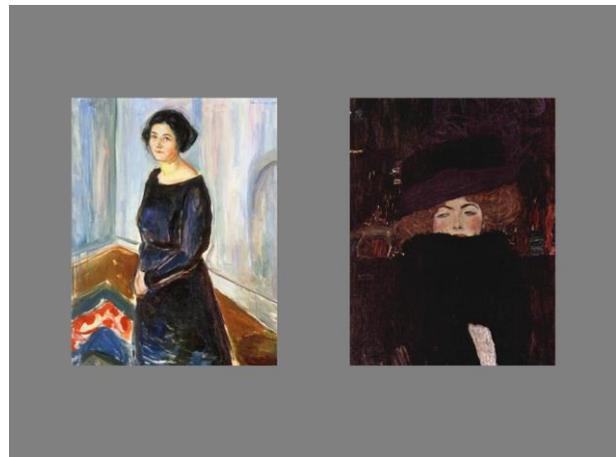


Figure 52 / Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des portraits P4 à gauche et P1 à droite.

Tâche de jugement de préférence – La procédure est ici identique à celle réalisée dans l'étude sur les patterns de mouvement. Les stimuli sont composés de 56 paires ordonnées $\{P_i, P_j\}$, ($\{P_1, P_2\}$, $\{P_1, P_3\}$, $\{P_1, P_4\}$, ..., $\{P_2, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_7\}$). Nous avons retiré les paires avec l'exemplaire en double (*e.g.* $\{P_1, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_8\}$) pour éviter les effets de non-sens. Les participants adultes ont reçu pour instruction d'indiquer leur portrait préféré pour chaque paire en pressant sur les flèches gauche ou droite du clavier. Les 56 paires de portraits sont montrées successivement de manière randomisée. Le temps de réponse était enregistré entre le début de présentation de la paire et le moment où ils pressaient une touche du clavier. Le temps de présentation était limité

à 5 secondes mais les participants pouvaient répondre pendant la présentation ou une fois que les portraits disparaissaient de l'écran.

Tâche de préférence visuelle – Les mouvements oculaires des nourrissons et des adultes ont été enregistrés pendant que les paires de portraits étaient présentées. Aucune instruction n'a été donnée aux adultes et aux nourrissons. Les plus jeunes nourrissons étaient installés dans une chaise pour nourrisson, les enfants de 24 mois étaient assis sur les genoux d'un des parents et les adultes étaient assis sur une chaise à hauteur modulable. Les mouvements oculaires ont été enregistrés avec le système EyeLink® 1000 (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) avec une fréquence d'échantillonnage de 250Hz. Nous avons utilisé la configuration 'tête libre' avec un sticker-cible sur le front. Cette configuration permet d'enregistrer la position d'un oeil sans restreindre la position de la tête. Pour des raisons techniques, nous avons utilisé une source d'illumination de 940nm au lieu de l'illumination classique de 890nm de EyeLink®. Les adultes et nourrissons ont été testés avec cette même configuration. Avant de réaliser la tâche de préférence visuelle, nous avons fait tourner la procédure de calibration en 5-points. Les cibles utilisées sont des animations customisées avec du son, conçues pour attirer l'attention des nourrissons (diamètre = 2.4 degrés). Afin de minimiser les différences entre les groupes, la calibration a été réalisée sans instruire les participants de regarder vers les cibles. Après calibration, nous avons validé la procédure pour nous assurer de la précision de l'oculomètre. Comme lors de la tâche de jugement de préférence, les adultes ont vu les 56 paires dans un ordre randomisé. Les nourrissons ont seulement vus un sous-ensemble de paire entre 5 et 14 ($M = 13.8$ paires, $SD = 1.1$), selon leur niveau d'attention. Un attention-getter au milieu de l'écran est montré avec chaque présentation de paire. La présentation était changée manuellement par l'expérimentateur lorsque le participant regardait cet attention-getter.

Pour le traitement des données oculométriques, les fixations et saccades ont été identifiées grâce l'algorithme de découpe de EyeLink® à un seuil de $8000^\circ/s^2$, $30^\circ/s$, et 0.4° pour respectivement l'accélération, la vitesse et la position. Nous avons ensuite utilisé le nombre d'échantillons des aires d'affichage plutôt que le temps de fixation afin de mieux estimer le temps de regard pour chacun des deux portraits d'une même paire. Nous avons employé une limite basse de 2 secondes du temps total de regard (sur les 5 secondes de présentation de la paire) comme critère d'inclusion de l'essai. Cette procédure de filtrage a exclu 0.02% des essais des adultes et entre 9% et 16% des données des nourrissons. Nous avons calculé le temps moyen de regard de chaque portrait pour les 56 paires ordonnées et pour chaque groupe d'âge. Enfin, nous avons calculé le temps de regard relatif en divisant le temps de regard

du portrait de gauche dans une paire avec le temps total de regard des deux portraits. La présentation des stimuli et l'acquisition des données oculométriques ont été réalisées avec MatLab (R2007b) et la toolbox EyeLink® de la PschoToolbox (Cornelissen *et al.*, 2002). Les analyses statistiques ont été réalisées avec MatLab et R (R Development Core Team, 2008).

Résultats

Tâche de jugement de préférence – Les ratios moyens des jugements de préférence des portraits par paire sont disponibles dans la figure 53. Les portraits préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₁ (Klimt, 1909, ‘Lady with Hat and Featherboa’), P₄ (Munch, 1921, ‘Inger Barth’), P₂ (Klimt, 1912, ‘Portrait of Mäda Primavesi’) et P₃ (Munch, 1934, ‘Annie Stenersen’). Les patterns les moins préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₅ (Picasso, 1901, ‘The Absinthe Drinker’), P₈ (van Gogh, 1885, ‘Head of a Woman with Loose Hair’), P₇ (van Gogh, 1889, ‘La Berceuse, Portrait of Madame Roulin’) et P₆ (Picasso, 1901, ‘The Absinthe Drinker’). En résumé, les portraits de Klimt et de Munch sont préférés à ceux de Picasso et van Gogh. Les deux portraits préférés, P₁ (fréquences de choix de 75% quand l'opposant est à gauche et de 78% avec l'opposant à droite) et P₄ (fréquences de choix de 75% quand l'opposant est à gauche et de 71% avec l'opposant à droite), sont significativement préférés à tous les autres portraits. A l'inverse, le portrait P₆ est le moins préféré, avec une fréquence de préférence moyenne de 18% quand l'opposant est à gauche et de 17% quand l'opposant est à droite. L'ordre de préférence des portraits, calculé à partir de la fréquence moyenne de choix des huit portraits par participant, présente une forte consistance inter-sujet ($\alpha = 0.96$).

Le temps moyen de sélection du portrait préféré des 56 paires de portraits est de 2.12 secondes ($SD = 1.11$, $max = 5.27$, $min = 0.75$), soit un peu moins de la moitié du temps de présentation de 5 secondes.

Comme dans l'expérience 1, les ratios moyens de jugement de préférence, par paire, ne peuvent être utilisés comme une mesure du jugement de préférence dans les analyses à venir des résultats de la tâche de préférence visuelle. Nous avons utilisé l'ensemble de 56 paires de rapport de préférence, une pour chaque paire ordonnée, en notant par convention le premier pattern d'une paire ($\{P_1, P_2\}$) pour représenter le rapport de préférence au sein des deux paires ($\{P_1, P_2\}$ et $\{P_2, P_1\}$).

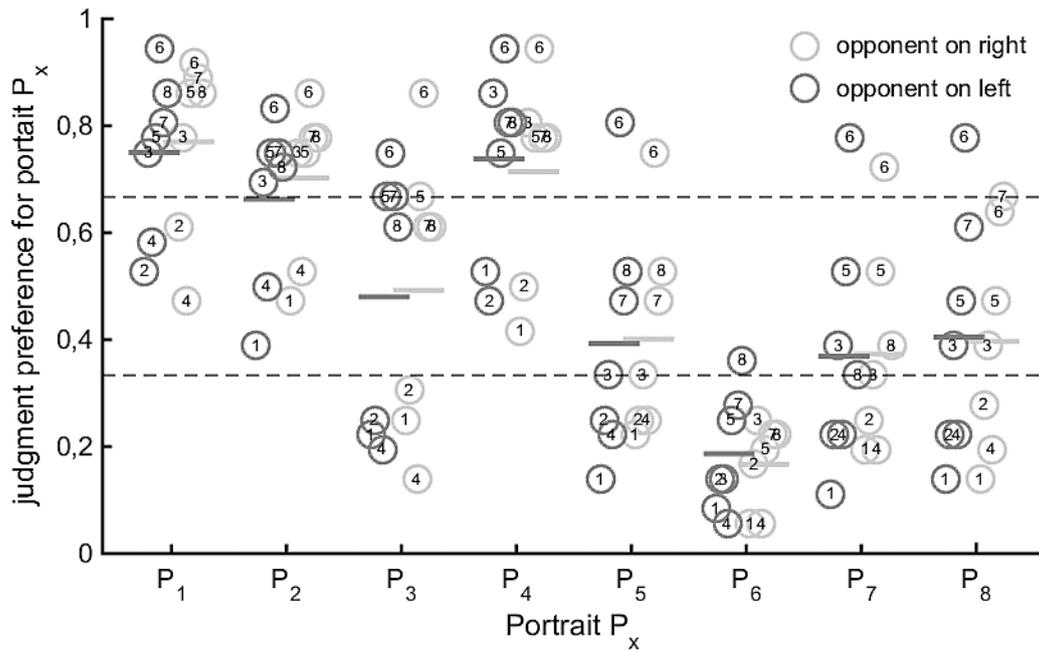


Figure 53 | Fréquence de choix des portraits P_x , selon le portrait opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation. Les lignes pointillées donnent les frontières de l'intervalle de confiance à 95% sous l'hypothèse binomiale d'une préférence nulle dans le jugement de la paire. Les portraits P_1 , P_2 , et P_4 sont au-delà du score de chance contre les opposants P_6 , P_5 , P_7 et P_8 (contre P_3 pour P_4 seulement). Le pattern P_6 est jugé moins beau que tous les autres portraits. Les lignes pleines colorées donnent le ratio moyen de préférence contre les sept paires possibles du portrait.

Tâche de préférence visuelle – La figure 54 montre la relation entre les ratios de préférence pour le premier portrait d'une paire, mesurés dans la tâche de jugement de préférence et le temps relatif de regard du portrait de cette même paire dans la tâche de préférence visuelle pour chacun des six groupes d'âge testés. Les résultats de l'analyse de régression linéaire, rapportés dans le Tableau 4, indiquent que le jugement de préférence du groupe indépendant d'adulte prédit positivement les temps relatifs de regard d'autres adultes. En revanche, le jugement de préférence d'adulte prédit négativement les temps relatifs de regard des nourrissons de 24 mois. Ces jugements de préférence ne prédisent pas les temps relatifs de regard des nourrissons de 4, 6, 9 et 12 mois. L'effet du jugement de préférence est capturé par le paramètre de la pente (β_1). Le paramètre de l'intercept (β_0) correspond au temps relatif moyen de regard pour un portrait d'un jugement de préférence hypothétique de zéro. Il est possible d'estimer cet intercept hypothétique à 1.54 secondes pour le groupe des 4 mois, semblable à l'intercept hypothétique pour le groupe des 4 mois lors de la présentation des patterns de mouvement. Même le moins préféré des patterns reçoit tout de même de l'attention visuelle.

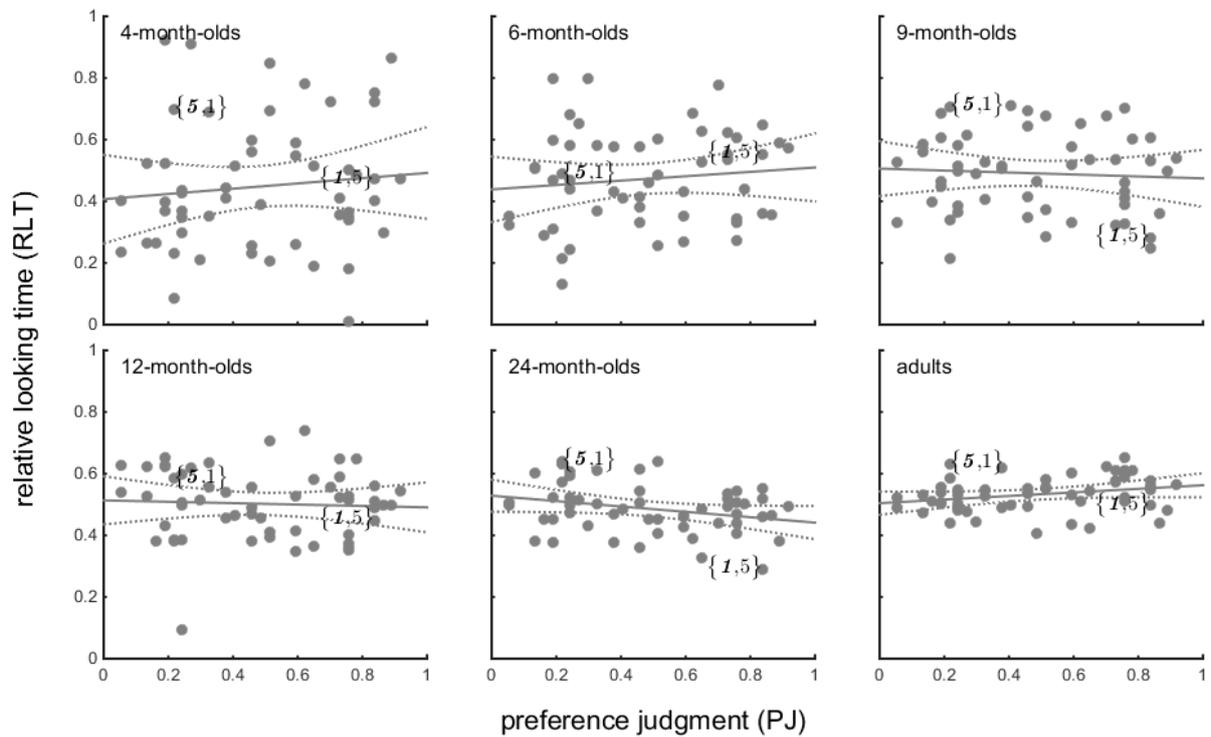


Figure 54 | Relation entre le jugement de préférence (PJ) et le temps relatif de regard (RLT). L'intercept et la pente de régression linéaire changent avec l'âge et ne sont significatifs que chez les 24 mois et les adultes. Les lignes pointillées donnent l'intervalle de confiance à 99% pour la pente et le paramètre intercept de la ligne pleine. Sont représentés entre accolades les scores des portraits 1 et 5 des paires $\{P_1, P_5\}$ et $\{P_5, P_1\}$ respectivement.

Tableau 4. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \varepsilon$ in **Figure 54**

Age group	Intercept (β_0)	t_{54} value intercept	Slope (β_1)	t_{54} value slope	R^2	MLT [†] per trial (s)
4-m-o	0.40 (0.06)	6.72***	0.09 (0.11)	0.77	0.01	3.81 (0.33)
6-m-o	0.44 (0.04)	9.81***	0.07 (0.08)	0.87	0.01	3.75 (0.39)
9-m-o	0.51 (0.07)	13.48***	-0.03 (0.06)	-0.47	0.00	3.88 (0.30)
12-m-o	0.51 (0.03)	15.60***	-0.02 (0.06)	-0.38	0.00	4.00 (0.43)
24-m-o	0.52 (0.02)	24.08***	-0.09 (0.04)	-2.19*	0.08	4.18 (0.4)
Adults	0.50 (0.02)	31.81***	0.06 (0.03)	2.02*	0.07	4.44 (0.25)

*** $p < 0.001$, * $p < 0.05$, † Mean looking time on pattern's display area.

Analyse du temps de regard au cours du temps – A l'exception d'un pic de corrélation positive vers 500ms chez les nourrissons de 4 mois, aucune relation significative entre les jugements de préférence des adultes et les temps relatifs de regard des nourrissons de 4 à 12 mois n'est observée tout au long des cinq secondes de présentation (figure 55). En revanche, les enfants de 24 mois regardent de manière significative les portraits jugés les moins beaux par les adultes à deux reprises: à partir de 310 ms, pendant plus de 600 ms et un peu avant 3 secondes de présentation, durant près de 500 ms. Pour les adultes, les temps relatifs de regard sont corrélés positivement aux portraits jugés les plus beaux par le groupe d'adulte indépendant, tout au long de la présentation mais cette corrélation n'atteint la significativité qu'à deux moments et de manière tardive: à 2.39 secondes et 4.4 secondes de présentation.

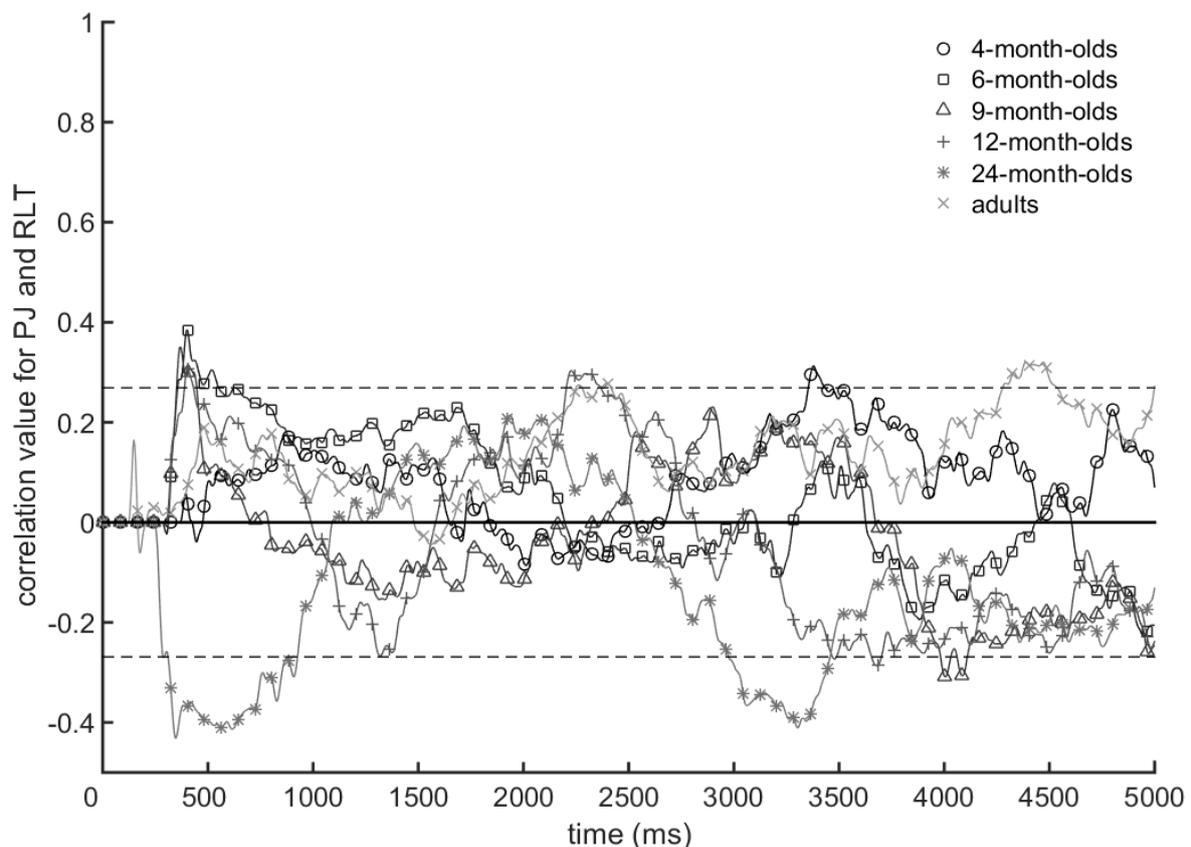


Figure 55 | Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation pour les six groupes d'âge. Les lignes pointillées donnent le minimum moyen de la valeur de la corrélation à $p < .05$ (dépendant du nombre de pattern disponible pour la régression).

Discussion

Dans cette seconde expérience, nous avons testé si les jugements de préférence esthétique d'un groupe d'adulte, pour des portraits réalistes, prédisent les temps de regard d'un second groupe d'adulte et de nourrissons âgés entre 4 et 24 mois. Plusieurs études sur l'attractivité des visages et notre première étude sur les patterns de points en mouvement montrent en effet une relation entre les jugements de préférence des adultes et les comportements visuels d'adultes et de nourrissons. Nos résultats sur les portraits ne vont pas dans ce sens, les jugements de préférence des adultes ne prédisent pas les temps de regard des nourrissons.

Comme proposé dans le modèle de l'expérience esthétique des adultes de Leder et ses collègues (2004), l'émergence d'un jugement esthétique pourrait nécessiter des traitements cognitifs élaborés dans le cas des oeuvres d'art. Les mécanismes cognitifs sous-jacents au jugement esthétique des oeuvres d'art pourraient impliquer des régions cérébrales matures tardivement au cours du développement et/ou des processus cognitifs modifiés par les expériences personnelles et culturelles. De fait, les facteurs qui influencent le jugement esthétique des adultes ne seraient pas matures ou pas encore acquis chez les nourrissons de 4 à 24 mois. Ceci pourrait expliquer que, d'une part, les jugements de préférence des adultes prédisent bien les temps de regard d'autres adultes et, d'autre part, qu'aucune relation ne soit retrouvée entre les jugements de préférence des adultes et les temps de regard des nourrissons.

Les jugements de préférence esthétique des adultes naïfs en art pour des portraits sont proches comme en témoigne le fort taux d'accord inter-observateur. De plus, les relations positives entre les jugements de préférence d'un groupe d'adulte et les temps relatifs de regard d'un autre groupe d'adulte, indiquent une influence de l'esthétique sur les comportements visuels. Il est donc possible que les facteurs cognitifs influençant les jugements esthétiques et les préférences visuelles des adultes soient plus automatiques que ne le suggère le modèle cognitif de l'expérience esthétique chez l'adulte (Leder *et al.*, 2004). Selon ce modèle, les étapes de classification explicite et de maîtrise cognitive au cours de l'expérience esthétique seraient reliées à des contenus personnels chez les adultes naïfs. Plus précisément, les connaissances et interprétations personnelles des sujets naïfs en art seraient employées pour juger de l'esthétisme des portraits. L'hypothèse de la maîtrise cognitive (Belke *et al.*, 2015) suppose que ces deux étapes sont primordiales dans l'émission du jugement esthétique. Si tel était le cas, nous pourrions supposer que les jugements de préférence esthétique soient différents d'un individu

à l'autre. L'hypothèse de la maîtrise cognitive suppose toutefois des différences dans l'importance de ces deux étapes selon le degré de fluence perceptive des portraits : plus un portrait est facile à reconnaître, plus les étapes pré-réflexives, c'est-à-dire l'analyse perceptive et l'intégration en mémoire implicite, sont importantes dans l'appréciation esthétique (Belke *et al.*, 2015). Les forts taux d'accord inter-observateur et les relations positives entre les préférences esthétiques et les préférences visuelles des adultes observés pour les portraits réalistes de cette étude vont dans le sens de cette hypothèse. Au vu de ces résultats, l'étape de l'intégration en mémoire implicite pourrait jouer un rôle important dans l'appréciation esthétique et visuelle des adultes pour les portraits, bien que nos données ne nous informent pas des processus cognitifs impliqués.

Il est également possible que nos résultats chez les nourrissons s'expliquent par une inadéquation de notre méthodologie pour l'étude des portraits. Cinq secondes de présentation de stimuli non familiers et qui présentent un grand nombre d'informations visuelles ont pu être insuffisantes pour voir apparaître une préférence visuelle chez les nourrissons. Toutefois, des présentations plus longues de paires d'objet statique tel que les portraits auraient rendu la tâche plus répétitive et ennuyante. Dès lors, l'attention visuelle des nourrissons aurait pu décliner plus tôt au cours des essais.

Une autre possibilité est que les caractéristiques visuelles des portraits qui attirent et maintiennent l'attention visuelle des nourrissons diffèrent de celles des adultes. Les facteurs d'orientation et de maintien de l'attention des nourrissons pourraient être particulièrement liés à la saillance visuelle, les oeuvres d'art les plus saillantes visuellement attirant plus le regard des nourrissons sans pour autant être préférées par les adultes. C'est ce que nous avons tenté de déterminer dans notre quatrième étude de ce chapitre, où nous avons comparé les données oculométriques des nourrissons et des adultes avec deux modèles computationnels de saillance visuelle. Si le comportement visuel des nourrissons est plus influencé par la saillance visuelle que celui des adultes, nous devrions retrouver des scores de prédiction du regard par les modèles de saillance visuelle meilleurs chez les nourrissons que chez les adultes. Nous avons traité plus en détails dans la discussion générale le développement du traitement visuel des visages et son impact possible sur le traitement visuel des représentations des visages comme les portraits.

Par ailleurs, nous avons sélectionné des portraits dont l'expressivité faciale n'est pas marquée, ceci pour éviter toute confusion avec la préférence visuelle des jeunes nourrissons pour les sourires (Farroni, Menon, Rigato & Johnson, 2007 ; LaBarbera, Izard, Vietze & Parisi,

1976) et pour les visages effrayants chez les nourrissons plus âgés (Ludemann & Nelson, 1988; Leppänen & Nelson, 2009). Or, l'étude pilote de Benallegue, Pelletier et Kaminski (2016) indique une amélioration de l'attention et de l'émotion lors de l'expérience esthétique par l'intensité de l'expression faciale de l'oeuvre d'art. Il serait intéressant de tester si l'expression faciale des portraits améliore la relation entre jugement de préférence esthétique des adultes et préférence visuelle des nourrissons.

Enfin, cette étude ne nous informe pas sur les comportements visuels des adultes au cours de la tâche de préférence en choix forcé. Or, si le comportement visuel des adultes dans la tâche standard de préférence visuelle est orienté par l'esthétique des portraits alors qu'aucune consigne d'émission d'un jugement de préférence ne leur a été fournie, cette influence devrait être d'autant plus forte s'ils avaient reçu cette consigne. Dans une réplique de cette étude, nous avons exploré la prédiction des jugements de préférence sur les temps de regard pendant que les adultes réalisent la tâche de préférence en choix forcé. Elle nous a par ailleurs permis de tester la consistance de la préférence esthétique pour les huit portraits.

EXPERIENCE 2.b. Étude contrôle sur l'esthétique des portraits : effet de la tâche

Le but de cette réplication est double : premièrement, nous souhaitons tester la consistance des jugements de préférence des portraits chez l'adulte. Ensuite, nous testerons la rapidité du jugement de préférence esthétique, un temps de décision court nous informera sur l'automatisme des processus cognitifs impliqués et un niveau de traitement cognitif peu profond dans la tâche de préférence esthétique chez les adultes naïfs. Nous supposons que le jugement de la beauté des portraits se porte sur des critères de beauté libre, c'est-à-dire des mécanismes perceptifs et cognitifs rapides et automatiques, communs à tous les individus. L'analyse des données oculométriques au cours des cinq secondes de présentation nous fournira des indices sur l'influence des mécanismes perceptifs et de mémoire implicite sur le jugement de préférence. Si l'orientation précoce du regard se porte sur les portraits préférés et si cette attention visuelle est maintenue au cours de la présentation, nous pourrions conclure sur une influence forte des mécanismes perceptifs et cognitifs de bas niveau lors de l'appréciation esthétique. Si les temps de regard ne se portent pas préférentiellement vers les portraits préférés, nous pourrions supposer une prise de décision impliquant des processus de comparaison plus élaborée.

Méthode

Participants

Vingt adultes ($M_{age} = 20.8$, $SD_{age} = 2.04$, $N_{femme} = 18$) ont participé à l'étude 2.b. Dans un questionnaire, les participants ont tous rapportés être naïfs en art. Les formulaires de consentement ont été remplis par les participants avant l'expérience. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes, sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Les détails des stimuli et de la présentation sur l'écran sont présentés dans l'étude 2a p.111-112 de ce manuscrit. La procédure de préférence en choix forcé est identique à celle réalisée dans l'étude 1a. Les stimuli sont composés de 56 paires ordonnées $\{P_i, P_j\}$, ($\{P_1, P_2\}$, $\{P_1, P_3\}$, $\{P_1, P_4\}$, ..., $\{P_2, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_7\}$) et nous avons retiré les paires avec l'exemplaire en double (e.g. $\{P_1, P_1\}$, ..., $\{P_8, P_8\}$) pour éviter les effets de non-sens. Les participants adultes ont reçu pour

instruction d'indiquer leur portrait préféré pour chaque paire en pressant sur les flèches gauche ou droite du clavier. Les 56 paires de portraits sont montrées successivement de manière randomisée. Le temps de réponse était enregistré entre le début de présentation de la paire et le moment où ils pressaient une touche du clavier. Le temps de présentation était limité à 5 secondes mais les participants pouvaient répondre pendant la présentation ou une fois que les portraits disparaissaient de l'écran.

Les mouvements oculaires ont été enregistrés en même temps que les adultes réalisaient la tâche de préférence en choix forcé, avec le système EyeLink® 1000 (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) avec une fréquence d'échantillonnage de 250Hz. Nous avons utilisé la configuration 'tête libre' avec un sticker-cible sur le front. Cette configuration permet d'enregistrer la position d'un oeil sans restreindre la position de la tête. Pour des raisons techniques, nous avons utilisé une source d'illumination de 940nm au lieu de l'illumination classique de 890nm de EyeLink®. Avant de réaliser la tâche de préférence visuelle, nous avons fait tourner la procédure de calibration en 5-points. Les cibles utilisées sont des animations customisées avec du son (diamètre = 2.4 degrés). Après calibration, nous avons validé la procédure pour nous assurer de la précision de l'oculomètre. Un attention-getter au milieu de l'écran est montré avec chaque présentation de paire. La présentation était changée manuellement par l'expérimentateur lorsque le participant regardait cet attention-getter.

Pour le traitement des données oculométriques, les fixations et saccades ont été identifiées grâce à l'algorithme de découpe de EyeLink® à un seuil de $8000^\circ/s^2$, $30^\circ/s$, et 0.4° pour respectivement l'accélération, la vitesse et la position. Nous avons ensuite utilisé le nombre d'échantillon des aires d'affichage plutôt que le temps de fixation afin de mieux estimer le temps de regard pour chacun des deux portraits d'une même paire. Nous avons employé une limite basse de 2 secondes du temps total de regard (sur les 5 secondes de présentation de la paire) comme critère d'inclusion de l'essai. Nous avons calculé le temps moyen de regard de chaque portrait pour les 56 paires ordonnées. Enfin, nous avons calculé le temps de regard relatif en divisant le temps de regard du portrait de gauche dans une paire avec le temps total de regard des deux portraits. La présentation des stimuli et l'acquisition des données oculométriques ont été réalisées avec MatLab (R2007b) et la toolbox EyeLink® de la PschoToolbox (Cornelissen *et al.*, 2002). Les analyses statistiques ont été réalisées avec MatLab et R (R Development Core Team, 2008).

Résultats

Jugement de préférence – Les fréquences de choix des portraits sont comparables entre les deux études 2.a et 2.b, avec $r = 0.81$, $p < 0.001$. Les ratios moyens de préférence des portraits par paire sont disponibles dans la **Figure 536**. Les portraits préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₁ (Klimt, 1909, “Lady with Hat and Featherboa”), P₂ (Klimt, 1912, “Portrait of Mäda Primavesi”) P₄ (Munch, 1921, “Inger Barth”) et P₈ (van Gogh, 1885, “Head of a Woman with Loose Hair”). Les patterns les moins préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₃ (Munch, 1934, “Annie Stenersen”), P₅ (Picasso, 1901, “The Absinthe Drinker”), P₇ (van Gogh, 1889, “La Berceuse, Portrait of Madame Roulin”) et P₆ (Picasso, 1901, “The Absinthe Drinker”). Le tableau 5 indique les changements d'ordre de préférence entre l'étude 2.a et l'étude 2.b. Les changements dans l'ordre de préférence esthétique concernent les portraits de préférence intermédiaire. En revanche, les trois préférés dans l'étude 2.a restent les trois préférés dans l'étude 2.b et les deux moins préférés dans l'étude 2.a restent ici aussi les moins préférés. L'ordre de préférence des portraits, calculé à partir de la fréquence moyenne de choix des huit portraits par participant, présente ici encore une forte consistance inter-sujet ($\alpha = 0.95$).

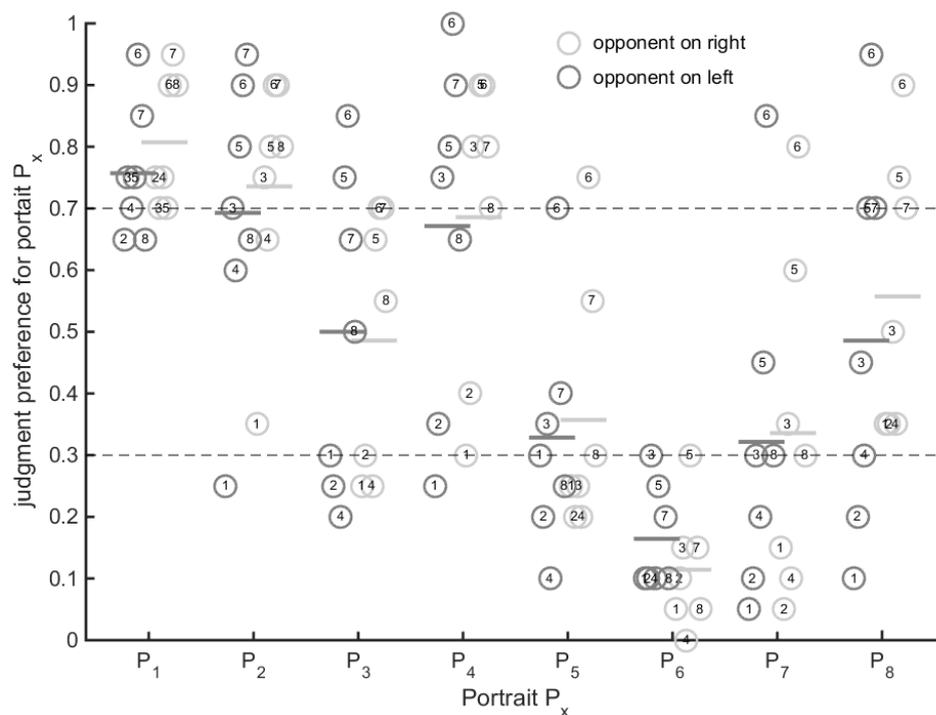


Figure 56 | Fréquence de choix des portraits P_x, selon le portrait opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation. Les lignes pointillées donnent les frontières de l'intervalle de confiance à 95% sous l'hypothèse binomiale d'une préférence nulle dans le jugement de la paire. Comme dans la première étude sur les portraits, les portraits P₁, P₂, et P₄ sont au-delà du score de chance contre les opposants P₆, P₅, P₇ et P₈. Le pattern P₆ est jugé moins beau que tous les autres portraits. Les lignes pleines colorées donnent le ratio moyen de préférence contre les sept paires possibles du portrait.

Tableau 5. Comparison of mean choice's frequency towards the eighth paintings between study 2.a and 2.b, with the preference's ordre in brackets.

study	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
2a	0.76(1)	0.68(3)	0.49(4)	0.73(2)	0.40(5)	0.18(8)	0.37(7)	0.40(6)
2b	0.78(1)	0.71(2)	0.49(5)	0.68(3)	0.34(6)	0.14(8)	0.33(7)	0.52(4)

Temps de sélection de la préférence – Le temps moyen de sélection du portrait préféré des 56 paires de portraits est de 1.68 secondes ($SD = 1.01$, $max = 5.97$, $min = 0.46$), soit en moyenne un tiers du temps de présentation de 5 secondes.

Prédiction du temps de regard par le jugement de préférence – Les résultats de l'analyse de régression linéaire sont rapportés dans le tableau 6 et indiquent que le jugement de préférence prédit positivement les temps relatifs de regard. L'effet du jugement de préférence est capturé par le paramètre de la pente (β_1). Le paramètre de l'intercept (β_0) correspond au temps relatif moyen de regard pour un portrait d'un jugement de préférence hypothétique de zéro. La figure 57 montre la relation entre les ratios de préférence pour le premier portrait d'une paire et le temps relatif de regard du portrait au cours de la tâche de préférence en choix forcé. La part de variance expliquée par notre modèle de régression linéaire est forte dans l'étude 2.b, $R^2 = 0.73$. La part de variance expliquée par le modèle de régression linéaire était plus faible dans l'étude 2.a, avec un $R^2 = 0.07$ (p.116).

Tableau 6. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \varepsilon$ in Figure 57

Group	Intercept (β_0)	t_{54} value intercept	Slope (β_1)	t_{54} value slope	R^2	MLT [†] per trial (s)
EXP2b	0.41 (0.01)	37.48***	0.42 (0.03)	12.15***	0.73	4.44 (0.25)

*** $p < 0.001$, [†] Mean looking time on pattern's display area.

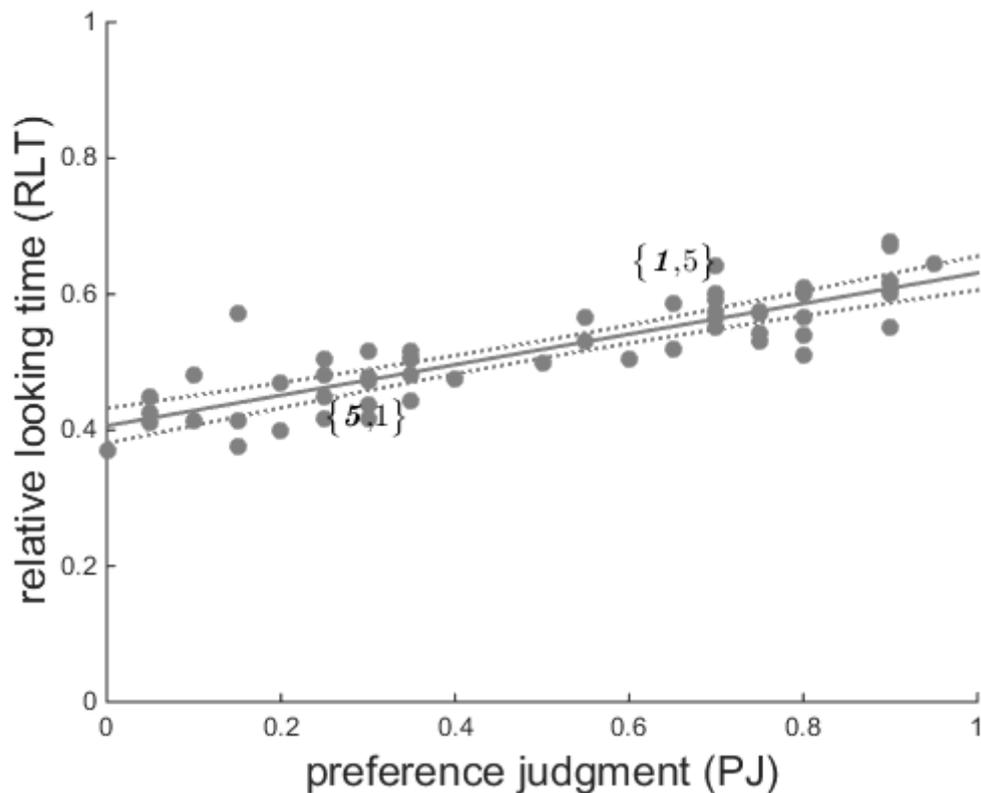


Figure 57 | Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard. L'intercept et la pente de régression linéaire sont significatifs : le jugement de préférence prédit le temps relatif de regard de notre groupe contrôle. Les lignes pointillées donnent l'intervalle de confiance à 99% pour la pente et le paramètre intercept de la ligne pleine. Sont représentés entre accolades le score des portraits 1 et 5 des paires $\{P_1, P_5\}$ et $\{P_5, P_1\}$ respectivement.

Analyse du temps de regard au cours de la présentation – La présentation des paires s'arrêtant une fois le choix du portrait préféré, l'analyse au cours du temps se limite aux 3316 premières secondes de présentation, la perte de données oculométriques étant totale par la suite. L'analyse du temps de regard au cours de la présentation lors de la tâche de jugement révèle que la relation entre le jugement de préférence et la localisation du regard est précoce et se maintient dans le temps (figure 58). Les corrélations positives significatives entre le jugement de préférence et le temps de regard sont observées à partir de 410 ms de présentation et se poursuivent jusqu'à 2330 ms de présentation. Ensuite, la corrélation positive tombe sous le seuil de significativité, nous indiquant qu'une plus large partie des observateurs regardent le portrait opposant. De manière générale, les portraits les moins préférés sont peu regardés par les participants.

Nous avons réalisé une transformation de Fisher pour tester les différences de corrélations indépendantes entre nos deux études 2a et 2b au cours des 3316 premières millisecondes de présentation. Cette analyse ne révèle pas de différence significative de corrélation entre nos deux groupes d'adultes au cours de cette période de présentation (p -valeur comprises entre 0.05 et 1, figure 59).

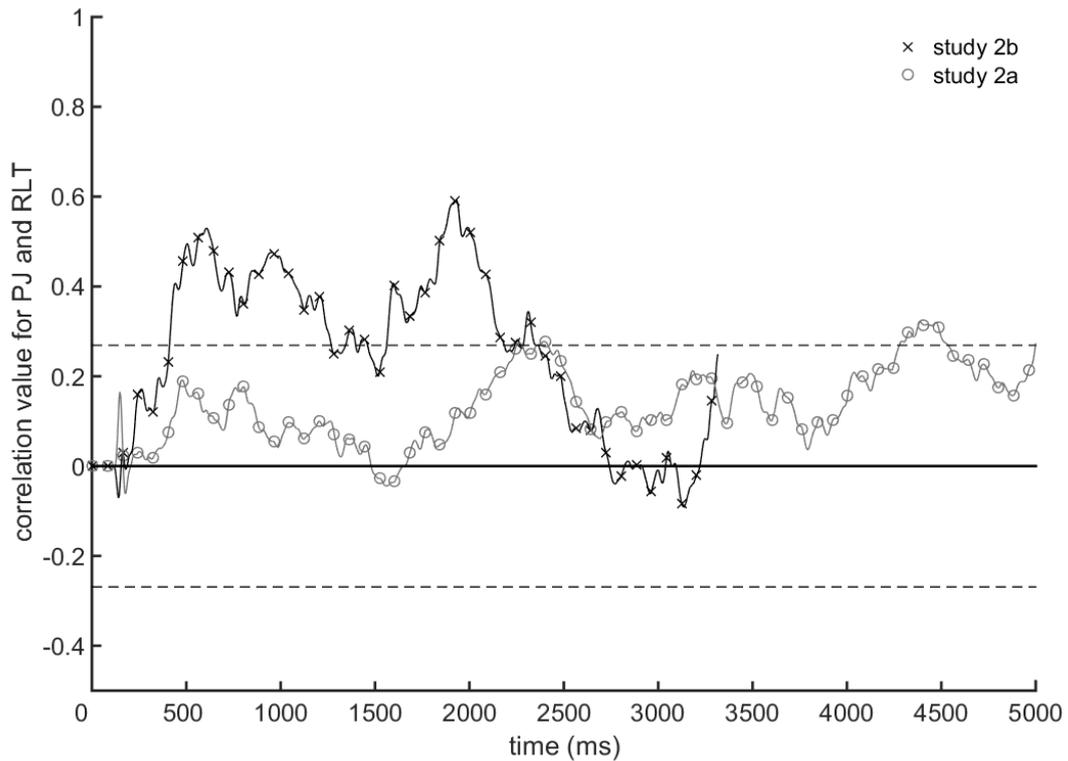


Figure 57 | Evolution de la corrélation entre des jugements de préférence et des temps relatifs de regard durant les 5 secondes de la présentation lors de l'étude 2b (croix noir) et de l'étude 2a (rond gris). Les lignes pointillées donnent le minimum moyen de la valeur de la corrélation à $p < .05$. En encadré gris, l'évolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation lors de la première étude pour le groupe adulte.

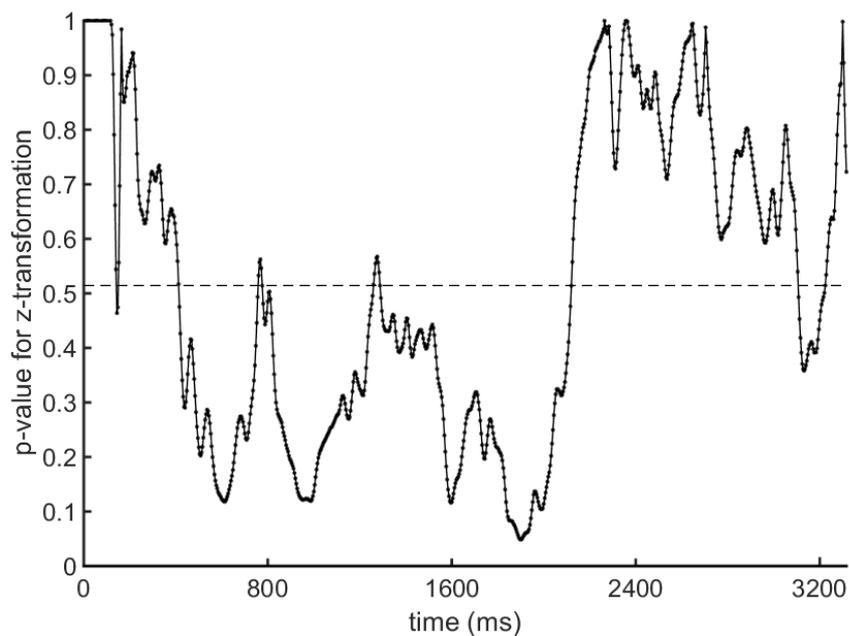


Figure 58 | Variation de la p-valeur du z-score (transformation de Fischer) au cours des 3316 premières secondes de présentation entre les deux corrélations indépendantes entre les jugements de préférence et les temps de regard dans l'étude 2a et l'étude 2b. La ligne pointillée représente la moyenne des p-valeurs des z-scores au cours de cette période de présentation.

Discussion

Notre réplication de l'étude 2a sur les portraits nous permet d'en apprendre un peu plus sur la relation sur l'appréciation esthétique chez l'adulte pour les portraits.

Premièrement, les fréquences de jugement de préférence des deux groupes indépendants d'adultes sont fortement corrélés et nous retrouvons également dans cette réplication un fort taux d'accord inter-observateur. Ces deux résultats nous confortent sur la robustesse de la préférence pour certains portraits en comparaison à d'autres.

Deuxièmement, ces jugements de préférence sont rapidement émis par les participants, en moyenne, 1,68 secondes. Ce résultat nous fournit un indice de la rapidité du jugement et donc, d'une mise en place faible de processus cognitifs élaborés dans la prise de décision. Il est probable que les jugements de préférence esthétique reposent plutôt sur des facteurs visuels et mnésiques rapides et automatiques. Pour comparer avec le modèle de l'expérience esthétique chez l'adulte (Leder *et al.*, 2004), les deux premières étapes de l'expérience esthétique ont probablement un point important dans l'appréciation esthétique des portraits présentés. En terme kantien, il semble que ce soit la beauté libre, c'est-à-dire la beauté des caractéristiques visuelles de l'œuvre, qui soit évaluée dans notre tâche. Ces considérations théoriques sont confortées par le fait que les jugements de préférence prédisent les temps de regard des adultes lorsque ceux-ci sont en cours de réalisation de la tâche de préférence en choix forcé. Le temps passé à comparer les deux portraits est faible. L'apparition de la préférence visuelle vers les portraits préférés est quant à elle précoce, peu après 500 ms de présentation dans nos deux groupes d'adultes. Dans notre groupe contrôle, cette préférence visuelle apparaît relativement stable au cours des deux secondes de présentation qui suivent.

Ensuite, les corrélations entre les jugements de préférence et les temps de regard au cours de la présentation des adultes ne varient pas significativement entre nos deux études. Si l'effet du jugement de préférence sur le temps de regard est plus fort dans notre étude 2b, cela s'explique par une différence de consigne reçue. Rappelons que dans notre étude 2a, les participants adultes qui ont réalisé la tâche standard de préférence visuelle n'ont reçu aucune consigne sur la manière de regarder les portraits présentés. Spontanément, nous observons donc une tendance à regarder les portraits préférés. Cette tendance se renforce lorsque les participants reçoivent pour consigne de choisir leur portrait préféré.

Par conséquent, il apparaît que les préférences pour les portraits réalistes chez l'adulte ne soient pas arbitraires. Les jugements de préférence esthétique des portraits réalistes semblent être réalisés sur la base de processus cognitifs peu coûteux, rapides et communs entre les

individus naïfs en art. Dans l'étude 4 de cette thèse, nous nous sommes intéressés aux modèles de saillance visuelle. L'analyse de la saillance visuelle nous a permis de déterminer le rôle des caractéristiques saillantes dans l'appréciation esthétique des portraits. Les portraits préférés présentent-ils une saillance visuelle plus forte que les portraits moins préférés ?

Mais avant cela, nous avons testé la relation entre les jugements de préférence esthétique d'adultes et les temps de regard d'adultes et de nourrissons pour un troisième type de stimulus : des paysages de mouvements artistiques réalistes (symbolisme, impressionnisme, expressionnisme et pointillisme). A notre connaissance, il n'est pas établi si les nourrissons perçoivent les paysages peints comme des représentations de paysages réels. En revanche, une étude en oculométrie a révélé que les comportements visuels des adultes étaient plus fortement influencés par des processus cognitifs de bas niveau lorsqu'ils regardaient des œuvres d'art représentant des paysages que des portraits (Massaro *et al.*, 2012). Si les informations visuelles ont une influence plus grande sur les comportements visuels des adultes, influencent-elles plus fortement leur préférence esthétique ? Ces mêmes informations visuelles orientent-elles préférentiellement et plus longtemps le regard des nourrissons ?

EXPERIENCE 3. Esthétique des paysages

Introduction

Comme nous l'avons mentionné dans la partie sur les théories psycho-évolutives (voir chapitre 2.1, p. 16-19), des préférences innées pour les paysages seraient liées aux caractéristiques de ces paysages qui contribuent immédiatement à la survie des individus comme l'abondance de végétation et d'eau (Appleton, 1975 ; Appleton, 1988 ; Kaplan, 1992 ; Orians, 1986 ; Schroeder & Daniel, 1981 ; Ulrich, 1993 ; Yang & Brown, 1992). De même, les environnements naturels sont préférés aux environnements façonnés par les adultes (Biederman & Vessel, 2006 ; Kaplan, Kaplan & Wendt, 1972 ; Vessel & Rubin, 2010 ; Zhang *et al.*, 2018) et les enfants (Balling & Falk, 1982). A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à la préférence spontanée des nourrissons vers des photographies de paysages naturelles ou architecturaux.

Les paysages naturels sont employés par Ishizu et Zeki (2014) pour étudier la sensation de sublime définie comme l'expérience de la nature et de ces forces incontrôlables comme la force des océans, la grandeur des montagnes, la terreur d'un volcan en éruption ou l'immensité du ciel (Burke, 1957 ; *in* Ishizu & Zeki, 2014). Alors que la beauté est associée à des sentiments de plaisir, de récompense et de satisfaction le sublime peut être associé à de la crainte, de la peur voire de la terreur. L'expérience du sublime s'avère également plaisante mais son intensité est bien plus grande que l'expérience de la beauté (Ishizu & Zeki, 2014). L'expérience de la beauté serait donc plus intense pour les paysages que pour d'autres stimuli, allant jusqu'au sublime. En art, les adultes émettent des scores de beauté plus élevés pour les scènes naturelles que les portraits (Di Dio *et al.*, 2016 ; Massaro *et al.*, 2012). Ces résultats nous amènent à considérer que la beauté des paysages pourrait élucider des émotions esthétiques plus intenses que pour les portraits ou d'autres stimuli abstraits comme les patterns de points en mouvement.

Comme dans nos études 1 et 2 sur les patterns de points en mouvement et les portraits, nous tenterons de déterminer les relations entre les jugements de préférence des adultes et les temps de regard d'adultes et de nourrissons. La relation entre les jugements de préférence des adultes et les temps de regard des nourrissons a été retrouvé pour les patterns de point en mouvement mais pas les portraits.

Méthode

Participants

Trente-cinq participants adultes ($M_{age} = 21$ ans, $SD = 2$, 31 femmes) ont réalisé une tâche de préférence en choix forcé afin d'estimer le score de beauté relatif des 8 stimuli. Cent soixante-et-onze nourrissons entre 4 et 24 mois, nés à terme et sans pathologies connues, ont été inclus dans l'étude. Un groupe de 38 adultes ($M_{age} = 20$ ans, $SD = 1.55$, 34 femmes) ont vu librement les paires de peinture lors d'une tâche standard de préférence visuelle. Les parents et leur nourrisson ont été recrutés à la Maternité du pôle Parent-Enfant du CHU de Grenoble puis ils ont été rappelés lorsque l'enfant avait l'âge de l'étude pour venir au Babylab du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC) à l'Université Grenoble-Alpes (UGA, CNRS UMR 5105). Les participants adultes ont été recrutés via une annonce dans le bâtiment de Psychologie de l'Université Grenoble-Alpes. Aucune instruction n'a été fourni aux participants de sorte à rester proche de la tâche des nourrissons. Après la tâche principale (jugement de préférence ou préférence visuelle), les participants adultes des deux groupes ont répondu à une série de questions concernant (a) leur niveau d'expertise en art, (b) leur connaissance des peintres célèbres, et (c) la reconnaissance des œuvres d'art présentées. Ces questionnaires ont été utilisés afin de s'assurer que notre population adulte était naïve en art, avec des notions de base (connaissance de noms de peintres célèbres) et n'était pas familière aux œuvres d'art présentées. Les questionnaires et les résultats sont détaillés en annexe p.219-227. En résumé, nos participants déclarent ne pas être experts en art, aucun n'a réalisé des études directement ou indirectement liées aux arts visuels et ne fréquentent pas régulièrement des expositions artistiques. Ils ont une connaissance générale des grands peintres mais ne sont pas familiers des œuvres d'art présentées et ne reconnaissent pas leur peintre. L'expertise en art et les effets de familiarité sont donc à écarter des potentielles variations observées dans nos données. Des formulaires de consentement ont été remplis par les parents des nourrissons et les participants adultes avant l'expérience. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes, sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Tableau 7. *Infants' group details.*

Age group	<i>N</i>	<i>N males</i>	Age (days)	Valid trials	Lost trial [†] (%)
4-m-o	16	6	116 (9)	182	18.02
6-m-o	31	14	189 (5)	310	27.06
9-m-o	31	9	282 (8)	272	33.98
12-m-o	38	22	377 (14)	382	26.54
24-m-o	55	26	761 (22)	624	16.91

Stimuli et procédure

Les 8 stimuli présentés sont des reproductions d'œuvres d'art représentant des paysages, créées entre 1882 et 1911 par quatre peintres célèbres : Gustav Klimt (P₁ et P₂), Claude Monet (P₃ et P₄), Edvard Munch (P₅ et P₆) et Vincent van Gogh (P₇ et P₈). Les deux peintures de chaque peintre appartiennent au même mouvement artistique : le symbolisme, l'impressionnisme, l'expressionnisme et le pointillisme pour les œuvres de Klimt (P₁ et P₂), Monet (P₃ et P₄), Munch (P₅ et P₆) et van Gogh (P₇ et P₈) respectivement. Ces quatre mouvements artistiques, bien que différents, sont tous réalistes. Les œuvres d'art sélectionnées sont libres de droit (notées par le sigle © -*public domain*) et sont accessibles sur le site <http://www.the-athenaeum.org/> (première visite le 28/09/2017). Toutes les toiles sont peintes à l'huile et sont exposées dans des collections privées ou des musées hors de France. Nous avons choisi des œuvres mineures et hors de France afin d'éviter qu'elles ne soient déjà familières aux participants adultes. Les informations respectives des œuvres sont disponibles en description de la figure 59. Les peintures ont un ratio {hauteur x largeur} compris entre 0.74 et 1.00. Le ratio moyen est de 0.84, valeur que nous avons prise pour redimensionner les peintures sur MatLab (R2007b). Les dimensions finales des peintures étaient de 427x512 pixels.



Figure 59 | Les 8 oeuvres d'art de paysage sélectionnées. P1) Gustav Klimt, 1905, "Flower Garden", Private collection, dimension de l'image originale 1200x1196 ; P2) Gustav Klimt, 1901, "Seeufer lit Birken" (Lakeside with Birch Trees), Private collection, dimension de l'image originale 894x900 ; P3) Claude Monet, 1896, "Bras de Seine près de Giverny" (Arm of the Seine near Giverny), Museum of Fine Arts, Boston, US, dimension de l'image originale 708x904 ; P4) Claude Monet, 1882, "Soleil couchant à Étretat" (The Cliff, Étretat, Sunset), North Carolina Museum of Art, Raleigh, US, dimension de l'image originale 556x754 ; P5) Edvard Munch, 1910, "The Sun", Munch-museet, Oslo, Norvège, dimension de l'image originale 1072x1350 ; P6) Edvard Munch, 1911, "The waves", Munch-museet, Oslo, Norvège, dimension de l'image originale 1123x1320 ; P7) Vincent van Gogh, 1889, "Olive Grove", Nelson-Atkins Museum of Art, Kansas City, US, dimension de l'image originale 1009x1280 ; P8) Vincent van Gogh, 1889, "Wheatfield with Cypress", National Gallery London, London, UK, dimension originale de l'image 957 x 1280.

Les paysages sont montrés par paires sur un moniteur couleur (Iiyama Vision Master Pro 514, 40.5 x 30.5 cm) avec une résolution de 1024 x 768 pixels et une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz (figure 60). La distance entre les yeux du participant et l'écran est d'environ 60 cm, l'écran se trouve ainsi à 37° d'angle visuel horizontal et 28° d'angle visuel vertical. Les deux paysages ont été redimensionnés et présentés en 427 x 512 pixels

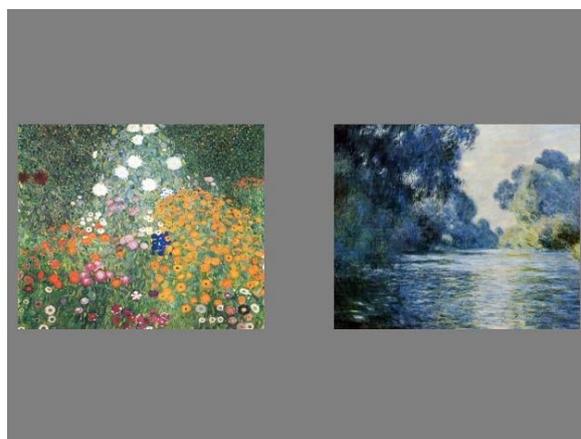


Figure 60 | Capture de l'écran d'expérimentation lors de la présentation des paysages P1 à gauche et P3 à droite.

(soit 12° x 14° d'angle visuel) et sont positionnés côte-à-côte par rapport au centre de l'écran avec une séparation de 123 pixels, soit 3° d'angle visuel. Les patterns de mouvement sont joués dans ces aires pendant 5 secondes. L'arrière-plan est gris [128 128 128].

Tâche de jugement de préférence – pour le détail de la procédure, voir « Tâche de jugement de préférence » de l'étude 2a - Portraits p. 114.

Tâche de préférence visuelle – pour le détail de la procédure, voir « Tâche de préférence visuelle » de l'étude 2a - Portraits p. 115.

Les adultes des deux groupes ont vu les 56 paires de paysage dans un ordre randomisé. Les nourrissons ont vus un sous-ensemble de paire entre 5 et 14 ($M = 14$ paires, $SD = 1.6$), selon leur niveau d'attention. La procédure de filtrage des données oculométriques (limite basse de 2 secondes du temps total de regard sur les 5 secondes de présentation) a permis d'exclure 0.4% des essais des adultes et entre 17% et 34% des données des nourrissons selon le groupe d'âge.

Résultats

Tâche de jugement de préférence – Les paysages préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₃ (Claude Monet, 1896, “Bras de Seine près de Giverny”), P₄ (Claude Monet, 1882, “Soleil couchant à Étretat”) et P₂ (Gustav Klimt, 1901, “Seeufer lit Birken”). Les patterns les moins préférés, dans l'ordre décroissant de préférence, sont P₁ (Gustav Klimt, 1905, “Flower Garden”) et P₅ (Edvard Munch, 1910, “The Sun”). La figure 61 nous informe sur les ratios moyens de préférence des paysages en fonction de l'opposant et de la position sur l'écran. Nous retrouvons pour P₃ (peinture la plus préférée) des fréquences moyennes de choix de 72% contre l'opposant à gauche et 68% contre l'opposant à droite tandis que pour P₅ (peinture la moins préférée) des fréquences moyennes de choix de 34% contre l'opposant à gauche et 36% contre l'opposant à droite. L'ordre de préférence des paysages, calculée à partir de la fréquence moyenne de choix des huit paysages par participant, présente une forte consistance inter-sujet ($\alpha = 0.90$). Le temps moyen de décision (temps compris entre le début de la présentation et le moment où l'individu clique sur le bouton de droite ou de gauche) est de 1.82 secondes ($SD = 0.71$, $max = 20.02$, $min = 0.61$) pour les 56 paires.

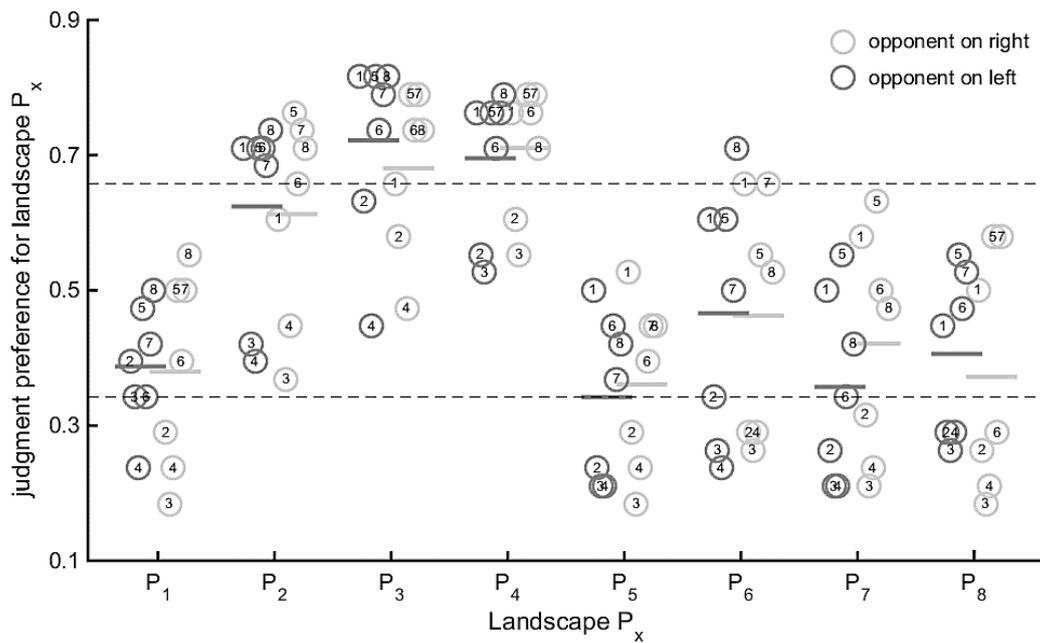


Figure 61 | Fréquence de choix des paysages P_x, selon le paysage opposé (points avec numéro) et la position de l'opposant lors de la présentation. Les lignes pointillées donnent les frontières de l'intervalle de confiance à 95% sous l'hypothèse binomiale d'une préférence nulle dans le jugement de la paire. Les paysages P₃ et P₄ sont au-delà du score de chance contre les opposants P₁, P₅, P₆, P₇ et P₈. Le pattern P₅ est jugé moins beau que P₂, P₃ et P₄ mais est semblablement préféré contre P₁, P₆, P₇ et P₈, quelle que soit la position de l'animation (gauche ou droite). Les lignes pleines colorées donnent le ratio moyen de préférence contre les sept paires possibles du pattern.

Tâche de préférence visuelle – La figure 62 montre la relation entre les ratios de préférence pour le premier pattern d'une paire, mesurés dans la tâche de jugement de préférence et le temps relatif de regard du même paysage dans la tâche de préférence visuelle pour chacun des six groupes d'âge testés. Les résultats de l'analyse de régression linéaire rapportés dans le Tableau 8 indiquent que le jugement de préférence des adultes ne prédit pas les temps relatifs de regard des adultes et des nourrissons de 4 à 24 mois. L'effet du jugement de préférence est capturé par le paramètre de la pente (β_1). Le paramètre de l'intercept (β_0) correspond au temps relatifs moyen de regard pour un pattern d'un jugement de préférence hypothétique de zéro. Alors que les temps de regard des adultes ne changent pas quel que soit le jugement de préférence, les temps de regard des nourrissons apparaissent différents d'un paysage à l'autre mais sans être en lien avec les jugements de préférence des adultes.

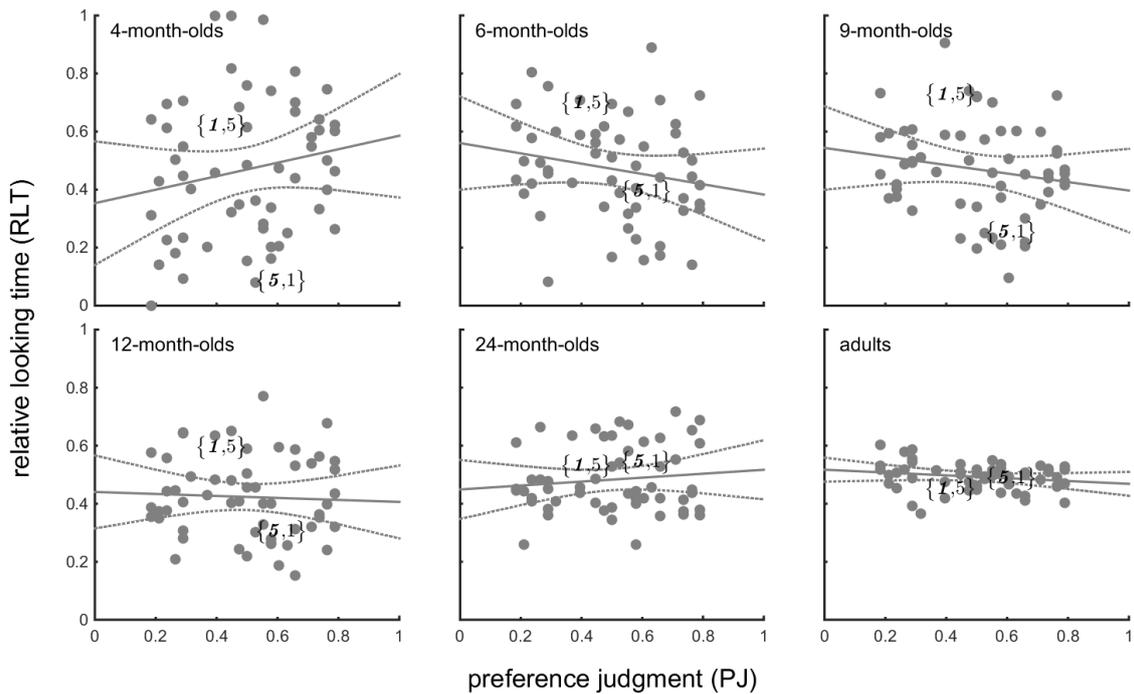


Figure 62 | Relation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard. L'intercept et la pente de régression linéaire changent avec l'âge mais ne sont significatifs dans aucun des groupes d'âge. Les lignes pointillées donnent l'intervalle de confiance à 99% pour la pente et le paramètre intercept de la ligne pleine. Sont représentés entre accolades le score des patterns 1 et 5 des paires $\{P_1, P_5\}$ et $\{P_5, P_1\}$ respectivement.

En utilisant le temps de regard par essai dans le Tableau 88, il est possible d'estimer cet intercept hypothétique à 1.28 secondes pour le groupe des 4 mois. Même le moins préféré des patterns reçoit de l'attention visuelle.

Tableau 8. Parameters from the Linear Model $RLT = \beta_0 + \beta_1PJ + \varepsilon$ in Figure 47

Age group	Intercept (β_0)	t_{54} value intercept	Slope (β_1)	t_{54} value slope	R^2	MLT [†] per trial (s)
4-m-o	0.35 (0.09)	3.94***	0.23 (0.17)	1.39	0.03	3.67 (0.39)
6-m-o	0.57 (0.07)	8.50***	-0.18 (0.12)	-1.50	0.04	3.37 (0.44)
9-m-o	0.53 (0.06)	9.08***	-0.13 (0.11)	-1.15	0.02	3.39 (0.40)
12-m-o	0.44 (0.05)	8.27***	-0.03 (0.10)	-0.35	0.00	3.62 (0.40)
24-m-o	0.45 (0.04)	10.57***	0.06 (0.08)	0.75	0.01	3.94 (0.35)
Adults	0.52 (0.02)	29.77***	-0.05 (0.03)	-1.50	0.04	4.39 (0.26)

*** $p < 0.001$, † Mean looking time on pattern's display area.

Analyse du temps de regard au cours du temps – L'analyse de la corrélation entre les jugements de préférence et les temps relatifs de regard au cours des 5 secondes de présentation indiquent des différences de comportement visuel au cours du temps et selon le groupe d'âge (figure 63). Les adultes présentent une corrélation positive brève à 172 ms de présentation, tout de suite suivie d'une corrélation négative à 330 ms de présentation. Quel que soit l'âge, les nourrissons présentent également une corrélation négative en début de présentation, vers 330 ms. Les 6 mois présentent à nouveau des corrélations négatives significatives entre les temps relatifs de regard et les jugements de préférence après 3.40 secondes de présentation. Une corrélation positive est observée chez les 24 mois à partir de 892 ms de présentation, et ce, durant environ 630 ms. Outre ces quelques variations, nos résultats qui ne se différencient pas du niveau de chance, les comportements visuels des adultes et des nourrissons sont similaires entre les paysages jugés beaux et ceux jugés les moins beaux par un groupe d'adultes.

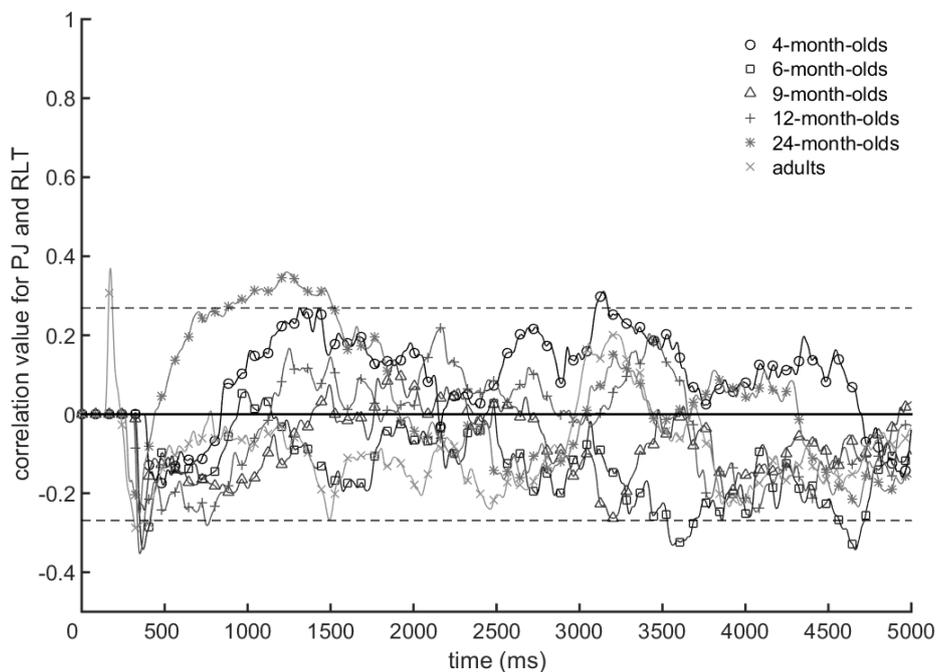


Figure 63 | Evolution de la corrélation entre le jugement de préférence et le temps relatif de regard durant les 5 secondes de durée de la présentation pour les six groupes d'âge. Les lignes pointillées donnent le minimum moyen de la valeur de la corrélation à $p < .05$ (dépendant du nombre de pattern disponible pour la régression).

Discussion

Contrairement à nos prédictions et à l'étude sur les patterns de mouvement, les jugements de préférence d'adultes ne prédisent pas les temps de regard des nourrissons et d'autres adultes lorsqu'il s'agit de peintures réalistes de paysage.

L'absence de relation entre les préférences esthétiques et les comportements visuels des adultes pourrait indiquer que les critères de beauté pour les paysages relèvent plutôt de mécanismes cognitifs auto-initiés que de mécanismes automatiques. La prise de décision apparaît plus longue dans cette dernière étude et les fixations des adultes n'ayant pas reçu de consigne particulière, ne regarde pas spontanément plus longtemps les paysages jugés beaux.

Le bref pic de corrélation négative observé en début de présentation dans tous les groupes d'âge pourrait indiquer un effet de la saillance visuelle sur les fixations oculaires. Auquel cas, les paramètres de saillance visuelle seraient liés négativement avec les préférences esthétiques pour les paysages. Il est également important de déterminer si les nourrissons regardent les peintures de manière similaire aux adultes. Il est possible que le regard des nourrissons soit maintenu sur quelques détails saillants de la scène visuelle et que la perception du paysage dans son ensemble ne soit pas réalisée. Dans l'étude 4, nous avons étudié la prédiction de deux modèles de saillance visuelle sur les fixations des adultes et des nourrissons. Nous avons utilisé les données oculaires des études 2.a et 3 afin de déterminer l'influence des paramètres de saillance visuelle sur les fixations des adultes et des nourrissons.

EXPERIENCE 4. Effet de la saillance visuelle sur les fixations des adultes et des nourrissons dans les œuvres d'art

Introduction

Les études 2.a et 3 portaient sur les relations entre les jugements de préférence d'adultes et les temps de regard d'autres adultes et de nourrissons dans le cadre des arts visuels. Pour les portraits et les paysages, aucune relation n'est trouvée entre les préférences des adultes et les temps de regard des nourrissons. Cette absence de relation pourrait être liée à des comportements visuels différents entre les adultes et les nourrissons. Les paramètres de saillance visuelle pourraient attirer et maintenir l'attention visuelle des nourrissons et tandis que chez les adultes, les paramètres de saillance visuelle n'auraient pas d'incidence sur le maintien de l'attention visuelle au profit d'un changement en direction des paramètres de beauté, non liés à la saillance visuelle.

Lors de l'observation libre d'une image, les individus vont en effet porter leur regard vers des aires spécifiques de cette image plutôt que de manière randomisée (Antes, 1974 ; Mackworth & Morandi, 1967). Les aires recevant de hautes densités de fixations sont interprétées comme des indices de l'intérêt de l'observateur en direction des éléments informatifs de l'image (Henderson & Hollingworth, 1999 ; Rizzolatti, Riggio, Dascola, & Umilta, 1987). Les résultats des fixations oculaires sont consistants entre les individus en début de présentation puis ont tendance à différer (Buswell, 1935). De plus, les fixations sont dépendantes de la consigne d'observation (Buswell, 1935 ; Rizzolatti *et al.*, 1987). Au début de la présentation, le regard est dirigé par des paramètres qui rendent un élément de l'image plus saillant que d'autres (Borji *et al.*, 2012 ; Marat, 2010 ; Theeuwes, 1992 ; 2010). Les études sur les préférences visuelles des nourrissons indiquent que la tendance à orienter son regard vers les objets les plus saillants dans une scène visuelle est innée (Sireteanu *et al.*, 2005). Le regard des nourrissons est orienté par le contraste, la forme, la luminance ou encore le mouvement de manière similaire aux adultes (Sireteanu *et al.*, 2005).

Nous avons vu dans la section 2.5 du chapitre 2 (p. 46-50) que les modèles computationnels de saillance visuelle permettaient de prédire les fixations oculaires à partir de trois grandes catégories de paramètres visuels : la couleur, l'intensité locale de luminance et l'orientation (Borji *et al.*, 2012 ; Itti & Koch, 2000 ; Itti, Koch & Niebur, 1998 ; Marat, 2010).

L'étude des paramètres de saillance visuelle a d'ores et déjà permis de déterminer la contribution des processus cognitifs ascendants (*bottom-up*) au cours de l'expérience esthétique pour des paysages et des portraits (Massaro *et al.*, 2012). Les paramètres de saillance visuelle prédisaient mieux les localisations des fixations des adultes pour les paysages que les portraits, indiquant une influence plus forte des processus cognitifs descendants (*e.g.* mécanismes perceptifs ou d'intégration en mémoire implicite) lors de l'appréciation esthétique des paysages (Massaro *et al.*, 2012).

Dans cette étude, nous avons utilisé deux modèles de saillance visuelle : le premier modèle de saillance visuelle (*bottom-up saliency model* ; Itti & Koch, 2000) est fondé sur l'espace (toute opération arrive au niveau de l'image, sans pré-acquisition) tandis que le second (*Graph-Based Visual Saliency, GBVS* ; Harel *et al.*, 2007) est fondé sur l'objet (incluant une détection de l'objet). Selon l'étude comparative des modèles de saillance visuelle (Borji *et al.*, 2012), les modèles de saillance visuelle fondés sur l'objet prédisent mieux les fixations oculaires des adultes et en particulier le modèle GBVS qui obtient les meilleurs scores de prédiction de localisations des fixations adultes pour un ensemble de photographies diverses. Quand est-il pour les œuvres d'art ?

Les visages humains sont un facteur déterminant de l'attention visuelle dans l'observation d'œuvres d'art qui se traduit par des fixations plus rapides et longues vers les visages que le reste de la peinture (Massaro *et al.*, 2012 ; Villani *et al.*, 2015). Dans le cas des portraits, nous pouvons nous attendre à ce que le modèle GBVS, qui détecte les objets tels que les visages, prédise mieux les localisations de fixation que le modèle *bottom-up saliency*. Les adultes pourraient par ailleurs s'intéresser à d'autres aspects du portrait que le visage (composition des couleurs, éléments en arrière-plan), contrairement aux nourrissons. De fait, nous nous attendons à ce que les nourrissons émettent plus de fixations vers les visages que les adultes. Les scores de prédiction des localisations des fixations des nourrissons devraient être plus forts que ceux des adultes, en particulier avec le modèle GBVS.

Dans le cas des paysages, en accord avec les résultats sur des photographies de paysages (Harel *et al.*, 2007 ; Borji *et al.*, 2012), nous supposons que le modèle GBVS prédira mieux les localisations des fixations que le modèle *bottom-up saliency*. L'étude de Buswell (1935) révèle que les fixations oculaires sont similaires pour des peintures de paysages naturels entre différents groupes d'individu, par exemple entre des adultes naïfs et experts en art ou entre des

adultes et des enfants. Toutefois, dans notre étude précédente, les temps de regard des nourrissons n'étaient pas prédits par les jugements de préférence des paysages des adultes. Il est possible que les couleurs saturées et la luminance attirent plus le regard des nourrissons que celui des adultes. Dans ce cas, les localisations des fixations des nourrissons devraient être mieux prédits par les modèles de saillance visuelle que ceux des adultes.

Enfin, l'étude de Massaro et ses collègues (2012) suggère que les paramètres de saillance visuelle sont plus importants dans l'appréciation esthétique des paysages que des portraits chez les adultes. Si tel est le cas, nous nous attendions à reproduire ce résultat et retrouver que les modèles de saillance visuelle ont de meilleurs scores de prédiction pour les paysages que les portraits. Nous avons exploré cette différence chez les nourrissons.

Méthode

Participants

Les données oculométriques sont issues celles de l'étude 2a (portraits) et de l'étude 3 (paysages). Le tableau 9 reprend les informations sur le nombre de participants, le nombre d'essais valides et le pourcentage d'essais non valides de ces deux études.

Tableau 9. Details of infants and adults groups from the studies on portraits and landscapes

Study	Age group	<i>N</i>	Valid trials	Mean lost trial [†] (%)
Portraits	4-to-24-m-o	165	1978	13.40
	Adults	36	2016	0
Landscapes	4-to-24-m-o	171	1770	24.50
	Adults	38	2128	0

Procédure et stimuli

Pour les portraits et les paysages, les modèles de saillance visuelle ont été réalisés sur les 56 paires de stimuli présentées, à l'échelle de l'écran et en comptabilisant le fond gris, avec une résolution de 1024 x 768 pixels (figure 64). Ceci nous permet de réaliser la prédiction des modèles de saillance visuelle sur les localisations des fixations des adultes et des nourrissons.



Figure 64 | Image des paires de peintures $\{P_1, P_2\}$ dans les études 2a et 3, utilisée pour créer les cartes de saillance visuelle.

Modèles de saillance visuelle

La création des deux cartes de saillance visuelle et les analyses statistiques ont été réalisées avec MatLab (R2007b) avec les scripts matlab créés par Harel et ses collègues (2007) pour le modèle GBVS (<https://github.com/Pinoshino/gbvs>).

Modèle de l'attention visuelle fondée sur la saillance (*bottom-up saliency model*; Itti & Koch, 2000) – Le modèle de l'attention visuelle fondée sur la saillance est présenté en détails précédemment (section 2.5). Trois catégories de propriétés visuelles sont considérées : l'intensité locale de l'image, la couleur et l'orientation. Les propriétés visuelles sont normalisées de sorte à obtenir des cartes d'attributs. Ces cartes d'attributs sont ensuite filtrées et combinées après une seconde normalisation par catégorie de propriétés permettant la création de trois cartes de conspécuité. Une dernière combinaison linéaire permet de former une seule et même carte de saillance visuelle. Les algorithmes de *winner-take-all* (WOA) et *inhibition-to-return* produisent la séquence du focus attentionnel, déterminant l'ordre décroissant des zones saillance. La figure 65 montre l'image initiale et la carte de saillance visuelle pour la paire de portraits $\{P_1, P_2\}$. Les visages des deux portraits sont définis comme des zones saillantes, de même que le bout de bras visibles sur P_1 et le sol sur P_2 .

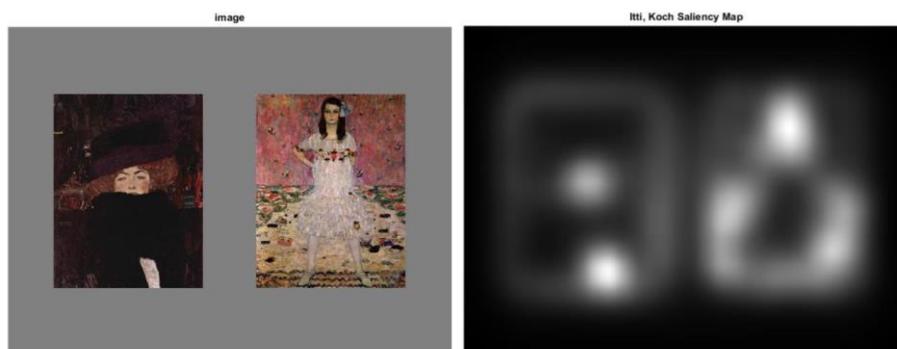


Figure 65 | Image originale et carte de saillance visuelle de cette image d'après le modèle de Itti et Koch (2000).

Graph-Based Visual Saliency model (GBVS ; Harel, Koch & Perona, 2007) – Le modèle GBVS propose une amélioration du modèle de saillance visuelle de Itti et Koch (2000 ; Itti, Koch & Niebur, 1998). D’abord, il s’opère une formation de cartes d’attributs pour tous les paramètres des propriétés visuelles (les mêmes que dans le modèle précédent) puis une normalisation en trois cartes de conspécuité -une par propriété visuelle- qui intègre la combinaison des différentes cartes d’attributs et la détection des objets, c’est-à-dire, la probabilité qu’a un objet dans un environnement donné d’être perçu (Röhrbein, Goddard, Schneider, James & Guo, 2015). La carte de saillance visuelle est issue d’une nouvelle normalisation des cartes de conspécuité et de la détection des objets. D’après l’article original, ce modèle simple et biologiquement plausible, testé sur 108 images naturels, prédit de manière puissante les fixations humaines, les scores ROC pouvant atteindre 98% (contre 84% avec l’algorithme classique de Itti et Koch, 2000 ; Harel *et al.*, 2007). La figure 66 montre les différentes étapes de la création de la carte de saillance visuelle GBVS (image en bas à droite). Les aires de saillance visuelle sont indiquées avec une palette de couleur allant du bleu clair (sailance visuelle faible) au rouge (sailance visuelle forte).

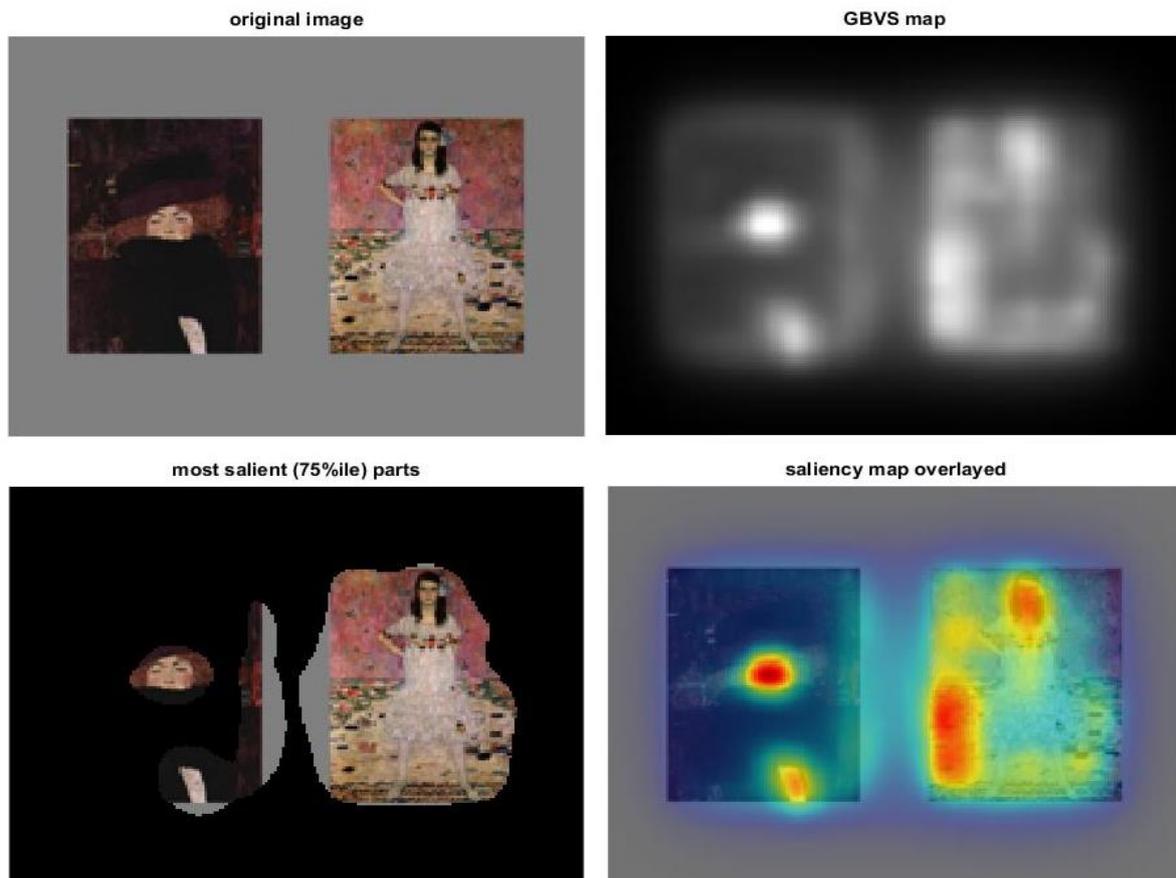


Figure 66 | Etapes de création de la carte de saillance visuelle dans le modèle GBVS (Harel *et al.*, 2012). Les paramètres de saillance visuelle fondés sur l’espace (couleur, luminance, forme) de l’image sont considérées, puis le modèle combine cette carte avec celle des objets les plus saillants de l’image pour créer une carte de saillance visuelle fondée sur l’objet.

Pour les analyses oculométriques, nous nous sommes concentrés sur les localisations des fixations et nous avons sélectionné les dix premières fixations des participants afin de limiter les différences entre adultes et nourrissons liées à un nombre plus élevé de fixations chez les adultes que chez les nourrissons. Dans l'étude des portraits, cette manœuvre a exclu 29% de fixations chez les adultes (reste 16874 fixations) et 22% de fixations chez les nourrissons (reste 15133 fixations). Dans l'étude des paysages, cette manœuvre a exclu 29% de fixations chez les adultes (reste 16961 fixations) et 18% de fixations chez les nourrissons (reste 13569 fixations).

La métrique la plus commune pour évaluer à quel degré une carte de saillance visuelle prédit la carte des localisations des fixations humaines réelles est le score ROC pour *Receiver Operating Characteristic* (soit caractéristique de fonctionnement du récepteur) ou AUC pour *Area Under the roc Curve* (soit l'aire sous la courbe ROC). La carte de saillance visuelle est traitée comme un classificateur binaire de chaque pixel -fixé ou non fixé- de l'image. Ce classificateur fournit un seuil sur la carte de saillance du taux de vrais positifs par rapport aux faux positifs, c'est-à-dire du taux de prédiction exacte des fixations réels par rapport au taux de prédiction inexacte des fixations réelles. La courbe ROC est une transformation de ces seuils en pourcentage de pixels de l'image classés au-dessous de ce seuil. Le score ROC peut ainsi être interprété comme la probabilité qu'un emplacement de fixation réel soit mieux classé qu'un emplacement non fixé par la carte de saillance visuelle considérée (Borji *et al.*, 2013 ; Röhrbein *et al.*, 2015). Une performance aléatoire d'un modèle de saillance visuelle donne un ROC score de 0.5 et une performance optimale de prédiction des fixations réelles donne un ROC score de 1 (Judd, Durand & Torralba, 2011). Nous avons donc utilisé les scores ROC pour déterminer la performance des deux modèles de saillance visuelle de prédiction des fixations réelles des adultes et des nourrissons. Comme dans l'étude comparative de Borji et ses collègues (2013), nous avons utilisé des t-tests pour comparer les performances de prédiction (score ROC) entre les modèles de saillance visuelle et entre les groupes d'âge.

Résultats

Portraits : prédiction des modèles de saillance visuelle

En accord avec notre hypothèse, les cartes de saillance visuelle du modèle GBVS ont un pouvoir de prédiction des localisations de fixations meilleur que l'algorithme classique de Itti et Koch

(2000) pour les 56 paires de portraits. Pour les adultes, les scores ROC du modèle *bottom-up saliency* ($M = 0.80$, $SD = 0.04$) sont significativement inférieurs aux ROC scores du modèle *GBVS* ($M = 0.90$, $SD = 0.02$), $t(55) = -16.9$, $p < .001$, $CI[-0.11 -0.09]$. Il en va de même pour les nourrissons, où les scores ROC du modèle de Itti et Koch ($M = 0.81$, $SD = 0.04$) sont significativement inférieurs aux scores ROC du modèle *GBVS* ($M = 0.90$, $SD = 0.02$), $t(55) = -20.31$, $p < .001$, $CI[-0.10 -0.08]$. La figure 67 montre en haut les deux cartes de saillance visuelle de la paire de portraits $\{P_1, P_2\}$, à gauche celle du modèle *bottom-up saliency* et à droite celle du modèle *GBVS*. Les deux images du bas représentent les cartes avec les localisations des fixations des adultes en noir et des nourrissons en blanc.

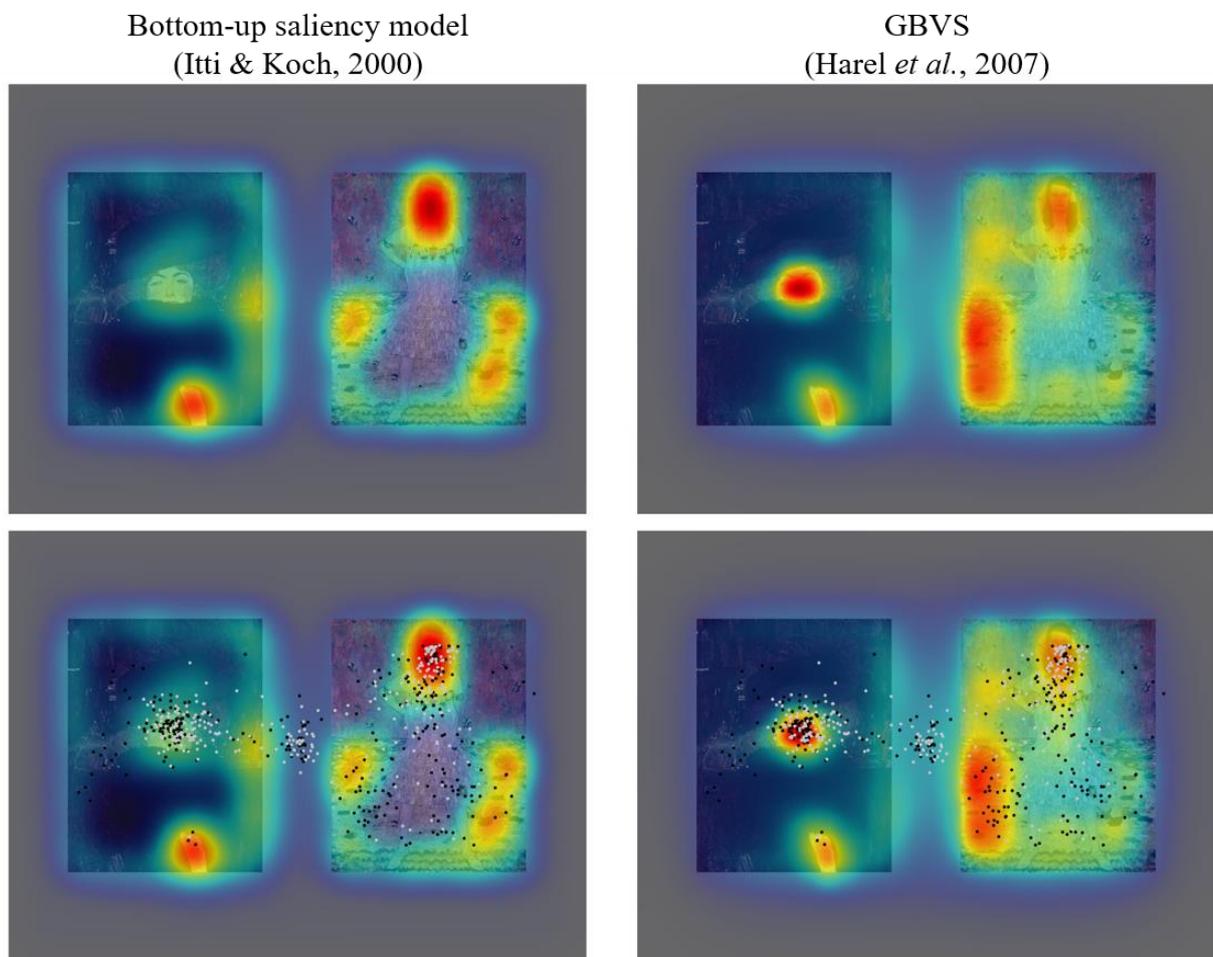


Figure 67 | Comparaison des cartes de saillance visuelle entre le premier modèle *bottom-up saliency* (Itti & Koch, 2000 ; à gauche) et le modèle *GBVS* (Harel et al., 2007 ; à droite) pour la paire $\{P_1, P_2\}$ qui comprend à gauche la peinture P_1 (Gustav Klimt, 1912, ‘Portrait of Māda Primavesi’) et à droite la peinture P_2 (Gustav Klimt, 1912, ‘Portrait of Māda Primavesi’). Le modèle *GBVS* intègre une détection des objets dont les visages, modifiant les patterns de régions à forte saillance visuelle (images du dessus). Les images en-dessous présentent les 10 premières fixations des participants adultes et nourrissons, intégrées dans les cartes des deux modèles de saillance visuelle. Les points représentent les fixations des adultes et les points blancs, les fixations des nourrissons.

Portraits : Effet de l'âge sur la prédiction des modèles de saillance visuelle

Pour les portraits, les deux modèles de saillance visuelle réalisent de bonnes prédictions des localisations de fixations quel que soit l'âge. Contrairement à notre supposition, les scores ROC des adultes ($M = 0.80$, $SD = 0.04$) sont similaires à ceux des nourrissons ($M = 0.81$, $SD = 0.04$) avec le modèle *bottom-up saliency*, $t(54) = -0.68$, $p = .50$, $CI[-0.02 -0.01]$. Il en va de même pour le modèle GBVS où les scores ROC des adultes ($M = 0.90$, $SD = 0.02$) ne diffèrent pas significativement des scores ROC des nourrissons ($M = 0.90$, $SD = 0.02$), $t(54) = 1.08$, $p = .28$, $CI[-0.00 -0.01]$. La figure 68 montre la paire de portraits {P₄, P₈} avec à gauche les données oculométriques des nourrissons et à droites celles des adultes sur la carte de saillance visuelle du modèle GBVS. Les régions les plus souvent fixées sont les visages dans les deux groupes d'âge.

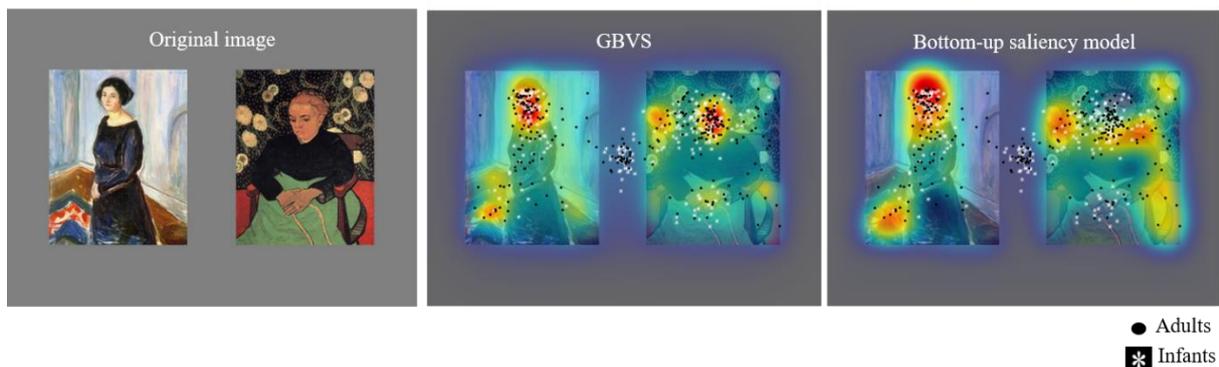


Figure 68 | Comparaison entre les localisations des fixations des nourrissons (en blanc) et les localisations des fixations des adultes (en noir) pour la paire de portraits {P₄, P₈}. Les régions saillantes détectées pour les deux modèles de saillance visuelle sont mises en évidence par la palette de couleur allant du bleu clair au rouge vif, du moins saillant au plus saillant. La première fixation se situe au milieu de l'image, là où la cible de fixation entre deux essais est positionnée. Les localisations des fixations des adultes (en noir) et celles des nourrissons (en blanc) se retrouvent le plus fréquemment sur les deux visages.

Paysages : prédiction des modèles de saillance visuelle

Pour les 56 paires de paysages, nous retrouvons également que les cartes de saillance visuelle du modèle GBVS ont un pouvoir prédictif des localisations des fixations meilleur que le modèle *bottom-up saliency*. La figure 69 montre les cartes de saillance visuelle et les localisations réelles des fixations des nourrissons et des adultes pour la paire de paysages {P₄, P₈}. Pour les adultes, les scores ROC du modèle GBVS ($M = 0.90$, $SD = 0.02$) sont significativement supérieurs aux scores ROC du modèle *bottom-up saliency* ($M = 0.81$, $SD = 0.04$) pour les 56 paires, $t(55) = -15.9$, $p < .001$, $CI[-0.10 -0.08]$. Il en va de même pour les nourrissons, chez qui les scores ROC du modèle GBVS ($M = 0.89$, $SD = 0.02$) sont significativement supérieurs aux scores ROC du modèle *bottom-up saliency* ($M = 0.80$, $SD = 0.04$) pour les 56 paires, $t(55) = -20.15$, $p < .001$, $CI[-0.09 -0.08]$.

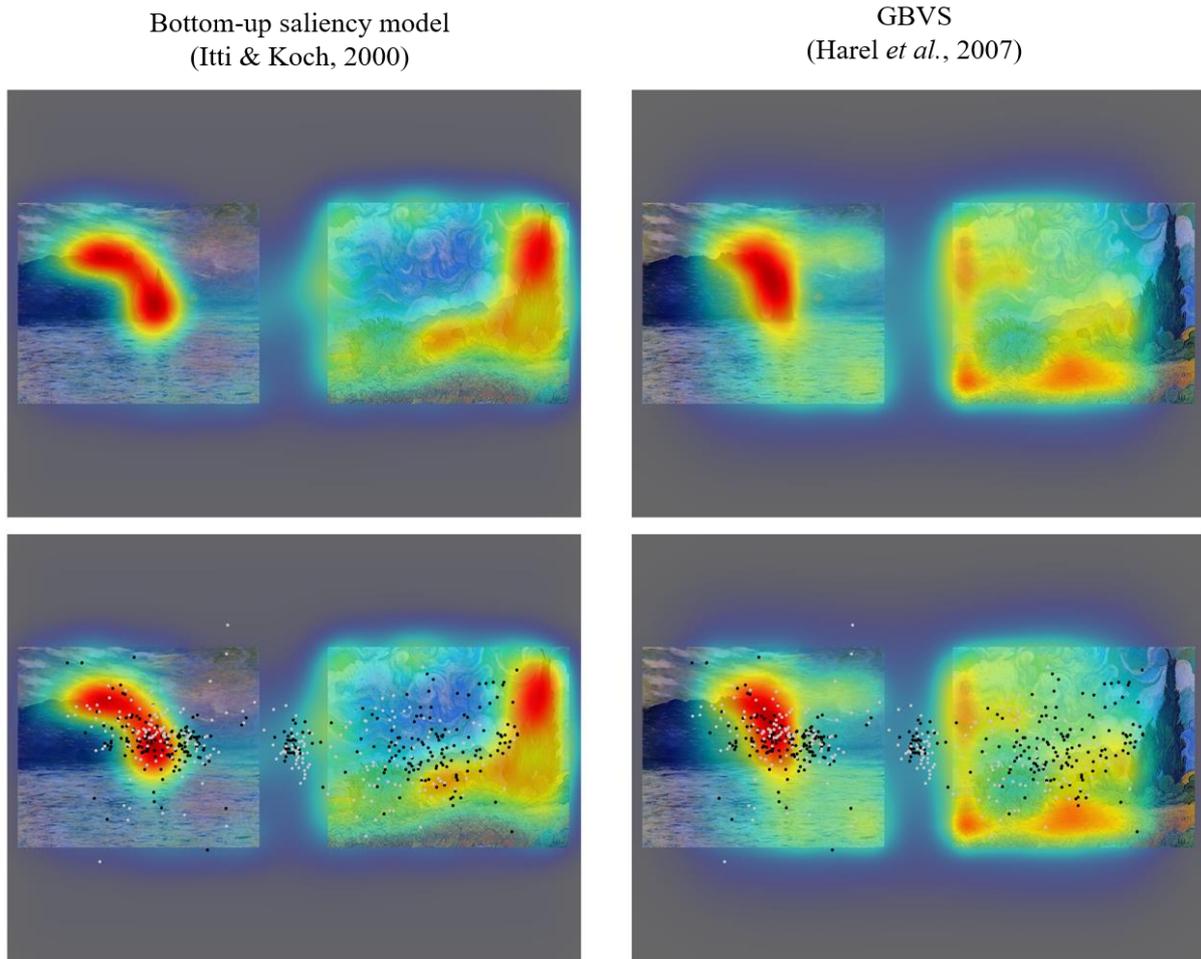


Figure 69 | Comparaison des cartes de saillance visuelle entre le premier modèle bottom-up saliency (Itti & Koch, 2000 ; à gauche) et le modèle GBVS (Harel et al., 2007 ; à droite) pour la paire $\{P_4, P_8\}$ qui comprend à gauche la peinture P_4 (Claude Monet, 1882, “Soleil couchant à Étretat”) et à droite la peinture P_8 (Vincent van Gogh, 1889, “Wheatfield with Cypress”). Le modèle GBVS intègre une détection des objets, venant modifier les patterns de régions à forte saillance visuelle (images du dessus). Les images en-dessous présentent les 10 premières fixations des participants adultes et nourrissons, intégrées dans les cartes des deux modèles de saillance visuelle. Les points représentent les fixations des adultes et les points blancs, les fixations des nourrissons.

Paysages : Effet de l’âge sur la prédiction des modèles de saillance visuelle

Contrairement à notre hypothèse, ce sont les localisations des fixations des adultes qui sont les mieux prédits par les modèles de saillance visuelle, en comparaison à celles des nourrissons. La figure 70 montre la paire de paysage $\{P_8, P_5\}$ comme présentée à l’écran et avec les cartes de saillance visuelle et les données oculométriques des 10 premières fixations. Pour le modèle *bottom-up* saliency, les scores ROC des adultes ($M = 0.81, SD = 0.04$) sont significativement supérieurs à ceux des nourrissons ($M = 0.80, SD = 0.04$), $t(55) = -2.06, p < .05, CI[-0.01 -0.00]$. C’est également le cas pour le modèle GBVS où les scores ROC des adultes ($M = 0.90, SD = 0.02$) sont significativement supérieurs à ceux des nourrissons ($M = 0.89, SD = 0.02$), $t(55) = -3.19, p < .01, CI[-0.01 -0.00]$.

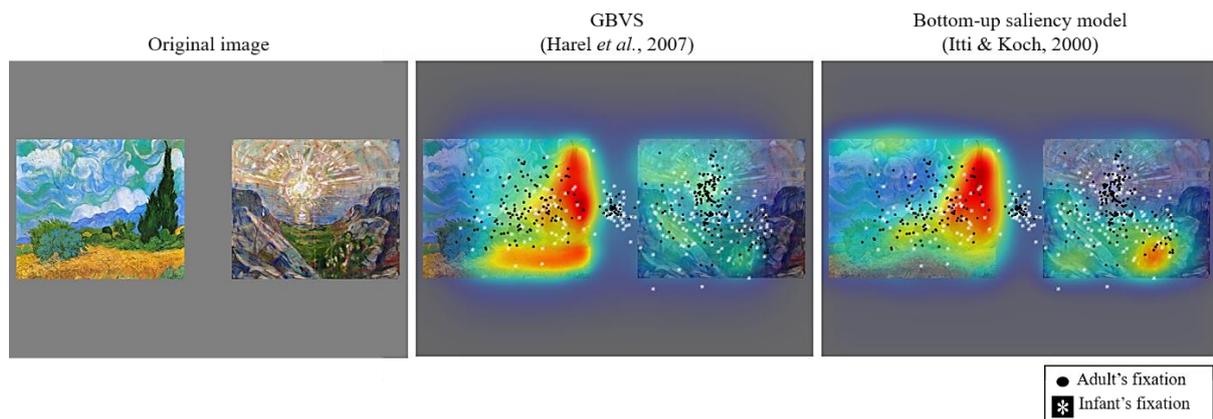


Figure 70 | Comparaison entre les localisations des fixations des nourrissons (en blanc) et les localisations des fixations des adultes (en noir) pour la paire de paysages {P₈, P₅}. Les régions saillantes détectées par les deux modèles de saillance visuelle sont mises en évidence par la palette de couleur allant du bleu clair au rouge vif, du moins saillant au plus saillant. La première fixation se situe au milieu de l'image, là où la cible de fixation entre deux essais est positionnée. Les localisations des fixations des adultes se retrouvent plus souvent dans les zones de saillance visuelle, quel que soit le modèle computationnel considéré.

Portrait vs Paysage : Prédiction des modèles de saillance visuelle

Le tableau 10 indique les résultats de l'analyse de variance entre les variables stimuli (portrait, paysage), le groupe d'âge (adulte, nourrisson) et le modèle de saillance visuelle (bottom-up saliency, GBVS) sur les scores ROC. Les localisations des fixations sont mieux prédites pour les 56 paires de portraits que celles des paysages, groupes d'âge et modèles de saillance visuelle confondus, $F(7,440) = 59.82$, $p < 0.001$. Nous ne retrouvons pas d'effet d'interaction avec l'âge sur la différence de prédiction entre les deux types de peinture, $F(7,440) = 0.31$, $p = 0.58$. En revanche, cette différence s'avère d'autant plus forte pour le modèle *bottom-up saliency* que le modèle GBVS, $F(7,440) = 26.79$, $p < 0.001$.

Tableau 10. Results for the analysis of variance

Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	0.04811	1	0.04811	59.82	0
X2	0.00295	1	0.00295	3.67	0.0562
X3	0.60094	1	0.60094	747.23	0
X1*X2	0.00074	1	0.00074	0.92	0.3371
X1*X3	0.02155	1	0.02155	26.79	0
X2*X3	0.00025	1	0.00025	0.31	0.5756
X1*X2*X3	0	1	0	0	0.9575
Error	0.35386	440	0.0008		
Total	1.0284	447			

X1 = Stimulus (Portrait, Landscape), X2 = Age group (Adult, Infant), X3 = Saliency model (Bottom-up saliency, GBVS)

Discussion

Comme dans l'étude comparative des modèles de saillance visuelle (Borji *et al.*, 2013), nous observons que le modèle GBVS (Harel *et al.*, 2007) fournit de meilleures prédictions que le modèle bottom-up saliency (Itti & Koch, 2000). Nous reproduisons également les résultats de Massaro et ses collègues (2012), les localisations des fixations lors de l'observation de portraits étant plus prédictives que lors de l'observation de paysages. Ces améliorations seraient liées à la détection des objets dans le modèle GBVS et peuvent être expliquées par la saillance attentionnelle du regard (Abbas & Duchaine, 2008 ; Savazzi *et al.*, 2014 ; Young *et al.*, 1987).

En revanche, nous supposons que les fixations des nourrissons seraient maintenues plus durablement que celles des adultes vers les zones saillantes des peintures dans la mesure où l'influence de la saillance visuelle sur le regard se serait maintenue chez les nourrissons mais pas les adultes. Or, dans le cas des portraits, les nourrissons fixent autant les visages que les adultes, les prédictions des deux modèles de saillance visuelle prédisent de manière similaire les comportements visuels des adultes et des nourrissons. Il semble que le regard est influencé de manière robuste par les représentations réalistes de visages dès les premiers mois de vie et que ce phénomène se maintient à l'âge adulte malgré les modifications apparues au cours du développement. L'attention visuelle des nourrissons semblent ici être fortement orientée par les portraits réalistes comme ce serait le cas pour des vrais visages. De plus, les jugements de préférence esthétique des adultes ne prédisent pas les préférences visuelles des nourrissons pour les portraits même si les adultes et nourrissons regardent les mêmes régions d'intérêt, c'est-à-dire les visages. Les jugements de préférence esthétique des adultes reposent donc sur les mêmes informations visuelles prises par les nourrissons mais les étapes suivantes de l'expérience esthétique (intégration en mémoire implicite, classification explicite et maîtrise cognitive ; Leder *et al.*, 2004) viennent apporter les informations nécessaires à l'émergence du jugement esthétique dans le cas des portraits.

Dans le cas des paysages, les adultes regardent plus souvent les zones saillantes que les nourrissons. Il est possible que les nourrissons ne perçoivent pas les paysages peints comme des représentations de paysages réels. De fait, la détection des objets dans les scènes visuelles par le modèle GBVS peut en partie expliquer les différences entre les nourrissons et les adultes sur les localisations de fixation. Toutefois, cette différence est également rencontrée dans le modèle *bottom-up saliency* et pourrait s'expliquer par une différence du nombre de fixations

entre les adultes et les nourrissons. Cet écart du nombre de fixations n'était pas présent pour les portraits alors que pour les paysages, il peut par conséquent être le reflet d'un désintérêt des nourrissons pour les œuvres d'art représentant des scènes visuelles sans humains.

Par ailleurs, l'utilisation des scores ROC a augmenté artificiellement la qualité des prédictions des fixations. En effet, le score ROC se fonde sur une différence entre les vrais positifs – taux de zones saillantes fixées et zones non saillantes non fixées - et les faux positifs - taux de zones non saillantes fixées et zones saillantes non fixées. Dans nos stimuli, il est clair que le fond gris est considéré par les deux modèles comme des zones non saillantes. Ce fond gris, qui correspond à 45% de l'image, n'est effectivement pas du tout regardé par les adultes et les nourrissons puisque ce fond expérimental n'est pas traité comme un élément à regarder. Cependant, cette augmentation des scores ROC est présente pour les deux modèles de saillance et les deux groupes d'âge, elle n'est pas à même d'expliquer les différences observées.

Chapitre 7 | Préférence des nourrissons pour les mouvements biologiques

EXPERIENCE 5.a. Complexité des mouvements biologiques

Introduction

Notre première étude indiquait une préférence visuelle et esthétique pour les patterns de points en mouvement dont la direction des localisations était complexe plutôt qu'unidirectionnelle. Une des explications possibles est que, dès les premiers mois de la vie, les nourrissons présentent une préférence visuelle pour les mouvements biologiques complexes. En effet, l'orientation du regard des nourrissons serait en partie dirigée par des éléments biologiques importants à acquérir. Par exemple, les nouveau-nés regardent plus longtemps des visages schématiques dès la naissance : les visages sont des stimuli sociaux ayant une importance primordiale pour la survie de l'individu et de nombreux apprentissages (Goren *et al.*, 1975). L'attention préférentielle précoce envers certains stimuli biologiques serait un mécanisme critique dans les apprentissages sociaux et pour la survie (Sifre, Olson, Gillespie, Klin, Jones & Shultz, 2018). Des données empiriques supposent ainsi une attention préférentielle pour les mouvements biologiques au cours du développement humain.

Nous avons vu dans le chapitre 5 (cf. 5.5. Préférence pour les mouvements) que la capacité à discriminer les mouvements biologiques serait une contrainte non-apprise du système visuel et que le biais préférentiel pour le mouvement biologique humain augmente au cours des deux premières années de vie (Sifre *et al.*, 2018). Le mouvement de pédalisme serait déterminant dans la reconnaissance du mouvement biologique et ce, particulièrement dans le sens canonique. Le mouvement de pédalisme serait déterminant dans la préférence visuelle des mouvements biologiques, reflétant une préférence pour le mouvement de ces conspécifiques chez l'humain. Papeo et ses collègues (2017) ont voulu tester dans une étude en IRM fonctionnelle cette potentielle préférence pour ses conspécifiques chez l'humain. Celle-ci pourrait émerger lors du traitement perceptif dans les régions comme le sulcus temporal postérieur supérieur droit (pSTS) impliqué dans la perception visuelle des mouvements biologiques (Beauchamp, Lee, Haxby & Martin, 2003; Lee, Gao & McCarthy, 2012). Des participants adultes ont été exposés à des PLDs représentant la marche humaine et non-humaine

se déplaçant sur un mode typique de bipédie (humain adulte et poule) ou de quadrupédie (bébé rampant ou chat). Les animations dynamiques en points lumineux (PLD) sont des outils expérimentaux qui permettent de séparer les informations du mouvement des autres signaux perceptifs dérivant du corps de l'animal en mouvement (Simion, Di Gorgio, Leo & Bardi, 2011). Les résultats indiquent une activité du pSTS droit plus forte pour les PLDs de bipédie humaine et non-humaine par rapport aux PLDs de quadrupédie de nourrisson humain et de chat. L'activité du pSTS droit est comparable entre les deux PLDs de bipédie. Cette activité plus forte du pSTS droit pour les mouvements de bipédie non différenciée selon l'espèce, refléterait ainsi un effet de pédalisme plutôt qu'une préférence stricte pour ces conspécifiques (Papeo *et al.*, 2017). D'autre part, l'activité du cortex cingulaire postérieur bilatéral (PCC) plus forte pour les mouvements biologiques humains (marche et rampe) que pour les mouvements biologiques non-humains (marche de la poule et quadrupédie du chat), refléterait une spécialisation pour les mouvements humains.

Outre le mouvement de bipédie humaine, d'autres mouvements biologiques pourraient s'avérer importants à détecter et reconnaître tôt pour mettre en place des comportements. Au cours de l'évolution, des dangers spécifiques récurrents eurent un effet de pression sélective intense qui ont pu permettre l'émergence de mécanismes physiologiques facilitant l'apprentissage de la peur pour ces dangers (Öhman, Flykt & Esteves, 2001; Öhman & Mineka, 2001). La fonction évolutive de la peur est d'organiser des réponses comportementales lorsque l'individu se trouve confronté à un problème adaptatif particulier, le danger (Rakison, 2009; Boyer & Bergstrom, 2011). Certains auteurs ont émis l'hypothèse d'un mécanisme de détection générale des animaux terrestres sensible aux caractéristiques les plus informatives du mouvement des animaux vertébrés, appelé *perceptual life detector* (Troje & Westhoff, 2006).

Parmi les dangers rencontrés, nous retrouvons pour les primates deux espèces animales : les serpents et les araignées (Cook & Mineka, 1987; Isbell, 2006; Öhman, 2009; Öhman & Mineka, 2003). Ces animaux présentent la particularité de se camoufler et se cacher dans un environnement végétal (arbre, sol) où leur détection est rendue extrêmement difficile. De fortes pressions évolutives pour ces animaux pourraient de fait avoir façonné les mécanismes perceptifs des primates pour les détecter rapidement et fuir (Isbell, 2006; 2009). Chez l'humain, l'aversion envers les serpents est l'une des plus répandues chez l'adulte, la phobie spécifique envers le serpent, l'ophiophobie, représentant jusqu'à 5.5% de la population adulte (Fredrikson, Annas, Rischer & Wik, 1996; LoBue & DeLoache, 2011). L'histoire évolutive de la prédation

des primates par les serpents pourrait expliquer la prévalence de l'aversion envers le serpent chez l'humain et devrait se traduire par des comportements précoces d'aversion (Isbell, 2009).

L'hypothèse d'une peur innée du serpent a été rapidement écartée du fait d'un manque de preuves empiriques chez les primates (Cook & Mineka, 1987) et d'indices physiologiques de réaction de peur chez les nourrissons humains (DeLoache & LoBue, 2009; Thrasher & LoBue, 2016). En revanche, des macaques rhésus élevés en laboratoire à qui l'on montre un congénère avoir une réaction de peur face à un serpent, présentent rapidement une aversion pour les serpents : ce résultat n'est pas retrouvé si le stimulus est une fleur (Mineka, Davidson, Cook & Keir, 1984; Cook & Mineka, 1989). Le modèle d'apprentissage préparé (*prepared premise* ; Seligman, 1970, 1971) propose l'existence de mécanismes physiologiques généraux d'apprentissage de la peur (*e.g.* observation, transmission sociale, conditionnement) auxquels s'ajoute un mécanisme d'attention précoce spécifique à certains stimuli récurrents dans l'environnement évolutif tel que le serpent (Seligman, 1970, 1971; Hoel, Hellmer, Johansson & Gredebäck, 2017). L'identification anticipatoire de caractéristiques spécifiques des prédateurs les plus communs permettrait d'associer rapidement ces caractéristiques avec une émotion de peur par différents modes d'apprentissage, sans nécessiter au préalable une exposition à la menace (Öhmann, 2009; Öhman, Dimberg & Öst, 1985). De fait, l'identification de signes subtils appartenant à une menace serait plus adaptative dans la mesure où une très faible entrée dans l'environnement est requise et que le rôle de l'apprentissage social devient fondamental (Öhmann, 2009). De la même manière, la théorie du management de l'erreur (Error Management Theory ; Haselton & Buss, 2000) postule que l'acquisition de la peur serait facilitée pour certaines menaces évolutives récurrentes afin de réduire les risques pour la survie de l'individu et maximiser les chances de reproduction. Ces théories suggèrent la présence d'un biais attentionnel précoce qui pourrait porter sur la configuration du mouvement des serpents, rendant possible une rapide association avec l'émotion de peur (Barrett & Broesch, 2012; Barrett, Peterson & Frankenhuys, 2016; Rakison & Derringer, 2008; Rakison, 2018).

Chez l'adulte, les images statiques de serpent produisent en potentiel évoqué une négativité précoce postérieure (*Early Posterior Negativity* ; *EPN*) plus grande que pour les images de lézard (Langeslag & Van Strien, 2018). L'EPN a été mis en évidence comme un indice de la capture de l'attention visuelle (Schupp, Flaisch, Stockburger & Junghöfer, 2006) qui, dans le cas des serpents, s'avère particulièrement précoce (Langeslag & Van Strien, 2018). Chez les nourrissons de 7 à 10 mois, il est également observé des réponses neuronales des régions occipitales de plus grandes amplitudes pour les images de serpent par rapport à des

images de grenouilles ou de chenilles (Bertels, Bayard, Floccia & Destrebecqz, 2018). Au niveau comportemental, les adultes et les enfants dès 3 ans détectent plus rapidement la présence d'un serpent parmi d'autres animaux qu'ils ne détectent des animaux non-effrayants parmi des serpents (*e.g.* grenouille, chenille ; LoBue & DeLoache, 2008; 2011; Öhmann, Flykt & Esteves, 2001). Ces résultats ont été retrouvés chez des nourrissons âgés de 8 à 14 mois (LoBue & DeLoache, 2010). De même, les nourrissons de 7 à 11 mois orientent leur attention plus rapidement vers le serpent en comparaison à des stimuli non-effrayants (Bertels *et al.*, 2018). D'autres résultats ont mis en évidence que les nourrissons de 6 mois présentaient une plus forte dilatation pupillaire lorsqu'ils regardaient des images de serpent par rapport à des images de fleurs ou de poissons (Hoehl *et al.*, 2017). Le rôle isolé des caractéristiques physiques du serpent crucial dans la détection rapide dirigée vers le serpent reste cependant encore peu identifié (Bertels *et al.*, 2018; Boyer & Bergstrom, 2011).

LoBue et DeLoache (2008) ont déterminé trois attributs discriminants des serpents : (1) leur habileté à s'enrouler sur eux-mêmes, (2) leur corps allongé et sans membres et (3) le mouvement de reptation apode (*apedal animals* ; Chouchourelou, Golden, Shiffrar, & Chouchourelou, 2013). Pour le premier attribut, l'habileté à s'enrouler sur soi, LoBue et DeLoache (2011) ont étudié le temps moyen de regard d'enfants de 3 ans lors d'une tâche de préférence visuelle standard entre le serpent, un câble enroulé et une fleur. Les enfants regardent en moyenne plus longtemps le serpent et le câble enroulé lorsque ceux-ci sont comparés à la fleur ; ce résultat n'est pas retrouvé lors de la comparaison du serpent avec le câble enroulé (LoBue & DeLoache, 2011). Au sujet de la forme allongée et sans membres, la détection d'un serpent parmi des chenilles est plus rapide que la détection d'une chenille parmi des serpents chez les adultes et les enfants de 3 ans (LoBue & DeLoache, 2008). Les nourrissons dès 5 mois regardent plus longtemps une représentation schématique de serpent par rapport à des représentations schématiques reconfigurées ou complètement perturbées, lors d'une tâche de préférence visuelle standard (Rakison, 2018 ; figure 71). L'absence de membres chez le serpent pourrait de fait être un facteur important dans la rapidité de détection.

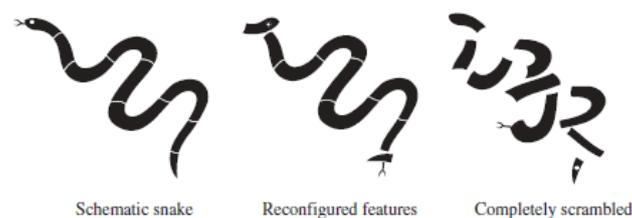


Figure 71 | Images schématiques de serpent utilisées dans les études de Rakison (2018).

Le mouvement de reptation serait le facteur crucial pour l'association précoce du serpent avec la peur (DeLoache & LoBue, 2009; LoBue, 2014). Les nourrissons de 9 mois regardent plus longtemps une vidéo de serpent par rapport à des vidéos d'autres animaux non-effrayants mais seulement dans le cas où les vidéos sont associées à une voix effrayée (DeLoache & LoBue, 2009). Répliquant cette étude, Thrasher et LoBue (2016) ont mis en évidence des réponses physiologiques correspondant à une augmentation de l'attention chez les nourrissons âgés de 6 à 9 mois (diminution du rythme cardiaque et plus grande amplitude de l'ouverture des yeux) lorsqu'ils regardaient les vidéos de serpent associées à une voix effrayée. Cette augmentation des réponses physiologiques de l'attention n'est pas retrouvée lors du visionnage de vidéos d'autres animaux (e.g. éléphants) associées au même stimulus audio. Toutefois, ces études n'ont pas isolé le mouvement biologique de reptation du serpent, rendant difficile toute conclusion sur un potentiel biais attentionnel précoce envers ce mouvement biologique, potentiellement à l'origine de l'association rapide entre le serpent et un stimulus effrayé.

Le mouvement biologique de reptation apode du serpent, qui présente une plus grande fluidité par rapport à des marches bipèdes ou quadrupèdes, serait un bon candidat pour un biais attentionnel précoce chez le nourrisson. En effet, cet attribut est plus discriminant que la forme, les couleurs ou la capacité de s'enrouler sur soi, aussi présents chez plusieurs espèces d'insecte par exemple. Nous pouvons également spéculer que le serpent ne représente un réel danger que lorsqu'il est en mouvement. En outre, le système visuel humain est précocement mature : la poursuite lente et les mouvements de saccade en réponse à une cible mouvantes est possible dès 2 mois, ce qui permet une rapide réorientation de l'attention vers les objets en mouvement y compris hors du champ fovéal (Bertels *et al.*, 2018; Blumental, Bosworth & Dobkins, 2013).

Toutefois, aucune étude n'a comparé la préférence visuelle pour des mouvements biologiques apodes par rapport à des mouvements biologiques de bipédie. Il est possible que, pour des raisons évolutives différentes exposées plus haut, ce mouvement biologique fasse également l'objet d'un biais attentionnel précoce chez l'humain (Rakison & Derringer, 2008; Rakison, 2018). Les animaux apodes présentent la singularité d'avoir un large nombre d'articulations sur un seul axe, cet axe comprenant également la tête (Chouchourelou, *et al.*, 2013). Cette particularité rend le mouvement biologique apode plus simple que le mouvement biologique de bipédie.

Dans une tâche de préférence visuelle standard, nous avons étudié les temps de regard de nourrissons âgés de 6 à 24 mois pour des animations en points lumineux (*point-light display* ; PLD) en comparant un mouvement biologique simple (mouvement apode du serpent) avec un mouvement biologique complexe (mouvement bipède de l'humain ou de la poule). Si les nourrissons préfèrent les mouvements biologiques complexes de pédalisme, ils devraient regarder les mouvements de bipédie plus longtemps que le mouvement biologique apode. Dans ce cas, les nourrissons devraient également regarder plus longtemps le mouvement biologique de bipédie de la poule, plus complexe (mouvement du haut du corps) que le mouvement biologique de bipédie de l'humain, moins complexe (mouvement de pédalisme uniquement). *A contrario*, les nourrissons pourraient présenter un biais attentionnel précoce pour le mouvement biologique simple apode par rapport aux mouvements biologiques de bipédie.

Méthode

Participants

Deux cent quarante-cinq nourrissons âgés entre 6 et 24 mois, sains, nés à terme et sans expérience préalable des serpents ont fait partie de l'échantillon final. Les formulaires de consentement libre et éclairé parental ont été récoltés avant l'expérience. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Tableau 11. Details of Infants' Group

Age group	<i>N</i>	<i>N males</i>	<i>M_{age}</i> in days (SD)	excluded infants ¹
6-m-o	62	37	190 (8)	7
9-m-o	62	34	282 (10)	2
12-m-o	63	30	390 (69)	1
24-m-o	58	23	728 (99)	1

¹ nourrissons exclus de l'échantillon total du fait d'un biais latéralité (plus de 95% du temps passé à regarder d'un seul côté).

Procédure et stimuli

Les stimuli sont des animations en point lumineux (*point-light display*; PLD) de 8 secondes, présentés sur un écran d'une résolution de 1920x1200 pixels. Les trois animations utilisées sont issues de l'étude de Papeo *et al.* (2017) et se composent de 14 points lumineux

blancs sur fond noir représentant une reptation de serpent, une marche humaine et une marche de poule (figure 72). Le reste de l'écran était de couleur grise. Les stimuli (608 x 480 pixels) étaient présentés côte-à-côte avec un écart de 512 pixels. L'expérience a été élaborée à l'aide du logiciel E-Prime (2.0).

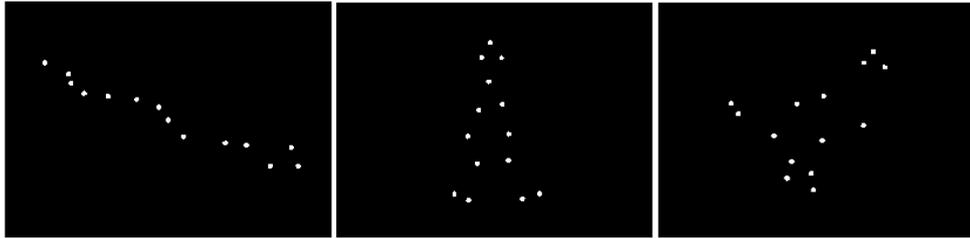


Figure 72 | A gauche, l'animation en point lumineux de la reptation du serpent, au milieu, celle de la bipédie humaine et à droite, celle de la bipédie de la poule.

Les parents et leur nourrisson ont été recrutés à la Maternité du pôle Parent-Enfant du CHU de Grenoble. Les parents volontaires pour participer à nos études ont été rappelés pour organiser un rendez-vous au Babylab du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC) à l'Université Grenoble-Alpes (UGA, CNRS UMR 5105) lorsque l'enfant avait l'âge de l'étude. Le parent est installé dans un fauteuil avec son enfant assis sur les genoux dans une salle sombre (pas de lumière naturelle durant l'expérience) à une distance de 60 cm de l'écran d'ordinateur d'une résolution de 1920x1200 pixels. La caméra est positionnée au-dessus de l'écran pour l'enregistrement des mouvements des yeux lors des études. Deux expérimentateurs réalisent la passation : l'un est en charge de la caméra et ignore ce qui est affiché à l'écran pendant que le deuxième expérimentateur s'occupe du déroulement de l'étude.

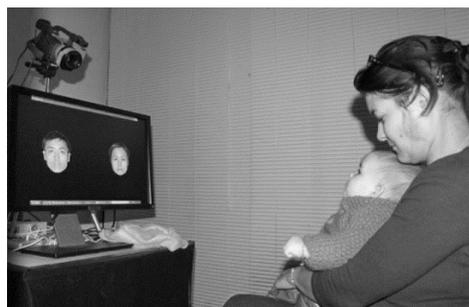


Figure 73 | Passation au Babylab avec enregistrement vidéo. Le nourrisson est assis sur les genoux de sa mère, la tête à 60cm de l'écran. Une caméra vient filmer au-dessus de l'écran, le comportement visuel du nourrisson.

La salle est équipée de paravents à droite et à gauche de l'écran afin d'éviter toute source externe de distraction pour le nourrisson. Il est demandé au parent de ne pas interagir avec l'enfant durant l'expérience, même s'il ne regarde pas l'écran. Lorsque le nourrisson ne regarde pas l'écran longtemps (ex. distraction extérieure comme un bruit), l'expérimentateur en charge de l'étude réoriente son attention en donnant un coup de maracas au centre derrière l'écran.

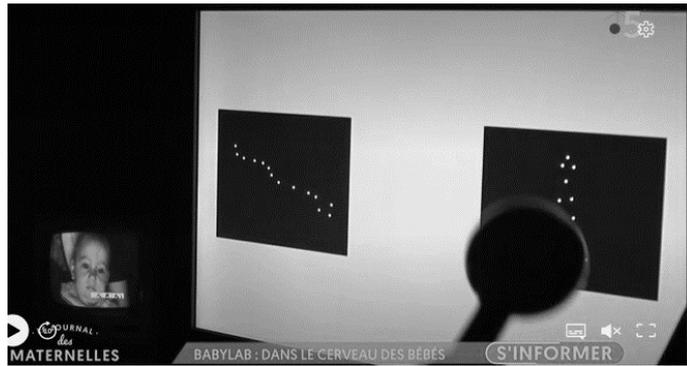


Figure 74 | Vue côté expérimentateur lors des expérimentations. L'expérimentateur lance les vidéos et a un retour vidéo du nourrisson. Si besoin, l'expérimentateur réoriente l'attention visuelle du nourrisson avec en secouant une maracasse derrière l'écran. Photo du Babylab Grenoble prise lors de l'émission Journal des Maternelles intitulée « Babylab : Dans le cerveau des bébés » sur France 5, 17 décembre 2019.

Les nourrissons furent assignés aléatoirement à une des trois conditions suivantes : « serpent versus poule » ($n = 80$), « serpent versus humain » ($n = 83$) et la condition contrôle « poule versus humain » ($n = 82$). La position des deux stimuli était contre-balancée d'un essai à l'autre et d'un nourrisson à l'autre (**Figure 75**). L'expérimentation est précédée d'un "attention-getter", une cible colorée en mouvement permettant de maintenir l'attention de l'enfant au centre l'écran avant de lancer l'étude. Lorsque l'enfant regarde la cible, l'expérimentateur lance le premier essai. La même cible mouvante apparaît entre deux essais consécutifs.

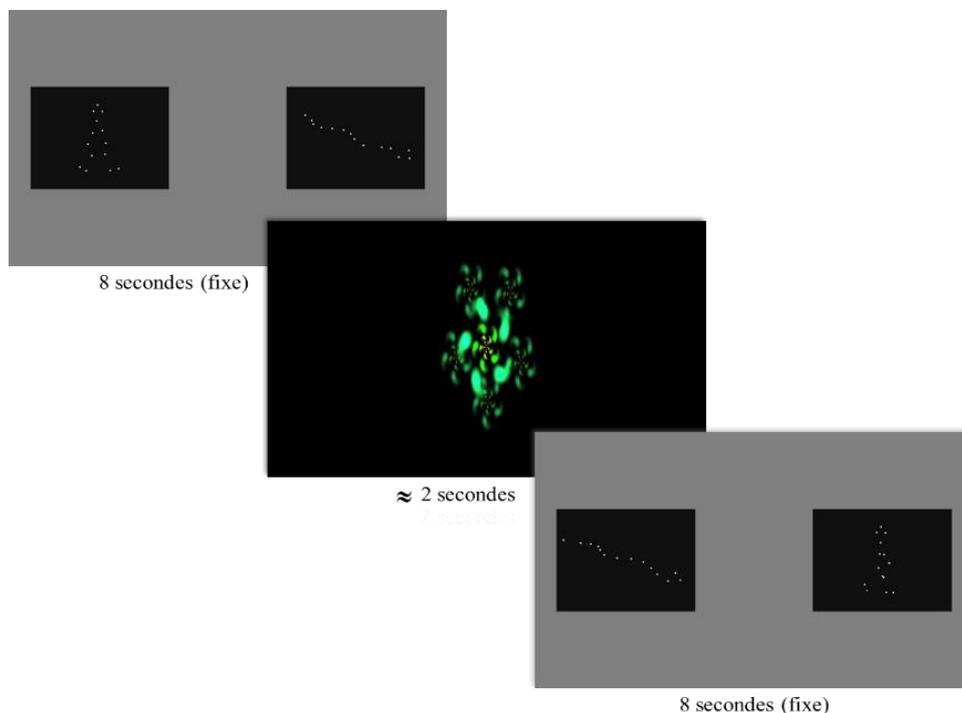


Figure 75 | Déroulé d'une expérimentation avec contre-balancement intra-sujet entre les deux essais des PLDs de bipédie humaine et apode de serpent.

Afin de pallier le biais de position, il est commun d'exclure les nourrissons qui ne satisfont pas le critère de temps de regard minimum sur côté de l'écran (droite et gauche) lors de la phase test. Nous avons utilisé la valeur courante d'un maximum de 95% du temps de regard passé à regarder un côté et donc un minimum de 5% du temps de regard passé à regarder l'autre côté (Dupierrix *et al.*, 2014 ; Kelly *et al.*, 2005; 2007). L'exclusion des nourrissons qui regardent plus de 95% du temps un même côté permet d'éviter les biais de côtés extrêmes mais il existe également chez les nourrissons une tendance à préférer regarder un côté plutôt que l'autre, sans que cela ne dépasse les 95% du temps. Nous avons donc contrebalancé la présentation des stimuli de sorte qu'un stimulus soit présenté à droite et à gauche de l'écran pour un même participant. Les préférences visuelles sont ainsi calculées en moyennant le temps passé à regarder les stimuli lors des deux essais.

Les vidéos recueillies par la caméra ont été digitalisées pour être ensuite analysées image par image (toutes les 40 ms) à l'aide d'un logiciel spécialisée, le VPVidéoLab. Un expérimentateur, préalablement formé, a codé l'ensemble des vidéos. Lors du codage vidéo, le codeur est aveugle de la condition et code la direction du regard de l'enfant, à droite ou à gauche, visible par la réflexion cornéenne des images. Les données en-dehors de l'écran ne sont pas considérées. Un second codage a été réalisé par une personne formée à l'utilisation du logiciel et a codé 48% des vidéos, sélectionnées aléatoirement. Le calcul du kappa de Cohen révèle une excellente fidélité inter-observateur concernant la durée des regards, $K = .97$. La fiabilité inter-observateur concernant la direction des regards (droite ou gauche de l'écran) est maximale, $K = 1$.

Résultats

Les analyses préliminaires des données ne mettent pas en évidence d'effet principal de la condition sur les temps moyens totaux de regard, $F(2,242) = 0.86$, $p = .43$, $\eta^2p = .01$. Au cours des deux essais (2*8 secondes), les nourrissons regardent en moyenne l'écran aussi longtemps dans la condition « serpent versus humain » ($n = 83$, $M = 14.1$, $SD = 1.7$), que dans la condition « serpent versus poule » ($n = 80$, $M = 13.7$, $SD = 2$), que dans la condition « poule versus humain » ($n = 82$, $M = 13.9$, $SD = 1.6$). L'étude de Rakison (2009) avait mis en évidence une différence des temps moyens de regard vers une image de serpent associée à un visage effrayé en fonction du sexe à partir de 11 mois ; les filles regardant plus longtemps les images de serpent dans cette condition que les garçons. Dans notre étude, pour les conditions 1 et 2

(comparant le PLD serpent avec les PLDs poule ou humain), nous ne retrouvons pas d'effet du sexe du nourrisson sur les temps moyens de regard envers les stimuli, $t(161) = 1.35$, $p = 0.18$, $d = 0.01$. Les filles ($n = 83$, $M = 5.63$, $SD = 2.3$) regardent en moyenne un temps comparable le PLD de reptation du serpent que les garçons ($n = 80$, $M = 5.61$, $SD = 2.5$).

Temps moyen de regard vers le mouvement biologique simple

Les résultats de nos t-test appariés ne soutiennent pas l'hypothèse d'un biais attentionnel précoce envers la reptation du serpent au cours des deux premières années de vie. Ils soutiennent en revanche l'effet de pédalisme et la préférence pour les mouvements biologiques complexes. Les nourrissons regardent en moyenne moins longtemps le PLD de reptation du serpent ($M = 6.04$, $SD = 2.36$) par rapport au PLD de la marche humaine ($M = 8.01$, $SD = 2.42$), $t(82) = -3.99$, $p < .001$, $d = 0.82$. De même, les nourrissons regardent en moyenne moins longtemps le PLD de reptation du serpent ($M = 5.17$, $SD = 2.37$) par rapport au PLD de bipédie de la poule ($M = 8.53$, $SD = 2.58$), $t(79) = -6.63$, $p < .001$, $d = 1.36$. Pour le premier essai (en noir ; figure 76) et pour les deux conditions, un pic de fréquence vers le PLD du mouvement biologique du serpent est observé et laisse place rapidement à une fréquence de temps de regard en défaveur de ce PLD. Ce premier pic vers le PLD du mouvement biologique du serpent s'explique toutefois par la méthode de calcul de la fréquence du nombre de nourrissons regardant l'un ou l'autre des stimuli, les nourrissons dont les temps de latence vers l'un des deux stimuli ne sont pas comptabilisés, créant momentanément un pic vers le PLD du serpent. Pour le deuxième essai (en gris) et pour les deux conditions, la fréquence de temps de regard vers le PLD du mouvement biologique du serpent est plus grande pendant 1 à 2 secondes puis la préférence visuelle pour les PLDs du mouvement biologique de l'humain et de la poule domine le reste du temps de la présentation. Ce second pic peut toutefois en partie s'expliquer par le contre-balancement entre les deux essais, les nourrissons pouvant s'attendre à retrouver le PLD de bipédie du côté présenté au premier essai.

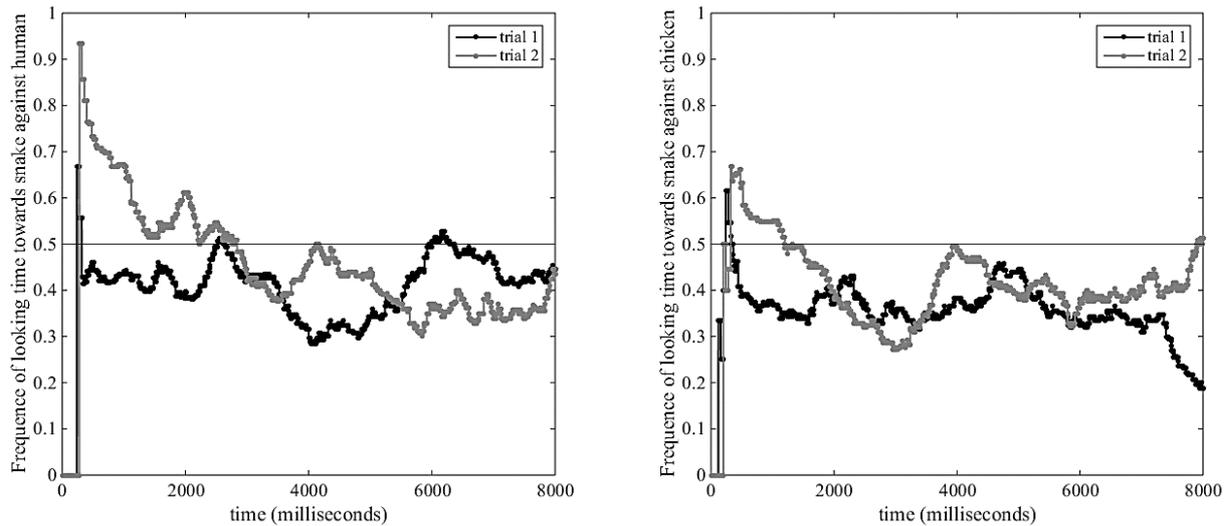


Figure 76 | Fréquence relative de temps de regard vers le PLD du mouvement apode du serpent par rapport au (a) PLD du mouvement de bipédie humaine et (b) PLD du mouvement de bipédie de la poule.

Temps moyen de regard vers le mouvement biologique complexe

En accord avec une préférence pour les mouvements complexes, les nourrissons regardent en moyenne plus longtemps le PLD de bipédie de la poule ($M = 7.96$, $SD = 2.78$) par rapport au PLD de bipédie de l'humain ($M = 5.98$, $SD = 2.79$), $t(81) = 3.37$, $p < .01$, $d = 0.71$. Aucun effet de l'âge sur le temps moyen de regard n'est retrouvé, $F(3, 78) = .761$, ns , $n^2p = .28$.

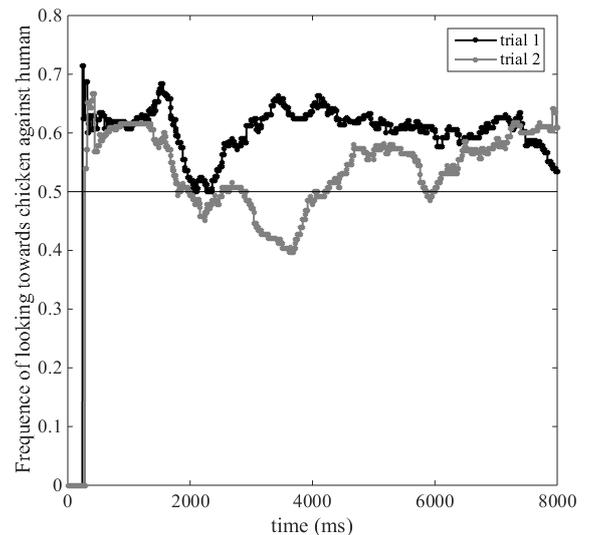


Figure 77 | Fréquence relative de temps de regard moyen au cours du temps vers le PLD du mouvement de bipédie de l'humain par rapport à la fréquence total de temps de regard vers les deux PLDs présentés.

Différence des temps de regard entre les groupes d'âge

Quelle que soit la condition, nous ne retrouvons pas d'effet de l'âge sur la différence de temps de regard moyen envers le PLD de reptation par rapport au PLD de bipédie. La différence de temps de regard moyen entre le PLD de reptation et le PLD de bipédie de la poule ne varie pas significativement entre les quatre groupes d'âge (6, 9, 12 et 24 mois), $F(3,76) = 1.75$, ns , $n^2p = .44$. De même, la différence moyenne de temps entre le PLD de reptation et le PLD de bipédie humaine ne varie pas significativement selon le groupe d'âge (6, 9, 12 et 24 mois), $F(3,79) = 1.40$, ns , $n^2p = .33$.

Discussion

Nos résultats suggèrent une préférence visuelle précoce pour les mouvements biologiques complexes. L'effet de pédalisme ou la préférence pour ses conspécifiques ne permettent pas de rendre compte des préférences visuelles observées chez le nourrisson. La bipédie de la poule est en effet regardée plus longtemps que la bipédie humaine. La préférence visuelle pour le mouvement biologique de la poule a déjà été retrouvé chez le nouveau-né. Ils regardent plus longtemps les PLDs de bipédie de la poule par rapport à sa version altérée (Bardi *et al.*, 2011). Mais ce résultat n'est pas systématiquement retrouvé (Simion *et al.*, 2011). Il semble que le mouvement de tête de la poule qui s'ajoute à celui de pédalisme amène à regarder plus longtemps ce dernier. Ce mouvement de tête supplémentaire amène un élément de complexité supérieur en comparaison à la marche humaine.

L'absence d'intérêt visuel accordé au mouvement apode du serpent peut être dû au fait que le système visuel humain n'est pas sensible de manière uniforme à tous les mouvements biologiques. La sensibilité visuelle des mouvements en PLD dépendrait du degré de similarité physique avec les animaux observés et l'observateur humain, notamment chez les nourrissons (Cohen, 2002; Chouchourelou, *et al.*, 2013). Troje et Westhoff (2006) font la supposition que les membres inférieurs des animaux en locomotion servent de système de détection générale des animaux terrestres articulés. Les prédispositions innées à s'orienter et à maintenir le regard vers les mouvements biologiques (Johnson, 2006 ; Trojet & Westhoff, 2006) ne seraient donc pas présentes pour les mouvements apodes d'un vertébré comme le serpent. Cette prédisposition pourrait être liée uniquement à la bipédie puisque les nourrissons de 5 mois ne présentent pas de préférence visuelle entre les versions canoniques et les versions perturbées de mouvements biologiques quadrupèdes de chat (Bertenthal, 1993). De fait, le mouvement apode du serpent pourrait ne pas être reconnu comme un mouvement biologique par les nourrissons.

La capacité à reconnaître les animaux associés à des mouvements biologiques en PLD est une tâche compliquée pour les adultes en particulier les mouvements apodes. Dans une tâche de classification des mouvements biologiques en PLD, les animaux apodes comme les serpents ou les poissons étaient ainsi moins souvent classés de manière adéquate que d'autres mouvements biologiques (Chouchourelou, *et al.*, 2013). A l'inverse, les adultes mettent 100 ms à identifier une marche humaine en PLD et 400 ms suffisent pour discriminer l'action réalisée (Johansson, 1976). D'autre part, la direction du mouvement d'humain ou d'un autre animal est

correctement perçue par des adultes même lorsque les PLDs ne contiennent aucune information structurelle (Troje & Westhoff, 2006).

Pour approfondir notre compréhension sur les origines de la préférence visuelle pour les mouvements chez le nourrisson, nous avons mené une seconde étude sur les mouvements biologiques. Cette fois, nous avons examiné les temps de regard de nourrissons âgés de 6 à 24 mois vers les trois mouvements biologiques (humain, poule, serpent) par rapport à leur version perturbée au cours d'une tâche de préférence visuelle standard. Les perturbations apportées aux mouvements biologiques concernent la rigidité locale entre les points qui correspond à la rigidité structurelle du squelette (Simion *et al.*, 2011). Cette modification permet la reconnaissance des mouvements biologiques de bipédie, en rendant ceux-ci 'monstrueux' et plus complexes. Dans le cas du mouvement biologique du serpent, nous souhaitons tester si le mouvement apode est perçu comme un mouvement biologique. La robustesse de la préférence visuelle pour le mouvement biologique de bipédie a pu masquer une préférence visuelle pour les mouvements biologiques apodes. De fait, nous avons examiné si le mouvement biologique apode était regardé plus longtemps par les nourrissons que sa version perturbée. Dans les cas des mouvements de bipédie humaine et de poule, si l'effet de la complexité du mouvement prime sur l'aspect biologique du mouvement, les versions perturbées des mouvements biologiques seront regardées plus longtemps que les versions originales. A l'inverse, un temps de regard supérieur pour les mouvements biologiques par rapport à leur version perturbée, indique une préférence visuelle pour les mouvements biologiques de bipédie.

EXPERIENCE 5.b. Préférence pour les mouvements biologiques par rapport à leurs versions altérées

Méthode

Participants

Deux cent neuf nourrissons âgés entre 6 et 24 mois, recrutés à la Maternité du pôle Parent-Enfant du CHU de Grenoble, nés à terme et sans expérience préalable des serpents ont fait parti de l'échantillon final. Les formulaires de consentement libre et éclairé parental ont été recoltés avant l'expérience. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Grenoble-Alpes sous la référence IRB00010290-2018-02-06-39.

Tableau 12. Details of Infants' Group

Age group	N	N males	N			M_{age} (days)	excluded infants ¹
			condition 1	condition 2	condition 3		
6-m-o	61	26	19	20	22	190 (8)	3
9-m-o	59	32	19	19	21	282 (8)	1
12-m-o	59	35	19	19	21	375 (16)	0
24-m-o	30	21	11	10	9	747 (70)	3
Total	209	114	68	68	73		7

¹ nourrissons exclus de l'échantillon total du fait d'un biais de latéralité (plus de 95% du temps passer à regarder d'un seul côté).

Procédure et stimuli

Les stimuli sont des animations en point lumineux (*point-light display; PLD*) de 8 secondes, présentés sur un écran d'une résolution de 1920x1200 pixels. Parmi les six animations utilisées, les trois PLDs des mouvements biologiques sont repris de l'étude de Papeo *et al.* (2017) et les trois autres sont leurs versions perturbées créées spécialement pour cette étude. Les PLDs des mouvements biologiques des vertébrés respectent trois caractéristiques à savoir la semi-rigidité du squelette, la relation spatiale entre des parties du corps qui change de manière continue selon le type de mouvement comme l'effet de pédalisme lors de la marche, et l'invariance de distance entre les points corrélés -correspondant à l'emplacement des articulations (Bardi *et al.*, 2011). Pour les versions perturbées des mouvements biologiques, nous avons retiré la rigidité locale liée au contrainte du squelette : les distances entre deux points vont varier. Chaque PLD se compose de 14 points lumineux blancs sur fond noir et représente

le mouvement biologique apode du serpent, le mouvement bipède d'une poule et le mouvement bipède humain. Les versions perturbées de ces trois mouvements biologiques ont été créées sur MatLab 2007R. L'espace du mouvement, la vitesse et la trajectoire individuelle des points restent inchangés. En revanche, la corrélation entre deux points est altérée de sorte que les mouvements des points les uns par rapport aux autres, sont décalés aléatoirement. Les deux stimuli, c'est-à-dire le PLD du mouvement biologique et sa version altérée (608 x 480 pixels, soit 17° x 13° d'angle visuel), sont présentés côte-à-côte avec un écart de 512 pixels (14° d'angle visuel). Le reste de l'écran est gris. L'expérience a été élaborée à l'aide du logiciel E-Prime (2.0).

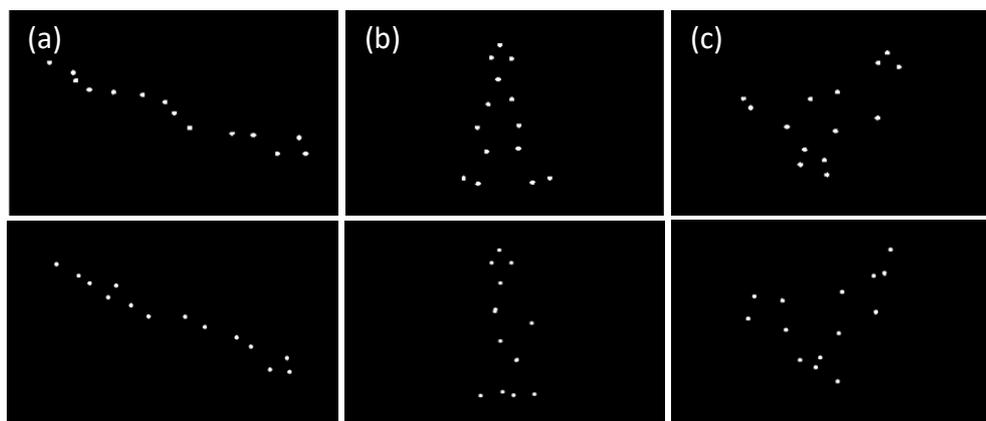


Figure 78 | Animations en points lumineux utilisées dans cette étude, les versions originales en haut et les versions perturbées en-dessous : (a) PLD du mouvement apode du serpent, (b) PLD du mouvement bipède humain et (c) PLD du mouvement bipède de poule.

Comme lors de l'étude précédente, le parent est installé dans un fauteuil avec son enfant assis sur les genoux dans une salle sombre à une distance de 60 cm de l'écran d'ordinateur d'une résolution de 1920x1200 pixels. La caméra est positionnée au-dessus de l'écran pour l'enregistrement des mouvements des yeux. Il est demandé au parent de ne pas interagir avec l'enfant durant l'expérience, même s'il ne regarde pas l'écran.

Chaque nourrisson est assigné aléatoirement à une des trois conditions suivantes : mouvement biologique du serpent vs version altérée, mouvement biologique de l'humain vs version altérée et mouvement biologique de la poule vs version altérée. La position des deux stimuli étant contre-balançée d'un essai à l'autre et d'un nourrisson à l'autre (figure 78). L'expérimentation est précédée d'un "attention-getter", une cible colorée en mouvement avant de lancer l'étude. Lorsque l'enfant regarde la cible, l'expérimentateur lance le premier essai qui se compose de la présentation côte à côte des deux stimuli pendant huit secondes. La même cible mouvante apparaît à la fin de l'essai 1 et l'expérimentateur passe au deuxième essai lorsque le nourrisson regarde l'attention-getter. Le second essai présente les deux stimuli côte à côte, la position des stimuli étant contre-balançée, pendant huit secondes à nouveau.

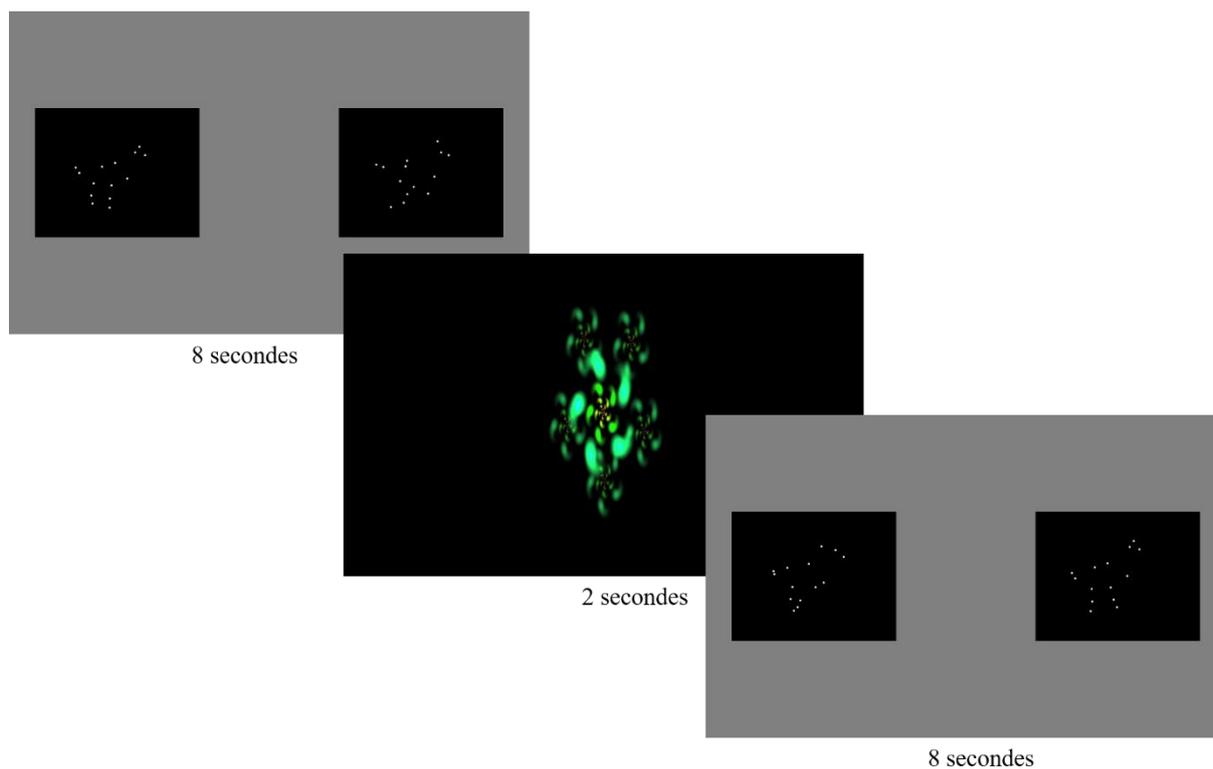


Figure 79 | Déroulé d'une expérimentation avec contre-balancement intra-sujet entre les deux essais des PLDs de mouvement biologique de la poule, original et perturbé.

Nous avons exclu de nos données les nourrissons qui ont regardé plus de 95% du temps d'un même côté de l'écran, ainsi que les nourrissons qui présentent une forte agitation lors de l'expérimentation et dont le temps de regard additionné pour les deux stimuli est inférieur à 50% du temps total de présentation.

Les vidéos recueillies par la caméra ont été digitalisées pour être ensuite analysées image par image (toutes les 40 ms) à l'aide d'un logiciel spécialisé, le VPVideoLab. Un expérimentateur, préalablement formé, a codé l'ensemble des vidéos. Un second expérimentateur a codé 40% des vidéos, sélectionnées aléatoirement. Le calcul du kappa de Cohen révèle une bonne fidélité inter-observateur concernant la durée des regards, $K = .86$. La fiabilité inter-observateur concernant la direction des regards (droite ou gauche de l'écran) est maximale, $K = 1$.

Résultats

Effet du type de mouvement, biologique ou perturbé

Dans l'ensemble, les nourrissons regardent plus longtemps les PLDs de mouvements non-biologiques que les PLDs de mouvements biologiques, $t(208) = -2.83, p < .01, CI[-1479 -265], d = 0.36$. Les nourrissons regardent en moyenne les PLDs perturbés et donc non-biologiques plus de 870 ms que les PLDs biologiques. La figure 80 indique la fréquence relative de nourrissons regardant vers les PLDs biologiques par rapport au nombre de nourrissons qui regardent en direction d'un des deux stimuli. Le pic vers les PLDs biologiques observé en début de présentation à l'essai 2 (en gris) s'explique par des temps de latence plus courts chez certains nourrissons ($n = 7$). Par la suite, un plus grand nombre de nourrissons dirige leur attention visuelle vers les PLDs perturbés non-biologiques.

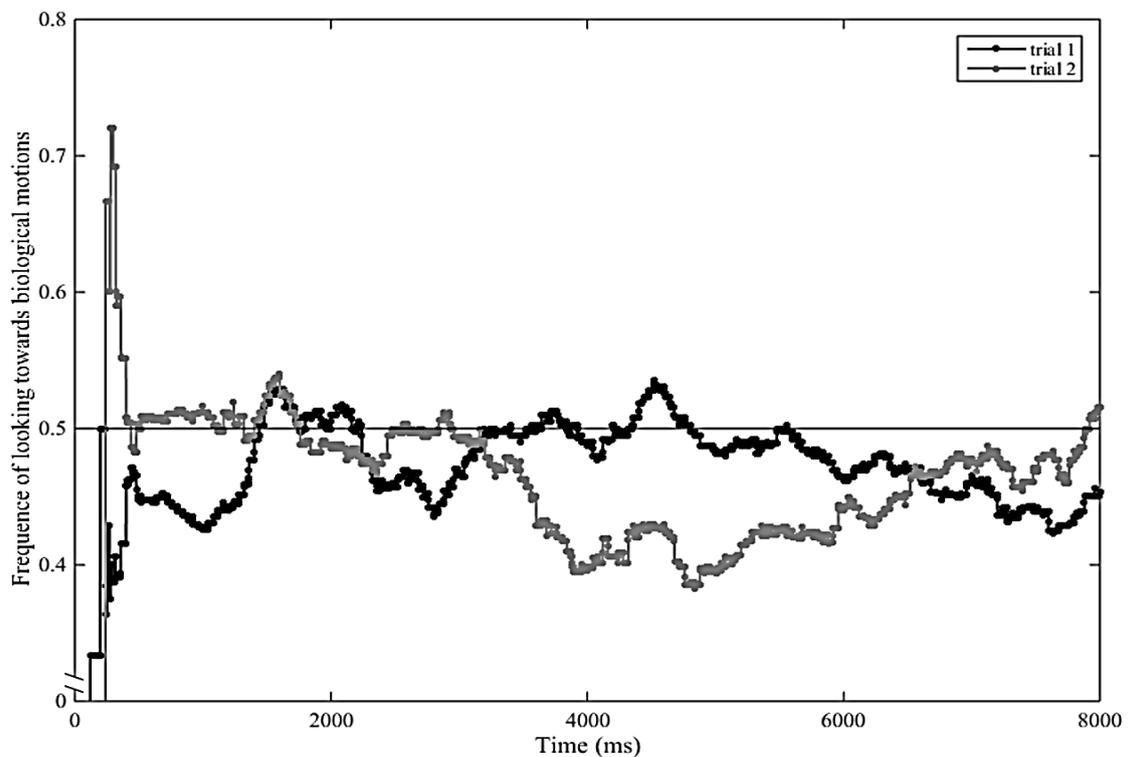


Figure 80 | Fréquence relative de temps de regard moyen vers le PLD du mouvement biologique par rapport au temps de regard moyen vers le PLD du mouvement non-biologique lors du premier (en gris) et deuxième (en noir) essai au cours des 8000 ms de présentation.

Effet du type de mouvement biologique, bipédie ou apode

Les nourrissons regardent plus longtemps le PLD du mouvement non-biologique apode de serpent par rapport à sa version biologique originale, $t(67) = -0.43, p < .05, CI[-2197 -206], d = 0.52$, d'un écart moyen de temps de regard de 1 seconde 20. La figure 81 montre les fréquences de temps de regard vers le PLD biologique de chaque stimulus et met en évidence

des fréquences de temps de regard en défaveur du PLD du mouvement biologique apode du serpent et des fréquences de temps de regard autour de 50% pour les PLDs des mouvements biologiques bipèdes de l'humain et de la poule. L'écart moyen de temps de regard entre le PLD du mouvement biologique de la poule et sa version altérée est de 1 seconde 18. L'écart moyen entre le PLD du mouvement biologique de l'humain et sa version altérée est de 431 ms. Les deux écarts de temps de regard pour les PLDs de bipédie ne sont pas significatifs (tableau 12).

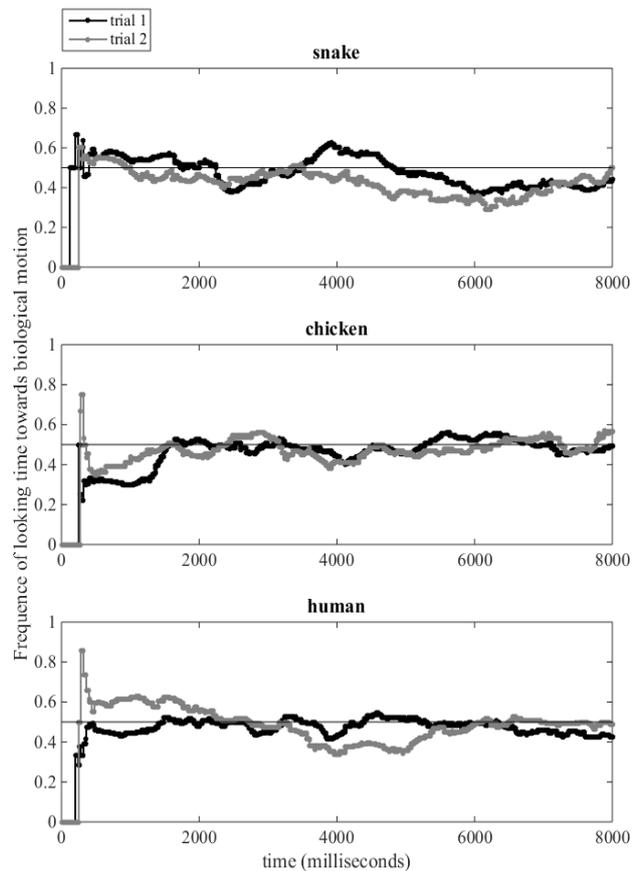


Figure 81 | Fréquence des temps de regard vers le mouvement biologique du serpent, de la poule ou de l'humain au cours des deux présentations consécutives de huit secondes (première en noir, seconde en gris).

Tableau 13. T-test between relative looking time towards biological PLD and scrambled PLD.

	<i>t-test</i>	<i>ddl</i>	<i>p</i>	<i>CI</i>	<i>M(ms)</i> LT bio	<i>M(ms)</i> LT scrambled	<i>d</i>
Snake	-0.43	67	.05*	[-2197 -206]	4115	5317	0.52
Chicken	-1.82	67	.07	[-2138 101]	4339	5357	0.35
Human	-0.80	72	.42	[-1507 644]	4773	5204	0.18

* $p < .05$

Effet du groupe d'âge sur les différences de temps de regard

Les écarts de temps de regard entre les PLDs biologiques et non-biologiques ne sont pas différents en fonction du groupe d'âge, $F(3,198) = 1.86$, $p = 0.14$. Nous ne retrouvons pas non plus d'interaction du groupe d'âge avec le type de mouvement biologique (apode, bipédie de la poule et bipédie humaine), $F(6,198) = 0.66$, $p = 0.68$.

Tableau 14. Mean looking time and frequency of look towards biological motions compared to scrambled motions by age group.

	$M_{(ms)}$ LT bio(%)	$M_{(ms)}$ LT scrambled(%)	% LT bio snake	% LT bio chicken	% LT bio human
6-m-o	4558(46%)	5395(54%)	44%	49%	51%
9-m-o	4107(41%)	5857(59%)	43%	41%	49%
12-m-o	4486(51%)	4369(49%)	48%	54%	48%
24-m-o	4601(44%)	5778(56%)	43%	40%	43%

Discussion

Sur l'ensemble, les nourrissons de 6, 9, 12 et 24 mois discriminent les mouvements biologiques et leur version perturbée. Ils regardent plus longtemps les PLDs de mouvements biologiques perturbés. La préférence visuelle pour les mouvements biologiques perturbés est significative pour le mouvement apode du serpent mais pas pour les mouvements bipèdes de poule et d'humain.

Contrairement à plusieurs études, nous ne retrouvons pas de préférences visuelles significatives pour les mouvements biologiques de bipédie dans nos différents groupes d'âge. Ceci semble indiquer que la manière dont les mouvements biologiques de bipédie sont perturbés vient interférer avec la préférence visuelle pour le mouvement de pédalisme. En effet, contrairement à l'effet d'inversion ou à d'autres types de perturbation du mouvement, la perturbation de la rigidité locale entre les points opérés sur nos stimuli n'empêche pas la reconnaissance de l'identité du marcheur (poule ou humain) mais rend les mouvements biologiques « monstrueux ». Même si cette modification fait disparaître l'effet de pédalisme, il est possible que la complexité ajoutée au mouvement rende les mouvements perturbés tout aussi intéressants que les mouvements biologiques de pédalisme. Cette absence de résultat soulève un problème plus général de consistance des résultats : la préférence visuelle pour les mouvements biologiques dépend du stimulus apparié.

De plus, nos résultats ne semblent pas indiquer de reconnaissance du mouvement apode du serpent comme un mouvement biologique. Sa version altérée, plus complexe, est regardée plus longtemps par les nourrissons de tout âge. Le modèle de l'apprentissage préparé (Seligman, 1970 ; 1971) suppose l'existence d'un mécanisme d'attention visuelle précoce envers une

particularité du stimulus qui permettra une association efficace de ce stimulus -et tout ce qui y ressemblera- avec une émotion de peur. Même si le mouvement du serpent paraît être un bon candidat à un biais attentionnel précoce, du fait de la préférence visuelle pour les mouvements biologiques observée dans d'autres études et le caractère discriminant de cet attribut du serpent, les résultats de nos études 5.a et 5.b ne semblent pas aller dans ce sens.

Par conséquent, contrairement à certaines hypothèses (DeLoache & LoBue, 2009; LoBue, 2014), nos données comportementales n'indiquent pas de biais attentionnel précoce envers le mouvement de reptation du serpent. Cet attribut seul, même s'il discrimine le serpent des autres espèces animales terrestres, n'est pas suffisant pour expliquer l'association rapide entre le serpent et la peur. Toutefois, il est à noter que dans notre étude, le mouvement de reptation est uni-directionnel de sorte que la prédictibilité du mouvement est maximale. Or, la direction du mouvement du serpent est imprévisible en situation écologique. C'est également le cas des mouvements des araignées, autre menace animale importante des primates. Pour approfondir ces deux études, il serait intéressant d'étudier l'effet de la prédictibilité des mouvements biologiques sur les temps de regard des nourrissons.

Chapitre 8 | Discussion Générale

Notre projet était d'étudier l'émergence et le développement de l'expérience esthétique au cours des premiers mois de vie jusqu'à l'âge adulte. Nous avons testé pour différents types de stimuli les relations entre les jugements de préférence esthétique des adultes et les temps de regard comme indice comportemental de la préférence visuelle chez d'autres adultes et des nourrissons. L'approche développementale présente l'avantage de pouvoir étudier l'émergence précoce des préférences visuelles et l'effet de la beauté avant que n'intervienne les expériences personnelles et culturelles sur les préférences visuelles.

Les similitudes entre les préférences visuelles des nourrissons et des adultes et les jugements de préférence à l'âge adulte, s'observent dans différents domaines de la cognition humaine comme la perception des visages (Damon *et al.*, 2017b), celles des formes géométriques (Bornstein *et al.*, 1981), des nuances de couleur (Skelton & Franklin, 2020) ou encore comme dans notre étude, des points en mouvement (Mottier, Pascalis, Quinn & Meary, *submitted*). L'origine de ces similarités entre jugement et attention visuelle est plus que jamais sujet à débat (Ramachadran & Hirstein, 1999 ; Reber *et al.*, 2004 ; Redies, 2014). Une idée est que les stimuli préférés présentent des caractéristiques qui rendent leur traitement par le système visuel humain optimal et, de fait, que ces préférences sont d'une certaine manière innée et s'opèreraient de manière rapide et automatique (Chatterjee, 2014 ; Ishizu & Zeki, 2011 ; Krentz & Earl, 2013 ; Ramachadran & Hirstein, 1999 ; Zeki & Stutters, 2012).

Les patterns de points en mouvement utilisés dans notre première étude, étaient issus d'une étude précédente de Zeki et Stutters (2012) sur les relations entre les activations neuronales et les jugements de préférence esthétique des adultes. Les patterns de points qui provoquaient une plus forte activation des aires visuelles traitant le mouvement (complexe V3, V5) et des aires liées au jugement de l'esthétique (OFCm), étaient également ceux qui étaient préférés, suggérant une relation entre un traitement optimal des stimuli et la préférence esthétique. Nos résultats indiquent que ces mêmes patterns capturent et maintiennent le regard d'adultes et de nourrissons de 4 à 24 mois.

Toutefois, cette correspondance entre jugement esthétique et attention visuelle ne s'avère pas systématique. Nos deux études sur les portraits et les paysages révèlent que les jugements de préférence des adultes pour ces œuvres d'art ne prédisent pas les temps de regard

des nourrissons. La relation entre les jugements de préférence d'un groupe d'adulte et le temps de regard d'un autre groupe d'adultes apparaît contrasté : si les jugements de préférence des adultes prédisent le temps de regard d'un autre groupe d'adulte pour les portraits, cette prédiction n'est pas trouvée dans le cas des paysages. Pourtant, les informations visuelles pertinentes dans le traitement des œuvres d'art présentées, que ce soit les portraits ou les paysages, sont similaires entre les adultes et les nourrissons. Dans notre quatrième étude sur la saillance visuelle, les scores ROC, qui déterminent la prédiction des localisations des fixations par la combinaison des paramètres de saillance visuelle, ne diffèrent pas significativement entre les adultes et les nourrissons. En d'autres termes, les localisations des fixations sont similaires pour les portraits et les paysages au cours du développement. Les différences entre les préférences esthétiques des adultes et les préférences visuelles des nourrissons ne sauraient donc s'expliquer par une différence dans la prise d'information visuelle.

Plusieurs paramètres des stimuli pourraient amener des différences entre ce que les adultes préfèrent et ce que les nourrissons regardent comme le degré de complexité perçu, la couleur ou la perception des visages.

8.1. Différences entre préférence esthétique des adultes et préférence visuelle des nourrissons

Complexité et préférence esthétique

Berlyne (1971) prédisait une préférence esthétique maximale pour les stimuli de complexité intermédiaire chez l'adulte. Sur sept critères de complexité pour différents types de stimuli, Nadal et ses collègues (2015) n'ont pas trouvé un critère particulier de complexité qui influence le degré de beauté perçu quel que soit le type de stimulus. En revanche, trois différentes formes de complexité semblent contribuer à la perception visuelle de la complexité : la première est associée à la quantité et la variété des éléments, la seconde à la manière dont les éléments sont agencés les uns par rapport aux autres et la troisième à l'asymétrie. Cette préférence visuelle pour la complexité observée chez l'adulte est également trouvée chez les nourrissons (Amir *et al.*, 2011 ; Fantz & Miranda, 1975 ; Kidd *et al.*, 2002 ; Quinn *et al.*, 1997). Notre étude sur les patterns de points en mouvement peut également être mise en relation avec la complexité dans le mouvement : les patterns de mouvements complexes (irrégularité des arrangements)

semblent attirer plus longtemps le regard des nourrissons et des adultes et s'avèrent également jugés plus beaux par les adultes. L'irrégularité des arrangements liée au jugement de préférence des adultes pour les patterns de points en mouvement est retrouvé pour les œuvres d'art : les arrangements irréguliers des éléments d'une peinture influencent positivement la préférence esthétique pour les œuvres d'art (Nicki & Moss, 1975 ; Saklofske, 1975). Mais le degré de complexité perçue est-il uniforme au cours du développement quel que soit le stimulus ? Des préférences peuvent s'avérer différentes entre les adultes et les nourrissons du fait que ce qui est de complexité intermédiaire pour un adulte peut être de complexité forte pour un nourrisson. A l'inverse, des formes ou objets de complexité intermédiaire pour les nourrissons pourrait s'avérer simple pour des adultes.

Couleur et préférence esthétique

Les adultes présentent des préférences pour les nuances de couleurs consistantes avec une préférence maximale pour le bleu et une préférence minimale pour le jaune foncé (Hurlbert & Ling, 2007). De manière plus générale, les adultes préfèrent les couleurs froides par rapport aux couleurs chaudes (Palmer & Schloss, 2010). Les adultes et les nourrissons présentent certaines préférences visuelles communes pour les couleurs. Par exemple, les deux groupes d'âge préfèrent les stimuli chromatiques par rapport aux achromatiques (Adams, 1987) et certaines nuances de couleur comme le bleu lorsque la saturation est élevée (Bornstein, 1975 ; Franklin *et al.*, 2008 ; Franklin *et al.*, 2010 ; Skelton & Franklin, 2020). Ces préférences visuelles communes pour les nuances de couleur entre les adultes et les nourrissons sont toutefois en interaction avec le degré de saturation et de luminance (Palmer & Schloss, 2010 ; Taylor *et al.*, 2013 ; Zemach *et al.*, 2007). Dans nos études, nous n'avons pas tenu compte des niveaux de saturation des œuvres d'art. De fait, pour les œuvres d'art dont les niveaux de saturation des couleurs sont faibles, des différences entre les préférences visuelles des nourrissons et les préférences esthétiques des adultes ont pu émerger. Il est par exemple possible que ce soit le cas dans notre étude sur les paysages. Les deux tableaux de Monet présentent des niveaux de saturation des couleurs bas et ils sont préférés par les adultes. En revanche, ils sont peu regardés par les nourrissons.

Perception des visages au cours du développement

Les visages forment une catégorie d'objet particulière dans la mesure où ils sont traités de manière spécifique au niveau cérébral par rapport aux autres objets (Yin, 1969 ; Fodor, 1983). Certaines aires cérébrales sont ainsi sélectivement dédiées au traitement des visages comme le gyrus fusiforme droit, renommé « Face Fusiform Area » ou FFA, l'« Occipital Face Area » ou OFA, et le « Superior Temporal Sulcus » ou STS (Kanwisher, McDermott & Chun, 1997). La perception des visages se fait à plusieurs niveaux, distincts d'un point de vue neurofonctionnelle. L'identification d'un stimulus visuel comme un visage est une tâche perceptive (détection des visages) tandis que l'identification d'un visage comme appartenant à un individu spécifique est une tâche de reconnaissance (Tsao & Livingstone, 2008 ; Rossion & Retter, 2020). Du fait de la spécialisation corticale, les capacités de discrimination et de reconnaissance des visages vont s'ajuster au type de visage auquel le nourrisson est exposé (Nelson, 2001). Les nourrissons de 6 mois sont ainsi capables de discriminer des visages de macaques, là où les nourrissons de 9 mois n'y arrivent pas (Pascalis, de Haan & Nelson, 2002). Autre conséquence, les capacités de discrimination et reconnaissance de visages humains diminuent au cours de la première année de vie pour les visages d'une autre ethnie que celle la plus représentée dans l'environnement (Kelly *et al.*, 2007 ; Kelly *et al.*, 2009). Ce phénomène d'ajustement perceptif aux visages familiers serait lié à une sélection graduelle des indices pertinents dans la reconnaissance des visages communément rencontrés et une ignorance des indices non pertinents pour ces visages (mais qui pourraient s'avérer pertinents pour d'autres types de visage). Enfin, le traitement des visages de manière configurale est mature tardivement, vers 10 ans (Carey, Diamond & Woods, 1980 ; Diamond & Carey, 1986) bien que soit observées des réactions aux changements configuraux dès 3-4 mois (Quinn & Tanaka, 2009). Les données neurologiques, comportementales et physiologique convergent vers des différences de traitements des visages entre les adultes et les nourrissons (Rossion & Retter, 2020), cette différence est possiblement accentuée dans le cas de la perception de représentations de visage.

Il est possible que les adultes et les nourrissons ne présentent pas les mêmes capacités de catégorisation des portraits. Si les nourrissons peuvent percevoir des visages dans des formes contrastés (« mooney faces » ; Leo & Simion, 2006) ou des peintures d'Arcimboldo (Kobayashi *et al.*, 2011), ils ne sont peut-être pas à même d'en catégoriser le sexe, l'âge ou l'expressivité faciale. Il a par exemple été montré qu'à 8 mois, les nourrissons utilisent une stratégie de traitement typique, liée à la configuration du visage, pour traiter des caractéristiques faciales

humaines mais pas pour les visages schématiques (Schwarzer & Zauner, 2003). Par ailleurs, les nourrissons de 5 mois ont tendance à regarder plus longtemps des modifications de la taille des yeux (plus grands) pour les visages photographiés que les caricatures, ce qui suggère qu'ils attachent plus d'importance aux changements perceptifs dans les vrais visages que ceux caricaturés (Geldart, Maurer & Carney, 1999).

Expression faciale et préférence esthétique pour les portraits

Benallegue (2014; Benallegue, Pelletier & Kaminski, 2016) suppose que l'expérience de la beauté des portraits pourrait être liée à l'expressivité des visages et l'universalité de la reconnaissance des expressions faciales. Les émotions sont en effet corrélées à des expressions faciales stéréotypées comme le sourire pour la joie ou le froncement de sourcil pour la colère (Ekman, 1992 ; Dimberg, 1982) dont la détection est précoce chez le nourrisson (*for a review, see Bayet, 2015*). De manière similaire à la contagion émotionnelle entre deux individus, c'est-à-dire le transfert de l'émotion d'un individu à l'autre, l'impact émotionnel du portrait pourrait influencer l'impact esthétique de ce dernier (Benallegue *et al.*, 2016). Bien que la contagion émotionnelle entre une oeuvre d'art et son observateur n'aie pas été directement mesurée, la corrélation positive entre l'intensité de l'expression faciale perçue et l'émotion ressentie face à l'oeuvre d'art laisse supposer une relation entre émotion perçue et émotion ressentie dans le cas des visages (peints ou sculptés) en art visuel (Benallegue *et al.*, 2016). L'attention et l'émotion étant liées à l'intensité émotionnelle perçue, la neutralité des portraits choisis dans notre étude (2.a et 2.b) a potentiellement diminué l'attention visuelle des adultes et des nourrissons, de même que l'intensité de l'expérience émotionnelle des adultes. Ainsi, il serait intéressant d'étudier la relation entre préférence visuelle des nourrissons et esthétique des adultes pour des portraits exprimants des émotions.

Traitement de l'attractivité des visages vs traitement de l'esthétisme des objets

Les visages étant traités de manière spécifique, une explication alternative à ces résultats est de considérer que les nourrissons présentent l'habileté de catégoriser les visages selon leur degré d'attractivité, quel que soit le type de visage et les facteurs d'attractivité, mais qu'ils n'ont pas acquis l'habileté à catégoriser l'esthétisme des autres objets. La préférence visuelle pour les visages attractifs est un effet robuste chez le nourrisson (Langlois *et al.*, 1987 ; 1991) alors que

nous ne retrouvons pas de préférences visuelles pour les objets esthétiques comme les peintures. Les préférences visuelles chez le nourrisson pour ce qui est jugé esthétique sont dépendantes de paramètres visuels abstraits comme la forme, la couleur, la complexité, le mouvement mais pas des objets réels. Il est possible que l'attractivité des visages et l'esthétisme des objets ne reposent pas sur les mêmes composantes psychologiques de la récompense, qui pourraient emprunter des mécanismes développementaux distincts. Berridge et ses collègues (2009) proposent trois composantes psychologiques dissociables de la récompense : le « liking » (plaisir, impact hédonique), le « wanting » (plaisir incitatif à la répétition, à la possession) et le « learning » (association cognitive prédictive). L'attractivité des visages pourrait s'apparenter au 'wanting' dans la mesure où l'attractivité induirait un désir de possession (posséder les 'qualités génétiques' et/ou posséder celui qui a ces qualités génétiques) tandis que la satisfaction désintéressée liée à l'expérience esthétique des objets est assimilable au 'liking' (Chatterjee, 2014). Cette hypothèse est appuyée par des études en neurosciences, le circuit de la récompense est impliqué lors du jugement de l'attractivité des visages notamment le noyau accumbens dont l'activité est associée à l'anticipation de la récompense (Richard *et al.*, 2013 ; Kühn & Gallinat, 2012). Lors de l'observation libre d'œuvres d'art et d'autres objets, ce sont principalement les aires du cortex orbitofrontal dont les activations s'avèrent augmentées (Brown *et al.*, 2011 ; Ishizu & Zeki, 2011 ; Kawabata & Zeki, 2004). Différentes régions du circuit de la récompense peuvent également être impliquées lors de l'observation esthétique mais cette relation n'apparaît pas de manière systématique (Nadal, 2013). Il serait intéressant d'étudier si l'activation des régions du circuit de la récompense est présente dès l'enfance dans le cas des visages mais pas dans le cas d'autres objets. L'activation du circuit de la récompense lors de l'observation d'objets esthétiques qui est observée dans certaines études pourraient être apprises par renforcement positif et apparaître plus tardivement. Il serait également intéressant d'étudier des différences d'activation du circuit de la récompense entre les habitués des musées et les non-habitués, c'est-à-dire entre ceux qui cherchent à répéter l'expérience esthétique et les autres. Dans l'hypothèse d'un apprentissage par renforcement, nous pourrions prédire que l'activation du circuit de la récompense sera plus forte dans le premier groupe par rapport au second.

Enfin, les résultats observés concernant les formes complexes ou les mouvements pourraient en partie s'expliquer par une préférence visuelle pour un niveau de complexité intermédiaire qui fournit une quantité d'informations suffisante pour un traitement visuel adéquat et permet de plus des apprentissages. A ce titre, les temps de regard supérieurs pour ces

éléments, de même que des préférences esthétiques supérieures peuvent être assimilables au ‘learning’, c’est-à-dire au plaisir lié à un apprentissage prédictif – un niveau de complexité intermédiaire étant plus probable de fournir des apprentissages et d’améliorer la reconnaissance de l’objet (Berlyne, 1971 ; Berridge *et al.*, 2009).

Si l’attractivité des visages est un cas particulier de l’esthétique, il serait intéressant de tester les préférences visuelles des nourrissons pour des paysages naturels dont l’abondance en ressources naturelles (eau, végétation) est plus ou moins importante. Il est possible que l’esthétique de la nature relève d’un second cas particulier, au même titre que les visages, lié à leur importance en termes de survie et de reproduction de l’espèce humaine dans le passé évolutif.

Modèle du nourrisson dans l’étude de l’esthétisme en art visuel

Les préférences visuelles des nourrissons représentent-elles alors un modèle intéressant pour étudier l’expérience esthétique des adultes ? L’orientation et le maintien de l’attention visuelle des nourrissons pour certaines caractéristiques des stimuli jouent-ils un rôle dans l’émergence de l’expérience esthétique ? Autrement dit, est-ce que les stimuli que les nourrissons vont préférer regarder seront également préférés esthétiquement par les adultes ?

Skelton et Franklin (2020) sont partis de cette idée et constatent que 50% de la part de variance des préférences esthétiques pour les couleurs des adultes peut être expliquée par les préférences visuelles des nourrissons. On pourrait s’attendre à retrouver des parts de variance expliquée significatives dans le cas de l’attractivité des visages. Dans le cas des arts visuels en revanche, il est possible que l’influence de l’expérience au cours du développement vienne modifier de manière profonde les préférences visuelles et esthétiques.

Notre étude sur la saillance visuelle révèle que la prise d’information visuelle ne diffère pas significativement entre les nourrissons et les adultes lors de l’observation libre des peintures pendant cinq secondes. La première étape d’analyse perceptive lors de l’expérience esthétique semble donc équivalente entre les nourrissons et les adultes. Pourtant, les jugements de préférence esthétique des adultes pour les peintures ne coïncident pas avec ce qui est regardé plus longtemps par les nourrissons. Il est donc possible que, dès la seconde étape d’intégration en mémoire implicite, l’effet de l’expérience personnelle et culturelle modifie les préférences esthétiques des adultes et distend le lien avec les préférences visuelles des nourrissons. Dans ce

cas, les préférences visuelles des nourrissons s'avèrent être un modèle erroné des préférences esthétiques des adultes et ne nous permettent pas d'expliquer les taux d'accord inter-observateur dans les jugements de préférence. Les modifications cognitives apportées par les expériences visuelles, personnelles, culturelles au cours du développement, s'avèrent être des conditions nécessaires à l'apparition des préférences esthétiques en art visuel.

Ces différences entre les préférences esthétiques des adultes et les préférences visuelles des nourrissons vont à l'encontre du premier postulat de Kant qui affirmait : "Le beau est une qualité attribuée à un objet lorsque l'observateur le perçoit et que les propriétés de cet objet provoquent une satisfaction en elles-mêmes, de manière universelle et sans se référer à aucune connaissance préalable sur l'objet". Il s'avère qu'en art visuel, lorsqu'un nourrisson, donc un individu sans expérience ni connaissance préalable, perçoit un objet et présente une préférence visuelle pour celui-ci, cette préférence visuelle n'est pas associée à la beauté explicitée par des adultes. Toutefois, nous savons que les préférences visuelles des nourrissons ne peuvent pas être assimilables à une satisfaction en soi ou toute autre émotion positive. Les nourrissons vont par exemple regarder plus longtemps des stimuli visuels potentiellement dangereux comme les serpents par rapport à d'autres animaux (Bertels *et al.*, 2018) et portent leur regard plus longtemps vers les visages effrayés que les visages heureux (Peltola, Leppänen, Palökangas & Hietanen, 2008). Une préférence visuelle chez le nourrisson, dans le sens d'un maintien de l'attention visuelle, n'est donc pas directement associable à de la satisfaction. Par ailleurs, il semble que les adultes n'ont pas émis un jugement de préférence esthétique en tenant compte uniquement des informations visuelles, si tant est que cela soit possible. En effet, les effets liés à l'intégration en mémoire implicite (prototypicalité, familiarité) sur les préférences esthétiques ne sont pas considérés dans l'approche kantienne. Ils peuvent pourtant jouer un rôle important dans les préférences visuelles et esthétiques et expliquer à la fois que les jugements esthétiques soient rapides et similaires entre les adultes et différents des préférences visuelles des nourrissons.

A ce propos, même si les nourrissons peuvent être considérés comme sans expérience ni connaissance préalable en art visuel, ils ne représentent peut-être pas un bon modèle au vu du second postulat de Kant qui dit qu'un objet est beau seulement s'il provoque une satisfaction entièrement désintéressée. Or, nous ne savons pas si une satisfaction entièrement désintéressée est possible chez le nourrisson -du fait par exemple d'une immaturité cérébrale à éprouver cette émotion ou d'un contexte quotidien d'assimilation au sens piagétien.

Confusion dans le concept de beauté ?

En complément des deux postulats, Kant a proposé deux concepts complémentaires de la beauté : la beauté libre et dépendante que l'on retrouve en psychologie expérimentale dans la dissociation des termes d'évaluation de la beauté et de l'intérêt dans le modèle PIA. Pourtant, ces deux facettes de la beauté sont largement confondues dans les études de l'esthétique chez l'adulte.

Selon plusieurs auteurs, le concept d'esthétique a évolué avec l'apparition de l'art moderne, en rendant ce concept plus flou qu'à l'initial. La confusion entre la beauté libre et dépendante (ou beauté et intérêt) peut de fait rendre difficile la compréhension des mécanismes cognitifs à l'œuvre dans l'expérience esthétique. Dans la même perspective que Kant, Redies (2007) et Zangwill (2003) rappellent que la beauté est avant tout une émotion émergente des stimuli visuels qui a le potentiel d'induire un plaisir visuel par la stimulation sensorielle. Dans une démarche réductionniste scientifique, la compréhension des propriétés associées à la beauté des stimuli et la manière dont ces propriétés sont liées aux mécanismes basiques de perception visuelle et de mémoire, doivent être les premiers objectifs (Redies, 2014). Ce travail de thèse est en accord avec ces considérations et l'approche développementale est une manière de réduire le nombre de facteurs explicatifs, notamment ceux liés à l'expérience au cours du développement. Nous considérons que la beauté libre aurait pu être un élément explicatif des résultats sur les taux de préférence partagée pour les visages entre les adultes ou la relation entre les jugements d'attractivité des adultes et les préférences visuelles des nourrissons. En ce sens, nous nous attendions à pouvoir retrouver cette relation dans les arts visuels réalistes. Au vu de nos résultats, nous pouvons nous demander si la beauté libre existe pour les arts visuels en général ou si elle n'est à l'œuvre que pour les objets naturels comme les visages.

Comme suggéré par d'autres auteurs (Gallese & Di Dio, 2012 ; Myszowski & Zenani, 2016), nos résultats sur les temps de décision et les taux d'accord inter-observateur des jugements de préférence esthétique sur les portraits et les paysages, semblent indiquer que le jugement esthétique peut être émis rapidement et ne requiert pas nécessairement des processus cognitifs de haut niveau (maintien et mise à jour des informations, interprétation, compréhension) ou de connaissances spécifiques. La beauté libre serait donc présente en art visuel notamment pour les œuvres d'art représentatives mais les mécanismes perceptifs sont

insuffisants pour expliquer la beauté libre et les mécanismes cognitifs impliqués seraient encore immatures chez le nourrisson.

En revanche, il est possible que le concept de beauté libre ne soit plus pertinent dans l'art moderne, porté sur l'abstraction et le conceptuel, où seule la beauté dépendante pourrait s'appliquer. Ceci expliquerait les taux d'accord inter-observateur faibles sur les préférences esthétiques des œuvres d'art moderne, comparativement aux paysages, aux visages et à l'art représentatif (Vessel & Rubin, 2010).

Une théorie spécifique de l'esthétique des objets artistiques

Redies (2014) a proposé de recentrer l'étude de l'esthétique en dehors des récentes considérations en art moderne et de chercher à construire une théorie qui rendrait compte des expériences esthétiques autant pour des stimuli artistiques que non-artistiques. En effet, nous pouvons constater que les modèles de l'expérience esthétique chez l'adulte (Leder *et al.*, 2004) et le modèle PIA (Graf & Landwehr, 2015) sont centrés sur les arts visuels. Rien n'est précisé sur l'expérience esthétique en dehors du domaine des arts. Plusieurs éléments penchent vers une dissociation du concept d'esthétique selon qu'il s'agit d'objets naturels ou d'objets artistiques bien que cette distinction reste encore imprécise dans la littérature.

Nous précisons dans le premier chapitre de cette thèse que l'esthétique en art visuel présente des spécificités en philosophie. L'art visuel a pour but la recherche des belles formes mais il s'agit également d'une forme de communication des états émotionnels ou de concepts universaux (Davies, 2006 ; Changeux, 2011 ; 2012 ; Pouivet, 2000). L'expérience personnelle et les apprentissages sociaux de ces états émotionnels et de ces concepts peuvent de fait s'avérer indispensables au jugement esthétique en art, y compris pour les œuvres réalistes. Il est possible que les thématiques philosophiques telles que l'amour, la vie, le pouvoir ou la religion, très présentes en art visuel, provoquent des états émotionnels similaires entre les individus. De fait, si l'expérience personnelle et sociale est requise pour voir émerger un jugement esthétique, ces expériences peuvent être très proches d'un individu à l'autre. Ces expériences et connaissances pourraient être moins importantes lors du jugement esthétique d'objets naturels.

Aussi, les résultats des études sur les relations entre les jugements de préférence des adultes et les préférences visuelles des nourrissons changent selon la nature de l'objet évalué. Pour les objets naturels, notamment les visages, cette relation semble robuste. Nous la

retrouvons également pour la couleur, la forme, la complexité et dans nos recherches pour le mouvement. En revanche pour les objets artistiques, même réalistes, cette relation ne tient plus. De fait, nous aurions tendance à l'inverse de Redies (2014) à préciser les différences existantes entre les jugements esthétiques selon le type d'objet étudié. Qu'est-ce qui différencie l'attractivité de l'esthétique ? Quelles sont les étapes et les processus cognitifs à l'œuvre lors de l'appréciation esthétique d'un objet naturel et en quoi sont-ils différents de ceux à l'œuvre pour les objets artistiques ? A notre connaissance, aucune théorie psychologique ou neuroscientifique ne considère aujourd'hui cette distinction.

8.2. Méthode et perspective

Choix des stimuli

Dans nos études sur les préférences pour les patterns de points en mouvement et les peintures, nous avons fait le choix de ne pas sélectionner une ou plusieurs caractéristiques visuelles qui seraient associés à la préférence esthétique. Il s'agissait plutôt d'étudier différents types de stimuli en utilisant la même méthodologie. Comme dans le cas du jugement de l'attractivité des visages (Damon *et al.*, 2017b), l'expérience esthétique et l'attention visuelle dépendent de facteurs difficilement accessibles, qui ne se laissent pas réduire par l'approche scientifique.

Nos résultats indiquent toutefois que le degré de complexité est à même d'expliquer la relation entre préférence esthétique et attention visuelle pour les mouvements, qu'ils soient abstraits ou biologiques. Une manière de réduire les facteurs explicatifs de l'esthétique serait d'étudier un paramètre visuel -comme la complexité- qui peut s'appliquer à tout type d'objets et d'identifier son impact dans l'expérience esthétique. Pour garder l'exemple de la complexité, il serait intéressant d'utiliser des portraits fluents et des portraits non-fluents comme dans l'étude de Belke et ses collègues (2015). La fluence perceptive est en partie liée au niveau de complexité visuelle. Les portraits non fluents sont considérés comme plus complexes que les portraits fluents. Si les nourrissons perçoivent les visages dans les portraits non-fluents – ce qui pourrait être mis en évidence par un effet d'inversion – vont-ils préférer visuellement les portraits fluents ?

Choix des propriétés visuelles par l'artiste

Ramachandran et Hirstein (1999) proposent que la technique artistique employée vise l'amélioration de la saillance visuelle des objets dépeints. L'artiste, dans l'accomplissement de son œuvre, cherche à amplifier des régions de la scène visuelle comme le ferait les modèles de neurosciences visuelles. Plusieurs études sur les portraits vont effectivement dans ce sens (DiPaola et al., 2010 ; DiPaola, Riebe & Enns, 2013 ; Aleem, Correa-Herran & Grzywacz, 2017). En utilisant des modèles de saillance visuelle, nous observons que les regards des adultes et des nourrissons sont bien prédits par les éléments de saillance visuelle. Nos résultats sur les portraits et les paysages montrent, par ailleurs, une décorrélation entre l'attention visuelle, même précoce, et le jugement de beauté adulte. Si les modèles de saillance visuelle permettent de prédire l'orientation du regard, ils ne prédisent pas le jugement de préférence esthétique en art visuel. Dans le cas des paysages, nos résultats indiquent que les paysages de Monet sont préférés alors qu'ils sont moins saillants par rapport à ceux de van Gogh. Ces résultats vont à l'encontre des conclusions de Hayn-Leichsenring, Lehmann et Redies (2017) qui proposaient que les propriétés statistiques des images pouvaient prédire les valeurs esthétiques des œuvres d'art chez l'adulte.

Au vu de nos résultats, il apparaît important de considérer plus en détails le rôle du style artistique dans les préférences visuelles et esthétiques. Clay et ses collègues (2020) ont utilisé un algorithme de deep-learning pour générer à partir d'une photographie, sept nouvelles images imitant le style artistique d'un artiste ou d'un mouvement artistique particulier (figure 82). Même si les différences entre les patterns de localisations des fixations des adultes sont marginales entre les sept images de styles artistiques créées (Clay *et al.*, 2020), certains styles artistiques sont préférés par rapport à d'autres (Hayn-Leichsenring *et al.*, 2017). Compte-tenu de la difficulté de définir objectivement les composantes de l'image qui orientent l'attention des nourrissons, cette méthode pourrait par ailleurs permettre de tester si les peintures de paysages sont traitées comme des paysages réels ou non.



Figure 82 | Exemple d'une photographie (à gauche) et de sa transformation par l'interface CycleGANs (Zhu, Park, Isola & Efros, 2017) à la manière de van Gogh (issus de l'article de Clay et al., 2020).

Étude de la saillance visuelle des œuvres d'art au cours du développement

Les modèles de saillance visuelle sont calqués sur l'architecture du système visuel primaire et secondaire des adultes. Nous observons que ces modèles sont efficaces pour prédire les localisations des fixations des adultes et celles des nourrissons pour les peintures réalistes. Les adultes et les nourrissons regardent les mêmes régions saillantes lors de l'observation libre de portraits et de paysages. Quant est-il des peintures abstraites ? Il est possible que la recherche de signification conceptuelle des œuvres d'art abstraites, amène à des fixations différentes entre les adultes et les nourrissons. L'étude des différences de l'effet de saillance visuelle entre les adultes et les nourrissons pour des œuvres d'art abstraites pourrait nous en apprendre plus sur la manière dont les adultes cherchent des indices conceptuels sur les œuvres d'art.

Méthode du temps de regard

Rien dans la littérature ne nous permet de déterminer le temps de présentation optimal selon le type de tâche et de stimulus présentés. La perte d'intérêt visuel observée chez les nourrissons semble indiquer que l'observation passive d'œuvres d'art n'est pas une activité intéressante pour eux. En effet, 14 fois 5 secondes de présentation (soit 1 minutes 10) apparaissent, dans la pratique, déjà longues pour les nourrissons. La perte progressive d'attention visuelle sur les stimuli nouveaux d'une catégorie donnée (portraits ou paysages), caractéristique de l'habituation, est plus forte pour les paysages (24,5% de pertes) que les portraits (13,4% de pertes). Une différence de 10% de pertes des données oculométriques est observée entre les deux types de stimuli. A noter toutefois que la perte des données oculométriques atteignait déjà les 19,50% chez les nourrissons dans l'étude des mouvements, supposés attirer et maintenir le regard des nourrissons.

Sur ce point, un apport de cette thèse est de tenter de décrire l'attention visuelle au cours du temps. L'analyse de la distribution spatio-temporelle de l'attention visuelle chez l'adulte et le nourrisson montre bien les limites de l'analyse simple des temps moyens de regard. Ce qui est observé au cours de 5 secondes ne peut se résumer par une moyenne sur ce délai et ne permet pas de distinguer les influences respectives de l'orientation et du maintien de l'attention visuelle.

Méthode en choix forcé

Nous avons choisi dans nos études de conserver le même design expérimental pour les tâches de préférence visuelle et de préférence en choix forcée afin de pouvoir comparer les données issues des groupes d'adultes et de nourrissons. Néanmoins, les jugements de préférence entre deux stimuli ne nous informe pas de l'intensité du sentiment de beauté expérimentée pour chacun d'eux. L'intensité du sentiment de beauté est en partie influencée par le contexte immédiat (contexte social, émotionnel ; Cupchick & Laszlo, 1992 ; Leder *et al.*, 2004). Il est possible que la consigne de jugement de préférence entre deux stimuli ne soit pas propice à l'émergence d'une émotion esthétique forte. En effet, si l'attitude esthétique est désintéressée par nature (Hanich *et al.*, 2014), les études expérimentales dans lesquelles nous demandons au sujet d'évaluer et/ou de comparer des oeuvres d'art dans un temps restreint, pourraient entrer en contradiction avec l'attitude esthétique. Il s'avère important de comparer les jugements de préférence issus d'étude en laboratoire avec les jugements de préférence émis dans des situations plus écologiques comme dans un musée.

Préférence visuelle et émotion

Les préférences visuelles spontanées des nourrissons révèlent un intérêt à regarder un stimulus dont la valence émotionnelle vis-à-vis du nourrisson est tantôt supposée positive, tantôt supposée négative au regard de l'expérience émotionnelle de l'adulte. C'est notamment le cas dans les études sur les préférences visuelles et la détection des visages (Bayet, 2015 ; Bayet *et al.*, 2017) ou les animaux dangereux comme les araignées et les serpents (Bertels *et al.*, 2018 ; LoBue & DeLoache, 2010). D'autres mesures indirectes de l'état émotionnel seraient importantes à étudier dans le cas des préférences visuelles chez le nourrisson. Parmi les mesures indirectes les moins susceptibles d'être influencées par le rôle de l'expérience, et les plus faciles à appliquer efficacement chez le nourrisson, l'électromyographie faciale et la mesure du rythme cardiaque offrent les perspectives les plus intéressantes.

8.3. Conclusion

Les études présentées constituent une tentative de description objective du rapport entre l'expérience esthétique adulte et l'attention visuelle des nourrissons pour différents types de stimuli. Nos résultats montrent une corrélation des préférences visuelles et esthétiques en ce qui concerne le mouvement de points lumineux. Cette corrélation des préférences pourrait être liée à une préférence spontanée pour un degré de complexité modéré, comme proposé par Berlyne (1971). La préférence pour la complexité dans le mouvement pourrait être à l'origine dans nos études de la préférence visuelle des nourrissons pour les mouvements biologiques authentiques de bipédie par rapport à la reptation ou des mouvements perturbés par rapport à leur version originale. Cette correspondance des préférences visuelles et esthétiques n'est en revanche pas observée pour les stimuli artistiques comme les portraits et les paysages. Si les adultes et les nourrissons orientent leur regard vers les mêmes régions dans les peintures, l'extraction des informations visuelles s'avère insuffisante pour expliquer les jugements esthétiques des adultes. L'expérience personnelle pourrait être importante dans la formation du jugement esthétique pour les stimuli artistiques mais pas pour les stimuli visuels singuliers comme les mouvements ou sociaux comme les visages. Ce constat nous amène à questionner la formation du jugement esthétique en fonction du type de stimulus, naturel ou artistique. De même, il nous invite à préciser les différences entre attractivité et esthétique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., Chabris, C. F., O'Connor, E., & Breiter, H. C. (2001). Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, 32(3), 537-551.
- Abbas, Z. A., & Duchaine, B. (2008). The role of holistic processing in judgments of facial attractiveness. *Perception*, 37(8), 1187-1196.
- Acer, D., & Ömerođlu, E. (2008). A study on the effect of aesthetic education on the development of aesthetic judgment of six-year-old children. *Early Childhood Education Journal*, 35(4), 335-342.
- Adams, R. J. (1987). An evaluation of color preference in early infancy. *Infant Behavior and Development*, 10(2), 143-150.
- Adams, R. J., & Courage, M. L. (1998). Human newborn color vision: Measurement with chromatic stimuli varying in excitation purity. *Journal of experimental child psychology*, 68(1), 22-34.
- Adams, R. J., Courage, M. L., & Mercer, M. E. (1994). Systematic measurement of human neonatal color vision. *Vision Research*, 34(13), 1691-1701.
- Adler, S. A., & Orprecio, J. (2006). The eyes have it: visual pop-out in infants and adults. *Developmental Science*, 9(2), 189-206.
- Aitken, P. P. (1974). Judgments of pleasingness and interestingness as functions of visual complexity. *Journal of Experimental Psychology*, 103(2), 240.
- Aleem, H., Correa-Herran, I., & Grzywacz, N. M. (2017). Inferring master painters' esthetic biases from the statistics of portraits. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 94.
- American Association for Research into Nervous and Mental Diseases, Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 353(1377), 1915-1927.
- Amir, O., Biederman, I., & Hayworth, K. J. (2011). The neural basis for shape preferences. *Vision research*, 51(20), 2198-2206.
- Amso, D., & Johnson, S. P. (2006). Learning by selection: Visual search and object perception in young infants. *Developmental psychology*, 42(6), 1236.
- Amso, D., & Johnson, S. P. (2008). Development of visual selection in 3-to 9-month-olds: Evidence from saccades to previously ignored locations. *Infancy*, 13(6), 675-686.
- Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(10), 606.

- Anderson, B. A. (2013). A value-driven mechanism of attentional selection. *Journal of vision*, 13(3), 7-7.
- Anderson, B. A. (2016). Social reward shapes attentional biases. *Cognitive Neuroscience*, 7(1-4), 30-36.
- Anderson, B. A., & Halpern, M. (2017). On the value-dependence of value-driven attentional capture. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(4), 1001-1011.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10367-10371.
- Anderson, B. A., & Yantis, S. (2012). Value-driven attentional and oculomotor capture during goal-directed, unconstrained viewing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(8), 1644-1653.
- Antes, J. R. (1974). The time course of picture viewing. *Journal of experimental psychology*, 103(1), 62.
- Appleton, J. (1975). Landscape evaluation: the theoretical vacuum. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 120-123.
- Armstrong, T., & Detweiler-Bedell, B. (2008). Beauty as an emotion: The exhilarating prospect of mastering a challenging world. *Review of general psychology*, 12(4), 305-329.
- Atalay, M. (2007). Kant's aesthetic theory: subjectivity vs. universal validity. *Percipi*, 1, 44-52.
- Atkinson, J. (1984). Human visual development over the first 6 months of life. A review and a hypothesis. *Human neurobiology*, 3(2), 61-74.
- Atkinson, J., & Braddick, O. (2012). Visual attention in the first years: typical development and developmental disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54(7), 589-595.
- Atkinson, J., Hood, B., Wattam-Bell, J., & Braddick, O. (1992). Changes in infants' ability to switch visual attention in the first three months of life. *Perception*, 21(5), 643-653.
- Augustin, D., & Leder, H. (2006). Art expertise: A study of concepts and conceptual spaces. *Psychology Science*, 48(2), 135.
- Augustin, M. D., Defranceschi, B., Fuchs, H. K., Carbon, C. C., & Hutzler, F. (2011). The neural time course of art perception: An ERP study on the processing of style versus content in art. *Neuropsychologia*, 49(7), 2071-2081.
- Balling, J. D., & Falk, J. H. (1982). Development of visual preference for natural environments. *Environment and Behavior*, 14(1), 5-28.
- Banks, M. S., & Salapatek, P. (1978). Acuity and contrast sensitivity in 1-, 2-, and 3-month-old human infants. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 17(4), 361-365.
- Bardi, L., Regolin, L., & Simion, F. (2011). Biological motion preference in humans at birth: role of dynamic and configural properties: Biological motion preference. *Developmental Science*, 14(2), 353-359. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00985.x

- Barrett, H., Peterson, C. D., & Frankenhuys, W. E. (2016). Mapping the cultural learnability landscape of danger. *Child Development*, 87, 770–781. doi:10.1111/cdev.12495
- Barrett, H. C., & Broesch, J. (2012). Prepared social learning about dangerous animals in children. *Evolution and Human Behavior*, 33, 499–508. doi:10.1016/j.evolhumbehav.2012.01.003
- Barrett, L. F., & Wager, T. D. (2006). The structure of emotion: Evidence from neuroimaging studies. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 79-83.
- Bayet, L. (2015). *Le développement de la perception des expressions faciales* (Doctoral dissertation, Grenoble Alpes).
- Bayet, L., Quinn, P. C., Laboissière, R., Caldara, R., Lee, K., & Pascalis, O. (2017). Fearful but not happy expressions boost face detection in human infants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20171054.
- Beauchamp, M. S., Lee, K. E., Haxby, J. V., & Martin, A. (2003). FMRI responses to video and point-light displays of moving humans and manipulable objects. *Journal of cognitive neuroscience*, 15, 991-1001.
- Bee, N., Prendinger, H., André, E., & Ishizuka, M. (2006a). Automatic preference detection by analyzing the gaze ‘cascade effect’. In *2nd Annual Conference on Communication by Gaze Interaction, COGAIN*.
- Bee, N., Prendinger, H., Nakasone, A., André, E., & Ishizuka, M. (2006b, June). Autoselect: What you want is what you get: Real-time processing of visual attention and affect. In *International Tutorial and Research Workshop on Perception and Interactive Technologies for Speech-Based Systems* (pp. 40-52). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Belfi, A. M., Vessel, E. A., Briellmann, A., Isik, A. I., Chatterjee, A., Leder, H., ... & Starr, G. G. (2019). Dynamics of aesthetic experience are reflected in the default-mode network. *NeuroImage*, 188, 584-597.
- Belke, B., Leder, H., & Augustin, D. (2006). Mastering style. Effects of explicit style-related information, art knowledge and affective state on appreciation of abstract paintings. *Psychology Science*, 48(2), 115.
- Belke, B., Leder, H., & Carbon, C. C. (2015). When challenging art gets liked: Evidences for a dual preference formation process for fluent and non-fluent portraits. *PloS one*, 10(8), e0131796.
- Belke, B., Leder, H., Harsányi, G., & Carbon, C. C. (2010). When a Picasso is a “Picasso”: The entry point in the identification of visual art. *Acta Psychologica*, 133(2), 191-202.
- Belke, B., Leder, H., Strobach, T., & Carbon, C. C. (2010). Cognitive fluency: High-level processing dynamics in art appreciation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(4), 214.
- Berlyne, D. E. (1966). Curiosity and exploration. *Science*, 153(3731), 25-33.
- Benallegue, A. A. (2014). L'expérience esthétique émotionnelle : Interaction des représentations artistiques anthropomorphes avec le spectateur. *hal-0114621*.

- Benallegue, A. A., Pelletier, J., & Kaminski, G. (2016). Aesthetic Impact of Anthropomorphic Figures in Art: The Case of Facial Expressions. In *Aesthetics and Neuroscience* (pp. 55-80). Springer, Cham.
- Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology* (Vol. 336). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Berlyne, D. E. (1974). *Studies in the new experimental aesthetics: Steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation*. Hemisphere.
- Berridge, K. C., Robinson, T. E., & Aldridge, J. W. (2009). Dissecting components of reward: 'liking', 'wanting', and learning. *Current opinion in pharmacology*, 9(1), 65-73.
- Bertamini, M., Palumbo, L., Gheorghes, T. N., & Galatsidas, M. (2016). Do observers like curvature or do they dislike angularity?. *British Journal of Psychology*, 107(1), 154-178.
- Bertels, J., Bayard, C., Floccia, C., & Destrebecqz, A. (2018). Rapid detection of snakes modulates spatial orienting in infancy. *International Journal of Behavioral Development*, 42(4), 381-387.
- Bertenthal, B. I. (1993). Infants' perception of biomechanical motions: Intrinsic image and knowledge-based constraints. *Visual perception and cognition in infancy*, 21, 175-214.
- Bertenthal, B. I., & Bradbury, A. (1992). Infants' detection of shearing motion in random-dot displays. *Developmental Psychology*, 28(6), 1056-1066.
- Bertenthal, B. I., Campos, J. J., & Haith, M. M. (1980). Development of Visual Organization: The Perception of Subjective Contours. *Child Development*, 51(4), 1072. doi: 10.2307/1129546
- Bertenthal, B. I., & Proffitt, D. R. (1984). Infant Sensitivity to Figural Coherence in Biomechanical Motions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37, 213-230.
- Bertenthal, B. I., Proffitt, D. R., & Kramer, S. J. (1987). Perception of biomechanical motions by infants: implementation of various processing constraints. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(4), 577.
- Blumenthal, E. J., Bosworth, R. G., & Dobkins, K. R. (2013). Fast development of global motion processing in human infants. *Journal of vision*, 13(13), 8-8.
- Bidet-Ildei, C., Kitromilides, E., Orliaguet, J.-P., Pavlova, M., & Gentaz, E. (2014). Preference for point-light human biological motion in newborns: Contribution of translational displacement. *Developmental Psychology*, 50(1), 113-120. doi:10.1037/a0032956
- Biederman, I., & Vessel, E. A. (2006). Perceptual pleasure and the brain: A novel theory explains why the brain craves information and seeks it through the senses. *American scientist*, 94(3), 247-253.
- Boccia, M., Barbetti, S., Piccardi, L., Guariglia, C., Ferlazzo, F., Giannini, A. M., & Zaidel, D. W. (2016). Where does brain neural activation in aesthetic responses to visual art occur? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 60, 65-71.
- Bouveresse, R. (2016). *L'expérience esthétique*. Armand Colin.

- Borji, A., Sihite, D. N., & Itti, L. (2012). Quantitative analysis of human-model agreement in visual saliency modeling: A comparative study. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22(1), 55-69.
- Borji, A., Sihite, D. N., & Itti, L. (2013). What stands out in a scene? A study of human explicit saliency judgment. *Vision research*, 91, 62-77.
- Bornstein, M. H. (1975). Qualities of Color Vision in Infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 19, 401-419.
- Bornstein, M. H., Ferdinandsen, K., & Gross, C. G. (1981). Perception of symmetry in infancy. *Developmental psychology*, 17(1), 82.
- Bornstein, M. H., Kessen, W., & Weiskopf, S. (1976). Color vision and hue categorization in young human infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(1), 115.
- Boyer, P., & Bergstrom, B. (2011). Threat-detection in child development: An evolutionary perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35, 1034-1041.
- Brachmann, A., & Redies, C. (2017). Computational and experimental approaches to visual aesthetics. *Frontiers in computational neuroscience*, 11, 102.
- Braddick, O. J., O'Brien, J. M., Wattam-Bell, J., Atkinson, J., Hartley, T., & Turner, R. (2001). Brain areas sensitive to coherent visual motion. *Perception*, 30(1), 61-72.
- Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2003). Normal and anomalous development of visual motion processing: motion coherence and 'dorsal-stream vulnerability'. *Neuropsychologia*, 41(13), 1769-1784.
- Brennan, W. M., Ames, E. W., & Moore, R. W. (1966). Age differences in infants' attention to patterns of different complexities. *Science*, 151(3708), 354-356.
- Brisson, L. (2011). *Le banquet*. Flammarion.
- Brown, S. (2000). Evolutionary models of music? From sexual selection to group selection. In F. Tonneau & N. S. Thompson (Eds.), *Perspectives in Ethology, Volume 13: Evolution, Culture and Behavior* (pp. 231-281). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Brown, S., Gao, X., Tisdelle, L., Eickhoff, S. B., & Liotti, M. (2011). Naturalizing aesthetics: brain areas for aesthetic appraisal across sensory modalities. *Neuroimage*, 58(1), 250-258.
- Brown, A. M., Lindsey, D. T., McSweeney, E. M., & Walters, M. M. (1995). Infant luminance and chromatic contrast sensitivity: optokinetic nystagmus data on 3-month-olds. *Vision Research*, 35(22), 3145-3160.
- Bruce, V., Burton, M. A., & Dench, N. (1994). What's distinctive about a distinctive face?. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47(1), 119-141.
- Bullinger, A. (2013). *Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars*. Erès.
- Bullot, N. J., & Reber, R. (2013). The artful mind meets art history: Toward a psycho-historical framework for the science of art appreciation. *Behavioral and brain sciences*, 36(2), 123-137.

- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), 215-222.
- Bushnell, I. W. R., Sai, F., & Mullin, J. T. (1989). Neonatal recognition of the mother's face. *British Journal of Developmental Psychology*, 7(1), 3-15.
- Buswell, G. T. (1935). *How people look at pictures: a study of the psychology and perception in art*.
- Butcher, P. R., Kalverboer, A. F., & Geuze, R. H. (2000). Infants' shifts of gaze from a central to a peripheral stimulus: A longitudinal study of development between 6 and 26 weeks. *Infant Behavior and Development*, 23(1), 3-21.
- Cacchione, T., Möhring, W., & Bertin, E. (2011). What is it about Picasso? Infants' categorical and discriminatory abilities in the visual arts. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 5(4), 370–378. doi: 10.1037/a0024129
- Camps, J. F., Eugene, D., Gauthier, M., & Gioanni, Y. (2013). *Neurosciences-Tout le cours en fiches*. Éditions Dunod, Paris, France.
- Carbon, C. C. (2011). Cognitive mechanisms for explaining dynamics of aesthetic appreciation. *i-Perception*, 2(7), 708-719.
- Carbon, C. C., Ditye, T., Leder, H., (2006). Setting the trend: When attractiveness is a matter of adaptation. *Perception*, 35, 199–199.
- Carbon, C. C., & Leder, H. (2005). The repeated evaluation technique (RET). A method to capture dynamic effects of innovativeness and attractiveness. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 19(5), 587-601.
- Carey, S., Diamond, R., & Woods, B. (1980). Development of face recognition: A maturational component?. *Developmental psychology*, 16(4), 257.
- Carlson, C. R. (1983). A simple model for vernier acuity. *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)*, 24,276.
- Carmi, R., & Itti, L. (2006). The role of memory in guiding attention during natural vision. *Journal of vision*, 6(9), 4-4.
- Carbon, C. C., Grüter, T., Grüter, M., Weber, J. E., & Lueschow, A. (2010). Dissociation of facial attractiveness and distinctiveness processing in congenital prosopagnosia. *Visual Cognition*, 18(5), 641-654.
- Caron, R. F., & Caron, A. J. (1969). Degree of stimulus complexity and habituation of visual fixation in infants. *Psychonomic Science*, 14(2), 78-79.
- Cela-Conde, C. J., Agnati, L., Huston, J. P., Mora, F., & Nadal, M. (2011). The neural foundations of aesthetic appreciation. *Progress in neurobiology*, 94(1), 39-48.
- Cela-Conde, C. J., Ayala, F. J., Munar, E., Maestú, F., Nadal, M., Capó, M. A., ... & Marty, G. (2009). Sex-related similarities and differences in the neural correlates of beauty. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(10), 3847-3852.

- Cela-Conde, C. J., Marty, G., Munar, E., Nadal, M., & Burges, L. (2002). The Style scheme“ grounds perception of paintings. *Perceptual and motor skills*, 95, 91-100.
- Changeux, J. P. (2011). The neuroscience of art: a research program for the next decade?. *Mind, Brain, and Education*, 5(1), 3-4.
- Changeux, J. P. (2012). Beauty in the brain: for a neuroscience of art. *Rendiconti Lincei*, 23(3), 315-320.
- Chase, W. P. (1937). Color vision in infants. *Journal of Experimental Psychology*, 20(3), 203.
- Chatterjee, A. (2011). Neuroaesthetics: A coming of age story. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 53–62. doi:10.1162/jocn.2010.21457
- Chatterjee, A. (2003). Prospects for a cognitive neuroscience of visual aesthetics.
- Chatterjee, A. (2014a). Scientific aesthetics: Three steps forward. *British Journal of Psychology*, 105(4), 465-467.
- Chatterjee, A. (2014b). *The aesthetic brain: How we evolved to desire beauty and enjoy art*. Oxford University Press.
- Chatterjee, A., Thomas, A., Smith, S. E., & Aguirre, G. K. (2009). The neural response to facial attractiveness. *Neuropsychology*, 23(2), 135.
- Chatterjee, A., & Vartanian, O. (2014). Neuroaesthetics. *Trends in cognitive sciences*, 18(7), 370-375.
- Chatterjee, A., & Vartanian, O. (2016). Neuroscience of aesthetics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1369(1), 172-194.
- Chouchourelou, A., Golden, A., Shiffrar, M., & Chouchourelou, A. (2013). What Does “Biological Motion” really mean? Differentiating visual percepts of human, animal, and nonbiological motions. *People watching: social, perceptual, and neurophysiological studies of body perception*, 63-81.
- Clay, V., Schruppf, J., Tessenow, Y., Leder, H., Ansorge, U., & König, P. (2020). A Quantitative Analysis of the Taxonomy of Artistic Styles. *Journal of Eye Movement Research*, 13(2), 5.
- Cohen, L. B. (1969). Observing responses, visual preferences, and habituation to visual stimuli in infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 7(3), 419-433.
- Cohen, L. B. (1972). Attention-getting and attention-holding processes of infant visual preferences. *Child Development*, 869-879.
- Cohen, L. B., DeLoache, J. S., & Rissman, M.W. (1975). The Effect of Stimulus Complexity on Infant Visual Attention and Habituation. *Child Development*, 46(3), 611. doi: 10.2307/1128557
- Collingwood, R. G. (1958). *The principles of art* (Vol. 11). Oxford University Press.
- Concar, D. (1995). SEX AND THE SYMMETRICAL BODY-Creating balanced bodies is one of nature's biggest challenges. *New Scientist-UK Edition*, 146(1974), 40-44.

- Consoli, G. (2015). Creativity and aesthetic evaluation. Two proposals to improve the model of aesthetic dis/fluency. *Frontiers in psychology*, 5, 1520.
- Consoli, G. (2014). Recent evidence on perception and esthetic appreciation: The role of value and expertise in canon formation. *i-Perception*, 5(2), 94-96.
- Consoli, G. (2017). Commentary: aesthetic pleasure versus aesthetic interest: the two routes to aesthetic liking. *Frontiers in psychology*, 8, 1197.
- Conway, B. R., & Livingstone, M. S. (2007). Perspectives on science and art. *Current opinion in neurobiology*, 17(4), 476-482.
- Cook, M., & Mineka, S. (1987). Second-order conditioning and overshadowing in the observational conditioning of fear in monkeys. *Behaviour Research and Therapy*, 25(5), 349-364.
- Cook, M., & Mineka, S. (1989). Observational conditioning of fear to fear-relevant versus fear-irrelevant stimuli in rhesus monkeys. *Journal of Abnormal Psychology*, 98(4), 448-459.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., ... & Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21(4), 761-773.
- Cornelissen, F. W., Peters, E. M., & Palmer, J. (2002). The EyeLink Toolbox: eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 613-617.
- Coull, J. T., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Grasby, P. M. (1996). A fronto-parietal network for rapid visual information processing: a PET study of sustained attention and working memory. *Neuropsychologia*, 34(11), 1085-1095.
- Cunningham, M. R., Roberts, A. R., Barbee, A. P., Druen, P. B., & Wu, C. H. (1995). "Their ideas of beauty are, on the whole, the same as ours": Consistency and variability in the cross-cultural perception of female physical attractiveness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 68(2), 261.
- Cupchik, G. C. (1995). Emotion in aesthetics: Reactive and reflective models. *Poetics*, 23(1-2), 177-188.
- Cupchik, G. C., & Laszlo, J. (Eds.). (1992). *Emerging visions of the aesthetic process: In psychology, semiology, and philosophy*. Cambridge University Press.
- Cupchik, G. C., Shereck, L., & Spiegel, S. (1994). The effects of textual information on artistic communication. *Visual Arts Research*.
- Cupchik, G. C., Vartanian, O., Crawley, A., & Mikulis, D. J. (2009). Viewing artworks: contributions of cognitive control and perceptual facilitation to aesthetic experience. *Brain and cognition*, 70(1), 84-91.
- Cupchik, G. C., & Winston, A. S. (1996). Confluence and divergence in empirical aesthetics, philosophy, and mainstream psychology. *Handbook of perception and cognition: Cognitive ecology*, 61-85.

- Cuthbert, B. N., Schupp, H. T., Bradley, M. M., Birbaumer, N., & Lang, P. J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological psychology*, *52*(2), 95-111.
- Damon, F., Li, Z., Yan, Y., Li, W., Guo, K., Quinn, P. C., ... & Méary, D. (2018). Preference for attractive faces is species-specific. *Journal of Comparative Psychology*.
- Damon, F., Méary, D., Quinn, P. C., Lee, K., Simpson, E. A., Paukner, A., ... & Pascalis, O. (2017a). Preference for facial averageness: Evidence for a common mechanism in human and macaque infants. *Scientific reports*, *7*, 46303.
- Damon, F., Mottier, H., Méary, D., & Pascalis, O. (2017b). A Review of Attractiveness Preferences in Infancy: From Faces to Objects. *Adaptive Human Behavior and Physiology*, *3*(4), 321-336.
- Dannemiller, J. L., & Freedland, R. L. (1991). Detection of relative motion by human infants. *Developmental Psychology*, *27*(1), 67-78.
- Darwin, C. (1993). The expression of the emotions in man and animals (1872). *The Portable Darwin*, 364-393.
- Davies, S. (2006). Aesthetic judgements, artworks and functional beauty. *The Philosophical Quarterly*, *56*(223), 224-241.
- Davies, S. (2012). *The artful species: aesthetics, art, and evolution*. Oxford University Press: Oxford.
- de Meux, P. D. L. (2003). *Ophtalmologie pédiatrique*. Elsevier Masson.
- Dehaene-Lambertz, G., & Pena, M. (2001). Electrophysiological evidence for automatic phonetic processing in neonates. *Neuroreport*, *12*(14), 3155-3158.
- DeLoache, J. S., & LoBue, V. (2009). The narrow fellow in the grass: Human infants associate snakes and fear. *Developmental science*, *12*(1), 201-207.
- DeLoache, J. S., Pickard, M. B., & LoBue, V. (2011). How Animals Affect Us: Examining the Influence of Human-Animal Interaction on Child Development and Human Health.
- Dempster, D. J. (1985). Aesthetic experience and psychological definitions of art. *The Journal of aesthetics and art criticism*, *44*(2), 153-165.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience*, *18*(1), 193-222.
- Devouche, E., & Provaji, J. (2019). *Le développement du bébé de la vie fœtale à la marche: Sensoriel-Psychomoteur-Cognitif-Affectif-Social*. Elsevier Health Sciences.
- Dewey, J. (1934). *Art as Experience*. New York: Perigree Books.
- De Wulf, M. (1909). L'histoire de l'esthétique et ses grandes orientations. *Revue néo-scholastique*, *16*(62), 237-259.
- Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*(2), 107.

- Di Dio, C., Ardizzi, M., Massaro, D., Di Cesare, G., Gilli, G., Marchetti, A., & Gallese, V. (2016). Human, nature, dynamism: the effects of content and movement perception on brain activations during the aesthetic judgment of representational paintings. *Frontiers in human neuroscience*, *9*, 705.
- Di Dio, C., Massaro, D., Savazzi, F. A., Gallese, V., Garau, T., Gilli, G., & Marchetti, A. (2019). Beauty in life: an eye-tracking study on young adults' aesthetic evaluation and vitality judgment of pictorial representations of sleeping and dead subjects. *PsyCh journal*.
- DiPaola, S., Riebe, C., & Enns, J. T. (2010). Rembrandt's textural agency: A shared perspective in visual art and science. *Leonardo*, *43*(2), 145-151.
- DiPaola, S., Riebe, C., & Enns, J. T. (2013). Following the masters: Portrait viewing and appreciation is guided by selective detail. *Perception*, *42*(6), 608-630.
- Dimberg, U. (1982). Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology*, *19*(6), 643-647.
- Dissanayake, E. (1992). *Homo aestheticus: Where art comes from and why*. New York: Free Press.
- Dubner, R., & Zeki, S. M. (1971). Response properties and receptive fields of cells in an anatomically defined region of the superior temporal sulcus in the monkey. *Brain research*.
- Duchaine, B., & Yovel, G. (2015). A revised neural framework for face processing. *Annual Review of Vision Science*, *1*, 393-416.
- Dobkins, K. R., Fine, I., Hsueh, A. C., & Vitten, C. (2004). Pattern motion integration in infants. *Journal of Vision*, *4*(3), 144-155.
- Dundas, E., Gastgeb, H., & Strauss, M. S. (2012). Left visual field biases when infants process faces: A comparison of infants at high-and low-risk for autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, *42*(12), 2659-2668.
- Dunn, K., Reissland, N., & Reid, V. M. (2015). The functional foetal brain: a systematic preview of methodological factors in reporting foetal visual and auditory capacity. *Developmental cognitive neuroscience*, *13*, 43-52.
- Dupierrix, E., Hillairet de Boisferon, A., Méary, D., Lee, K., Quinn, P. C., Di Giorgio, E., ... Pascalis, O. (2014). Preference for human eyes in human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, *123*, 138-146.
- Dutton, D. (2009). *The art instinct: Beauty, pleasure, & human evolution*. Oxford University Press, USA.
- Ekman, P. (1992). Facial expressions of emotion: New findings, new questions.
- Ekman, P. (1999). Basic emotions. *Handbook of cognition and emotion*, *98*(45-60), 16.
- Enquist, M., & Arak, A. (1994). Symmetry, beauty and evolution. *Nature*, *372*(6502), 169.

- Epstein, R., Harris, A., Stanley, D., & Kanwisher, N. (1999). The parahippocampal place area: Recognition, navigation, or encoding?. *Neuron*, 23(1), 115-125.
- Ewald, O., & Krentz, U. (2008). Beauty and Beholders: Are past intuitions correct?
- Fagan III, J. F. (1974). Infant recognition memory: The effects of length of familiarization and type of discrimination task. *Child Development*, 351-356.
- Fagan, J. F., Singer, L. T., Montie, J. E., & Shepherd, P. A. (1986). Selective screening device for the early detection of normal or delayed cognitive development in infants at risk for later mental retardation. *Pediatrics*, 78(6), 1021-1026.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26(2), 471-479.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(3), 340-347.
- Fantz, R. L. (1957). Form preferences in newly hatched chicks. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 50(5), 422.
- Fantz, R. L. (1958a). Pattern Vision in Young Infants. *The Psychological Record*, 8, 43.
- Fantz, R. L. (1958b). Visual discrimination in a neonate chimpanzee. *Perceptual and Motor Skills*, 8(3), 59-66.
- Fantz, R. L. (1964). Visual experience in infants: Decreased attention to familiar patterns relative to novel ones. *Science*, 146(3644), 668-670.
- Fantz, R. L., & Fagan, J. F. (1975). Visual Attention to Size and Number of Pattern Details by Term and Preterm Infants during the First Six Months. *Child Development*, 46(1), 3. doi:10.2307/1128828
- Fantz, R. L., & Miranda, S. B. (1975). Newborn infant attention to form of contour. *Child Development*, 224-228.
- Farroni, T., Menon, E., Rigato, S., & Johnson, M. H. (2007). The perception of facial expressions in newborns. *European Journal of Developmental Psychology*, 4(1), 2-13.
- Fechner, G. T. (1865). Über die Frage des goldenen Schnittes [On the question of the golden section]. *Archiv für die zeichnenden Künste*, 11, 100-112.
- Fechner, G. T. (1876). *Vorschule der Aesthetik* [Experimental aesthetics]. Leipzig, Germany: Breitkopf & Haertel.
- Felleman, D. J., & Van, D. E. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, 1(1), 1-47.
- Field, T. M., Cohen, D., Garcia, R., & Greenberg, R. (1984). Mother-stranger face discrimination by the newborn. *Infant Behavior and development*, 7(1), 19-25.
- Fisher, C. B., Ferdinandsen, K. & Bornstein, M. H. (1981). The role of symmetry in infant form discrimination. *Child Development*, 52, 457- 462.

- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind* Cambridge, MA: *Bradford*.
- Franklin, A., Bevis, L., Ling, Y., & Hurlbert, A. (2010). Biological components of colour preference in infancy. *Developmental Science*, *13*(2), 346–354. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00884.x
- Fredrikson, M., Annas, P., Fischer, H., & Wik, G. (1996). Gender and age differences in the prevalence of specific fears and phobias. *Behaviour Research and Therapy*, *34*, 33–39.
- Fuchs, I., Ansorge, U., Redies, C., & Leder, H. (2011). Salience in paintings: bottom-up influences on eye fixations. *Cognitive Computation*, *3*(1), 25-36.
- Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, *31*(3–5), 373–385.
- Gartus, A., & Leder, H. (2013). The small step toward asymmetry: Aesthetic judgment of broken symmetries. *i-Perception*, *4*(5), 361-364.
- Gallese V., & Di Dio C. (2012). Neuroesthetics. The body in aesthetic experience. In: *Ramachandran V., editor. Encyclopedia of Human Behavior. 2nd Edition*. San Diego (CA): Academic Press.
- Gawronski, B., Hofmann, W., & Wilbur, C. J. (2006). Are “implicit” attitudes unconscious?. *Consciousness and cognition*, *15*(3), 485-499.
- Geldart, S., Maurer, D., & Carney, K. (1999). Effects of eye size on adults' aesthetic ratings of faces and 5-month-olds' looking times. *Perception*, *28*(3), 361-374.
- Gerger, G., Leder, H., & Kremer, A. (2014). Context effects on emotional and aesthetic evaluations of artworks and IAPS pictures. *Acta Psychologica*, *151*, 174-183.
- Germine, L., Russell, R., Bronstad, P. M., Blokland, G. A., Smoller, J. W., Kwok, H., ... & Wilmer, J. B. (2015). Individual aesthetic preferences for faces are shaped mostly by environments, not genes. *Current Biology*, *25*(20), 2684-2689.
- Glaholt, M. G., & Reingold, E. M. (2009). Stimulus exposure and gaze bias: A further test of the gaze cascade model. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *71*(3), 445-450.
- Glaholt, M. G., Wu, M. C., & Reingold, E. M. (2009). Predicting preference from fixations. *PsychNology Journal*, *7*(2), 141-158.
- Gliga, T., & Dehaene-Lambertz, G. (2005). Structural encoding of body and face in human infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(8), 1328–1340.
- Gómez-Puerto, G., Munar, E., Acedo, C., & Gomila, A. (2013). Is the human initial preference for rounded shapes universal? Preliminary results of an ongoing cross-cultural research. *Perception ECVF abstract*, *42*, 102-102.
- Gordon, P. C., & Holyoak, K. J. (1983). Implicit learning and generalisation of the “mere exposure” effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, *45*, 492-500.
- Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, *56*(4), 544-549.

- Graf, L. K., & Landwehr, J. R. (2015). A dual-process perspective on fluency-based aesthetics: The pleasure-interest model of aesthetic liking. *Personality and Social Psychology Review*, 19(4), 395-410.
- Graham, R. (2016). Safer Internet Day 2016 – Staying Safe Online. Accessed December 17, 2017. <http://www.comresglobal.com/safer-internet-day-2016-staying-safe-online/>.
- Graham, D. J., Friedenberg, J. D., McCandless, C. H., & Rockmore, D. N. (2010, February). Preference for art: similarity, statistics, and selling price. In *Human Vision and Electronic Imaging XV* (Vol. 7527, p. 75271A). International Society for Optics and Photonics.
- Graham, D. J., Friedenberg, J. D., Rockmore, D. N., & Field, D. J. (2010). Mapping the similarity space of paintings: image statistics and visual perception. *Visual cognition*, 18(4), 559-573.
- Green, D. G., Powers, M. K., & Banks, M. S. (1980). Depth of focus, eye size and visual acuity. *Vision research*, 20(10), 827-835.
- Griffey, J. A., & Little, A. C. (2014). Infant's visual preferences for facial traits associated with adult attractiveness judgements: Data from eye-tracking. *Infant Behavior and Development*, 37(3), 268-275.
- Grombrich, E. (1960). *Art and Illusion*. Princeton: Princeton University Press.
- Guo, K., Meints, K., Hall, C., Hall, S., & Mills, D. (2009). Left gaze bias in humans, rhesus monkeys and domestic dogs. *Animal cognition*, 12(3), 409-418.
- Guyer, P. (2017). Seventy-Five Years of Kant... and Counting. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 75(4), 351-362.
- Hainline, L. (1984). Characteristics of saccades in human infants. *Vision Research*, 24(12), 1771-1780.
- Haith, M. M. (1980). *Rules that babies look by: The organization of newborn visual activity*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Hajcak, G., Weinberg, A., MacNamara, A., & Foti, D. (2012). ERPs and the study of emotion. *The Oxford handbook of event-related potential components*, 441, 474.
- Hanich, J., Wagner, V., Shah, M., Jacobsen, T., & Menninghaus, W. (2014). Why we like to watch sad films. The pleasure of being moved in aesthetic experiences. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 8, 130-143.
- Harel, J., Koch, C., & Perona, P. (2007). Graph-based visual saliency. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 545-552).
- Hartley, J., & Homa, D. (1981). Abstraction of stylistic concepts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 7, 33-46.
- Hartmann, E. E., & Banks, M. S. (1992). Temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 32(6), 1163-1168.
- Haselton, M. G., & Buss, D. M. (2000). Error management theory: A new perspective on biases in cross-sex mind reading. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78, 81-91.

- Hayden, B. Y., Parikh, P. C., Deaner, R. O., & Platt, M. L. (2007). Economic principles motivating social attention in humans. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1619), 1751-1756.
- Hekkert, P., & van Wieringen, P. C. (1990). Complexity and prototypicality as determinants of the appraisal of cubist paintings. *British journal of psychology*, 81(4), 483-495.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annual review of psychology*, 50(1), 243-271.
- Hertz-Pannier, L., Noulhiane, M., Dubois, J., & Chiron, C. (2013). Mieux comprendre le développement cérébral grâce aux nouvelles techniques d'IRM anatomique et fonctionnelle: fantasme scientifique? Outil clinique?. *Médecine thérapeutique/ Pédiatrie*, 16(3), 167-178.
- Hock, H. S., & Nichols, D. F. (2013). The perception of object versus objectless motion. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(4), 726-737.
- Hodsoll, S., Viding, E., & Lavie, N. (2011). Attentional capture by irrelevant emotional distractor faces. *Emotion*, 11(2), 346.
- Hoehl, S., Hellmer, K., Johansson, M., & Gredebäck, G. (2017). Itsy bitsy spider...: Infants react with increased arousal to spiders and snakes. *Frontiers in psychology*, 8, 1710.
- Holmboe, K., Fearon, R. P., Csibra, G., Tucker, L. A., & Johnson, M. H. (2008). Freeze-Frame: A new infant inhibition task and its relation to frontal cortex tasks during infancy and early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(2), 89-114.
- Hönekopp, J. (2006). Once more: is beauty in the eye of the beholder? Relative contributions of private and shared taste to judgments of facial attractiveness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(2), 199.
- Hood, B. M. (1993). Inhibition of return produced by covert shifts of visual attention in 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 16(2), 245-254.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1969). Visual area of the lateral suprasylvian gyrus (Clare—Bishop area) of the cat. *The Journal of physiology*, 202(1), 251-260.
- Hughes, C., & Russell, J. (1993). Autistic children's difficulty with mental disengagement from an object: Its implications for theories of autism. *Developmental psychology*, 29(3), 498.
- Hume, D. (2012). La règle du goût [1757], trad. *Mille et une nuits*, Fayard.
- Humphrey, D. (1997). Preferences in symmetries and asymmetries in drawings: Asymmetries between ages and sexes. *Empirical Studies of the Arts*, 15(1), 41-60.
- Hurlbert, A. C., & Ling, Y. (2007). Biological components of sex differences in color preference. *Current biology*, 17(16), R623-R625.
- Imamoglu, Ç. (2000). Complexity, liking and familiarity: architecture and nonarchitecture turkish students'assessments of traditional and modern house facades. *Journal of Environmental Psychology*, 20(1), 5-16.

- Isbell, L. A. (2006). Snakes as agents of evolutionary change in primate brains. *Journal of Human Evolution*, 51, 1–35.
- Isbell, L. A. (2009). *The fruit, the tree, and the serpent. Why we see so well*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, (11), 1254-1259.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision research*, 40(10-12), 1489-1506.
- Isham, E. A., & Geng, J. J. (2013). Looking time predicts choice but not aesthetic value. *PLoS one*, 8(8), e71698.
- Ishizu, T., & Zeki, S. (2011). Toward a brain-based theory of beauty. *PLoS One*, 6(7), e21852. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0021852>.
- Ishizu, T., & Zeki, S. (2013). The brain's specialized systems for aesthetic and perceptual judgment. *European Journal of Neuroscience*, 37(9), 1413-1420.
- Jacobs, M. H. (2009). Why do we like or dislike animals?. *Human Dimensions of Wildlife*, 14(1), 1-11.
- Jacobs, M. (2011). Psychology of the visual landscape. *Research in Urbanism Series*, 2(1), 41-54.
- Jacobsen, T. (2004). Individual and group modelling of aesthetic judgment strategies. *British Journal of Psychology*, 95, 41–56.
- Jacobsen, T., & Höfel, L. (2001). Aesthetics electrified: An analysis of descriptive symmetry and evaluative aesthetic judgment processes using event-related brain potentials. *Empirical Studies in the Arts*, 19, 177–190.
- Jacobsen, T., & Höfel, L. (2002). Aesthetic judgments of novel graphic patterns: Analyses of individual judgments. *Perceptual and Motor Skills*, 95, 755–766.
- Jacobsen, T., & Höfel, L. (2003). Descriptive and evaluative judgment processes: Behavioral and electrophysiological indices of processing symmetry and aesthetics. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 3, 289–299.
- Jacobsen, T., & Höfel, L. (2003). Descriptive and evaluative judgment processes: Behavioral and electrophysiological indices of processing symmetry and aesthetics. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 289-299.
- Jacobsen, T., Schubotz, R. I., Höfel, L., & Cramon, D. Y. V. (2006). Brain correlates of aesthetic judgment of beauty. *Neuroimage*, 29(1), 276-285.
- James, W., 1890. *The principles of psychology*, Vol. 2. New York: Dover. (Reissued, 1950.)
- Jadva, V., Hines, M., & Golombok, S. (2010). Infants' preferences for toys, colors, and shapes: Sex differences and similarities. *Archives of sexual behavior*, 39(6), 1261-1273.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & psychophysics*, 14(2), 201-211.

- Johnson, M. H. (1990). Cortical maturation and the development of visual attention in early infancy. *Journal of cognitive neuroscience*, 2(2), 81-95.
- Johnson, M. H. (1995). The inhibition of automatic saccades in early infancy. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 28(5), 281-291.
- Johnson, M. H. (2006). Biological motion: a perceptual life detector?. *Current Biology*, 16(10), R376-R377.
- Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Components of visual orienting in early infancy: Contingency learning, anticipatory looking, and disengaging. *Journal of cognitive neuroscience*, 3(4), 335-344.
- Johnston, V. (2003). The origin and function of pleasure. *Cognition & Emotion*, 17(2), 167–179.
- Jones, D., & Hill, K. (1993). Criteria of facial attractiveness in five populations. *Human Nature*, 4(3), 271-296.
- Joye, Y. (2007). Architectural lessons from environmental psychology: The case of biophilic architecture. *Review of general psychology*, 11(4), 305-328.
- Judd, T., Durand, F., & Torralba, A. (2011). Fixations on low-resolution images. *Journal of Vision*, 11(4), 14-14.
- Kant, E. (1985). Critique de la faculté de juger [1790], trad. Renault, Paris, Flammarion.
- Kanazawa, S., Kitaoka, A., & Yamaguchi, M. K. (2013). Infants see illusory motion in static figures. *Perception*, 42(8), 828-834.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of neuroscience*, 17(11), 4302-4311.
- Kaplan, S., Kaplan, R., & Wendt, J. S. (1972). Rated preference and complexity for natural and urban visual material. *Perception & Psychophysics*, 12(4), 354-356.
- Kawabata, H., & Zeki, S. (2004). Neural correlates of beauty. *Journal of neurophysiology*, 91(4), 1699-1705.
- Kellman, P. J., & Arterberry, M. E. (2007). Infant visual perception. *Handbook of child psychology*, 2.
- Kelly, D. J., Liu, S., Lee, K., Quinn, P. C., Pascalis, O., Slater, A. M., & Ge, L. (2009). Development of the other-race effect during infancy: Evidence toward universality?. *Journal of experimental child psychology*, 104(1), 105-114.
- Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Ge, L., & Pascalis, O. (2007). The other-race effect develops during infancy: evidence of perceptual narrowing. *Psychological Science*, 18, 1084–1089.
- Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Gibson, A., Smith, M., ... Pascalis, O. (2005). Three month olds, but not newborn, prefer own race face. *Developmental Science*, 8, 31–36.

- Kidd, C., Piantadosi, S. T., & Aslin, R. N. (2012). The Goldilocks Effect: Human Infants Allocate Attention to Visual Sequences That Are Neither Too Simple Nor Too Complex. *PLoS ONE*, 7(5), e36399. doi: 10.1371/journal.pone.0036399
- Killin, A. (2013). The arts and human nature: evolutionary aesthetics and the evolutionary status of art behaviours. *Biology & Philosophy*, 28(4), 703-718.
- Kirk, U. (2008). The neural basis of object-context relationships on aesthetic judgment. *PLoS One*, 3(11), e3754. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0003754>.
- Kirk, U., Skov, M., Christensen, M.S., & Nygaard, N. (2009). Brain correlates of aesthetic expertise: a parametric fMRI study. *Brain Cogn.* 69, 306–315.
- Kirk, U., Skov, M., Hulme, O., Christensen, M. S., & Zeki, S. (2009). Modulation of aesthetic value by semantic context: An fMRI study. *Neuroimage*, 44(3), 1125-1132.
- Klossek, U. M., & Dickinson, A. (2012). Rational action selection in 1½-to 3-year-olds following an extended training experience. *Journal of experimental child psychology*, 111(2), 197-211.
- Krentz, U. C., & Earl, R. K. (2013). The baby as beholder: Adults and infants have common preferences for original art. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 7(2), 181.
- Kristjanson, A. F., Antes, J. R., & Kristjanson, A. K. (1989). Eye movement analysis of artists and nonartists viewing paintings. *Visual Arts Research*, 21-30.
- Kobayashi, M., Kakigi, R., Kanazawa, S., & Yamaguchi, M. K. (2020). Infants' recognition of their mothers' faces in facial drawings. *Developmental Psychobiology*.
- Kobayashi, M., Otsuka, Y., Nakato, E., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Kakigi, R. (2012). Do infants recognize the Arcimboldo images as faces? Behavioral and near-infrared spectroscopic study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(1), 22-36.
- Kühn, S., & Gallinat, J. (2012). The neural correlates of subjective pleasantness. *Neuroimage*, 61(1), 289-294.
- Kuhlmeier, V. A., Troje, N. F., & Lee, V. (2010). Young Infants Detect the Direction of Biological Motion in Point-Light Displays: Detecting the direction of biological motion. *Infancy*, 15(1), 83–93. doi: 10.1111/j.1532-7078.2009.00003.x
- Kushnerenko, E., Ceponiene, R., Balan, P., Fellman, V., Huotilainen, M., & Näätänen, R. (2002). Maturation of the auditory event-related potentials during the first year of life. *Neuroreport*, 13(1), 47-51.
- LaBarbera, J. D., Izard, C. E., Vietze, P., & Parisi, S. A. (1976). Four- and six-month-old infants' visual responses to joy, anger, and neutral expressions. *Child Development*, 535-538.
- Lacoste, J. (2008). Le problème de l'esthétique. *Que sais-je?*, 9(1887), 21-44.
- Lamarque, P. (2010). The uselessness of art. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 68(3), 205-214.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1999). International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings. *The center for research in psychophysiology, University of Florida*.

- Langeslag, S. J., & Van Strien, J. W. (2018). Early visual processing of snakes and angry faces: an ERP study. *Brain research*, 1678, 297-303.
- Langlois, J. H., & Roggman, L. A. (1990). Attractive faces are only average. *Psychological science*, 1(2), 115-121.
- Langlois, J. H., Roggman, L. A., Casey, R. J., Ritter, J. M., Rieser-Danner, L. A., & Jenkins, V. Y. (1987). Infant preferences for attractive faces: Rudiments of a stereotype?. *Developmental psychology*, 23(3), 363.
- Langlois, J. H., Ritter, J. M., Roggman, L. A., & Vaughn, L. S. (1991). Facial diversity and infant preferences for attractive faces. *Developmental Psychology*, 27(1), 79.
- Lazarus, R. S. (1991). Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. *American psychologist*, 46(8), 819.
- Leber, A. B. (2010). Neural predictors of within-subject fluctuations in attentional control. *Journal of Neuroscience*, 30(34), 11458-11465.
- Leder, H. (2013). Next steps in neuroaesthetics: Which processes and processing stages to study?. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 7(1), 27.
- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., & Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British journal of psychology*, 95(4), 489-508.
- Leder, H., Carbon, C. C., & Ripsas, A. L. (2006). Entitling art: Influence of title information on understanding and appreciation of paintings. *Acta psychologica*, 121(2), 176-198.
- Leder, H., Goller, J., Rigotti, T., & Forster, M. (2016). Private and shared taste in art and face appreciation. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 155.
- Leder, H., Gerger, G., & Brieber, D. (2015). Aesthetic appreciation: Convergence from experimental aesthetics and physiology. In Huston, J. P., Nadal, M., Mora, F., Agnati, L. F., & Conde, C. J. C. (Eds.). (2015). *Art, aesthetics, and the brain*. Oxford University Press: Oxford.
- Leder, H., Gerger, G., Brieber, D., & Schwarz, N. (2014). What makes an art expert? Emotion and evaluation in art appreciation. *Cognition and Emotion*, 28(6), 1137-1147.
- Leder, H., Gerger, G., Dressler, S. G., & Schabmann, A. (2012). How art is appreciated. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(1), 2.
- Leder, H., Mitrovic, A., & Goller, J. (2016). How beauty determines gaze! facial attractiveness and gaze duration in images of real world scenes. *i-Perception*, 7(4), 2041669516664355.
- Leder, H., & Nadal, M. (2014). Ten years of a model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments: The aesthetic episode—Developments and challenges in empirical aesthetics. *British Journal of Psychology*, 105(4), 443-464.
- Leder, H., Tinio, P. P., Fuchs, I. M., & Bohrn, I. (2010). When attractiveness demands longer looks: The effects of situation and gender. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 63(9), 1858-1871.
- LeDoux, J. (1998). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon and Schuster.

- Lee, S. M., Gao, T., & McCarthy, G. (2012). Attributing intentions to random motion engages the posterior superior temporal sulcus. *Social cognitive and affective neuroscience*, 9(1), 81-87.
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718–729. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.001>
- Leo, I., & Simion, F. (2009). Newborns' Mooney-Face Perception. *Infancy*, 14(6), 641-653.
- Leon, M. J. A. (2008). The rational justification of aesthetic judgments. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 66(3), 291-300.
- Leppänen, J. M., & Nelson, C. A. (2009). Tuning the developing brain to social signals of emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(1), 37-47.
- Lien, M. C., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (2010). Attentional capture with rapidly changing attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(1), 1.
- Little, A. C., Jones, B. C., & DeBruine, L. M. (2011). Facial attractiveness: evolutionary based research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1571), 1638-1659.
- LoBue, V. (2014). Deconstructing the snake: The relative roles of perception, cognition, and emotion on threat detection. *Emotion*, 14(4), 701.
- LoBue, V., & DeLoache, J. S. (2008). Detecting the snake in the grass: Attention to fear-relevant stimuli by adults and young children. *Psychological science*, 19(3), 284-289.
- LoBue, V., & DeLoache, J. S. (2010). Superior detection of threat-relevant stimuli in infancy. *Developmental science*, 13, 221-228.
- Lobue, V., & Deloache, J. S. (2011). What's so special about slithering serpents? Children and adults rapidly detect snakes based on their simple features. *Visual Cognition*, 19(1), 129-143.
- Locher, P. (2006). The usefulness of eye movement recordings to subject an aesthetic episode with visual art to empirical scrutiny. *Psychology Science*, 48(2), 106.
- Locher, P., Gray, S., & Nodine, C. (1996). The structural framework of pictorial balance. *Perception*, 25(12), 1419-1436.
- Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological bulletin*, 116(1), 75.
- Ludemann, P. M., & Nelson, C. A. (1988). Categorical representation of facial expressions by 7-month-old infants. *Developmental Psychology*, 24(4), 492.
- Lundholm, H. (1921). The Affective Tone of Lines: Experimental Researches. *Psychological Review*, 28(1), 43.

- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288(5472), 1835-1838.
- Mackworth, N. H., & Morandi, A. J. (1967). The gaze selects informative details within pictures. *Perception & psychophysics*, 2(11), 547-552.
- Martindale, C. (1984). The pleasures of thought: A theory of cognitive hedonics. *The Journal of Mind and Behavior*, 49-80.
- Mason, A. J., Braddick, O. J., & Wattam-Bell, J. (2003). Motion coherence thresholds in infants—different tasks identify at least two distinct motion systems. *Vision Research*, 43(10), 1149–1157.
- Massaro, D., Savazzi, F., Di Dio, C., Freedberg, D., Gallese, V., Gilli, G., & Marchetti, A. (2012). When art moves the eyes: a behavioral and eye-tracking study. *PloS one*, 7(5), e37285.
- Matusz, P. J., Broadbent, H., Ferrari, J., Forrest, B., Merkley, R., & Scerif, G. (2015). Multi-modal distraction: Insights from children’s limited attention. *Cognition*, 136, 156-165.
- Maunsell, J. H., & van Essen, D. C. (1983). The connections of the middle temporal visual area (MT) and their relationship to a cortical hierarchy in the macaque monkey. *Journal of Neuroscience*, 3(12), 2563-2586.
- McManus, I. C. (1980). The aesthetics of simple figures. *British Journal of Psychology*, 71(4), 505-524.
- McManus, I. C. (2005). Symmetry and asymmetry in aesthetics and the arts. *European Review*, 13(S2), 157-180.
- McManus, I. C., Cook, R., & Hunt, A. (2010). Beyond the golden section and normative aesthetics: why do individuals differ so much in their aesthetic preferences for rectangles?. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(2), 113.
- McManus, I. C., Jones, A. L., & Cottrell, J. (1981). The aesthetics of colour. *Perception*, 10(6), 651-666.
- McManus, I. C., & Kitson, C. M. (1995). Compositional geometry in pictures. *Empirical Studies of the Arts*, 13(1), 73-94.
- McManus, I. C., & Weatherby, P. (1997). The golden section and the aesthetics of form and composition: a cognitive model. *Empirical studies of the arts*, 15(2), 209-232.
- Mealey, L., Bridgstock, R., & Townsend, G. C. (1999). Symmetry and perceived facial attractiveness: a monozygotic co-twin comparison. *Journal of personality and social psychology*, 76(1), 151.
- Méary, D., Kitromilides, E., Mazens, K., Graff, C., & Gentaz, E. (2007). Four-day-old human neonates look longer at non-biological motions of a single point-of-light. *PloS one*, 2(1), e186.
- Mercer, M. E., Courage, M. L., & Adams, R. J. (1991). Contrast/color card procedure: a new test of young infants' color vision. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 68(7), 522-532.

- Miyazaki, M., Takahashi, H., Rolf, M., Okada, H., & Omori, T. (2014). The image-scratch paradigm: a new paradigm for evaluating infants' motivated gaze control. *Scientific reports*, 4, 5498.
- Milewski, A. E. (1976). Infants' Discrimination of Internal and External Pattern Elements. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22, 229–246.
- Milewski, A. E. (1978). Young infants' visual processing of internal and adjacent shapes. *Infant Behavior and Development*, 1, 359–371.
- Miller, G. F. (2001). Aesthetic fitness: How sexual selection shaped artistic virtuosity as a fitness indicator and aesthetic preferences as mate choice criteria. *Bulletin of Psychology and the Arts*, 2 (1), 20–25.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Mineka, S., Davidson, M., Cook, M., & Keir, R. (1984). Observational conditioning of snake fear in rhesus monkeys. *Journal of Abnormal Psychology*, 93, 355–372.
- Mirsky, A. F., Anthony, B. J., Duncan, C. C., Ahearn, M. B., & Kellam, S. G. (1991). Analysis of the elements of attention: A neuropsychological approach. *Neuropsychology review*, 2(2), 109-145.
- Molnar, F. (1981). About the role of visual exploration in aesthetics. In *Advances in intrinsic motivation and aesthetics* (pp. 385-413). Springer, Boston, MA.
- Mooney, C. M. (1957). Age in the development of closure ability in children. *Canadian Journal of Psychology*, 11, 216–226.
- Moore, D. G., Goodwin, J. E., George, R., Axelsson, E. L., & Braddick, F. M. (2007). Infants perceive human point-light displays as solid forms. *Cognition*, 104(2), 377–396. doi:10.1016/j.cognition.2006.07.007
- Moukaddem, R. (2018). *L'école D'Athènes : Approche descriptive de la fresque de Raffaello Santi*. <http://ittijah.com/wp-content/uploads/2018/02/ittijah38-french.pdf>
- Mottier, H., Pascalis, O., Quinn, P., & Meary, D. (en révision). From 4 months, infants have a sense of beauty for kinetic dot displays. *Infancy*
- Mulcahy, P. (2015). *Basic aesthetic features and their influence on attention and performance* (Doctoral dissertation).
- Myszkowski, N., & Zenasni, F. (2016). Individual differences in aesthetic ability: The case for an aesthetic quotient. *Frontiers in psychology*, 7, 750.
- Nadal, M. (2013). The experience of art: insights from neuroimaging. In *Progress in Brain Research* (Vol. 204, pp. 135-158). Elsevier.
- Nadal, M., Munar, E., Marty, G., & Cela-Conde, C. J. (2010). Visual complexity and beauty appreciation: Explaining the divergence of results. *Empirical Studies of the Arts*, 28(2), 173-191.

- Nayak, B. K., & Karmakar, S. (2019). A Review of Eye Tracking Studies Related to Visual Aesthetic Experience: A Bottom-Up Approach. In *Research into Design for a Connected World* (pp. 391-403). Springer, Singapore.
- Nelson, C. A. (2001). The development and neural bases of face recognition. *Infant and Child Development: An International Journal of Research and Practice*, 10(1-2), 3-18.
- Nicki, R. M., & Moss, V. (1975). Preference for non-representational art as a function of various measures of complexity. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 29(3), 237.
- Noguchi, Y., & Murota, M. (2013). Temporal dynamics of neural activity in an integration of visual and contextual information in an esthetic preference task. *Neuropsychologia*, 51(6), 1077-1084.
- Norcia, A. M., Tyler, C. W., & Allen, D. A. L. E. (1986). Electrophysiological assessment of contrast sensitivity in human infants. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 63(1), 12-15.
- Northoff, G., & Bermpohl, F. (2004). Cortical midline structures and the self. *Trends in cognitive sciences*, 8(3), 102-107.
- Öhman, A. (2009). Of snakes and faces: An evolutionary perspective on the psychology of fear. *Scandinavian journal of psychology*, 50(6), 543-552.
- Öhman, A., Dimberg, U., & Öst, L. G. (1985). Animal and social phobias: Biological constraints on learned fear responses. *Theoretical issues in behavior therapy*, 123-175.
- Öhman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 466-478.
- Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological review*, 108(3), 483.
- Öhman, A., & Mineka, S. (2003). The malicious serpent: Snakes as a prototypical stimulus for an evolved module of fear. *Current directions in psychological science*, 12(1), 5-9.
- O’Gilmore, R., & Johnson, M. H. (1995). Working memory in infancy: six-month-olds’ performance on two versions of the oculomotor delayed response task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59(3), 397-418.
- Omori, E., & Watanabe, S. (1996). Discrimination of Johansson’s stimuli in pigeons. *Int J Comp Psychol*, 9, 92.
- Oppenheimer, D. M. (2008). The secret life of fluency. *Trends in cognitive sciences*, 12(6), 237-241.
- Orians, G. H. (1986). An ecological and evolutionary approach to landscape aesthetics. *Landscape meanings and values*.
- Otsuka, Y. (2014). Face recognition in infants: A review of behavioral and near-infrared spectroscopic studies. *Japanese Psychological Research*, 56(1), 76-90.

- Otsuka, Y., Hill, H. C., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Spehar, B. (2012). Perception of Mooney faces by young infants: The role of local feature visibility, contrast polarity, and motion. *Journal of Experimental Child Psychology, 111*(2), 164-179.
- Palmer, S. E., Schloss, K. B., & Sammartino, J. (2013). Visual aesthetics and human preference. *Annual review of psychology, 64*, 77-107.
- Papeo, L., Wurm, M. F., Oosterhof, N. N., & Caramazza, A. (2017). The neural representation of human versus nonhuman bipeds and quadrupeds. *Scientific reports, 7*(1), 14040.
- Parducci, A., Knobel, S., & Thomas, C. (1976). Independent contexts for category ratings: A range-frequency analysis. *Perception & Psychophysics, 20*(5), 360-366.
- Parsons, M. J. (1987). *How we understand art: A cognitive developmental account of aesthetic experience*. Cambridge University Press.
- Pascalis, O., de Schonen, S., Morton, J., Deruelle, C., & Fabre-Grenet, M. (1995). Mother's face recognition by neonates: A replication and an extension. *Infant Behavior and Development, 18*(1), 79-85.
- Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is face processing species-specific during the first year of life?. *Science, 296*(5571), 1321-1323.
- Pearce, M. T., Zaidel, D. W., Vartanian, O., Skov, M., Leder, H., Chatterjee, A., & Nadal, M. (2016). Neuroaesthetics: The cognitive neuroscience of aesthetic experience. *Perspectives on Psychological Science, 11*(2), 265-279.
- Pelowski, M., Markey, P. S., Luring, J. O., & Leder, H. (2016). Visualizing the impact of art: An update and comparison of current psychological models of art experience. *Frontiers in human neuroscience, 10*, 160.
- Peltola, M. J., Leppänen, J. M., Palokangas, T., & Hietanen, J. K. (2008). Fearful faces modulate looking duration and attention disengagement in 7-month-old infants. *Developmental science, 11*(1), 60-68.
- Perrett, D. I., Lee, K. J., Penton-Voak, I., Rowland, D., Yoshikawa, S., Burt, D. M., ... & Akamatsu, S. (1998). Effects of sexual dimorphism on facial attractiveness. *Nature, 394*(6696), 884.
- Peterzell, D. H., Werner, J. S., & Kaplan, P. S. (1995). Individual differences in contrast sensitivity functions: Longitudinal study of 4-, 6- and 8-month-old human infants. *Vision research, 35*(7), 961-979.
- Petitot, J. (2008). *Neurogéométrie de la vision : modèles mathématiques et physiques des architectures fonctionnelles*. Editions Ecole Polytechnique.
- Phillips, J. O., Finocchio, D. V., Ong, L., & Fuchs, A. F. (1997). Smooth pursuit in 1- to 4-month-old human infants. *Vision Research, 37*(21), 3009-3020.
- Phillips, F., Norman, J. F., & Beers, A. M. (2010). Fechner's aesthetics revisited. *Seeing and Perceiving, 23* (3), 263-271.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic.
- Piaget, J. (2003; 1960). *The psychology of intelligence*. Routledge.

- Pihko, E., Virtanen, A., Saarinen, V. M., Pannasch, S., Hirvenkari, L., Tossavainen, T., ... & Hari, R. (2011). Experiencing art: the influence of expertise and painting abstraction level. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 94.
- Poffenberger, A. T., & Barrows, B. E. (1924). The Feeling Value of Lines. *Journal of Applied Psychology*, 8(2), 187.
- Pornstein, M. H. & Krinsky, S. J. (1985). Perception of Symmetry in Infancy : The Salience of Vertical Symmetry and the Perception of Patterns Wholes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 39, 1-19.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Keele, S. W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of experimental psychology*, 77(3p1), 353.
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annu. Rev. Psychol.*, 58, 1-23.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Pouivet, R. (2000). On the cognitive functioning of aesthetic emotions. *Leonardo*, 33(1), 49-53.
- Pugach, C., Daley, E., Leder, H., & Graham, D. J. (2014). Aesthetic stability in development. In *Proceedings of the International Association for Empirical Aesthetics Biennial Congress*.
- Pugach, C., Leder, H., & Graham, D. J. (2017). How Stable Are Human Aesthetic Preferences Across the Lifespan?. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 289.
- Quinn, P. C., & Bhatt, R. S. (1998). Visual pop-out in young infants: Convergent evidence and an extension. *Infant Behavior and Development*, 21(2), 273-288.
- Quinn, P. C., Brown, C. R., & Streppa, M. L. (1997). Perceptual organization of complex visual configurations by young infants. *Infant Behavior and Development*, 20(1), 35-46.
- Quinn, P. C., Kelly, D. J., Lee, K., Pascalis, O., & Slater, A. M. (2008). Preference for attractive faces in human infants extends beyond conspecifics. *Developmental science*, 11(1), 76-83.
- Rakison, D. H. (2009). Does women's greater fear of snakes and spiders originate in infancy?. *Evolution and Human Behavior*, 30(6), 438-444.
- Rakison, D. H. (2018). Do 5-month-old infants possess an evolved detection mechanism for snakes, sharks, and rodents?. *Journal of cognition and development*, 19(4), 456-476.
- Rakison, D. H., & Derringer, J. (2008). Do infants possess an evolved spider-detection mechanism?. *Cognition*, 107(1), 381-393.
- Ramachandran, V. S. (2003). The artful brain. Presented talk at the 2003 BBC Reith Lectures, <http://www.bbc.co.uk/radio4/reith2003/lecture3.shtml>.

- Ramachandran, V.S. (2004) A brief tour of human consciousness: from imposter Poodles to purple numbers.
- Ramachandran, V. S., & Hirstein, W. (1999). The science of art: A neurological theory of aesthetic experience. *Journal of consciousness Studies*, 6(6-7), 15-51.
- Ramsey, J. L., Langlois, J. H., Hoss, R. A., Rubenstein, A. J., & Griffin, A. M. (2004). Origins of a stereotype: categorization of facial attractiveness by 6-month-old infants. *Developmental science*, 7(2), 201-211.
- Richards, J. E., Reynolds, G. D., & Courage, M. L. (2010). The neural bases of infant attention. *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 41-46.
- Reber, R., Schwarz, N., & Winkielman, P. (2004). Processing fluency and aesthetic pleasure: Is beauty in the perceiver's processing experience?. *Personality and social psychology review*, 8(4), 364-382.
- Reber, P. J., Stark, C. E. L., & Squire, L. R. (1998). Cortical areas supporting category learning identified using functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(2), 747-750.
- Reber, R., Winkielman, P., & Schwarz, N. (1998). Effects of perceptual fluency on affective judgments. *Psychological science*, 9(1), 45-48.
- Reid, V. M., Hoehl, S., Landt, J., & Striano, T. (2008). Human infants dissociate structural and dynamic information in biological motion: evidence from neural systems. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(2), 161–167. doi: 10.1093/sca/nsn008
- Reid, V. M., Hoehl, S., & Striano, T. (2006). The perception of biological motion by infants: An event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 395(3), 211–214. doi: 10.1016/j.neulet.2005.10.080
- Redies, C. (2007). A universal model of esthetic perception based on the sensory coding of natural stimuli. *Spatial Vision*, 21, 97–117. doi:10.1163/156856807782753886
- Redies, C. (2014). Beauty: neglected, but alive and kicking. *British Journal of Psychology*, 105(4), 468-470.
- Regolin, L., Tommasi, L., & Vallortigara, G. (2000). Visual perception of biological motion in newly hatched chicks as revealed by an imprinting procedure. *Animal Cognition*, 3(1), 53-60.
- Renninger, L. W., Verghese, P., & Coughlan, J. (2007). Where to look next? Eye movements reduce local uncertainty. *Journal of Vision*, 7(3), 6-6.
- Rhodes, G. (2006). The evolutionary psychology of facial beauty. *Annu. Rev. Psychol.*, 57, 199-226.
- Rhodes, G., Chan, J., Zebrowitz, L. A., & Simmons, L. W. (2003). Does sexual dimorphism in human faces signal health?. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(suppl_1), S93-S95.
- Rhodes, G., Proffitt, F., Grady, J. M., & Sumich, A. (1998). Facial symmetry and the perception of beauty. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 659-669.

- Richard, D., Camps, J. F., Eugène, D., Gauthier, M., Gioanni, Y., & Morcillo, A. (2013). *Neurosciences-Tout le cours en fiches: 190 fiches de cours, cas cliniques, QCM corrigés et bonus web*. Dunod.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25(1), 31-40.
- Rodway, P., Kirkham, J., Schepman, A., Lambert, J., & Locke, A. (2016). The development of shared liking of representational but not abstract art in primary school children and their justifications for liking. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 21.
- Röhrbein, F., Goddard, P., Schneider, M., James, G., & Guo, K. (2015). How does image noise affect actual and predicted human gaze allocation in assessing image quality?. *Vision research*, 112, 11-25.
- Rosander, K., & von Hofsten, C. (2002). Development of gaze tracking of small and large objects. *Experimental Brain Research*, 146(2), 257–264.
- Rosch, E. (1983). Prototype classification and logical classification: The two systems. *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory*, 73-86.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive psychology*, 8(3), 382-439.
- Russell, P. A. (2003). Effort after meaning and the hedonic value of paintings. *British Journal of Psychology*, 94(1), 99–110.
- Russell, P. A., & Milne, S. (1997). Meaningfulness and hedonic value of paintings: effects of titles. *Empirical Studies of the Arts*, 15(1), 61–73.
- Rust, N. C., Mante, V., Simoncelli, E. P., & Movshon, J. A. (2006). How MT cells analyze the motion of visual patterns. *Nature neuroscience*, 9(11), 1421-1431.
- Saklofske, D. H. (1975). Visual aesthetic complexity, attractiveness and diversive exploration. *Perceptual and Motor Skills*, 41(3), 813-814.
- Salapatek, P. (1975). Pattern perception in early infancy. In *Infant perception: From sensation to cognition* (pp. 133-248). Academic Press.
- Samuels, C. A., Butterworth, G., Roberts, T., Graupner, L., & Hole, G. (1994). Facial aesthetics: Babies prefer attractiveness to symmetry. *Perception*, 23(7), 823-831.
- Samuels, C. A., & Ewy, R. (1985). Aesthetic perception of faces during infancy. *British Journal of Developmental Psychology*, 3(3), 221-228.
- Savazzi, F., Massaro, D., Di Dio, C., Gallese, V., Gilli, G., & Marchetti, A. (2014). Exploring responses to art in adolescence: a behavioral and eye-tracking study. *PLoS one*, 9(7), e102888.
- Scheib, J. E., Gangestad, S. W., & Thornhill, R. (1999). Facial attractiveness, symmetry and cues of good genes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1431), 1913-1917.

- Scherer, K. R. (2004). Which emotions can be induced by music? What are the underlying mechanisms? And how can we measure them? *Journal of New Music Research*, 33, 239–251.
- Schupp, H. T., Flaisch, T., Stockburger, J., & Junghöfer, M. (2006). Emotion and attention: event-related brain potential studies. *Progress in brain research*, 156, 31-51.
- Schroeder, H., & Daniel, T. C. (1981). Progress in predicting the perceived scenic beauty of forest landscapes. *Forest Science*, 27(1), 71-80.
- Schwarz, N. (1990). Feeling as information: Informational and motivational functions of affective states. In E. T. Higgins & R. M. Sorrentino (Eds.), *Handbook of motivation and cognition*, pp. 527–561. New York: Guilford Press.
- Schwarz, N. (2000). Emotion, cognition, and decision making. *Cognition & Emotion*, 14(4), 433–440.
- Schwarzer, G., & Zauner, N. (2003). Face processing in 8-month-old infants: evidence for configural and analytical processing. *Vision research*, 43(26), 2783-2793.
- Seeley, W. P. (2013). Art, meaning, and perception: a question of methods for a cognitive neuroscience of art. *British Journal of Aesthetics*, 53(4), 443-460.
- Seghers, E. (2015). The artful mind: a critical review of the evolutionary psychological study of art. *British Journal of Aesthetics*, 55(2), 225-248.
- Seligman, M. E. P. (1970). On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*, 77, 406–418.
- Seligman, M. E. P. (1971). Phobias and preparedness. *Behavior therapy*, 2(3), 307-320.
- Serences, J. T. (2008). Value-based modulations in human visual cortex. *Neuron*, 60(6), 1169-1181.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., & Scheier, C. (2003). Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature neuroscience*, 6(12), 1317.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., & Scheier, C. (2003). Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature neuroscience*, 6(12), 1317.
- Shimamura, A. P. (2012). *Toward a science of aesthetics*. In A. P., Shimamura, & S. E. Palmer (Eds.) *Aesthetic science: Connecting minds, brains, and experience*. London: Oxford University Press.
- Skelton, A. E., & Franklin, A. (2020). Infants look longer at colours that adults like when colours are highly saturated. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(1), 78-85.
- Slater, A., Quinn, P. C., Hayes, R., & Brown, E. (2000). The role of facial orientation in newborn infants' preference for attractive faces. *Developmental Science*, 3(2), 181-185.
- Slater, A., Von der Schulenburg, C., Brown, E., Badenoch, M., Butterworth, G., Parsons, S., & Samuels, C. (1998). Newborn infants prefer attractive faces. *Infant Behavior and Development*, 21(2), 345-354.

- Sifre, R., Olson, L., Gillespie, S., Klin, A., Jones, W., & Shultz, S. (2018). A longitudinal investigation of preferential attention to biological motion in 2-to 24-month-old infants. *Scientific reports*, 8(1), 2527.
- Silvia, P. J., & Barona, C. M. (2009). Do people prefer curved objects? Angularity, expertise, and aesthetic preference. *Empirical studies of the arts*, 27(1), 25-42.
- Simion, F., Di Giorgio, E., Leo, I., & Bardi, L. (2011). The processing of social stimuli in early infancy: from faces to biological motion perception. In *Progress in brain research* (Vol. 189, pp. 173-193). Elsevier.
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(2), 809–813.
- Simion, C., & Shimojo, S. (2006). Early interactions between orienting, visual sampling and decision making in facial preference. *Vision research*, 46(20), 3331-3335.
- Simion, C., & Shimojo, S. (2007). Interrupting the cascade: Orienting contributes to decision making even in the absence of visual stimulation. *Perception & psychophysics*, 69(4), 591-595.
- Snowden, R. J., Treue, S., & Andersen, R. A. (1992). The response of neurons in areas V1 and MT of the alert rhesus monkey to moving random dot patterns. *Experimental Brain Research*, 88(2), 389–400.
- Soulages, P. (2009). *Écrits et propos*. Editions Hermann.
- Stamps III, A. E. (2002). Entropy, visual diversity, and preference. *The Journal of general psychology*, 129(3), 300-320.
- Stephens, B. R., & Banks, M. S. (1987). Contrast discrimination in human infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(4), 558.
- Taylor, C., Schloss, K., Palmer, S. E., & Franklin, A. (2013). Color preferences in infants and adults are different. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(5), 916–922. doi: 10.3758/s13423-013-0411-6
- Teller, D. Y. (1981). Color vision in infants. *Development of perception: Psychobiological perspectives*, 2.
- Teller, D. Y., Brooks, T. E., & Palmer, J. (1997). Infant color vision: moving tritan stimuli do not elicit directionally appropriate eye movements in 2-and 4-month-olds. *Vision Research*, 37(7), 899-911.
- Teller, D. Y., Civan, A., & Bronson-Castain, K. (2004). Infants' spontaneous color preferences are not due to adult-like brightness variations. *Visual neuroscience*, 21(3), 397–401.
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & psychophysics*, 50(2), 184-193.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & psychophysics*, 51(6), 599-606.

- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta psychologica*, 135(2), 77-99.
- Thomasson, A. L. (2004). *The ontology of art* (pp. 78-92). Malden, MA: Blackwell.
- Thornhill, R., & Gangestad, S. W. (1994). Human fluctuating asymmetry and sexual behavior. *Psychological Science*, 5(5), 297-302.
- Thornhill, R., & Gangestad, S. W. (1999). Facial attractiveness. *Trends in cognitive sciences*, 3(12), 452-460.
- Thrasher, C., & LoBue, V. (2016). Do infants find snakes aversive? Infants' physiological responses to "fear-relevant" stimuli. *Journal of experimental child psychology*, 142, 382-390.
- Tiddeman, B., Burt, M., & Perrett, D. (2001). Prototyping and transforming facial textures for perception research. *IEEE computer graphics and applications*, 21(5), 42-50.
- Tonder, G. V., & Spehar, B. (2013). The aesthetic appeal of visual qualities. *Handbook of experimental phenomenology: Visual perception of shape, space and appearance*, 395-414.
- Topolinski, S., & Reber, R. (2010). Gaining insight into the "Aha" experience. *Current Directions in Psychological Science*, 19(6), 402-405.
- Torralba, A., Oliva, A., Castelhana, M. S., & Henderson, J. M. (2006). Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search. *Psychological review*, 113(4), 766.
- Tourangeau, R., Rips, L. J., & Rasinski, K. (2000). *The psychology of survey response*. Cambridge University Press.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The Inversion Effect in Biological Motion Perception: Evidence for a "Life Detector"? *Current Biology*, 16(8), 821-824. doi: 10.1016/j.cub.2006.03.022
- Tronick, E. (1972). Stimulus control and the growth of the infant's effective visual field. *Perception & Psychophysics*, 11(5), 373-376.
- Tsao, D. Y., & Livingstone, M. S. (2008). Mechanisms of face perception. *Annu. Rev. Neurosci.*, 31, 411-437.
- Ullman, S., Vidal-Naquet, M., & Sali, E. (2002). Visual features of intermediate complexity and their use in classification. *Nature Neuroscience*. doi: 10.1038/nn870
- Ulrich, R. S. (1983). Aesthetic and affective response to natural environment. In *Behavior and the natural environment* (pp. 85-125). Springer, Boston, MA.
- Ulrich, R. S. (1993). Biophilia, biophobia, and natural landscapes. *The biophilia hypothesis*, 7, 73-137.

- Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). 'What'and 'where'in the human brain. *Current opinion in neurobiology*, 4(2), 157-165.
- Valuch, C., Pflüger, L. S., Wallner, B., Laeng, B., & Ansorge, U. (2015). Using eye tracking to test for individual differences in attention to attractive faces. *Frontiers in psychology*, 6, 42.
- Van Duuren, M., Kendell-Scott, L., & Stark, N. (2003). Early aesthetic choices: Infant preferences for attractive premature infant faces. *International Journal of Behavioral Development*, 27(3), 212-219.
- Van de Cruys, S., & Wagemans, J. (2011). Putting reward in art: a tentative prediction error account of visual art. *i-Perception*, 2(9), 1035-1062.
- van Hooff, J. C., Crawford, H., & Van Vugt, M. (2010). The wandering mind of men: ERP evidence for gender differences in attention bias towards attractive opposite sex faces. *Social cognitive and affective neuroscience*, 6(4), 477-485.
- Vartanian, O., & Goel, V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *Neuroreport*, 15(5), 893-897.
- Vessel, E. A., & Rubin, N. (2010). Beauty and the beholder: highly individual taste for abstract, but not real-world images. *Journal of vision*, 10(2), 18-18.
- Vessel, E.A., Starr, G.G., and Rubin, N. (2012). The brain on art: Intense aesthetic experience activates the default mode network. *Frontiers in Human Neuroscience* 6, 1–17. doi: 10.3389/fnhum.2012.00066.
- Vernetti, A., Smith, T. J., & Senju, A. (2017). Gaze-contingent reinforcement learning reveals incentive value of social signals in young children and adults. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1850), 20162747.
- Villani, D., Morganti, F., Cipresso, P., Ruggi, S., Riva, G., & Gilli, G. (2015). Visual exploration patterns of human figures in action: an eye tracker study with art paintings. *Frontiers in psychology*, 6, 1636.
- Vital-Durand, F. (2014). La vision du tout jeune enfant. *Enfance*, 66(1), 19-40.
- Vogt, S., & Magnussen, S. (2007). Expertise in pictorial perception: eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen. *Perception*, 36(1), 91-100.
- Vuilleumier, P. and Driver, J. (2007). Modulation of visual processing by attention and emotion: windows on causal interactions between human brain regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B 362, 837–55. doi: 10.1098/rstb.2007.2092.
- Wallraven, C., Cunningham, D. W., Rigau, J., Feixas, M., & Sbert, M. (2009, May). Aesthetic appraisal of art: from eye movements to computers. In *Computational Aesthetics 2009: Eurographics Workshop on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging* (pp. 137-144). Eurographics.
- Walker, F., Bucker, B., Anderson, N. C., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2017). Looking at paintings in the Vincent Van Gogh Museum: Eye movement patterns of children and adults. *PloS one*, 12(6), e0178912.

- Walton, K. L. (1970). Categories of art. *The philosophical review*, 79(3), 334-367.
- Walton, K. (2007). Aesthetics-What? Why? and Wherefore?. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 65(2), 147-161.
- Watts, R. (2019). Children's images of beauty: environmental influences on aesthetic preferences. *Education 3-13*, 47(5), 534-554.
- Wattam-Bell, J. (1992). The development of maximum displacement limits for discrimination of motion direction in infancy. *Vision Research*, 32(4), 621-630.
- Wattam-Bell, J. (1996a). Visual motion processing in one-month-old infants: Preferential looking experiments. *Vision Research*, 36(11), 1671-1677.
- Wattam-Bell, J. (1996b). Visual motion processing in one-month-old infants: habituation experiments. *Vision Research*, 36(11), 1679-1685.
- Watanabe, S., Sakamoto, J., & Wakita, M. (1995). Pigeons' Discrimination of Paintings by Monet and Picasso. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 63, 165-174.
- Whitfield, T. A., & Slatter, P. E. (1979). The effects of categorization and prototypicality on aesthetic choice in a furniture selection task. *British Journal of Psychology*, 70(1), 65-75.
- Winkielman, P., & Cacioppo, J. T. (2001). Mind at ease puts a smile on the face: psychophysiological evidence that processing facilitation elicits positive affect. *Journal of personality and social psychology*, 81(6), 989.
- Winkielman, P., Halberstadt, J., Fazendeiro, T., & Catty, S. (2006). Prototypes are attractive because they are easy on the mind. *Psychological science*, 17(9), 799-806.
- Winkielman, P., Schwarz, N., Fazendeiro, T., & Reber, R. (2003). The hedonic marking of processing fluency: Implications for evaluative judgement. In J. Musch & K. C. Klauer (Eds.), *The psychology of evaluation: Affective processes in cognition and emotion*, pp. 189-217. Mahwah, NJ: Erlbaum, Inc.
- Winner, E. (2007). Visual thinking in arts education: Homage to Rudolf Arnheim. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 1(1), 25.
- Xu, J., Yue, S., Menchinelli, F., & Guo, K. (2017). What has been missed for predicting human attention in viewing driving clips?. *PeerJ*, 5, e2946.
- Yang, B. E., & Brown, T. J. (1992). A cross-cultural comparison of preferences for landscape styles and landscape elements. *Environment and behavior*, 24(4), 471-507.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision* (B. Haigh, Trans.) Plenum Press : New York.
- Ylitalo, A. K., Särkkä, A., & Guttorp, P. (2016). What we look at in paintings: A comparison between experienced and inexperienced art viewers. *The Annals of Applied Statistics*, 10(2), 549-574.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of experimental psychology*, 81(1), 141.
- Yue, X., Vessel, E. A., & Biederman, I. (2006). The neural basis of preference for natural scenes. *Journal of Vision*, 6(6), 474-474.

- Young, A. W., Hellowell, D., & Hay, D. C. (2013). Configurational information in face perception. *Perception*, 42(11), 1166-1178.
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of personality and social psychology*, 9(2p2), 1.
- Zangwill, N. (2002). Are there counterexamples to aesthetic theories of art?. *The Journal of aesthetics and art criticism*, 60(2), 111-118.
- Zangwill, N. (2003). Beauty. In *The Oxford Handbook of aesthetics* (pp. 325-343). Oxford University Press.
- Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature neuroscience*, 14(5), 656-661.
- Zahavi, A. (1978). DECORATIVE PATTERNS AND EVOLUTION OF ART. *New Scientist*, 80(1125), 182-184.
- Zemach, I., Chang, S., & Teller, D. Y. (2007). Infant color vision: Prediction of infants' spontaneous color preferences. *Vision Research*, 47(10), 1368–1381. doi: 10.1016/j.visres.2006.09.024
- Zeki, S. M. (1974). Functional organization of a visual area in the posterior bank of the superior temporal sulcus of the rhesus monkey. *The Journal of Physiology*, 236(3), 549-573.
- Zeki, S. (1990). A century of cerebral achromatopsia. *Brain*, 113(6), 1721-1777.
- Zeki, S. (1991). Cerebral akinetopsia (visual motion blindness) a review. *Brain*, 114(2), 811-824.
- Zeki, S. (1992). The visual image in mind and brain. *Scientific American*, 267(3), 68-77.
- Zeki, S. (1993). *A vision of the brain*. Blackwell scientific publications.
- Zeki, S. (1999). *Inner vision: An exploration of art and the brain*. New York, NY: Oxford University Press.
- Zeki, S. (2015). Area V5—a microcosm of the visual brain. *Frontiers in integrative neuroscience*, 9, 21.
- Zeki, S., & Lamb, M. (1994). The neurology of kinetic art. *Brain*, 117(3), 607-636.
- Zhang, W., Tang, X., He, X., & Lai, S. (2018). Attentional bias to beauty with evolutionary benefits: Evidence from aesthetic appraisal of landscape architecture. *Frontiers in psychology*, 9, 71.
- Zhu, J. Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 2223-2232).
- Zuckert, R. (2002). A new look at Kant's theory of pleasure. *The journal of aesthetics and art criticism*, 60(3), 239-252.

Zysset, S., Huber, O., Ferstl, E., & von Cramon, D. Y. (2002). The anterior frontomedian cortex and evaluative judgment: an fMRI study. *Neuroimage*, 15(4), 983-991.

Internet :

https://www.lemonde.fr/archives/article/1979/07/04/le-developpement-du-nouveau-ne-science-et-pediatrie_3055275_1819218.html visité le 10/10/2017

Script Matlab :

GBVS (2012) <https://github.com/Pinoshino/gbvs> visité le 11/10/2018

ANNEXES

Annexe 1 | Questionnaires études 2.a et 3

Les questionnaires ont été distribués à la fin de la tâche de préférence visuelle standard et de préférence en choix forcé aux participants adultes de l'étude sur les portraits et les paysages.

Dans l'étude sur les portraits, une participante a été exclue de notre échantillon car elle présentait des niveaux de connaissance en art largement supérieurs à ceux du reste de notre groupe et pouvait être considérée comme experte en art.

Les pages 220-221 présentent le questionnaire. Les pages 222-223 présentent la plaquette rappelant les huit portraits et leur numéro attribué de l'étude 2.a. Les pages 224-225 présentent la plaquette rappelant les huit paysages et leur numéro attribué de l'étude 3.

Réserver à l'expérimentateur

N° anonymat :
Condition :

Questionnaire : Cognition et Arts Visuels

1. Quel est votre niveau d'expertise en art visuel ?

Cochez la case qui correspond le mieux à votre situation

- Je ne connais presque rien en art visuel
- J'ai quelques notions de base en art (ex. mouvements artistiques, grands peintres, etc.)
- Je me suis beaucoup intéressé-e aux arts visuels dans ma vie privée (autodidacte : lecture, vidéo, visites)
- Je fais (ou ai fait) des études indirectement liées aux arts visuels
- Je fais (ou ai fait) des études directement liées aux arts visuels (ex. histoire de l'art, eaux-Arts, autres)

2. Au cours des trois dernières années, combien de fois avez-vous visité un musée ou une exposition artistique ?

- Jamais
- Exceptionnellement (1 ou 2 fois)
- Occasionnellement (au moins une fois par an)
- Fréquemment (> 5 fois)

3. Citez les peintres qui vous paraissent être les plus célèbres (jusqu'à 5 possibilités)

1	
2	
3	
4	
5	

**Parmi les 10 peintures présentées,
lesquelles aviez-vous déjà vu avant cette étude ?**

- Tableau 1
- Tableau 2
- Tableau 3
- Tableau 4
- Tableau 5
- Tableau 6
- Tableau 7
- Tableau 8

**Connaissez-vous le nom des peintres d'une ou plusieurs œuvres d'art
présentées dans cette étude ?** Merci d'indiquer le nom du peintre en face du
tableau correspondant ci-dessus (même si vous n'en êtes pas certain)

Tableau 01



Tableau 02

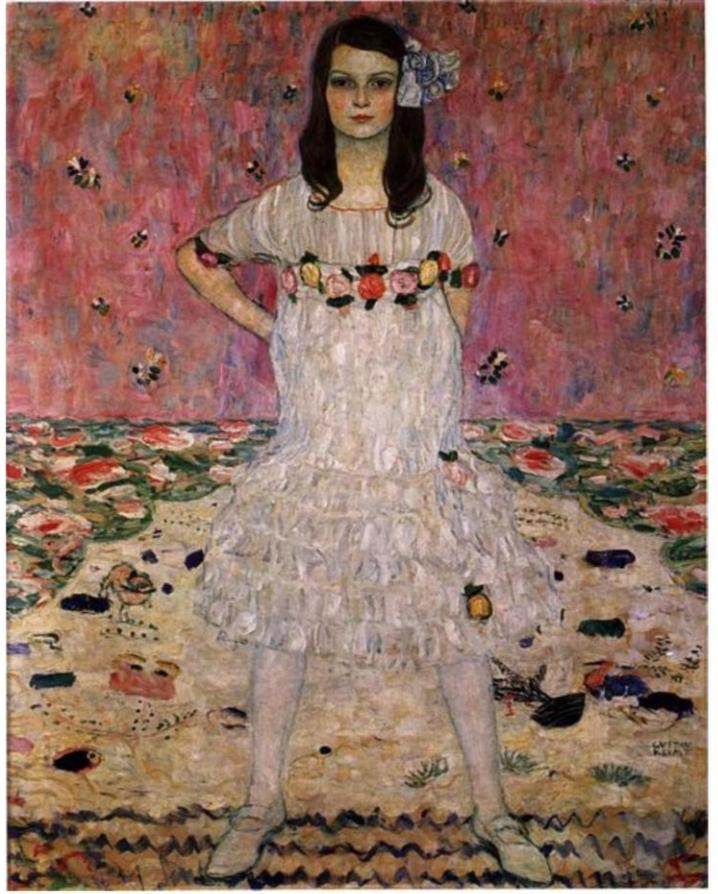


Tableau 03



Tableau 04



Tableau 05

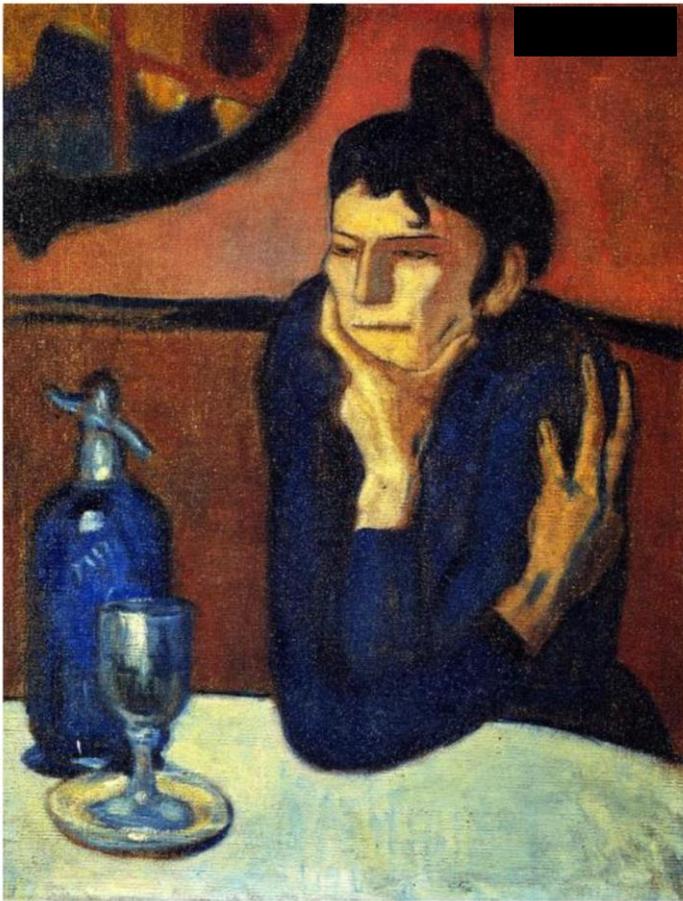


Tableau 06

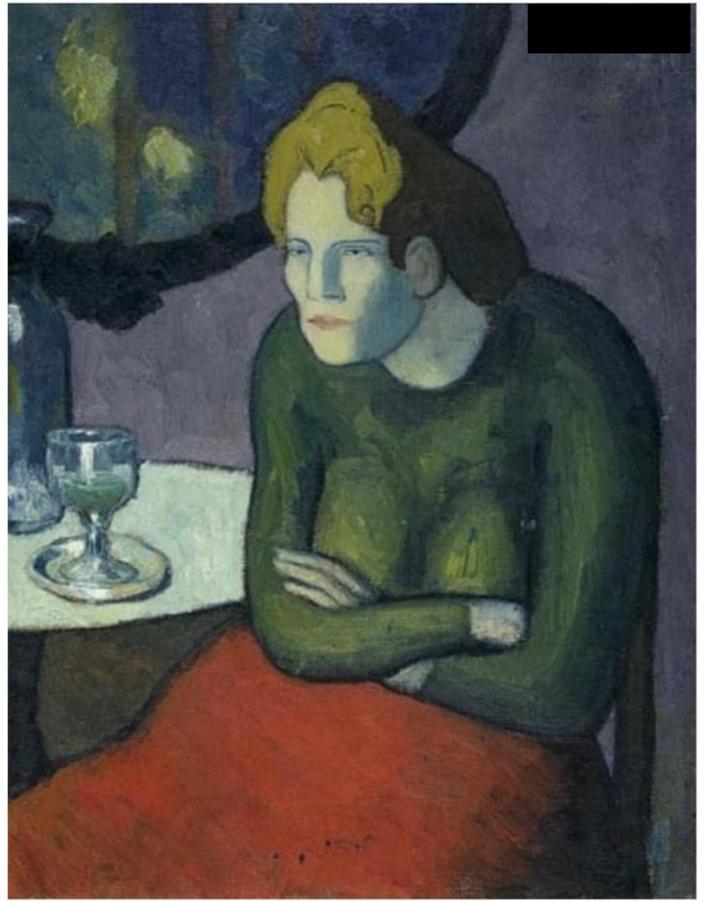


Tableau 07

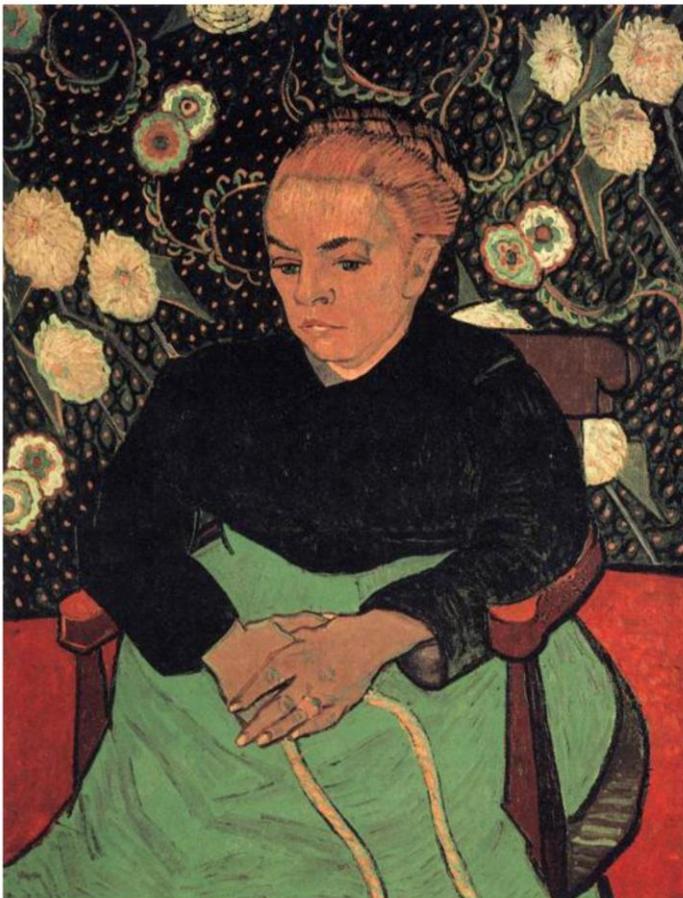


Tableau 08

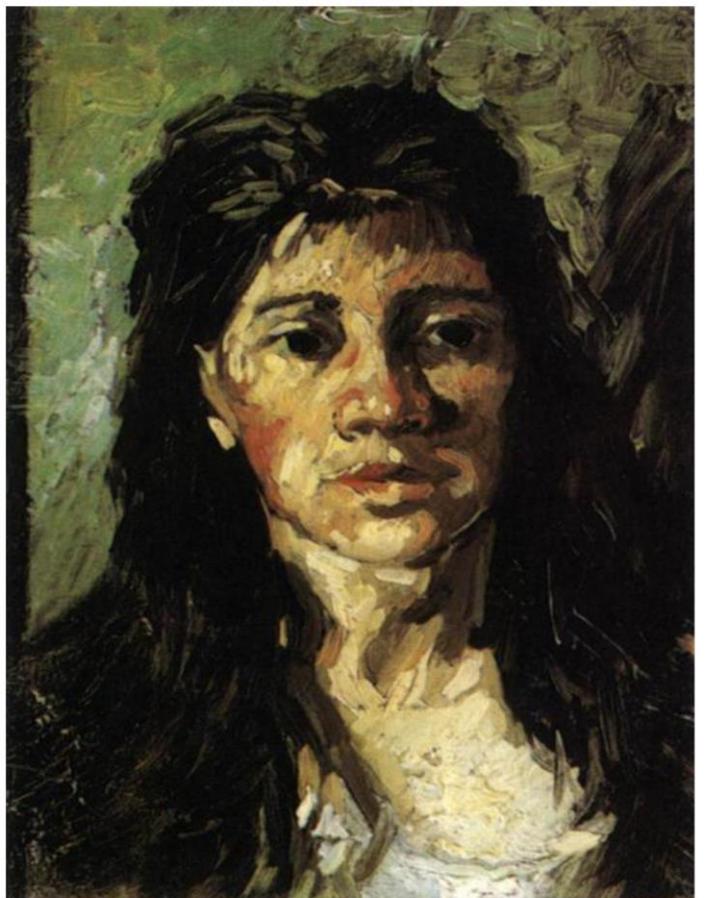


Tableau 01



Tableau 02



Tableau 03

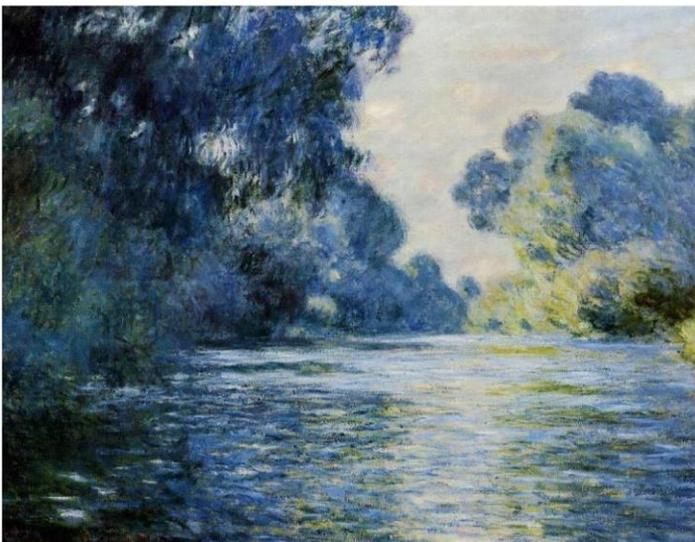


Tableau 04

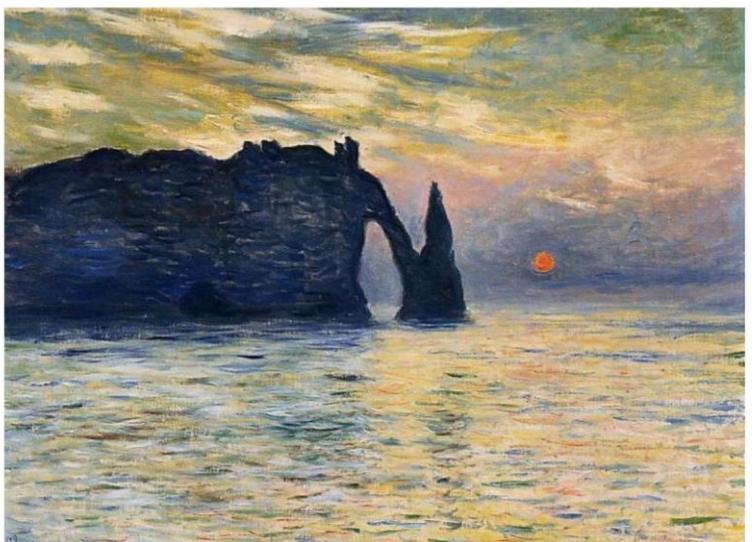


Tableau 05



Tableau 06

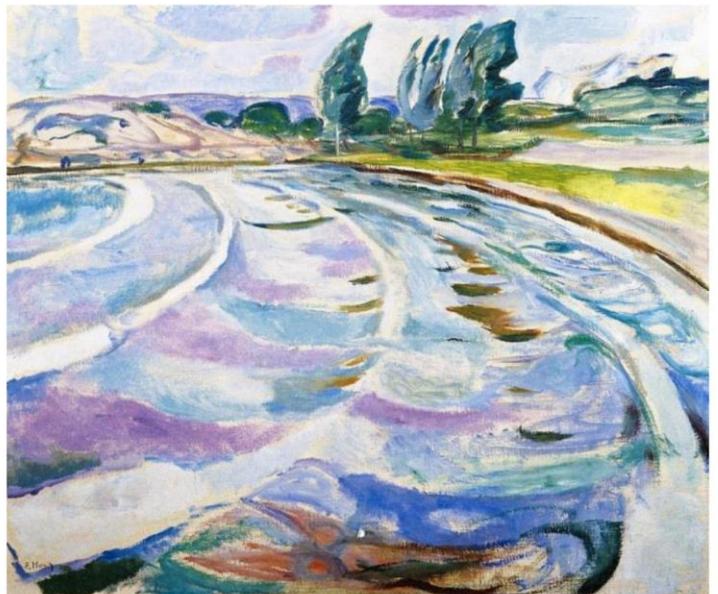


Tableau 07

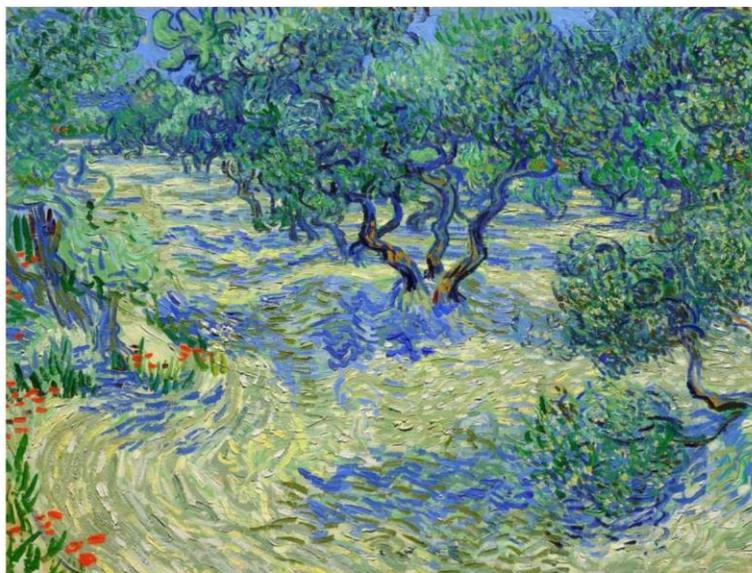
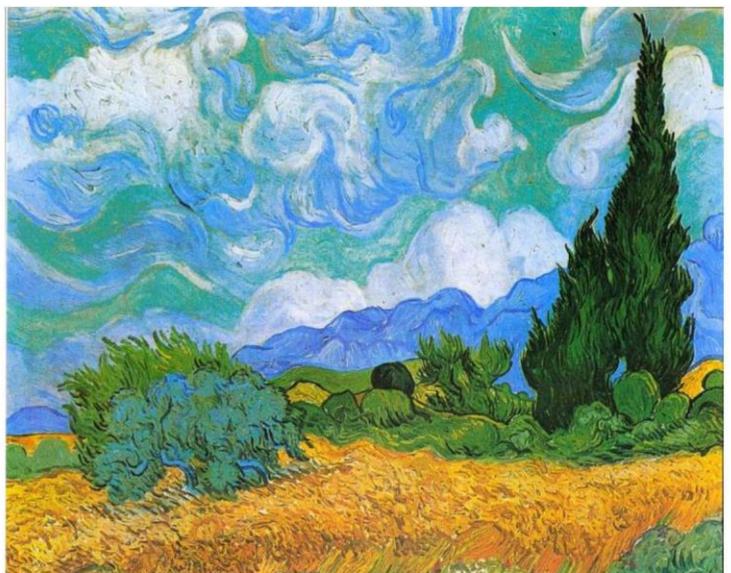


Tableau 08



Annexe 2 | Résultats des questionnaires

Niveau d'expertise en art (Q.1 et Q.2)

Concernant le niveau d'expertise en art, sur une échelle en 5-points allant de 1 "Je ne connais presque rien en art visuel" à 5 "Je fais (ou ai fait) des études directement liées aux arts visuels", les participants adultes des deux études portraits et paysages ($N = 69$) déclarent en moyenne ne presque rien connaître en art visuel ($M = 1.71$, $SD = .55$, $min = 1$, $max = 3$). Aucun participant n'a réalisé des études directement ou indirectement liées aux arts visuels. De fait, nos participants peuvent tous être considérés comme naïfs en art. De plus, la majorité des participants a déclaré s'être rendue dans un musée exceptionnellement à occasionnellement au cours des trois dernières années (sur une échelle en 4-points allant de 1 "Jamais" à 4 "Fréquemment (>5fois au cours des 3 dernières années)", $M = 2.59$, $SD = .73$, $min = 1$, $max = 4$). L'expérience visuelle et culturelle en art visuel de nos participants adultes apparaissent relativement faibles.

Célébrité des artistes (Q.3)

Nous avons choisi pour cette étude deux artistes très célèbres van Gogh et Picasso (portrait) ou Monet (paysage) et deux artistes moins célèbres mais hautement reconnus en histoire de l'art, Klimt et Munch. Tous les tableaux sélectionnés sont des œuvres d'art mineures (peu connues). Nous supposons que, pour les portraits, les artistes Picasso et van Gogh seront largement cités y compris par des novices en art, alors que Klimt et Munch seront peu ou pas cités. Pour les paysages, nous supposons que les artistes van Gogh et Monet seront largement cités alors que Klimt et Munch seront peu ou pas cités. Nous supposons que chez les novices en art, la célébrité des peintres n'aura pas d'influence sur l'évaluation esthétique des œuvres d'art mineures. Les soixante-six participants adultes ont cité et rangé par ordre de célébrité jusqu'à cinq peintres célèbres. Quarante-cinq peintres furent cités au total, dont seulement 5 furent cités par plus de 10% de notre échantillon. Parmi les peintres que nous avons sélectionnés dans nos études : Picasso est classé en première position, cité par 90.5% de notre échantillon suivi de van Gogh, cité par 68.4% des participants. Klimt et Munch sont respectivement cités par 0.08% et 0.01% de l'échantillon. La différence de fréquence de citation de ces cinq auteurs est significative, $F(4,945) = 218.9$, $p < .001$.

Familiarité avec les oeuvres présentées (Q.4)

La reconnaissance des œuvres d'art présentées consistait à rappeler s'ils se souvenaient avoir déjà vu les œuvres d'art présentées avant l'étude et s'ils pouvaient nommer les peintres à l'origine de ces œuvres.

Pour les portraits, la fréquence de familiarité des œuvres d'art est comprise 0.01% et 0.21% tandis que la fréquence de reconnaissance du peintre est comprise entre 0 et 0.05%. L'œuvre de Klimt (*Lady with Hat and Featherboa*, 1909) est jugée plus souvent familière par les participants mais la fréquence de reconnaissance de son auteur est quasi-nulle (0.01%). Dans l'ensemble, nous ne retrouvons pas de relation entre la fréquence de familiarité des œuvres et la fréquence de jugement de préférence esthétique ($r = .40, p = .12$). De même, nous ne retrouvons pas de relation entre la fréquence de reconnaissance des auteurs des œuvres d'art et la fréquence de jugement de préférence esthétique ($r = -.24, p = .36$). L'impression de familiarité des œuvres d'art présentées ne semble pas avoir eu d'influence sur les jugements de préférence et les temps de regard chez les adultes pour les portraits.

Pour les paysages, la fréquence de familiarité des œuvres d'art est comprise 0.01% et 0.15% tandis que la fréquence de reconnaissance du peintre est comprise entre 0 et 0.17%. L'œuvre de van Gogh (*Olive Grove*, 1889) est la plus familière (0.15%) et l'auteur est le plus souvent reconnu (0.17%). Dans l'ensemble, nous ne retrouvons pas de relation entre la fréquence de familiarité des œuvres et la fréquence de jugement de préférence esthétique ($r = .40, p = .12$). De même, nous ne retrouvons pas de relation entre la fréquence de reconnaissance des auteurs des œuvres d'art et la fréquence de jugement de préférence esthétique ($r = -.24, p = .36$). L'impression de familiarité des œuvres d'art présentées ne semble pas avoir eu d'influence sur les jugements de préférence et les temps de regard.

Par conséquent et au vu du faible degré d'expertise en art et des faibles taux de reconnaissance des œuvres d'art et de leur peintre, les éléments de classification explicite ont peu de chance d'avoir eu une influence forte sur le jugement de préférence et les temps de regard de nos participants pour les portraits et les paysages.

RÉSUMÉ

Cette thèse a pour ambition d'approfondir nos connaissances sur la formation de la préférence esthétique pour les objets visuels chez l'humain. Afin d'examiner l'effet de l'expérience personnelle dans l'émergence du jugement esthétique, nous avons étudié la relation entre les jugements de préférence esthétique des adultes et les préférences visuelles des nourrissons âgés de 4 à 24 mois et des adultes. Si l'expérience personnelle est nécessaire à l'émergence du jugement esthétique, des différences sont attendues entre les appréciations subjectives esthétiques des adultes et les temps de regard des nourrissons et des adultes. Des invariances comportementales entre les nourrissons et les adultes soulignent *a contrario* l'importance des traitements perceptifs et d'intégration en mémoire implicite dans la formation du jugement esthétique ; les processus cognitifs de haut niveau et l'expérience jouent alors un rôle secondaire. Notre première étude questionne la relation entre jugement de préférence des adultes et préférence visuelle des nourrissons et des adultes pour des patterns de points en mouvement. Pour ces points en mouvement, les jugements de préférence des adultes prédisent les temps de regard des nourrissons et des adultes. Les études 2.a et 2.b révèlent que pour les portraits, même si les jugements de préférence esthétique des adultes sont robustes et qu'ils prédisent les temps de regard des adultes, ils ne prédisent pas les comportements visuels des nourrissons. De même pour les paysages, les jugements de préférence esthétique ne prédisent pas les temps de regard des nourrissons et des adultes (étude 3). Même si les localisations des fixations sont plus fréquentes dans les régions de saillance visuelle chez les adultes et les nourrissons pour les portraits et les paysages (étude 4), le traitement des informations visuelles traitées est insuffisant pour former un jugement de préférence esthétique. La corrélation entre les jugements de préférence et les préférences visuelles dans le cas des patterns de points en mouvement pourrait s'expliquer par une préférence précoce pour la complexité (Berlyne, 1971). L'étude 5.a et 5.b portent sur les temps de regard des nourrissons envers les mouvements biologiques complexes ou simples, et envers des mouvements biologiques ou leur version perturbée plus complexe. Les résultats vont dans le sens d'une préférence pour la complexité pour les mouvements biologiques ou perturbés. L'expérience personnelle constitue une étape nécessaire dans l'émergence du jugement esthétique pour les œuvres d'art, même réalistes. Pour les stimuli visuels singuliers comme les mouvements ou les stimuli sociaux comme les visages, la formation du jugement esthétique semble antérieure à l'expérience personnelle, pouvant refléter la différence entre attractivité et esthétique.

ABSTRACT

This thesis aimed to improve our knowledge on the emergence of the aesthetic preference for visual objects in humans. In order to examine the effect of personal experience in the emergence of aesthetic judgment, we investigated the link between adults' aesthetic preference judgments and visual preferences of 4-to-24-month-old infants and adults. If personal and cultural experience was necessary for the emergence of aesthetic judgment, differences were expected between subjective aesthetic judgments of adults and infants' preference. Behavioural similarities in both infants and adults would underline the importance of perceptual processing and implicit memory integration in the formation of aesthetic judgment. High-level cognitive processes and personal experience playing a secondary role. Our first study examined the link between adults' preference judgment and visual preference of infants and adults for moving dot patterns. For these moving dots, adult preference judgment predicted the looking time of both infants and adults. Studies 2.a and 2.b used portraits, although adults' aesthetic preference judgments were robust and predicted adults' looking time, they did not predict infants' visual behaviour. Likewise for landscapes, adults' aesthetic preference judgment did not predict the looking time of infants nor adults (study 3). Even if both adults and infants looked more often towards salient regions for portraits and landscapes (study 4), the visual information processed is insufficient to explain the aesthetic preference judgments of adults. The correlation between preference judgment and visual preference in the case of moving dot patterns could be explained by an early preference for moderate degrees of complexity (Berlyne, 1971). Study 5.a focused on the visual preference of infants towards complex or simple biological movements, and study 5.b towards biological movements and their more complex scrambled version. The results supported a preference for complexity in biological and non-biological movement. Personal experience is a necessary step in the formation of aesthetic judgment for works of art, even realistic ones. For singular visual stimuli such as motions or social stimuli such as faces, the formation of aesthetic judgment seems to predate personal experience. Our results may reflect the difference between attractiveness and aesthetics which requires further investigation.