



HAL
open science

Dessine-moi un mouton : de nouvelles méthodes pour caractériser les dessins chez l'être humain (Homo sapiens) et le chimpanzé (Pan troglodytes)

Lison Martinet

► To cite this version:

Lison Martinet. Dessine-moi un mouton : de nouvelles méthodes pour caractériser les dessins chez l'être humain (Homo sapiens) et le chimpanzé (Pan troglodytes). Psychologie et comportements. Université de Strasbourg, 2021. Français. NNT : 2021STRAJ062 . tel-04540906

HAL Id: tel-04540906

<https://theses.hal.science/tel-04540906>

Submitted on 10 Apr 2024

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.

École doctorale vie et santé (ED414)
IPHC, Département Écologie, Physiologie et Éthologie UMR 7178

THÈSE présentée par

Lison MARTINET

Soutenue le 3 décembre 2021

Pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**
Discipline : Physiologie et Biologie des Organismes et des Populations
Spécialité : Éthologie



Dessine-moi un mouton : de nouvelles méthodes pour
caractériser les dessins chez l'être humain (*Homo sapiens*) et
le chimpanzé (*Pan troglodytes*)

Dr Cédric Sueur.....Directeur de thèse, MCF HDR, Unistra
Dr Marie Pelé.....Co-encadrante de thèse, CR, Université Catholique de Lille
Pr Elisabeth Demont.....Examineur, PR, Unistra
Dr Emmanuelle PouydebatRapporteur externe, DR, Muséum national d'Histoire naturelle
Dr Michel Raymond.....Rapporteur externe, DR, Université de Montpellier

À mon père.

REMERCIEMENTS

Mes pensées vont tout d'abord à mes encadrants Cédric et Marie. Je m'estime humainement chanceuse d'avoir pu travailler avec vous sur la naissance de ce projet et ce depuis quatre ans maintenant. Je me souviens encore très bien du jour où Cédric a proposé ce stage de M2 sur le dessin, le regard perplexe de la plupart de mes camarades et l'évidence que j'ai alors ressentie, « il est pour moi ce sujet ! » me suis tout de suite dit. Merci à vous pour votre disponibilité constante, votre écoute et votre bienveillance dans les moments parfois très difficiles qui ont parsemé cette thèse. Grâce à vous je peux dire que j'ai fait dessiner des chimpanzés au Japon et ça, c'est fou ! Cédric, merci de n'avoir jamais douté de moi et de m'avoir fait confiance tout au long de ce travail. Marie, merci pour ta confiance, ta rigueur et ta plume... et oui ! Je me souviendrais longtemps des longues minutes que nous avons passé à réfléchir au moindre mot de la moindre phrase des écrits que nous avons pu produire ensemble.

Je remercie les membres de mon jury de thèse : Élisabeth Demont, Michel Raymond et Emmanuelle Pouydebat qui ont accepté de me relire et dont les différents regards ne feront qu'enrichir ce travail.

Merci aux membres de mon comité de suivi de Thèse, Adrien Meguerditchian, Sébastien Ballesta et Sylvie Massemin. Votre enthousiasme, vos questions et suggestions m'ont beaucoup guidée et motivée sur ces trois années.

J'adresse toute ma gratitude aux professeurs Tetsuro Matsuzawa et Satoshi Hirata pour avoir accepté de collaborer avec nous sur ce projet et pour leur accompagnement tout au long de mon séjour au Japon. Travailler à leurs côtés fut une grande chance. Mes remerciements les plus sincères vont également à Naruki Morimura pour m'avoir si bien accueillie lors de mon passage à Kumamoto, pour avoir pris le temps de me parler longuement des chimpanzés du centre et pour m'avoir emmenée avec lui observer les marsouins au drône ! Grand merci à Andrew MacIntosh pour son aide précieuse au Japon puis au cours de nos nombreux échanges sur les analyses fractales temporelles.

Merci à Caroline Habold de m'avoir accueillie au laboratoire et plus largement à tout le personnel du DEPE pour votre soutien d'une manière ou d'une autre. Merci à ceux d'entre vous qui se sont sacrifiés pour la science en acceptant de dessiner et de partager avec moi un petit morceau de leur âme d'enfant. Petite dédicace particulière à certains. Outre sa présence au sein de mon comité, merci à Sylvie Massemin pour ses qualités d'enseignement et son implication dans la réussite de ses étudiants de Master. Merci à Jean-Patrice Robin dont le bureau se trouvait en face du mien et dont la bonne humeur quotidienne parvenait toujours à me faire décrocher un sourire. Merci François Criscuolo pour ton énergie et ta capacité à fédérer et ce, même à distance pendant le confinement.

Mes remerciements vont également à Sylvie Raison qui m'a en partie suivi au cours de mes deux années de monitorat et qui m'a laissé pleinement développer mon plaisir à enseigner.

Entre doctorants, le soutien et la bienveillance étaient constants et ont constitué une véritable force tout au long de mon travail. Merci à tous pour les moments partagés et ce bon esprit.

Ayant bien entendu une place toute particulière dans mon petit cœur de doctorante, je ne pouvais pas tout particulièrement distinguer mes deux compères de bureau (ils auraient râlé). Agnès, outre ton rôle de taxi pour me ramener jusqu'à l'arrêt de bus les jours de grande flemme (tu savais que j'allais le placer), tu as toujours fait preuve d'une grande écoute et d'une aide souvent précieuse, merci. Antonin, je sens que le défilé de tes stagiaires dans le bureau va me manquer après tout. Merci pour ton franc parlé dans lequel je me suis souvent retrouvée, ton attention et ton soutien.

Merci Benjamin d'avoir pris part à mon travail au court de ton stage de M2, je pense qu'on se souviendra longtemps des réunions visio interminables que nous faisons pour parler fractales ! Tu fais maintenant partie intégrante de la suite de ce projet, tes compétences certaines vont permettre qu'il se développe au mieux j'en suis sûre.

Merci aux professionnels, dessinateurs et illustrateurs, qui ont accepté de prendre part au projet. Merci à Olivier Deloignon, professeur d'histoire visuelle à la Haute École des Arts du Rhin de Strasbourg de nous avoir permis d'entrer en contact avec ses étudiants. Mes remerciements vont également à Pascaline Gallet, directrice de l'école Sainte-Clotilde de

Strasbourg, ainsi qu'à l'ensemble du corps enseignant qui, enthousiastes par rapport à nos recherches, ont accepté de nous ouvrir les portes de leur école et de leurs classes.

Remerciements à l'ensemble des parents dont les enfants ont pris part à l'étude, et donc bien entendu pensées à tous ces petits bouts qui ont partagé un peu de leur talent. Les sessions de dessin avec certains resteront en mémoire longtemps « mais pourquoi ça t'intéresse mes dessins ? » « ça c'est ton travail ? » « je vais te dessiner toi et tous tes trucs »

Pensées amicales à mes copains de Master que j'ai toujours grand plaisir à retrouver et qui m'ont toujours soutenu, Juliette, Marc, Éléonore, Victorien, Mikael, Colin, Héloïse, Louise. Merci aux copines strasbourgeoises Camille, Hélène et Aurélie (oui oui tu es bel et bien strasbourgeoise maintenant !). Merci à Morgane, ma très belle rencontre de 2019. L'avoir eu à mes côtés au Japon était une grande chance, merci d'avoir été si présente (il est temps de se retrouver autour d'un verre !).

Yoyo, Garance et Alex, la famille que j'ai choisie. Bien loin des Sciences de la vie alors du comportement de dessin chez les hominidés n'en parlons pas ! Pourtant vous avez toujours été curieux, attentifs et aimants, merci pour ça. Merci à mes tatas de cœur Claire, Marie et Clôde pour leur amitié profonde. Merci à mon Jean pour son inconditionnel soutien. Pensées à mon frère qui s'est toujours montré fier de moi, même s'il n'a dû comprendre ce sur quoi je travaillais que cette année (mais pour sa défense ce n'est pas la thématique la plus évidente... !)

Mention toute particulière pour mes « grands amis de Strasbourg », Tess, Thibaut, Wil, Romain, ceux qui m'ont toujours soutenue bien au-delà de ce que j'aurai pu imaginer. Tess, emménager avec toi au début de cette thèse fut l'une des meilleures décisions que j'ai pu prendre jusqu'alors (on a bien pleuré, on a bien ri !). Merci pour ton amour, tu m'as tant appris, j'ai déjà tant grandi à tes côtés et ce n'est que le début... Thibaut, merci de me challenger parfois, de me soutenir toujours. Ton rôle était clé ces trois dernières années et le sera pour toutes les suivantes qui arrivent je n'en doute pas.

Moonette, merci ne suffirait même pas. Ton soutien est sans faille, tes capacités d'écoute (et il en a fallu ces dernières années...) sans limites. Tes conseils avisés feront toujours de toi ma relectrice de premier choix.

Louis, merci infiniment pour ton amour. Ton esprit serein, ta bienveillance et ta force m'ont bien souvent permis de relativiser, de remettre les choses en perspectives et d'avancer, même dans les moments les plus compliqués.

Mes derniers mots vont à celles qui me sont les plus éloignées mais dont la rencontre m'a fait prendre conscience d'à quel point nous étions proches : Mizuki, Natsuki, Misaki, Iroha, Ai et particulièrement Hatsuka, dont la méfiance et l'intelligence ont forcé mon admiration et Pan dont le regard m'habitera longtemps.

SOMMAIRE



CHAPITRE I : Introduction générale	1
1. Qu'est-ce que le dessin ?	3
1.1 Une première étymologie	3
1.2 Une définition étendue	4
1.3 La représentation	4
1.3.1 La représentation comme figuration.....	5
1.3.2 La représentation mentale	5
1.4 Le dessin, un langage graphique	6
2. L'émergence évolutive du dessin	9
2.1 Une préhistoire du dessin	9
2.1.1 L'émergence des premières marques	10
2.1.2 La naissance de la figuration	12
2.1.3 Hypothèses et théories sur l'art préhistorique.....	13
2.2 Le dessin, un apanage humain ?	15
2.2.1 Préférence et discrimination visuelle	16
2.2.2 Processus créatif.....	19
2.2.3 Le dessin chez les grands singes	20
3. Le comportement de dessin chez l'Homme	22
3.1 Les stades de développement chez l'enfant	22
3.1.1 Conception et perception.....	23
3.1.2 Apports et limites à la dichotomie « savoir » et « voir »	24
3.2 Un nouveau regard porté sur le dessin d'enfant	28
3.2.1 Activités pré-représentatives chez le jeune sujet.....	29
3.2.2 Naissance du dessin figuratif chez l'enfant	31
3.2.3 Le moteur de l'activité de dessin.....	32
3.2.4 Dessiner, un comportement sous influences	33
4. Objectifs du projet de recherche	36
CHAPITRE II : Méthodes générales	39
1. Présentation des sujets	40
1.1 Chimpanzés et conditions de vie	40
1.2 Participants humains	42
1.2.1 Enfants.....	42
1.2.2 Adultes.....	43
1.2.3 Éthique et protection des données	43
2. Collecte des dessins	44
2.1 Matériel et données	44
2.2 Protocoles	45
2.2.1 Chimpanzés	45
2.2.2 Enfants et adultes.....	46
3. Utilisation des fractales	48
3.1 Les analyses fractales spatiales ou analyses « random walk »	50
3.2 Les analyses fractales temporelles	52

CHAPITRE III : Nouvelles considérations, nouveaux indices : les analyses fractales appliquées au dessin	55
1. L'analyse fractale spatiale.....	57
1.1 Synthèse de l'article 1.....	57
1.2 Article 1.....	59
2. L'analyse fractale temporelle	82
2.1 Synthèse de l'article 2.....	82
2.2 Article 2.....	83
3. Conclusion.....	124
CHAPITRE IV : Déploiement d'une nouvelle boîte à outils	125
1. Proposition d'une méthodologie nouvelle	126
1.1 Synthèse de l'article 3.....	126
1.2 Article 3.....	127
2. Confronter cette nouvelle méthodologie aux données	174
2.1 Synthèse de l'article 4.....	174
2.2 Article 4.....	175
3. Conclusion.....	198
CHAPITRE V : J'vous demande pardon, un chimpanzé qui dessine ?.....	199
1. État de l'art de l'étude du dessin chez les primates non-humains	200
1.1 Synthèse de l'article 5 – Revue de la littérature	200
1.2 Article 5.....	201
2. Réflexions et propositions autour de l'étude du comportement de dessin des primates non-humains.....	215
2.1 Synthèse de l'article 6 – Chapitre d'ouvrage	215
2.2 Article 6.....	217
3. Étude du comportement de dessin de sept femelles chimpanzés captives	230
3.1 Synthèse de l'article 7.....	230
3.2 Article 7.....	232
CHAPITRE VI : Discussion générale	273
1. Résumé	274
2. Limites et perspectives	276
2.1 La question du matériel	276
2.1.1 L'écran, bénéfices et contraintes.....	276
2.1.2 De l'importance de la motivation à dessiner.....	279
2.2 Collecter davantage et diversifier pour mieux cerner.....	280
2.3 Disposer de nouvelles clés	281

2.3.1 Regarder voir	282
2.3.2 L'activité cérébrale, un possible révélateur additionnel	283
3. Conclusion générale	284
RÉFÉRENCES.....	286
ANNEXES	305
1. Notes d'information et consentements	305
1.1 Parents.....	305
1.2 Participants adultes experts et novices	308
2. Figure : Les différentes formes d'intentionnalité dans le dessin.....	311
3. Poster colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives (Mars 2021).....	312
4. Article de vulgarisation publié dans The Conversation en Février 2021	313
Résumé.....	317
Abstract.....	318

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Le dessin fascine et questionne. Outre l'aspect artistique et l'émotion procurée par certaines œuvres contemporaines ou plus anciennes, il s'agit dans sa dimension évolutive, d'une porte ouverte sur notre passé. La découverte des premières peintures rupestres à la fin du XIX^e siècle, notamment celles d'Altamira en 1879 en Espagne, a bouleversé la vision portée sur les premiers spécimens du genre *Homo*, jusqu'alors plus rattachés aux singes qu'à des êtres possiblement doués d'un sens artistique. D'abord réfutées puis acceptées, ces productions graphiques ont conduit à la reconnaissance de l'Art pariétal. Depuis lors, d'autres découvertes ont remis sans cesse en question l'origine du comportement de dessin allant jusqu'à reconsidérer son apparition chez *Homo sapiens*, voire même au sein de la lignée *Homo*. En effet, contrairement au langage articulé dont l'évolution devra se déduire des modifications morphologiques retrouvées sur les fossiles, certaines productions graphiques encore intactes (peintures, dessins, gravures) nous parviennent alimentant théories et hypothèses sur l'évolution de notre espèce. Aussi, depuis des décennies, des chercheurs étudient l'expression graphique chez l'animal, notamment les autres grands singes pour mieux comprendre les tenants et aboutissants de son origine évolutive. Ces derniers étant nos plus proches cousins, les observer « dessiner » ouvre une porte sur l'émergence de ce comportement.

Bien que les origines fonctionnelles de l'art rupestre restent en débat, ce dernier témoigne a minima d'une volonté de communiquer, de marquer, de laisser une trace. Plus récemment dans notre histoire, la production graphique aurait permis le pont entre langage oral et langage écrit (Jucquois 2006). De façon pragmatique, écrire, c'est dessiner la parole, la représenter, la fixer sur un support. Dans l'histoire de l'écriture, les signes dessinés ont d'abord représenté directement ou indirectement les objets du monde (pictogrammes, idéogrammes) avant de représenter les sons du langage (syllabes, lettres) (Olson 2009). De récents travaux se sont plus concrètement penchés sur les signes géométriques présents dans plusieurs grottes ornées d'Europe occidentale (Petzinger 2017). Ces marques, de par leur abstraction, furent longtemps négligées. Leur étude a néanmoins permis l'identification de 26 signes récurrents, entre différents sites et au cours du temps, suggérant une expression abstraite antérieure aux protoécritures jusqu'alors décrites. Ayant joué un rôle prépondérant dans l'apparition de l'écriture et s'étant développé parallèlement au langage, le dessin a toujours conservé une place déterminante dans la communication humaine. Depuis ses premières formes graphiques, *sapiens* n'a ainsi jamais cessé de dessiner.

Le dessin est aujourd'hui omniprésent dans nos sociétés modernes. Sa capacité à véhiculer un message de façon efficiente et universelle a étendu son cadre au-delà du seul domaine créatif. Il est utilisé comme vecteur d'apprentissage dans des disciplines comme la biologie, aide à visualiser et planifier en architecture, à comprendre des concepts en mathématiques ou encore à servir un message marketing dans la publicité. Il est partie prenante de nos quotidiens, mais plus encore de notre histoire individuelle et l'étude de son ontogénie captive tout autant que son origine évolutive. Enfants, nous avons tous dessiné. Dans sa propension à se trouver en dehors des normes, le dessin enfantin est intrigant. Longtemps dénigré, le constat est aujourd'hui le suivant : l'enfant ne dessine pas moins bien que l'adulte, mais différemment (Baldy 2011). De nombreux ouvrages s'affairent depuis à le comprendre et à le déchiffrer. Ce travail de recherche a eu pour but de définir de nouveaux indices de lecture du comportement de dessin chez les Hominidés afin de participer à son étude d'un point de vue phylogénique et d'un point de vue ontogénique.

Dans cette introduction, je commencerai par définir ce qu'est le dessin et les notions qui y sont rattachées. Je proposerai ensuite une vue d'ensemble des découvertes réalisées à ce jour sur la question de son origine évolutive. Nous verrons que les avancées faites en paléoanthropologie repoussent sans cesse la date d'émergence du dessin dans notre lignée. Ce cheminement nous conduira à explorer les études menées sur l'expression de ce comportement chez d'autres espèces animales notamment les autres grands singes. Tout en étant consciente de l'impossibilité d'être exhaustive sur le sujet, je ferai ensuite état des connaissances actuelles sur le développement de ce comportement chez l'être humain grâce aux nombreuses recherches effectuées chez les enfants. Cette introduction nous permettra ainsi de mieux percevoir les objectifs, les apports et les perspectives de ce travail de doctorat.

1. Qu'est-ce que le dessin ?

1.1 Une première étymologie

Le mot « dessin » est complexe à définir, car il fait appel à l'interprétation, à ce que nous y projetons. Le verbe « dessiner » vient du latin *designare* qui signifie selon le contexte *indiquer, tracer, dessiner, représenter*¹. Sous l'influence italienne de *disegnare* et du déverbal *disegno* regroupant à la fois le dessin en tant que tel et son projet, le verbe dessiner

¹ <http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9D2011>. Consulté le 29 avril 2021.

(anciennement *dessigner* ou *desseigner*) avait également une double signification dans la langue française. Le dessein en regroupait les deux aspects. C'est autour de 1750 que la sémantique du mot évolua avec la distinction des termes de *dessin* en tant que représentation graphique et de *dessein* en tant que projet. Les langues anglaise et allemande distinguent également les deux. L'anglais parlant ainsi de *drawing* comme le tracé du contour et de *design* pour l'intention, le plan, le projet.

1.2 Une définition étendue

Bien que plus relié directement au dessein, le mot dessin conserve une dimension polysémique. Il s'agit aussi bien de l'art de représenter quelque chose (une idée, une figure) et plus largement toute forme de représentation graphique, que d'une matière enseignée dans les écoles, que de l'ornementation retrouvée sur les tissus ou objets, que des plans d'un bâtiment, d'un jardin ou encore celui d'une œuvre littéraire ou musicale². Ce terme peut donc avoir une définition plus ou moins précise selon les contextes et son emploi. L'étendue de ce qui le définit rend l'utilisation de ce terme complexe et sujet à interprétation. Le dessin étant souvent assimilé à l'idée de figuration ou du moins à celle d'une intention artistique évidente (cas des dessins abstraits), les productions des très jeunes enfants ou d'autres espèces animales s'y trouvent, selon les auteurs, rattachées ou non.

1.3 La représentation

La représentation est donc au cœur de la définition de dessin, mais reste également un terme aux interprétations multiples rendant d'autant plus compliquée l'émergence de théories consensuelles. Étendue à son sens le plus large, représenter est rendre intelligible ou visible pour les autres ou pour soi-même quelque chose que l'on sait (images, symbole, œuvre ou image mentale). À propos du dessin Margaret Brooks (2009) écrivait « C'est dans la visualisation des idées, et dans l'expression ou la représentation de celles-ci, que nous pouvons amener quelque chose de plus clair à la conscience. Un dessin peut être considéré comme l'extériorisation d'un concept ou d'une idée. »³

² <https://www.cnrtl.fr/definition/dessin>. Consulté le 24 juillet 2021.

³ Texte original : « *It is in the visualization of ideas, and the expression or representation of our ideas, that we can bring something more clearly into consciousness. A drawing might be seen as an externalization of a concept or idea.* » Brooks, 2009.

1.3.1 La représentation comme figuration

Bien souvent la représentation est perçue et utilisée comme vecteur d'une idée, d'un objet, d'un paysage ou d'un être devant être lisible, déchiffrable par un tiers. La représentation figurative est alors la preuve même d'une intention, aucun doute ne subsiste quant à ce que l'auteur a souhaité faire. Même si l'interprétation varie, la volonté du dessinateur ne peut être attestée par un observateur que lorsqu'il est à même de pouvoir lire le dessin. C'est ce que nous avons défini comme étant la *représentativité externe*, celle qui ne fait aucun doute de la présence d'une intention de représenter par le dessinateur (voir article 1). Dans l'étude du dessin enfantin, la figuration puis la réalisation d'une image réaliste ont souvent été décrites comme objectifs finaux de la représentation graphique. Avec cette approche du dessin, toute production graphique non lisible est qualifiée de *gribouillages*⁴, dépourvue de sens et donc bien souvent d'intérêt (Matthews 1984; Willats 2005; Wolf & Perry, 1988). La représentation graphique ne débute alors que lorsque l'enfant produit ses premières figurations archaïques (bonhomme têtard, soleil) vers l'âge de 3-4 ans. Les productions résultantes de la période d'exploration graphique précédant cet âge sont alors considérées comme aléatoires, simples manifestations d'un plaisir moteur ou au mieux permettant à l'enfant de répéter les mouvements moteurs dont il aurait besoin plus tard pour réaliser des dessins figuratifs (Kellogg 1969; Luquet 1927).

1.3.2 La représentation mentale

Avant de pouvoir représenter quelque chose, de le figurer, il est nécessaire de se le représenter mentalement. En cela, la représentation peut donner lieu à un produit, en l'occurrence à un dessin ou n'être qu'un processus mental accessible à l'individu lui-même. Le but n'est pas ici de présenter de façon exhaustive la notion de représentation qui s'avère très complexe dans le domaine de la psychologie, mais d'appuyer le fait que représenter n'est pas que reproduire. D'après Garnier et Sauvé (1999, p.66) « Une représentation est un phénomène mental qui correspond à un ensemble plus ou moins conscient, organisé et cohérent, d'éléments cognitifs, affectifs et du domaine des valeurs concernant un objet particulier ». La représentativité externe, celle donnant lieu à un produit lisible par un tiers

⁴ Gribouillage : Inscription quelconque sans forme précise et sans signification. *Larousse*. Consulté le 15 juillet 2021 en ligne.

n'en est que le produit. Dans certains cas comme celui des dessins abstraits, l'accès au sens n'est pas évident pour l'observateur. Cependant, bien que le but ne soit pas le réalisme, l'intention du dessinateur n'est jamais questionnée. Ce dernier a volontairement choisi de ne pas utiliser la figuration pour transmettre une émotion ou véhiculer un message. La question se pose davantage avec les productions des très jeunes enfants. Face à un dessin papier terminé, l'intention de représenter ne peut être décelée qu'à l'émergence des premières formes graphiques concrètes, les *gribouillages* ont donc longtemps été laissés de côté (Cox 2005; Wolf & Perry 1988). Cependant, comme vu précédemment, représenter n'est pas que synonyme de figurer, du moins pas que de figurer aux yeux de l'autre. Dans les dessins du jeune enfant, des activités pré-représentatives, non figuratives, mais déjà porteuses de sens seraient à l'œuvre (voir 3.2.1 de cette introduction) (Adi-Japha et coll. 1998; Cox 2005; Longobardi 2015; Matthews 1984). L'enfant, bien qu'encore en incapacité de produire des formes figuratives peut pour autant avoir une image mentale claire de ce qu'il souhaite dessiner, ce que nous appellerons la *représentativité interne* (voir article 1). En allant plus loin, le dessin pourrait tout aussi bien n'être que le reflet d'une intention aussi pure que celle de laisser une marque visible. Dans cette optique, le dessin sera dans ce manuscrit évoqué dans son sens le plus large et le moins contesté qui est celui de marquer intentionnellement un support (MacDonald 2014).

1.4 Le dessin, un langage graphique

Le dessin, qui véhicule graphiquement une idée, une émotion ou un objet, est un support de communication. Depuis relativement peu de temps, le dessin est perçu et étudié comme un langage (Baldy 2011; Cohn 2012). Plus qu'un vecteur communicationnel, le langage graphique au même titre que le langage verbal serait un système de représentation fait de signes (schémas) qui permettrait d'exprimer une pensée (Jackendoff 2002). Le signe renvoie à la notion de signification et se distingue en cela du « signal » dont le simple but est de produire un effet chez le récepteur. Le dessin serait donc un système de symboles⁵. Aussi bien dans son côté universel que dans les variations interindividuelles et interculturelles qu'il montre, le dessin est un langage à part entière (voir partie 3.2.4). Ainsi, les expressions

⁵ Consciente de l'absence de consensus sur le terme de « symbole » ce dernier est ici utilisé dans sa définition la plus large : « un symbole est produit intentionnellement pour représenter quelque chose autre que lui-même » Voir DeLoache 2004

graphiques et verbales sont similaires sur 3 aspects : leur rôle communicationnel, leur construction et leur développement (Figure 1). Au même titre qu'il est possible de dresser la liste des mots et des premières formes syntaxiques que les enfants acquièrent, il est possible d'établir la liste des signifiants graphiques et des premières compositions qu'ils conçoivent (Baldy 2011). Parallèlement aux développements moteur, cognitif et visuel nécessaires à l'activité de dessin, l'enfant s'approprie un lexique de signifiants (point, rond, ligne, etc.) qu'il organisera progressivement selon une syntaxe donnant lieu à des figurations supérieures qui, elles-mêmes agencées, formeront un dessin (Baldy 2011; Picard & Zarhbouch 2014).

Comme le langage verbal, le développement du dessin est une interaction entre nature et culture (Cohn 2012). Tout enfant, exposé ou non à un univers graphique, sera en capacité de produire des marques rudimentaires similaires aux capacités résilientes du langage verbal (Cohn 2012; Goldin-Meadow 2005; Golomb 2002). Également, au même titre que son pendant verbal permet d'exprimer nos idées, le langage graphique permet de les représenter sur un support. La question étant : à partir de quand, au cours de son développement, l'enfant utilise-t-il le dessin comme langage ? À partir de quand la dimension symbolique de l'activité graphique est-elle comprise ? Chez l'enfant, la pensée symbolique se développe tôt, l'une des premières manifestations étant le fait de jouer à faire semblant. L'enfant prétend à des scènes de la vie quotidienne et utilise des objets desquels il substitue le sens premier pour les rendre signifiant d'autres choses qu'eux-mêmes (la banane devient téléphone, la table le toit d'une maison, etc.) (Nichols & Stich, 2000).

Avant même de pouvoir produire des formes figuratives par lui-même dû à une immaturité des capacités motrices, cognitives et perceptuelles, l'enfant comprend la fonction de communication de l'image et du dessin (Callaghan 1999; DeLoache 2004; DeLoache & Burns 1994; Gardner 1973). Lorsque face à un enfant de deux ans et demi, un expérimentateur cache un jouet miniature derrière la photographie ou le dessin de l'un des objets de la pièce voisine, ce dernier est ensuite capable de retrouver le véritable jouet caché lorsqu'on l'y emmène (DeLoache 1991). La fonction symbolique du dessin est alors ici comprise par le très jeune enfant. Le simple fait que rapidement après la production de ses premières marques, l'enfant nomme ses dessins, quand bien même il change leurs sens avant et après les avoir terminés, démontre qu'il fait le lien entre symbole et référent (Callaghan 1999; Quentel 1992). Cependant et bien que le jeune enfant puisse comprendre la fonction symbolique du dessin, son utilisation comme langage n'est attestée qu'à la vue des premiers symboles graphiques

lisibles réalisés. L'enfant pourrait avant cela souhaiter communiquer sans parvenir à produire un dessin « signifiant » au sens premier et limitant du terme, à savoir figuratif. Les systèmes représentationnels du jeune enfant ne sont pas toujours évidents surtout quand on regarde le dessin fini. En accord avec le fait que le gribouillage, qui ne témoigne pas d'une représentativité externe, constitue bel et bien une activité représentationnelle, Longobardi (2015) parle de « monologue graphique ». Sa fonction serait alors similaire à celle du langage égocentrique à savoir renforcer l'imagination de l'enfant.



Langage articulé	Langage graphique																														
Stade 1 : L'expression d'une découverte																															
<p style="text-align: center;"><i>Babillage</i></p> <p style="text-align: center;">Apprentissage de phonèmes</p> <p style="text-align: center;">/a/ /i/ /o/ /d/ /b/</p>	<p style="text-align: center;"><i>Gribouillage</i></p> 																														
Stade 2 : L'appropriation d'un lexique de signifiants																															
<p style="text-align: center;"><i>Les premiers mots</i></p> <p style="text-align: center;">« dodo »</p> <p style="text-align: center;">« papa »</p> <p style="text-align: center;">« non »</p>	<p style="text-align: center;"><i>Les premières formes</i></p> <table border="1" data-bbox="949 1097 1260 1478"> <tr> <td>—</td> <td>⊙</td> <td>•••</td> <td>○</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>•</td> <td>X</td> <td>∪</td> <td>eee</td> <td>∟</td> </tr> <tr> <td>☺</td> <td>X</td> <td>⊙⊙</td> <td>∪</td> <td>∪</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>8</td> <td>●</td> <td>∩</td> <td>∩</td> </tr> <tr> <td>•••</td> <td>□</td> <td>m</td> <td>∟</td> <td>∟</td> </tr> <tr> <td>///</td> <td>△</td> <td>∩</td> <td>⊙</td> <td>◇</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">(d'après Baldy, 2011)</p> <p style="text-align: center;">→ Dimension polysémique de ces signifiants verbaux et graphiques. Selon le contexte dans lequel ils sont utilisés et combinés, la signification varie.</p>	—	⊙	•••	○	L	•	X	∪	eee	∟	☺	X	⊙⊙	∪	∪	○	8	●	∩	∩	•••	□	m	∟	∟	///	△	∩	⊙	◇
—	⊙	•••	○	L																											
•	X	∪	eee	∟																											
☺	X	⊙⊙	∪	∪																											
○	8	●	∩	∩																											
•••	□	m	∟	∟																											
///	△	∩	⊙	◇																											
Stade 3 : Les premières combinaisons																															
<p style="text-align: center;">« non dodo »</p> <p style="text-align: center;">« papa dodo »</p>																															

Figure 1. Mise en parallèle du développement des langages articulé et graphique.

2. L'émergence évolutive du dessin

2.1 Une préhistoire du dessin

La question de l'origine des attributs qui font de notre espèce ce qu'elle est reste un débat encore actif dans des disciplines aussi variées que la génétique, la paléanthropologie, la psychologie évolutive, la linguistique, la primatologie. Les découvertes récentes qui attestent d'un croisement de notre espèce avec Néandertal ont remis en cause le modèle jusqu'alors dominant selon lequel l'Homme moderne provenait exclusivement d'une population africaine qui se serait développée au détriment des espèces *Homo* plus « archaïques », sans qu'il y ait de croisements avec ces dernières (Kuhlwilm et coll. 2016). De même, les découvertes faites régulièrement bousculent sans cesse les théories établies quant à l'évolution culturelle des lignées humaines notamment en ce qui concerne l'apparition de caractéristiques et comportements considérés comme « modernes » (d'Errico & Stringer 2011) (voir box 1).

Malgré l'absence de consensus, la plupart des archéologues du paléolithique s'accordent pour dire que l'expression de comportements à médiation symbolique serait un trait moderne déterminant de l'histoire évolutive du genre *Homo* (actions individuelles ou collectives liées aux sépultures, acquisition d'un système oral de communication articulée, production et transformation du matériau à dimension sociale, symbolisme graphique, etc.) (García-Diez & Ochoa 2020; Henshilwood & d'Errico 2011). Le critère clé ne serait donc pas de disposer de la pensée symbolique partagée avec un nombre important d'espèces primates et non-primates, mais la création d'une culture matérielle qui intègre sans équivoque une signification symbolique socialement partagée. Longtemps assimilées à l'essor d'*Homo sapiens* en Europe, plusieurs découvertes récentes témoignent aujourd'hui de l'expression de comportements symboliques au sein d'autres espèces du genre *Homo* (Davies 2019; García-Diez & Ochoa 2020; Zilhão 2018).

BOX 1. Scénarios quant à l'émergence d'une culture « moderne »

L'évolution constante des connaissances entraîne une redéfinition perpétuelle de ce que nous considérons comme « moderne ». Suite aux premières peintures découvertes dans la grotte d'Altamira en Espagne en 1879, d'autres furent progressivement mises au jour en Europe. Ces ressources archéologiques précieuses, d'abord très fragmentées puis plus nombreuses, ont renforcé la tendance à considérer l'Europe comme le berceau de la culture moderne (Mcbrearty & Brooks 2000). De cela émergera dans les années 1990 l'idée d'une « révolution humaine » correspondant à une altération importante du comportement (origine du langage, manipulation des symboles, cognition sophistiquée, etc.) à la fin du Paléolithique moyen et signant l'entrée dans le Paléolithique supérieur il y a environ 40 000 ans. Pour certains ce basculement évolutif est la conséquence d'une mutation génétique qui se serait produite dans le cerveau il y a environ 50 000 ans ou entre 60 000 et 80 000 ans pour d'autres chez l'homme africain anatomiquement moderne (Klein 2009; Mellars 2006).

Des fossiles qui présentent les premières spécificités d'*Homo sapiens* tout en conservant des propriétés plus archaïques ont été récemment datés d'environ 315 000 ans (Hublin et coll. 2017). Le premier fossile d'*Homo sapiens* moderne est quant à lui daté de 160 000 ans (White et coll. 2003). De fait, certains paléoanthropologues ont réfuté la thèse d'une mutation génétique qui aurait conduit à une évolution rapide et soudaine de la cognition. En même temps que l'apparition d'*Homo sapiens* sur le continent africain, la modernité culturelle aurait émergé graduellement à partir d'au moins 200 000 ans, par transmission culturelle plus que via des processus génétiques (Mcbrearty & Brooks 2000). D'autres enfin défendent que les prérequis cognitifs au comportement de l'Homme moderne étaient déjà en place chez d'autres espèces du genre *Homo*, notamment l'homme de Néandertal. Les variabilités climatiques et leurs effets sur la dynamique des populations expliqueraient l'émergence asynchrone, la disparition puis la réapparition des traits culturels dits modernes parmi les populations africaines modernes et eurasiennes plus archaïques (d'Errico 2003).

L'absence de consensus semble alors provenir en grande partie de la difficulté de définir ce que sont les traits dits « modernes » (Henshilwood & Marean 2003). Au cours des dernières décennies, la liste de ces traits s'est allongée et la considération pour chacun d'entre eux semblait fluctuer selon le scénario évolutif préférentiel des auteurs (d'Errico & Stringer 2011).

2.1.1 L'émergence des premières marques

Avant les premiers dessins, les plus anciennes traces retrouvées sont majoritairement des gravures sur pierres ou ossements. La présence d'itérations de motifs linéaires composées majoritairement de lignes parallèles et parfois angulaires, qui dans certains cas se complexifient de motifs hachurés, indique un certain degré de régularité graphique qui

témoigne d'une intention et du développement de capacités cognitives particulières (García-Díez & Ochoa 2020). Certaines de ces gravures de par leur datation ancienne ont contribué à l'évolution des scénarios sur le développement de cultures modernes et à la reconsidération même de ce terme de « modernité ». En Europe, c'est le cas des os gravés datés de 350 000 à 250 000 ans retrouvés sur le site de Bilzingsleben en Allemagne qui questionnent les capacités d'*Homo erectus* (Mania & Mania 1988). Dans la grotte de Gorham à Gibraltar, des hachures profondément ancrées dans la roche, prouvées intentionnelles, furent datées de 39 000 ans. À cette époque, *Homo sapiens* était présent en Europe occidentale, mais n'avait pas encore atteint l'extrémité sud de la péninsule ibérique ce qui laisse penser que l'Homme de Néandertal pourrait en être l'auteur (Rodríguez-Vidal et coll. 2014). Une découverte très récente faite dans la grotte d'Einhornhöhle dans le nord de l'Allemagne appuie davantage la présence de capacités symboliques chez Néandertal. Les auteurs ont découvert une phalange de mégacéros⁶ gravée de dix lignes dont six d'entre elles forment cinq chevrons superposés et décalés et qui serait datée de 51 000 ans. *Homo sapiens* a atteint cette partie de l'Europe il y a au plus 43 500 ans. Les capacités symboliques démontrées par Néandertal ont donc probablement été acquises indépendamment de l'influence de ce dernier (Leder et coll. 2021). En faveur de ce postulat, des peintures non figuratives réalisées à l'ocre dans trois autres grottes de la péninsule ibérique ont récemment été datées de plus de 64 800 ans (Hoffmann et coll. 2018). Ces découvertes qui attribueraient à l'Homme de Néandertal la capacité d'exprimer des comportements symboliques sont tout de même discutées, tant sur leur datation que sur le fait qu'elles soient véritablement d'origine humaine et pas juste résultantes de phénomènes naturels (Aubert et coll. 2018; Pearce & Bonneau 2018). Si avérés, ces dessins abstraits à l'ocre seraient les plus anciennes traces d'art rupestre retrouvées en Europe.

Sur le continent africain, les gravures anciennes les moins contestées proviennent du Middle Stone Age autour de 100 000 ans et sont attribuées à *Homo sapiens* (Henshilwood et coll. 2009). Cependant, sur le site de Trinil sur l'île de Java en Indonésie, la découverte d'un coquillage gravé daté de 540 000 ans associé à *Homo Erectus* pousse à reconsidérer une évolution de ce comportement limitée à *Homo sapiens* et une émergence unique en Afrique

⁶ Le mégacéros (*Megaloceros giganteus*), également nommé élan irlandais ou cerf géant mesurait près de 2,10 mètres au garrot ce qui le rendait probablement dangereux à chasser. Il serait apparu il y a 500 000 ans environ dans les steppes arides et froides d'Asie centrale.

(Joordens et coll. 2015). Bien que sujets à débat, ces témoignages de formes précoces d'activité graphique élargissent progressivement l'expression de ce comportement à d'autres espèces plus archaïques de la lignée *Homo*.

Concernant l'utilisation de technique de dessin à proprement parler, notamment l'utilisation d'ocre, une découverte récente faite dans la grotte de Blombos en Afrique du Sud témoigne d'un dessin abstrait de 73 000 ans fait sur roche (Henshilwood 2018). Plus que la production de gravures, le dessin faisait donc partie du répertoire comportemental des anciennes populations d'*Homo sapiens*. De ces traces énigmatiques semblent être progressivement apparus des dessins figuratifs, et ce presque au même moment, à différents endroits du globe (voir Figure 2 pour illustrations).

2.1.2 La naissance de la figuration

Le développement de l'art pariétal signe la caractéristique du Paléolithique supérieur. La figuration, essentiellement composée de figures animales n'a pas remplacé les marques plus abstraites pour autant. Celles-ci restent présentes et concomitantes au figuratif.

Depuis la découverte de la grotte d'Altamira, la majeure partie des grottes ornées mises au jour le seront en Europe, et plus spécifiquement dans la région francocantabrique s'étendant du nord de l'Espagne au sud-ouest de la France. Ces découvertes ont longtemps appuyé la thèse d'un changement comportemental et cognitif radical de la lignée humaine il y a environ 40 000 ans en Europe et aurait grandement participé à la définition ce que l'on entend par Paléolithique supérieur. Jusqu'à il y a peu, les plus anciens dessins figuratifs retrouvés étaient ceux de la grotte Chauvet en France datés d'environ 36 000 ans (Quiles et coll. 2016). Sur le continent africain, les plus vieux exemples de représentations figuratives datent de 26 000-28 000 ans. Il s'agit d'animaux dépeints au charbon ou à l'ocre sur 7 fragments de pierre retrouvés enfouis dans la grotte Apollo 11 au sud de la Namibie (Wendt 1976). Cependant, les découvertes réalisées depuis une dizaine d'années en Indonésie sur l'île de Sulawesi bouleversent les théories jusqu'alors établies sur l'évolution du répertoire culturel et graphique de l'Homme. Des peintures figuratives plus anciennes que celles retrouvées en Europe sont représentées sur les parois de plusieurs grottes de l'île (Aubert et coll. 2014). Plus encore, la plus vieille figuration jusqu'alors dévoilée, celle d'un cochon local sauvage dessiné

à l'ocre et daté de plus de 45 500 ans provient de l'une d'entre elles (Brumm et coll. 2021) (voir Figure 2 pour illustrations).

L'idée d'une révolution culturelle européenne est donc remise en question. L'aspect révolutionnaire marquant le Paléolithique supérieur semble s'avérer en réalité davantage lié à une discontinuité dans les découvertes archéologiques qu'à une transformation culturelle abrupte de la lignée humaine (Mcbrearty & Brooks 2000). Des techniques avancées de représentation ont pu apparaître indépendamment en Europe et en Asie du Sud Est. Toutefois l'hypothèse selon laquelle *Homo sapiens* pratiquait la peinture rupestre avant de quitter l'Afrique des dizaines de milliers d'années plus tôt, semble plus parcimonieuse. Cela paraît d'autant plus probable que ces premières productions réalistes sont déjà très avancées techniquement et suggèrent donc une naissance de la figuration bien plus ancienne.

Objet d'étude fascinant et véritable porte d'entrée sur l'évolution cognitive de notre lignée, l'interprétation de ces productions préhistoriques reste encore un mystère.



Figure 2. Principales découvertes concernant les premières traces graphiques et figuratives retrouvées dans le monde

2.1.3 Hypothèses et théories sur l'art préhistorique

L'art pariétal qui inclut l'ensemble des marques, gravures ou dessins réalisés sur les parois des grottes n'a, à ce jour, pas d'origine expliquée scientifiquement. Le débat est

toujours vif pour tenter de comprendre comment et pourquoi l'Homme en est venu à représenter sur les roches. Différentes théories ont vu le jour, notamment concernant l'apparition du figuratif au Paléolithique supérieur. Sans recherche d'exhaustivité, les prochaines lignes vont en présenter un bref historique. La théorie de l'art pour l'art, apparue rapidement après la découverte de la grotte ornée d'Altamira en 1879 fut très influente à son époque, mais n'est plus défendue de nos jours. L'Homme préhistorique, alors assimilé à un animal sauvage incapable de pensées profondes et symboliques, aurait dépeint ce qui l'entoure par pure motivation décorative. Celle formulée par l'abbé Breuil (1877-1961) qui considérait nos ancêtres comme des chasseurs avertis et tactiques perdurera en revanche jusqu'aux années 1960. Cette théorie se basait sur le fait que la majorité des représentations étaient des figures animales pour certaines touchées par des flèches, d'autres mi-humaines mi-animales ont alors été interprétées comme des « chasseurs déguisés pour approcher le gibier ». L'idée de rituels de chasse magiques fait alors son apparition. L'Homme préhistorique aurait fait un lien direct entre ce qu'il représente et la chasse à venir, attribuant ainsi un pouvoir surnaturel à ses œuvres. Au fil des découvertes, les scènes de chasse représentant des animaux blessés se sont avérées minoritaires et le bestiaire dessiné ne correspondait bien souvent pas à ce qui était consommé. Au début des années 1960, André Leroi-Gourhan défend une hypothèse « structuraliste » selon laquelle les dessins présents sur les parois des grottes ne sont pas placés au hasard et répondent à une organisation sophistiquée certainement basée sur une dualité femelle/mâle (Leroi-Gourhan 1968). Certains animaux dépeints, comme les bisons ou aurochs, seraient assimilés à des figures féminines et les chevaux à des représentations masculines. Thèse rapidement très influente, elle devint le courant de pensée majoritaire avant de se trouver peu à peu discréditée par la découverte d'autres grottes ornées comme celle de Chauvet structurée différemment. Pour autant, il s'agissait là de la première théorie qui reconnaissait aux Hommes du Paléolithique supérieur des capacités cognitives importantes. Proche de l'idée de comportements liés à la magie ou la superstition, Davis Lewis-Williams, appuyé en France par Jean Clottes, pense que les productions pariétales sont le fruit de pratiques chamaniques (Lewis-Williams & Clottes 1998). Disposant a priori d'un système nerveux très similaire au nôtre, les hommes du Paléolithique ont dû connaître des états modifiés de conscience comme des hallucinations. Les peintures alors réalisées seraient les témoins d'une communication avec les esprits (Clottes 2003). Cette hypothèse, qui est difficilement démontrable, a suscité et suscite aujourd'hui encore, opposition et

questionnements. De nouvelles interprétations de ces œuvres pariétales sont apparues au cours de la dernière décennie. Emmanuel Guy centre son analyse sur le style très naturaliste des œuvres pariétales et ce goût a priori développé pour l'imitation et la vraisemblance (Guy, 2017). D'après lui, ce type d'expression artistique est propre aux sociétés hiérarchisées dans lesquelles le pouvoir est ostentatoire et illustré par l'imitation, donc une reproduction fidèle de la nature. Ces œuvres sont techniques et font suite à un apprentissage certainement poussé du dessin. Le fait que seuls certains individus ont pu disposer du temps nécessaire pour apprendre ferait déjà penser à une forme d'inégalité des statuts sociaux du groupe. Nous pouvons citer d'autres courants de pensée comme celui de Jean-Loïc Le Quellec qui s'appuie lui sur la mythologie comparée pour interpréter ces productions graphiques (Le Quellec 2015) ou encore celui de deux non-spécialistes, Bertrand David dessinateur et le chercheur en médecine Jean-Jacques Lefrère qui proposent que les figures pariétales aient été produites en décalquant l'ombre d'objets produits en pierre, bois ou os, comme il en a été retrouvé dans divers sites archéologiques (David & Lefrère 2014).

Aucune des théories jusqu'alors avancées ne fait consensus et il semble peu probable, voire impossible, que l'on comprenne avec certitude l'origine contextuelle de ces œuvres. Étant donné la diversité et l'évolution de ces premières formes graphiques, les explications pourraient être multiples et changeantes.

Les pages précédentes de cette introduction ont permis d'appuyer l'importance de la recherche faite sur l'origine du comportement graphique dans la compréhension de l'évolution de la cognition humaine. Les nouvelles méthodes de fouilles ainsi que les techniques modernes de datation la repoussent à des temps toujours plus lointains. Comportement que nous pensions propre à *Homo sapiens*, le fait de laisser symboliquement « sa marque » semble avoir fait partie du répertoire comportemental d'autres espèces de la lignée *Homo*. Peut-on alors pousser l'investigation jusqu'à questionner l'esprit créatif des animaux non humains ?

2.2 Le dessin, un apanage humain ?

Le dessin, dans la définition que nous en avons ici, est un acte volontaire. Cependant, les marques produites peuvent impliquer des degrés d'intentionnalité variables : plaisirs moteur et visuel provoqués par l'action elle-même jusqu'à de véritables choix esthétiques en matière de couleurs, de formes ou de placements des marques par exemple. Au-delà de

l'action de dessiner, cela montre qu'il y a contrôle de ce qui est tracé et donc expression de préférences de la part de l'individu dessinateur. En résulte ce qui peut être appelé le **processus créatif**. Celui-ci nécessite l'existence de capacités cognitives sous-jacentes telles que l'expression de préférences visuelles ou la faculté de discriminer par exemple.

2.2.1 Préférence et discrimination visuelle

Utiliser une couleur plutôt qu'une autre ou privilégier les courbes plutôt que les traits droits c'est exprimer une préférence esthétique. L'esthétique et son estimation sont compliquées à étudier, car elles contraignent bien souvent à parler de « beauté ». Or, cette dernière étant subjective, dépendante des individus, des cultures et plus largement, socialement construite, il est périlleux de l'évoquer. Pour autant, il semble que la capacité de juger esthétiquement une chose ou un être n'est pas propre à l'être humain (Darwin 1871). En développant la théorie de la sélection sexuelle, Darwin proposa qu'à l'instar de l'Homme, les autres animaux disposent d'un sens de la beauté notamment en matière de choix du partenaire sexuel. L'évaluation de la beauté serait spécifique à chaque espèce et façonnée par son histoire évolutive propre. Les sons produits (chants, cris), les manifestations motrices (parades, danses, construction du nid), les phéromones et les signaux visuels tels que la taille du corps, la coloration, la longueur de certaines ornements sont autant d'indices de choix pour les femelles, généralement considérées comme le sexe le plus sélectif (Clutton-Brock & McAuliffe 2009). Le jugement qualitatif d'un congénère ou d'un de ses artefacts semble donc se retrouver chez l'animal non humain.

L'étude du phénomène de préférences sensorielles se retrouve aujourd'hui dans plusieurs disciplines. Chez l'Homme, l'esthétique empirique et la neuroesthétique sont prédominantes et centrent leurs recherches autour de la question suivante : comment fait-on l'expérience de la beauté ? À l'intersection entre les neurosciences et la philosophie, ces champs d'études cherchent à comprendre comment les comportements esthétiques émergent chez l'être humain dans son rapport avec les objets culturels qui l'entourent (Vidal 2011). Avec un autre point de vue, les biologistes se questionnent sur pourquoi les espèces préfèrent différents attributs dans le cadre de la sélection sexuelle. La première approche, en se cloisonnant à l'être humain, émet bien souvent l'hypothèse que ce dernier dispose d'un sens esthétique particulier et donc détaché de toute naturalité. Aller dans ce sens c'est

promouvoir une impossible continuité entre l'Homme et les autres animaux sur le sujet, ce pour quoi nous n'avons encore aucune preuve. Dans le cadre de la sélection sexuelle, plutôt que de questionner comment les préférences sont générées par le cerveau, l'intérêt est bien souvent porté sur une autre échelle, à savoir comment ces traits préférentiels sont sélectionnés (Skov, 2020).

À l'heure actuelle, les neurosciences avancent que les choix sensoriels apparaissent lorsque les perceptions d'objets physiques viennent s'associer à des signaux de préférence et de désir générés par des noyaux situés dans le circuit mésolimbique de la récompense. La question véritable est donc de savoir pour quelles raisons, au cours de l'évolution du cerveau, certaines représentations furent associées à des signaux hédoniques. En biologie animale, différentes approches tentent d'expliquer la signification adaptative de la préférence des femelles. D'après les modèles de bénéfices directs, les différences interindividuelles perçues donnent aux femelles une estimation honnête des attributs de chaque partenaire potentiel, leur permettant ainsi de choisir le plus attractif (Skov 2020). Les modèles basés quant à eux sur les bénéfices indirects prédisent que les mâles choisis confèrent des bénéfices génétiques à la progéniture des femelles soit par le biais d'une survie accrue ou bien d'un meilleur succès reproducteur des fils, qui disposant des attributs de leur père se reproduiront plus. Bien que soumis à débat, cette seconde approche permet de supposer que les préférences des femelles émergent pour des raisons non adaptatives, se rapprochant ainsi de l'affirmation de Darwin selon laquelle les sensibilités esthétiques des femelles conduisent l'évolution des caractères secondaires des mâles (Prum 2017). Une autre approche aux modèles directs et indirects fait sa place dans le monde scientifique : le modèle des biais sensoriels. Les préférences sensorielles des femelles seraient sélectionnées dans un contexte extérieur à la reproduction par sélection naturelle puis cooptées par le mécanisme sous-jacent au choix du partenaire sexuel (Endler & Basolo 1998; Ryan 1998). Ce postulat permet de considérer que les jugements esthétiques présents chez l'Homme pourraient être la cooptation d'un goût hédonique pour des caractéristiques qui auraient d'abord évoluées dans un contexte adaptatif (Skov 2020).

En dépit de ce que nous venons de voir, il n'en est pas moins vrai que les formes d'évaluations esthétiques réalisées par l'être humain sont particulières ne serait-ce que par le fait qu'elles puissent se porter sur des objets non utilitaires, partie prenante de notre *Umwelt* et sans rapport direct avec notre survie ou notre reproduction (Skov 2020). En ce qui concerne les autres animaux, et bien que les approches soient multiples, les préférences sexuelles sont

majoritairement perçues comme des adaptations mentales, ne faisant a priori pas appel à la conscience ou à des choix délibérés et en cela distincts de la façon dont on se représente le sens esthétique humain (LeDoux 2012; Miller 1998).

En suivant la pensée de Darwin selon laquelle le sens esthétique humain disposerait d'une base biologique, des études en cognition comparée tentent de retracer son origine évolutive en travaillant avec différentes espèces animales (Watanabe 2012). Au même titre qu'un stimulus auditif peut entraîner un renforcement sensoriel, un stimulus visuel le peut également, qu'il ait, ou non, un sens biologique pour l'espèce testée (préférence pour des images de congénères ou pour ceux présentant une meilleure symétrie faciale chez les macaques (Fujita & Watanabe 1995; Waitt & Little 2006) ; pour les photos d'humains plus que d'individus de leurs espèces chez des chimpanzés élevés en captivité (Tanaka 2007) ; allumer une lampe pour des rats (Berlyne 1969) ; etc.). La préférence pour les motifs réguliers et symétriques a été montrée chez plusieurs espèces, et ce dans un contexte biologique ou non (Møller 1993; Morris 1962; Rensch 1958; Schlüter et coll. 1998). Ikkatai et Watanabe (2011) ont examiné la préférence du moineau de Java (*Padda oryzivora*) pour différents courants artistiques en peinture. En étudiant le temps que passait chaque oiseau perché face à l'écran sur lequel des peintures (impressionnistes, japonaises ou cubistes) ou motifs en niveaux de gris étaient projetés, les chercheurs ont trouvé que les œuvres avaient des propriétés de renforcement et que des différences interindividuelles quant aux préférences pour certains styles émergeaient. Préférer un stimulus plus qu'un autre, c'est être capable de les discriminer, de les intérioriser comme distincts, ce qui est un des aspects du jugement esthétique. Lorsqu'on les entraîne, les moineaux de Java comme les pigeons (*Colombus sp.*) sont capables de reconnaître les styles de peinture et de différencier Picasso de Monet par exemple, même lorsqu'il s'agit de peintures qu'ils n'ont jamais vues (Ikkatai & Watanabe 2011; Watanabe 2001). Ce même type d'expérience a été réalisée avec des souris (*Mus musculus*) qui montraient également des facultés à discriminer, mais visiblement de façon moins performante que les pigeons (Watanabe 2017). Cette capacité de discrimination pourrait être basée sur des indices perceptuels différents des nôtres. Les pigeons auraient tendance à porter davantage d'attention à chaque élément de l'image (indices locaux) plus qu'à son ensemble (indices globaux) bien que cela puisse être variable selon les tâches proposées (Cavoto & Cook 2001; Legge et coll. 2009; Watanabe 2011).

2.2.2 Processus créatif

Exprimer des préférences pour certains stimuli ou savoir les différencier est une chose, les produire en est une autre. Dire d'un individu (ou de sa production) qu'il est « créatif », c'est reconnaître que son comportement ou ce qui en découle est nouveau. Des individus d'espèces animales autres que l'Homme se montrent créatifs notamment lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes, que ce soit chez les primates (Burkart et coll. 2009; Call & Tomasello 1995; Capitanio & Mason 2000; Fujita et coll. 2011), les rongeurs (Tokimoto and Okanoya 2004; Wass et coll. 2012), les mammifères marins (Hille, Dehnhardt, & Mauck 2006; Mann et coll. 2008; Scholtyssek et coll. 2013), les poissons (Bshary, Wickler, and Fricke 2002; Reader & Laland 2000), différentes espèces d'oiseaux (Funk 2002; Pepperberg 2004; Webster & Lefebvre 2001) et notamment les corvidés (Bird & Emery 2009; Heinrich & Bugnyar 2005; Taylor et coll. 2010; Wimpenny et coll. 2009). Cependant chez l'Homme la créativité est pensée plus largement que la résolution de problèmes et à différents niveaux : technologiques (ordinateur récent avec de nouvelles fonctionnalités), excentriques (la nouvelle couleur de cheveux de votre coiffeuse) et esthétiques (design du dernier MacBook®). L'Homme est la seule espèce à qui l'on reconnaît la capacité de produire quelque chose qui n'a d'autre but qu'elle-même⁷. Nous pouvons donc nous questionner : quelles sont les composantes du processus créatif ? L'animal peut-il exprimer un comportement créatif en dehors du cadre adaptatif, par simple volonté de faire ? (Chapitre V Article 6)

Produire un dessin fait appel à trois composantes majoritaires : les capacités motrices, les capacités cognitives et la présence d'une volonté, d'un intérêt (Watanabe 2012). En milieu captifs, les activités de dessin et de peintures sont utilisées comme enrichissement pour les animaux et lors de spectacles pour divertir le public. Des individus d'espèces diverses avec, par conséquent, des caractéristiques morphologiques différentes expérimentent l'exercice. En utilisant directement leurs pattes, leurs gueules ou leurs becs, perroquets, cochons, éléphants, chevaux, orangs-outans, chimpanzés et même dauphins⁸ peuvent appliquer directement la peinture sur une surface ou bien tenir un crayon ou un pinceau pour le faire (Watanabe 2012). Même si ces derniers ne possèdent pas toujours la finesse locomotrice

⁷ La notion « l'Art pour l'Art » que Benjamin Constant fut le premier à évoquer dans son Journal : « L'art pour l'art, et sans but ; tout but dénature l'art » sera ensuite repris par Victor Cousin en 1828 dans son cours d'histoire de la philosophie. Cette idée défend que l'art n'a pas d'utilité si ce n'est sa seule valeur hédonique.

⁸ <http://www.animalart.ru/> Site Russe dans lequel sont répertoriés les productions de différentes espèces

suffisante pour tenir correctement l'outil et l'utiliser, la motricité n'est a priori pas une limite à l'intérêt que peut susciter le dessin. La question se porte davantage sur le sens donné par l'animal à l'activité. Est-il possible qu'un animal non humain souhaite retranscrire un objet en trois dimensions en un dessin en deux dimensions ? Des animaux ayant des capacités motrices et cognitives développées peuvent être entraînés pour cela. C'est le cas de certains éléphants qui, sous une contrainte plus ou moins forte, vont apprendre à reproduire des dessins qui seront ensuite vendus aux touristes. L'imitation peut aussi avoir lieu sans contrainte ou entraînement la rendant scientifiquement plus riche. Ainsi des dauphins ont ainsi été vus reproduisant à la peinture des cercles ou des T, motifs qui avaient été dépeints par leurs entraîneurs sur d'autres toiles (Levy 1992). Les dauphins se montrent enclins à imiter l'humain (Herman 2002) et on ne peut pas conclure de cette observation qu'elle traduit une quelconque compréhension de la dimension représentative que peut avoir le dessin. À ce jour, aucun animal autre que l'Homme n'a été vu délibérément produire un dessin figuratif. Cependant, comme énoncé en amont de cette introduction, l'absence de figuration n'est pas synonyme d'une absence de volonté ou d'intérêt. Outre la haute dimension cognitive que nécessiterait la représentation du soigneur ou du congénère présent devant lui, l'individu peut apprécier l'exercice qui lui est proposé, chercher à remplir l'espace ou à utiliser les couleurs par exemple. Certains individus ont marqué les esprits de par leur propension à dessiner sans entraînement ou récompense particulière, mais aucun n'a été vu apprécier ses réalisations après les avoir terminées (Chapitre V Article 5).

Concernant l'activité de dessin, les autres grands singes ont, de par leur proximité phylogénétique avec notre espèce, particulièrement été étudiés.

2.2.3 Le dessin chez les grands singes

Étant donné que l'Homme est aujourd'hui la seule espèce d'Hominines, il est tentant de le penser exceptionnel, différent et par conséquent bien souvent « meilleur » que celles ayant disparues ou que les autres espèces animales. Nous constatons que plus la recherche avance, plus les frontières s'estompent, avec en premier plan les découvertes réalisées sur les autres grands singes. Les avancées faites en matière d'éthologie ont pu montrer que les chimpanzés avec qui nous partageons 95 à 98% de nos gènes (Waterson et coll. 2005) présentent notamment des variations culturelles intergroupes et disposent de la pensée

symbolique, deux choses qui jusqu'il y a peu nous étaient considérées comme propres. Nous avons vu que, dans un cadre évolutif, et nous le verrons plus loin dans un cadre ontogénique, disposer de la notion de symbolisme semble être une composante essentielle au développement du comportement de dessin (d'après les paléanthropologues voir 2.1 et les psychologues et spécialistes de la petite enfance voir 3.2). Fascinantes, artistiques, esthétiques, dénuées de sens, méritant ou non un intérêt scientifique, les productions graphiques produites par de grands singes captifs suscitent débats et questionnements depuis plus d'un siècle. Sans développer ce que nous exposons en détail dans l'article 5, les observations majoritaires peuvent être rappelées ici. Le comportement de dessin des grands singes, majoritairement étudié chez les chimpanzés, mais également chez les orangs outangs et les gorilles, n'est pas naturellement exprimé en milieu sauvage. Il s'agit d'un comportement exprimé en milieu captif lors d'enrichissements ou d'expérimentations. Bien qu'aucun individu n'ait jamais produit de dessin figuratif, les résultats de plusieurs recherches s'accordent sur l'aspect non aléatoire de leurs productions (Morris 1962; Schiller 1951; Zeller 2007). Longtemps pensée homogène, l'expression de ce comportement chez l'animal (MacDonald 2014) donne à voir en réalité de nombreuses différences interindividuelles. Certains individus montrent un intérêt plus grand que d'autres pour le dessin et peuvent même, dans une certaine limite faire évoluer leurs marques au fil du temps (Boysen et coll. 1987; Hanazuka et coll. 2019; Kohts 1935; Morris 1962; Schiller 1951; Smith 1973; Zeller 2007).

Abordé précédemment, vouloir comprendre ce qui nous définit en tant qu'Humains, ce qui nous rend uniques, c'est chercher à nous différencier des autres espèces animales. Cette quête d'unicité prend racine dans le courant de pensée de l'Antiquité grecque où l'Homme était frontière entre le monde réel et celui des cieux : « mélange de deux éléments : le corps, qui nous est commun avec tous les animaux ; la raison et la pensée, que nous avons en commun avec les dieux »⁹. Les recherches et l'accumulation de connaissances que nous obtenons de disciplines telles que la cognition comparée ou la primatologie, nous poussent à considérer chaque comportement dans une histoire évolutive qui s'étend au-delà de celle de notre espèce voire de celle du genre *Homo*. Ouvrir certains concepts aux animaux, alors qu'ils

⁹ Epictète, *Entretiens*, I, III (tr. E. Bréhier revue par P. Aubenque, dans *Les Stoïciens*, Gallimard, coll. La Pléiade, 1962, p. 815).

étaient considérés jusqu'alors spécifiques à l'être humain, peut s'avérer compliqué tant au niveau des méthodologies appliquées, qu'au niveau sémiotique (Chapitre V Article 6).

3. Le comportement de dessin chez l'Homme

Dans son expression chez l'Homme, le dessin est majoritairement étudié selon trois angles : l'angle évolutif avec l'étude des dessins et peintures préhistoriques, l'angle artistique par l'analyse des œuvres passées et contemporaines et l'angle ontogénique avec l'intérêt porté aux dessins d'enfants. Concernant ce dernier volet, l'époque et la culture ont pu jouer sur l'intérêt suscité. Platon affirmait que « L'enfant est un adulte miniature », et n'est donc pas fondamentalement différent de l'adulte si ce n'est par sa taille. La prise de conscience quant à une réalité psychologique propre à l'enfant n'est arrivée qu'au XVIII^e siècle avec certains penseurs comme Jean-Jacques Rousseau qui pensait que « Le petit d'homme n'est pas simplement un petit homme ». Il fallut cependant attendre le milieu du XIX^e siècle pour qu'une étude systématique des capacités enfantines se développe, la psychologie du développement prenait alors son envol. En ce qui concerne l'étude du dessin enfantin, les premières recherches datent de la fin du XIX^e siècle comme l'étude longitudinale réalisée par Darwin sur son fils (Ricci 1887 ; Darwin 1877; Sully 1896). À partir du moment où ils furent considérés, les dessins d'enfants, retranscriptions brutes du monde, perçues innocentes, vraies et uniques, n'ont jamais cessé de fasciner. Beaucoup d'artistes comme Kandinsky, Klee, Dubuffet ou encore Picasso qui affirma avoir mis toute sa vie à savoir dessiner comme un enfant, ont collectionné et se sont inspirés des dessins d'enfants (Fineberg 1997; Supsakova 2021). Dans le monde de la recherche, leur étude connaît une croissance en arborescence à partir du XX^e siècle. Le dessin est alors vu comme un *moyen* d'avoir accès aux états internes de l'individu, à ses émotions et à ses perceptions propres (ex. : test de Rorschach). Il s'agit également d'un *instrument* méthodologique en soi, dont la considération et l'analyse en tant que telles permettent de mieux comprendre le développement des représentations mentales ainsi que les capacités à les dépeindre (Reith 1997). C'est notamment dans cette seconde approche que la majeure partie des études sur le dessin enfantin s'inscrit.

3.1 Les stades de développement chez l'enfant

Aujourd'hui, le nombre d'études sur le dessin enfantin est tel qu'il est impossible d'être exhaustif. Elles portent sur différents aspects : la manière dont les enfants s'approprient les

outils de dessins (crayon, peinture), la maturation de leurs tracés et des formes qu'ils produisent, l'utilisation de la couleur et de son lien avec la figuration, l'aptitude à comprendre certaines représentations techniques (graphiques, dessins en perspectives, plans, etc.), la sensibilité esthétique ou encore les paramètres qui influencent leurs dessins. Concernant l'ontogénie de ce comportement, les théories furent multiples et aucun consensus réel n'est jusqu'à présent encore admis.

3.1.1 Conception et perception

Longtemps le postulat fut que les enfants ont un désir inné pour le réalisme, mais n'arrivent pas à l'atteindre suite à leur immaturité et à des limites d'ordre cognitif. Dans la culture occidentale, un dessin réussi est alors un dessin réaliste, tout ce qui lui précède n'est que tentative manquée et échec (Golomb 2002). Alors que la liberté exprimée par les dessins d'enfants, loin des conventions graphiques était appréciée et enviée des artistes, l'approche scientifique forgeait son analyse en s'appuyant sur les standards adultes du réalisme. Le but était de comprendre et d'identifier pourquoi les enfants produisent des imitations « manquées » de la réalité, comme les bonhommes têtards ou les phénomènes de transparence (dans lesquels l'enfant représente même ce qui est caché par un autre objet - le sommet de la tête sous un chapeau ou l'intérieur de la maison derrière les murs). L'idée dominante était alors la suivante : les jeunes enfants dessinent ce qu'ils savent, les plus âgés ce qu'ils voient (Kerschensteiner 1905). La frontière était posée entre conception et perception. En réalisant une étude longitudinale sur sa fille, Luquet théorisa le développement de dessin représentatif chez l'enfant en proposant 4 stades (Luquet 1927). Aux alentours de ses trois ans, l'enfant entre dans la phase de *réalisme fortuit* : les traces qu'il produit commencent à lui évoquer des objets, des animaux, etc. La première intention n'est alors pas à la représentation, il s'agit d'un basculement accidentel vers le réalisme. Vers 4-5 ans, en phase de *réalisme manqué*, les dessins deviennent progressivement interprétables par un observateur extérieur. Nous entrons alors dans ce que nous avons nommé la représentativité externe (Chapitre III Article 1). Avec l'exemple typique du bonhomme têtard, les premières figurations sont hésitantes et désorganisées car certaines parties manquent (le corps est absent, les bras et les jambes étant directement reliés à la tête). Entre 5 et 9 ans, Luquet parle de *réalisme intellectuel*, ce qui correspond à l'idée préalablement discutée, à savoir que les

jeunes enfants dessinent à partir des schémas internes qu'ils se font des choses, là où les plus grands dessinent ce qu'ils voient et perçoivent des objets. Dans leurs premières figurations, ils représentent tout ce qu'ils savent d'un objet, tous les éléments qui sont censés le composer, et ce même si un modèle leur est présenté d'une certaine manière. En cela, l'étude de Clark (1897) fournit un bon exemple. Il proposa à des sujets de 6 à 16 ans de dessiner une pomme traversée par une épingle à cheveux qu'il plaça devant chacun. Le principe de transparence se retrouvait dans les productions des plus jeunes qui dessinaient l'épingle en un trait continu passant au travers de la pomme. À cela l'auteur conclut : « Il [l'enfant] essaie de montrer non pas les apparences, mais les faits ». Il arrive également à cet âge que l'enfant représente les parties de l'objet en suivant différents points de vue menant à la réalisation d'un dessin dit « impossible » (utilisation d'une vue aérienne et représentation des pieds d'une table dans la prolongation des quatre coins d'un rectangle par exemple). En avançant en âge, l'enfant en devient progressivement conscient et entre alors dans la phase de *réalisme visuel*. Il intègre alors d'autres techniques graphiques telles que l'occlusion, la perspective ou la suppression de certains détails. Pour revenir à l'étude de Clark, les enfants finissent par représenter la pomme et l'épingle à cheveux tel qu'ils les perçoivent depuis leur point de vue, sans dessiner ce qui ne leur est pas accessible. La théorie de Luquet fait figure de référence dans l'étude du comportement de dessin chez l'enfant bien qu'elle présente certaines limites et que son interprétation soit parfois en partie erronée. Contrairement à ce qui peut être dépeint par certaines études, ces 4 stades de développement n'ont pas été pensés comme imperméables et fixes. Plusieurs études ont montré que l'appartenance des enfants à un stade peut en réalité changer selon l'exercice de dessin proposé et que la transition entre les stades se fait graduellement.

3.1.2 Apports et limites à la dichotomie « savoir » et « voir »

Dans une approche plus moderne, cette notion première selon laquelle les jeunes enfants dessinent ce qu'ils savent et les plus âgés ce qu'ils voient a bénéficié des découvertes faites dans le domaine de la perception visuelle. D'après Marr (1982), la représentation mentale des objets peut prendre deux formes : la description interne centrée sur l'objet ou celle centrée sur l'observateur. La représentation centrée sur l'objet étant définie de la manière suivante : « Une description mémorisée pour permettre la reconnaissance d'un objet

de n'importe quel point de vue »¹⁰ (Marr 1982, p. 300). C'est cette dernière qui nous permet de reconnaître un objet même s'il nous est présenté selon différents points de vue. Elle se rapprocherait en cela du stade de réalisme intellectuel décrit par Luquet. À ce stade, la flexibilité représentationnelle dont fait part l'enfant est très limitée, il a intégré des routines graphiques qui lui permettent de représenter les objets de son quotidien (Picard & Vinter 2005). Il restera longtemps en incapacité d'adapter la projection canonique qu'il a d'un objet pour atteindre le réalisme visuel (Freeman 1980). C'est ce qui ressort lorsque l'on demande à des enfants de produire le dessin d'une entité qui n'existe pas, comme un bonhomme ou un animal imaginaire. Alors que les enfants entre 8 et 10 ans changent l'orientation et la position de certains éléments et en rajoutent d'autres n'ayant aucun rapport, les plus jeunes, entre 4 et 6 ans se contentent de changer la taille ou de supprimer certains éléments à la fin de leurs dessins (Karmiloff-Smith 1990). Les enfants plus âgés sont dans une description centrée sur l'observateur, l'objet est dépeint de façon réaliste à partir de leur seul point de vue (c.-à-d. réalisme visuel). Dans l'expérience de Clark avec le modèle de l'aiguille passant au travers d'une pomme, les dessins des jeunes enfants proviennent d'une description mentale basée sur l'objet. Indépendamment de tous points de vue, l'aiguille passe au travers de la pomme et les enfants vont donc la représenter comme telle. Lorsque l'enfant produit un dessin basé sur ce qu'il voit, la partie de l'aiguille plantée dans la pomme n'étant pas visible elle ne sera pas représentée.

Bien qu'ancienne, la théorie du développement du dessin chez l'enfant de Luquet reste d'actualité. En observant les dessins produits, sans contraindre, sans intervenir et en prenant note des commentaires de l'enfant, il a bâti les fondements solides de ce domaine de recherche en théorisant sur le développement *naturel* des dessins de l'enfant. Quelques nuances et critiques ont émergé quant à la trop grande séparation faite entre conception et perception, réalisme intellectuel et réalisme visuel (Burgin 1986; Costall 1995; Gombrich 1960; Matthews 1999). Cette notion renvoie à l'idée de « l'œil innocent » de l'enfant. En grandissant, ses représentations seraient à l'image de ce qu'il perçoit sans influence de la manière dont il les conçoit mentalement. Autrement dit, la perception visuelle serait un reflet direct de l'image rétinienne et les dessins produits par les enfants avant un certain âge ne seraient que des tentatives ratées de reproduction de celle-ci. Selon Arnheim (1969),

¹⁰ Texte original : 'One description in memory to allow recognition of an object from any viewpoint', Marr, 1982.

conception et perception sont liées et ne peuvent être séparées : l'absence de perspective ou d'occlusion est perçue comme une anomalie, une erreur liée au fait qu'ils dessinent le concept qu'ils ont de l'objet plus que son apparence réelle. Mais alors comment se fait-il que leurs dessins soient souvent incomplets ? Dans les premières représentations de la figure humaine, les enfants ne dessinent bien souvent que la tête en omettant le corps ainsi que les bras ou les jambes bien qu'ils sachent pertinemment que l'être humain en possède. Golomb (1974) a montré que selon les tâches et les médias proposés à l'enfant pour qu'il dessine, les représentations s'avèrent être d'une précision variable. Par cela, elle remet en question l'idée que l'enfant dessine de façon univoque le concept qu'il a de l'objet. Suivant l'idée générale de cette dichotomie entre conception et perception, Willats (2005) fait tout de même part de quelques remarques. L'enfant dans la phase de réalisme intellectuel ne dépeint pas concrètement une représentation basée sur l'objet, car si tel était le cas son dessin serait celui de l'objet en trois dimensions incluant donc de la perspective. La transition vers le réalisme visuel est généralement placée entre 7 et 9 ans, mais ne correspond pas à l'âge véritable auquel la perspective se développe. Cette dernière restant même minoritaire dans les dessins d'adultes.

En partageant l'avis de Luquet selon lequel les enfants tendent à vouloir que leurs dessins soient réalistes, Willats a développé une autre approche des dessins d'enfants qui a permis une compréhension plus concrète de leur développement. Selon lui, on ne peut interpréter les états mentaux des enfants au travers de leurs dessins qu'après avoir pleinement cerné le développement du système de représentation de ces derniers (Jolley 2009; Willats 2005). En étudiant des dessins de tables réalisés par des enfants de 5 à 17 ans, il définit 5 systèmes de dessin : la topologie, la projection orthogonale, les projections obliques horizontales et verticales, la projection oblique et enfin la perspective (Figure 3). Willats (2005) a ensuite progressivement complété son modèle en ajoutant ce qu'il définit comme les systèmes dénotationnels. Il s'agissait pour lui de montrer que les lignes des dessins d'enfants vont avoir différentes significations selon l'âge. Les formes closes présentes dans les dessins des plus jeunes, qu'il appellera « régions », ne représentent pas les contours d'un objet, mais bien son volume entier. Le rond dessiné pour la tête d'un bonhomme ne dépeint probablement pas le visage vu de face, mais bien tout le volume de la tête (Willats 2005). Les jeunes enfants ont tendance à utiliser des régions rondes pour des volumes ronds (ex. : une tête), des régions longues pour des volumes longs (ex. : bras et jambes). Pour que leurs

représentations gagnent en efficacité, ils vont progressivement modifier ces régions par ce que Willats appelle des « modificateurs de forme » (bosse, ligne coudée, coins...). Les systèmes dénotationnels nous informent sur ce à quoi réfèrent les lignes d'un dessin (contours ou volumes) et les systèmes de dessin à l'arrangement spatial des éléments du dessin sachant que Willats encourage à faire des connexions entre les deux. Pour les dessins topologiques (premier niveau dans les systèmes de dessin qu'il définit), les lignes tiennent pour des volumes et l'arrangement spatial des éléments est simple, menant à un dessin irréaliste et incohérent (pas de recouvrement, pas de perspective). Ce stade s'apparente au réalisme intellectuel de Luquet et ne l'explique pas davantage. C'est en ce qui concerne la transition de ce stade à celui du réalisme visuel, que les travaux de Willats (2005) s'avèrent informatifs par le détail de l'évolution des systèmes de projection (orthogonal, oblique puis de la perspective) que l'enfant s'approprie graduellement.

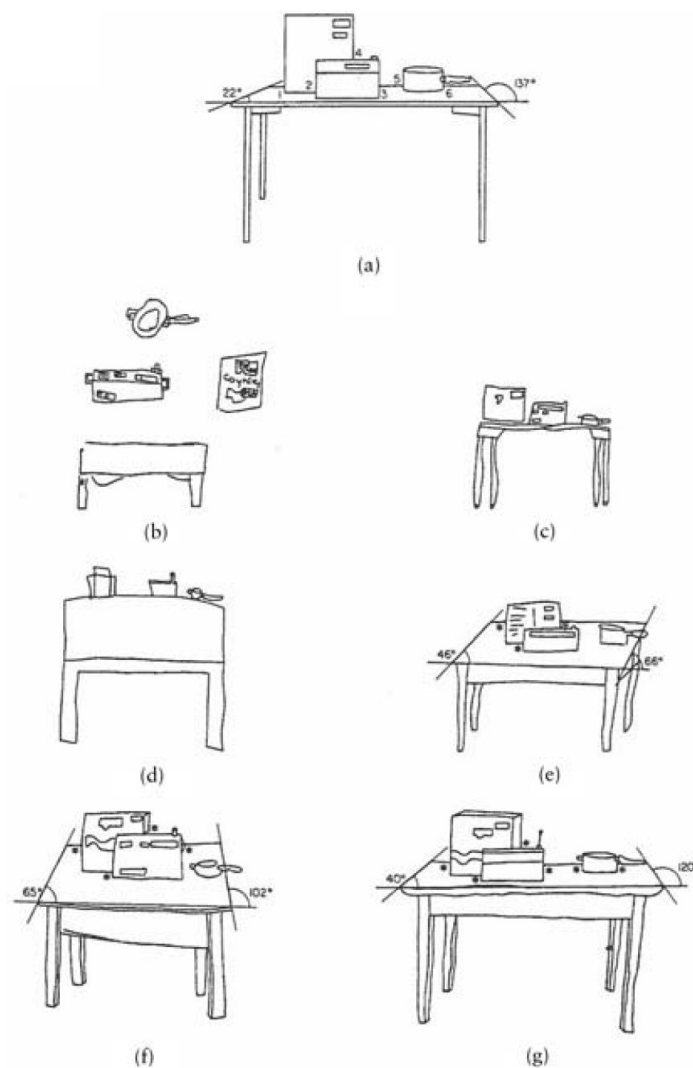


Figure 3. Dessins de tables par des enfants reflétant les systèmes de dessin définis par Willats : (a) vue réelle de la table, (b) système topologique, (c) projection orthogonale, (d) projection oblique verticale, (e) projection oblique, (f) perspective naïve, (g) perspective. D’après (Willats 1997).

Les recherches se sont souvent concentrées sur les dessins en eux-mêmes et sur ce qu’ils permettaient de comprendre du stade de développement dans lequel son auteur se trouvait (Cox 2005). Plus que l’intérêt porté aux dessins une fois terminés et séparés de leur contexte, certains plaident pour une analyse du processus de dessin en lui-même (Costall 1995; Cox 2005; Hall 2009; Papandreou 2014; Ring 2006). Comme décrit par Wright : « Pour ce faire, nous devons être réceptifs aux processus de dessin de l’enfant - ce qu’il ou elle essaie de faire. Cela ne signifie pas qu’il faut s’intéresser uniquement aux stratégies et aux compétences graphiques que l’enfant utilise lorsqu’il dessine, ou au produit final qui en résulte. Il faut plutôt se concentrer sur les processus de l’activité - les composantes indépendantes des dimensions graphique, narrative et corporelle de l’expérience de l’enfant.»¹¹ (Wright 2007b). Plutôt que d’essayer de comprendre en quoi et pourquoi les dessins d’enfants n’atteignent pas un niveau de représentation donné, essayer de comprendre en quoi le dessin sert l’enfant. Cette approche plus globale conduit à une prise en compte plus large du comportement de dessin, avant même que les productions soient à elles seules porteuses de sens.

3.2 Un nouveau regard porté sur le dessin d’enfant

Longtemps les productions produites avant l’âge de 4 à 6 ans n’étaient pas considérées. Au même titre que les babillages du langage, les premières marques étaient vues comme aléatoires et non dignes d’intérêt (Freeman 1980; Gardner 1980; Luquet 1927). En cessant de les comparer sans cesse à des tentatives de reproduction du réel, les dessins d’enfants dépassent très largement le cadre technique et l’exigence de la performance. En posant un autre regard, la recherche a pu montrer que les enfants disposent d’un sens esthétique qui leur est propre et que leur recours à l’abstrait ne provient pas nécessairement

¹¹ Texte original : *‘To do so, we must be receptive to the child’s drawing processes—what he or she is trying to do. This does not mean attending to just the graphic strategies and skills the child uses when drawing, or the resulting endproduct. Instead, focus should be upon the processes of the activity—the independent and interfaced components of the graphic, narrative and embodied dimensions of the child’s experience’* Wright 2007

d'un développement cognitif inachevé ou d'une déficience perceptuelle (Jolley 2009). Les représentations irréalistes qu'ils peuvent dépeindre jusqu'alors considérées comme des erreurs (transparence, recouvrement, différence de taille entre les éléments du dessin, etc.), se trouvent être en réalité une réponse à la difficulté de représenter sur une surface en deux dimensions les objets du monde en trois dimensions (Arnheim 1954; Freeman 1980; Matthews 2003; Quaglia et coll. 2015). Progressivement, le dessin est perçu comme un langage visuel à part entière qui aide l'enfant à communiquer au-delà des limites rencontrées avec le langage parlé qu'il ne maîtrise pas encore (Papandreou 2014; Wright 2007a). Le dessin est alors vu comme une activité symbolique, porteuse de sens qui émerge à chaque fois dans un contexte socioculturel particulier. Dans ce contexte, des études ont commencé à réévaluer ce moment clé du développement de l'enfant qu'est le stade de gribouillage.

3.2.1 Activités pré-représentatives chez le jeune sujet

D'après Longobardi (2015), le fait de ne pas capturer d'intentionnalité dans les dessins des très jeunes enfants serait plus dû à une limitation de l'observateur à la percevoir qu'à une absence de celle-ci chez le sujet. L'intention première émanant de cette activité n'est pas de représenter le monde extérieur, mais d'exprimer les ressentis du monde intérieur et cela n'est pas distinguable dans le dessin terminé. Les jeunes enfants ne dessineraient alors pas ce qu'ils savent de la réalité ou ce qu'ils voient, mais leurs expériences (Jolley 2009; Longobardi 2015). Matthews (1984) constate que la production volontaire de marques se développe bien avant les premiers gribouillages dès lors que l'enfant bouge sa main dans la purée de son assiette ou le verre d'eau qui s'est renversé sur la table. Même si la motivation première vient de la satisfaction instantanée, l'intention de laisser des traces sur différents supports est présente (Hope, 2008). Même s'il est parfois compliqué de distinguer la part d'interprétation qui découle du prisme propre de l'enfant de celle provoquée par ses interactions sociales, quand il donne un sens c'est qu'il a conscience du rôle communicationnel de son dessin quand bien même si celui-ci pourra changer à plusieurs reprises (Callaghan 1999; Jolley 2009). Des activités pré-représentatives sont à l'œuvre bien avant l'apparition du dessin figuratif, entre 1 et 3-4 ans. Le dessin constitue une activité sémiotique avant même l'apparition de la figuration (Matthews 2003). Lorsque l'enfant produit des marques en vocalisant et émettant des sons, il réalise des *représentations d'actions* ou *dessins gestuels*. Dans cette phase, l'enfant ne voit

pas plus loin que le bout de son crayon. Au cours du développement, les objets sont d'abord identifiés par leurs mouvements plus que par leur configuration (Kellman & Spelke 1983; Longobardi 2015; Mak & Vera 1999). Plus que l'objet en lui-même, ce sont ses propriétés dynamiques qui sont dépeintes (ex. : l'enfant trace tout en émettant des sons « vroummm vroummm » pour signifier une voiture ou bien produit des points « paf paf paf » en affirmant qu'il dessine un lapin) (Cox 1992; Freeman 1993; Matthews 1984, 1999).

On peut également distinguer une phase de *romance* au cours de laquelle l'enfant nomme son gribouillage, avant de le produire, pendant ou après, spontanément ou sous l'influence d'un observateur lui demandant ce qu'il dessine (Gardner 1980; Golomb 1974). Ce phénomène s'explique de différentes manières. L'enfant peut être dans une phase où il prétend savoir dessiner ; peut avoir l'intention de représenter quelque chose, mais ne pas y parvenir ; ou bien son dessin lui évoque un objet (réalisme fortuit, voir section 3.1.1). Vers 3 ans, il n'est pas rare que l'enfant ne réponde pas ou donne un sens non représentatif à ses marques (un dessin, un gribouillage, des traits). Adi-Japha et collaborateurs (1998) ont établi un lien entre les aspects cinématiques du tracé et les précurseurs de la représentation graphique. Les enfants se trouvaient plus à même de donner un sens à certaines parties de leurs dessins qu'à celui-ci dans son entièreté. Plus encore, les lignes brisées, produites par des changements de direction abrupts du tracé suggérant plus facilement les contours d'un objet avaient une valeur informative supérieure aux lignes courbes (Adi-Japha et coll. 1998).

Enfin, le *dessin supervisé* ou *élicitation guidée*, lorsque l'enfant ne parvient pas à produire seul une figuration, mais réussit à le faire lorsqu'il est aidé d'un tiers (Adi-Japha et coll. 1998). Il sera alors capable de compléter le dessin commencé par un adulte ou de l'organiser s'il lui est dicté « dessine-moi le ventre puis une jambe puis l'autre ». Cette troisième phase peut être très précoce comme montré par les travaux de Yamagata et collaborateurs (Yamagata 2001; Yamagata & Shimizu 1997). Pour produire un dessin figuratif, l'enfant doit internaliser les caractéristiques d'un objet en tant que composantes pour pouvoir ensuite les dépeindre de façon spécifique et ordonnée (Yamagata 2001). Dans leur expérience, des formes incomplètes représentant seulement les contours d'une voiture sans les roues ou ceux d'un visage étaient présentées à des enfants de 1 à 3 ans. Avec cette tâche de dessin guidée, les enfants dès 1 an et demi dessinaient à l'intérieur des contours et ceux entre 2 et 2 ans et demi produisaient des marques par paires gauche et droite (yeux ou oreilles). À 2 ans et demi, les enfants organisaient leurs dessins de façon à en dépeindre les composantes de

haut en bas. Même s'ils ne pouvaient pas encore produire de dessins figuratifs par eux-mêmes, la tâche guidée par la présence de contours leur permettait plus facilement d'extraire et d'organiser les éléments du dessin (Yamagata 2001). Les premiers dessins, plus que reflétant un plaisir locomoteur simple et loin de n'être soumis qu'à l'aléatoire, constitueraient l'émergence de la représentation graphique.

3.2.2 Naissance du dessin figuratif chez l'enfant

Le nouveau regard porté sur les premiers dessins produits par les enfants a étayé la connaissance que nous avons de la transition vers le figuratif. Concernant l'apparition des premières formes reconnaissables dans le dessin, deux thèses relativement proches se confrontent dans la littérature. Kellogg (1969) en s'intéressant aux marques produites par les enfants entre 2 et 3 ans, a défini et isolé 20 unités de gribouillages élémentaires. Ces premières marques ne seraient pas soumises au contrôle visuel et l'enfant n'y porterait pas grande attention. Progressivement, le placement de ces unités élémentaires sur le papier serait en revanche un choix délibéré nécessitant une attention visuelle. D'après son postulat, l'activité de dessin évoluerait de façon progressive et ordonnée, depuis ces marques simples, par la suite assemblées en motifs de gribouillage jusqu'à des formes plus complexes qui seront utilisées pour la figuration. D'après l'auteur, la recherche de ressemblance ainsi que la symbolisation sont absentes dans les dessins des plus jeunes. Ce serait alors l'environnement social de l'enfant (parents, professeurs, camarades plus âgés) qui serait responsable de la production de dessins figuratifs. Il s'agit en cela d'une théorie qui diffère de celle de Luquet qui affirme que la représentation apparaît fortuitement lorsque l'enfant fait l'analogie entre ses marques abstraites et les objets du monde réel (Freeman, 1980; Luquet, 1927).

Comme décrit dans la sous-partie précédente, et contrairement à Kellogg, Matthews (1984) estime que les capacités symboliques émergent avant que l'enfant ne puisse atteindre un contrôle visuomoteur suffisant à la production de formes plus concrètes. En revanche, les deux auteurs sont en accord sur le fait que les premières marques sont des précurseurs nécessaires au développement du dessin et à la formation de motifs plus élaborés. Tous les deux parlent de l'importance des formes closes telles que des ronds imparfaits dans l'apparition du dessin figuratif. Ceci fut notamment développé par Golomb (1992) qui affirme que l'enfant, après une longue période d'appropriation des outils de dessin et des premières

marques qu'il peut produire, découvre, parfois de façon accidentelle, qu'il a produit une boucle ou un motif clos. Cette forme nouvelle capte alors son attention et le pousse à essayer de la reproduire à nouveau. Ces motifs clos ont une qualité figurative intrinsèque et poussent l'enfant à les compléter. Ils sont à la base de la production de contours et vont rapidement héberger en leurs seins points, traits et autres motifs qui serviront la représentation symbolique (Golomb 1992).

3.2.3 Le moteur de l'activité de dessin

Le débat est également animé pour comprendre ce qui motive l'enfant dans cette activité. Nous l'avons précédemment évoqué, le développement du dessin, au même titre que celui du langage parlé, est un mélange entre nature et culture. Une personne malvoyante ou non exposée à un univers graphique riche et n'ayant jamais eu l'opportunité de dessiner sera, après quelques gribouillages incertains rapidement en capacité de produire un dessin figuratif rudimentaire (Andersson & Andersson 2009; Cohn 2012; Court 1982; Golomb 1992; Kennedy 1993; Millar 1975; Willats 2005). Ces recherches, qui attestent de la part innée de ce comportement, ont par ailleurs ébranlé le postulat de Kellogg qui statuait sur un développement progressif du dessin, de l'intégration de motifs simples à leurs combinaisons en formes plus complexes porteuses de sens.

Et en ce qui concerne la part culturelle de ce comportement, quel en est le moteur ? S'agit-il ou non d'un comportement d'imitation de l'adulte ? Pour certains, l'imitation serait à l'origine des premiers gestes graphiques (Longobardi 2015; Quaglia et coll. 2015). L'enfant agirait en voulant imiter l'adulte qui écrit. D'après l'approche culturaliste de Wilson, l'enfant acquiert le langage graphique propre à sa culture par imitation des modèles graphiques disponibles (Wilson 1985). Dans l'idée que dessiner c'est internaliser un vocabulaire graphique, Cohn (2012) affirme que notre propension à cette activité serait innée, mais que l'acquisition d'une véritable aisance graphique serait un apprentissage dans lequel l'imitation pourrait avoir sa place.

Pour ce qui est de copier les formes graphiques en tant que telles, Willats (2005) transpose au dessin la théorie de Chomsky sur le langage. Les erreurs de langage des enfants, au même titre que celles de leurs dessins étaient perçues comme de simples erreurs de copies. Or, on apprend un langage en apprenant des règles. En cela l'enfant n'imité pas des formes

graphiques, mais les crée et les développe. Le dessin, contrairement au langage parlé, ne fournit pas au jeune enfant un système de symboles « prêt à l'emploi ». Par définition, le monde tridimensionnel qui entoure l'enfant ne peut pas servir de modèle direct à ses retranscriptions en deux dimensions. Les premiers gestes graphiques nécessitent un acte autonome d'invention graphique (Arnheim 1969; Golomb 1992).

Nous explicitons maintenant depuis plusieurs paragraphes la question du développement du dessin chez l'enfant, mais qu'en est-il lorsqu'il grandit ? Bien qu'elle puisse être étayée par les découvertes faites chez les plus jeunes, admettons l'hypothèse première de Luquet selon laquelle l'enfant est poussé par son désir de réalisme. Selon cette dernière, l'enfant ne produirait un dessin réaliste, et donc répondant à ses attentes, qu'aux alentours de 7 à 9 ans, 12 ans selon Willats (2005) qui affirme que la perspective arrive rarement avant. Nous ne pouvons alors que souligner le paradoxe : l'âge auquel les enfants parviennent au dessin véritable correspond également à celui qui signe l'arrêt de leur intérêt pour cette activité (Quentel 1992). Mais alors pourquoi arrêtons-nous de dessiner ? Entre 11 et 14 ans, la progression des capacités graphiques stagne, le désintérêt et l'auto-jugement entraînant ce que Cohn définit comme une période d'oppression ou période critique d'après Royer (Cohn 2012 ; Royer 1995). Les jeunes enfants ont tendance à surévaluer leurs performances graphiques contrairement aux enfants plus âgés qui réalisent eux une auto-évaluation plus juste de leurs productions (Bonoti & Metallidou 2010; Jolley et coll. 2000; Rose et coll. 2006). Dès l'âge de 8 ans, les enfants deviennent plus exigeants et perçoivent davantage leurs dessins comme imparfaits entraînant une baisse de confiance en leur capacité à dessiner (Bonoti & Metallidou 2010). Rose et collaborateurs (2006) ont montré que même si les enseignants et parents encouragent leurs enfants à dessiner, ils les incitent bien souvent à produire des dessins réalistes, répondants à certaines normes graphiques établies ce qui peut dans une certaine proportion limiter leur créativité. De plus, dans les sociétés occidentales, le dessin n'est pas considéré comme un élément clé du programme scolaire ce qui ne valorise pas la pratique et n'encourage pas l'enfant à s'exprimer graphiquement. Dans son développement, la part acquise du comportement de dessin est donc modelée et affectée par différents facteurs.

3.2.4 Dessiner, un comportement sous influences

Sans recherche d'exhaustivité, les influences possibles sont nombreuses et majoritairement de deux natures : internes à l'enfant et à son développement (âge bien entendu, personnalité, genre, motivation, expériences passées, etc.) ou environnementales (entourage socioécologique, milieu socioculturel, méthode d'apprentissage, culture, etc.) (Oğuz 2010). Nous parlerons ici de la culture et du genre qui ont particulièrement été investigués. D'après la vision selon laquelle l'ontogenèse du dessin est guidée vers des transcriptions graphiques de plus en plus réalistes, tout à chacun devrait réaliser le même type de productions à chaque tranche d'âge. Or, tous les sujets ne dessinent pas de la même manière. Visibles entre enfants de pays et donc de cultures différentes, ces disparités peuvent également être constatées entre les enfants d'une même classe, en particulier entre filles et garçons (Picard & Zarhbouch 2014). Ces variations dans les dessins enfantins ont reçu une attention tardive de la part du monde de la recherche, l'idée d'un développement homogène, voire stéréotypé, primant sur ces dernières.

Comme développé plus en amont de cette introduction, Cohn (2012), en s'appuyant sur le postulat de Goldin-Meadow (2005) à propos du langage, distingue les propriétés résistantes du dessin de celles plus fragiles qui nécessiteraient un apprentissage. Ainsi peu importe la place laissée aux activités graphiques et le degré d'exposition au dessin dans le milieu familial ou culturel de l'enfant, chacun va pouvoir naturellement dessiner et disposer de rudiments graphiques. Bien que le dessin dispose d'une certaine universalité dans son développement, cela ne signifie pas qu'il est homogène (Matthews 1999). Les aptitudes motrices, cognitives et perceptuelles vont s'améliorer, mais l'acquisition d'un vocabulaire graphique riche passera par un apprentissage, passif ou actif lui-même fortement imprégné par la culture et la société d'appartenance.

L'étude de dessins types comme celui du bonhomme a permis de mettre au jour la part acquise du comportement de dessin. La figure anthropomorphique est bien souvent la première figuration produite par l'enfant bien que sa fréquence puisse être faible dans certaines cultures notamment africaines (Baldy 2002; Picard & Zarhbouch 2014). Plusieurs études ont montré que le développement de la représentation de la figure humaine suit un schéma similaire entre enfants de cultures différentes (Gardner 1980; Golomb 1974; Rübeling et coll. 2011). Cependant le milieu dans lequel l'enfant grandit conditionne le type de schémas graphiques qu'il intègre. En effet et bien que le rôle prépondérant de l'imitation soit questionné, il n'en est pas moins vrai que l'univers graphique et culturel dans lequel l'enfant

évolue va jouer sur les représentations qu'il produira (Cox et coll. 2001). Dans la représentation du bonhomme, les différences ne concerneront pas uniquement la manière dont certains éléments du corps sont dessinés, mais aussi la posture du personnage, le nombre d'éléments du corps représentés, l'orientation ou encore la taille de la représentation (Cox et coll. 2001). Lorsque l'on demande à un enfant de se représenter, la conception qu'il a de lui-même ressort dans les caractéristiques de son dessin. Markus et Kitayama (1991) distinguent deux conceptions de soi : le *soi interdépendant* dans lequel l'individu se perçoit comme faisant partie d'un groupe social et ne pouvant en être détaché et le *soi indépendant* qui caractérise une vision plus égocentrée. En cela les enfants vivants dans des milieux où la vie en communauté est la norme et où la famille a une place centrale auront tendance à ne pas se représenter seuls et se dessineront relativement petits. L'enfant, vivant dans un milieu plus individualiste, majoritairement occidental, se représentera le plus souvent seul et la taille de son personnage sera plus importante (Dennis 1960; Richter 2001; Rübeling et coll. 2011). Il s'agit là d'un exemple du rôle que jouent les expériences sociales précoces d'un enfant dans la conception qu'il aura de lui-même ou de ce qui l'entoure et donc dans la représentation qu'il en fera.

En ce qui concerne les dessins des filles et des garçons, des différences peuvent être perçues notamment dans le dessin libre (Milne & Greenway, 1999; Picard & Boulhais, 2011; Picard & Gauthier, 2012; Turgeon, 2008; Wright & Black, 2013). Plusieurs recherches ont tenté de comprendre la signification des couleurs dans les dessins d'enfants. Rattachés aux émotions, le rouge est perçu comme synonyme de violence, d'agressivité, le jaune comme traduisant l'hostilité et le marron la timidité. Mais lorsque l'on se penche sur les couleurs utilisées et leur nombre, des différences entre filles et garçons sont visibles. Les filles utilisent généralement plus de couleurs que les garçons, ce qui est notamment visible après la puberté lorsque ces derniers tendent à inhiber leurs émotions (Milne & Greenway 1999; Turgeon 2008; Wright & Black 2013). Les filles utilisent majoritairement des couleurs chaudes et lumineuses, notamment le violet et le rose alors que les garçons se tournent vers les couleurs plus froides et ternes (Ellis & Ficek 2001; Iijima et coll. 2001; Turgeon 2008). Cependant cette différence n'est pas toujours constatée, car elle dépend bien entendu grandement de ce qui est représenté (Wright & Black 2013). Il n'est pas toujours aisé de comprendre dans ce que l'enfant dessine, si la couleur y a un rôle fonctionnel ou préférentiel (les couleurs utilisées pour figurer un arbre seront certainement plus homogènes que la couleur sélectionnée pour

représenter une voiture). Les explications apportées quant à ces différences de couleurs utilisées sont de trois ordres : liée à l'évolution de notre espèce, biologique ou sociale. Certains affirment qu'elles sont liées à notre passé de chasseur-cueilleur. Bien que cela se discute actuellement en paléanthropologie, les hommes semblaient majoritairement en charge de la chasse et les femmes de la récolte. Ces dernières auraient ainsi évoluées vers une bonne reconnaissance des fruits et ainsi vers une meilleure sensibilité aux couleurs (He et coll. 2011; Hurlbert & Ling, 2007). Ces différences pourraient aussi être d'ordre purement biologique et présentes depuis la naissance. Certaines recherches pointent du doigt les taux prénataux d'androgène et de testostérone (Iijima et coll. 2001; Lutchmaya et coll. 2004; Turgeon, 2008). L'exposition prénatale aux androgènes joue sur le développement du dimorphisme sexuel et son action pourrait s'étendre aux choix artistiques faits par les enfants (Iijima et coll. 2001; Turgeon, 2008). Quant à la théorie sociale, elle s'appuie sur le fait que les couleurs sont utilisées comme marqueurs de l'identité sociale, politique, religieuse et de genre (Koller, 2008). La dichotomie extrême entre bleu et rose qui sévit dans nos supermarchés occidentaux depuis un demi-siècle en témoigne. Plus qu'une couleur, le rose est un marqueur du genre féminin beaucoup plus connoté que le bleu ou le marron ne peuvent l'être pour les garçons. Le rose a donc été rattaché aux valeurs considérées comme féminines dans nos sociétés : la douceur, la beauté, la sensibilité. Ainsi, de fait le rose et le violet sont bien souvent les dernières couleurs utilisées par les garçons (Wright & Black, 2013). Culturelles, éducationnelles ou sociales, ces injonctions, pleinement intériorisées par les enfants se retrouvent alors dans leurs dessins. Il en va de même pour les thèmes dépeints. De façon stéréotypée, les filles représentent majoritairement des éléments de la nature comme des fleurs ou des animaux et dessinent généralement avec plus de détails que les garçons qui représentent davantage des objets mobiles et mécaniques (Cherney et coll. 2006; Turgeon, 2008; Wright & Black, 2013). Bien sûr, il ne s'agit là que d'un aperçu des influences pouvant jouer sur le dessin. Comme pour tout comportement, l'expression interne est modifiée et modelée par l'environnement extérieur.

4. Objectifs du projet de recherche

Après avoir réalisé un état des lieux de la recherche sur le dessin, dans son aspect évolutif et ontogénique chez l'Homme, il est temps d'y inscrire notre étude et ses apports.

Cette thèse est à l'essor d'un projet de recherche qui vise à étudier de façon objective le comportement de dessin chez les hominidés. Au fil de l'introduction, nous avons pu cerner les limites de certaines conclusions faites sur son développement chez l'Homme et sur son étude chez les autres grands singes. Comme l'affirme Baldy (2005) « c'est le regard qui fait le dessin ». Or que conclure d'un dessin que nous ne pouvons ni lire ni déchiffrer ? C'est notamment le cas lorsque l'auteur est un très jeune enfant de moins de 4 ans ou un individu d'une autre espèce animale comme un chimpanzé. Bien souvent ces productions sont alors considérées aléatoires. La figuration fait office de preuve d'intention, mais l'inverse n'est pas nécessairement vrai. Cependant, sans façon d'analyser ce type de tracé abstrait, il est impossible d'en conclure quoique ce soit. Dans ce cadre et plus largement pour tous types de dessin, n'y a-t-il pas des informations non accessibles aux premiers abords qui le seraient par le biais de méthodologies nouvelles ? Les objectifs de mon doctorat sont alors majoritairement de deux ordres : (1) développer de nouveaux outils d'analyse objectifs du dessin afin de compléter notre connaissance sur le sujet et (2) discuter et favoriser l'inclusion d'espèces de primates non humains pour davantage en comprendre les tenants évolutifs. Que ce soit par les méthodes d'analyses empruntées aux mathématiques et à l'écologie du mouvement que je transpose au dessin, par les connaissances fondatrices en psychologie et en éthologie sur lesquelles je m'appuie ou encore par les réflexions philosophiques qui m'ont traversée, ce travail de recherche est à la croisée de multiples disciplines.

(1) Ce projet de recherche ne vise pas à remplacer les nombreuses études réalisées sur le comportement de dessin, mais plutôt à les compléter en éclairant des aspects jusqu'alors difficilement accessibles avec les méthodologies utilisées. L'étude de dessins papier est riche, mais peut s'avérer limitante, car le tracé y est figé et sa dynamique difficilement analysable. Le fait de récolter des dessins réalisés sur écran tactile permet d'obtenir les coordonnées de chaque point du tracé ainsi que les temps de réalisation, il est ainsi possible d'envisager de nouvelles formes d'analyses (protocole et matériel sont détaillés dans le Chapitre II). Dans le Chapitre III, je détaille deux nouveaux indices tirés des analyses fractales transposées à ces données. Le premier permet de mieux comprendre le tracé dans son aspect spatial (**Article 1**). Il traduit l'efficacité avec laquelle le dessin est effectué, autrement dit le niveau auquel la représentation est pleinement compréhensible sans ajout de détails supplémentaires. Le second indice a pour but d'appréhender la dynamique temporelle du comportement de tracé

dans son aspect intermittent, entre moments de dessin à proprement dit et interruptions (**Article 2**). Dans le Chapitre IV, l'objectif fut de combiner ces nouvelles métriques avec celles classiquement utilisées dans l'étude du dessin, mais aussi avec d'autres métriques appliquées dans des études comportementales afin de mettre au point une méthodologie nouvelle de caractérisation des dessins (**Article 3**). La question étant toujours : grâce à cela, serons-nous en capacité de visualiser des différences entre nos sujets ? Nous avons par la suite testé l'ensemble des dessins d'enfants et d'adultes dont nous disposions (**Article 4**).

(2) En parallèles des dessins collectés chez l'Homme à différents âges, nous avons pu, à deux reprises, collecter des dessins de cinq femelles chimpanzés au Japon. Leurs productions sont d'ailleurs traitées au même titre que celles des humains pour les analyses fractales spatiales (**Article 1**). Les résultats obtenus dans cette étude ainsi que l'observation directe de leur comportement de dessin nous ont conduits à questionner davantage son expression. Avant toute chose, il nous a semblé nécessaire de faire l'état des connaissances accumulées sur le dessin chez les primates non humains. Nous avons donc entrepris l'écriture d'une revue de littérature. Plus qu'un simple catalogue, nous y soulignons les points clés de ce type de recherche et les perspectives qu'ouvre l'utilisation de nouveaux outils technologiques tels que les dispositifs tactiles (**Article 5 - Revue de littérature**). Nous avons ensuite poussé la réflexion sur le dessin chez l'animal non humain lors de l'écriture d'un chapitre d'ouvrage pour un appel à contributions lancé par Éric Baratay dans le cadre d'un programme IUF « Penser du côté des animaux » (**Article 6 - Chapitre d'ouvrage**). Ce travail nous a conduits à nous détacher de la vision anthropocentrée que nous avons de ce comportement en apportant des pistes de réflexion nouvelles. L'une d'entre elles étant de reconsidérer le facteur individuel dans l'expression du comportement de dessin, j'ai alors entrepris l'écriture d'un article sur les différences interindividuelles que j'avais pu constater chez les femelles chimpanzés prenant part à notre étude (**Article 7**). La différence d'intérêt pour l'activité de dessin chez les primates non humains avait déjà été constatée dans de précédentes études, mais jamais investiguée concrètement.

CHAPITRE II

MÉTHODES GÉNÉRALES







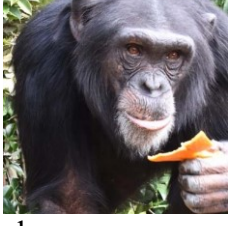
1. Présentation des sujets



1.1 Chimpanzés et conditions de vie

Un total de sept femelles chimpanzés (*Pan troglodytes*) a pris part à ce travail de doctorat (Tableau 1). Cinq d'entre elles appartenaient à un même groupe social comprenant un mâle supplémentaire et entretenu au Sanctuaire de Kumamoto (KS) du *Wildlife Research Center* de l'Université de Kyoto au Japon (KS). Les chimpanzés ont accès à un enclos intérieur et un enclos extérieur dont les dimensions peuvent varier : de 70m² jusqu'à environ 300m² et de six mètres à douze mètres de hauteur. Les enclos sont tous enrichis avec de la végétation, des plateformes, des tuyaux d'incendie suspendus et des hamacs. L'eau y est en accès illimité et les repas à base de végétaux, fruits et noix sont donnés trois fois par jour. À cela s'ajoute un enrichissement alimentaire plusieurs fois par semaine (jus de fruits, nourriture dissimulée dans des boîtes ou des journaux, nourriture enfouie, etc.). Les femelles avec lesquelles nous avons travaillé participent également à d'autres recherches non-invasives (cognitives, comportementales, endocrinologiques et génétiques). Deux d'entre elles (Hatsuka et Mizuki) ont en partie été élevées par les soigneurs suite au rejet de leur mère respective.

Les deux autres femelles ayant pris part à notre étude vivent au *Primate Research Institute* (PRI) de l'Université de Kyoto à Inuyama au Japon. Suite au rejet de sa mère, Pan a été élevée par les soigneurs. Ai, arrivée au centre de recherche à l'âge d'un an, l'a également été en partie. Toutes deux vivent en groupe avec dix autres individus et ont accès à un enclos extérieur de 700m² dans lequel plusieurs arbres de différentes espèces ont été plantés et qui comporte trois tours de quinze mètres de haut avec cordes et plateformes. Cet espace extérieur est relié à deux grands enclos intérieurs de 20m² chacun et de quinze mètres de hauteur dans lesquels elles peuvent circuler librement. Elles ont un accès illimité à de l'eau et aux végétaux présents dans leurs enclos. Elles sont également nourries plusieurs fois par jour à base de fruits. De plus, les enclos intérieurs sont équipés d'un système d'écrans tactiles contrôlés par ordinateur pour les tests cognitifs, qui sert de dispositif d'enrichissement offrant des récompenses alimentaires supplémentaires aux individus qui participent. En matinée, la semaine, elles prennent part à des expérimentations comportementales et sont notamment familières avec l'utilisation d'écrans.

Tableau 1. Présentation des individus

Centre de recherche	Individus	Année de naissance	Condition de test
<p><i>Wildlife Research Center, Kumamoto</i></p>	 Natsuki	2005	Testée seule
	 Mizuki	1996	Testée avec sa fille Iroha
	 Hatsuka	2008	Testée avec sa mère Misaki
	 Misaki	1999	Testée avec sa fille Hatsuka
	 Iroha	2008	Testée avec sa mère Mizuki

<i>Primate Research Institute, Inuyama</i>	 Ai	1976 (supposée)	Testée seule
	 Pan	1983	Testée seule

1.2 Participants humains

1.2.1 Enfants

Ce sont 144 enfants de trois à dix ans provenant tous de l'école Sainte-Clotilde à Strasbourg qui ont pris part à notre étude (Tableau 2). Les dessins des enfants de maternelle (de trois à cinq ans) ont été collectés en 2018 et ceux de primaires (de sept à dix ans) en 2019. Les enfants de six ans (CP) n'ont pas été testés une nouvelle fois en 2019 étant donné qu'il s'agissait de ceux de grande section de l'année précédente. Pour chaque enfant le genre, l'âge (mois) et la préférence manuelle étaient relevés.

Tableau 2. Participants enfants

Classes d'âge	Genre	Effectifs
3 ans	filles	n=5
	garçon	n=15
4 ans	filles	n=10
	garçon	n=10
5 ans	filles	n=10
	garçon	n=10
7 ans	filles	n=12
	garçon	n=11
8 ans	filles	n=9
	garçon	n=9
9 ans	filles	n=10
	garçon	n=11
10 ans	filles	n=11
	garçon	n=11

1.2.2 Adultes

41 adultes volontaires ont pris part à l'étude. Nous avons collecté des dessins d'experts (illustrateurs) et de novices (n'ayant jamais pris de cours de dessin et ne le pratiquant pas en hobby (Tableau 3). L'idée était alors de disposer d'un panel relativement large de compétences afin de voir si cela ressortait dans nos analyses futures.

Les adultes dits novices étaient des chercheurs et étudiants du Département d'Écologie, Physiologie et Éthologie de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (CNRS-Université de Strasbourg) et les experts étaient eux illustrateurs professionnels ou étudiants à la Haute École des Arts du Rhin de Strasbourg. Pour chaque personne, le genre, l'âge et la préférence manuelle étaient relevés.

Tableau 3. Participants adultes

Expertise	Genre	Effectifs
novices	femme	n=11
	homme	n=10
experts	femme	n=10
	homme	n=10

1.2.3 Éthique et protection des données

Étant donné que notre projet impliquait de travailler avec des enfants et des adultes, nous avons soumis notre dossier au Comité d'Éthique de Recherche de l'Université de Strasbourg afin que notre protocole expérimental soit examiné. Notre dossier a été approuvé et nous disposons donc d'un numéro d'agrément pour nos recherches (Unistra/CER/2019-11). Les données collectées pouvaient donc être analysées et publiées. Nous nous engageons donc à recueillir le consentement éclairé de l'ensemble des participants adultes ainsi que des parents pour les enfants (Annexe 1 : notes d'informations et modèles de formulaires de consentement).

En 2018 avec les enfants de maternelle comme en 2019 pour ceux de primaire, je suis passée dans chaque classe deux semaines avant le début de la collecte de leurs dessins afin de me présenter et d'expliquer ce que j'allais leur proposer. J'ai bien entendu souligné que

leur participation devrait être autorisée par leurs parents et que seuls ceux qui le veulent viendraient dessiner avec moi ou ma superviseure (Marie Pelé). Après avoir obtenu les autorisations parentales et organisé les temps de dessins avec les enseignants, nous nous présentions dans les classes afin de venir chercher un à un les enfants qui souhaitaient dessiner.

2. Collecte des dessins

2.1 Matériel et données

Enfants et adultes ont dessiné au doigt sur tablette tactile (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2.). Son écran est capacitif ce qui signifie qu'il utilise les propriétés électriques des doigts. Au moment du toucher, l'accumulation de charges électriques sur la plaque de verre transfère une partie de ces charges dans les doigts, ce qui provoque un déficit qui sera ensuite localisé pour traiter l'information.

Les chimpanzés ayant la peau plus épaisse au niveau des doigts, leurs appuis sur la tablette tactile n'étaient pas détectés. Il a donc fallu opter pour un écran résistif 1947L 19-Inch Rear-Mount Touch monitor. Ce dernier est composé de deux couches de plastiques souples, séparées par un espace. Lorsqu'un appui est effectué sur la couche supérieure elle entre en contact avec celle inférieure ce qui déclenche un signal électrique. L'inconvénient étant que si l'appui n'est pas assez prononcé sur l'écran il ne sera pas détecté.

Pour chaque dessin, nous obtenons les coordonnées x et y et l'horaire de chaque point (h/min/s/ms) ainsi que sa couleur. Les sessions étaient systématiquement filmées afin de garder une trace du déroulé de celles-ci et ainsi avoir des informations supplémentaires lors des analyses futures.



Figure 4. Dispositif utilisé pour les participants humains, (a) enfants et (b) adultes et (c) pour les chimpanzés.

2.2 Protocoles

2.2.1 Chimpanzés

Lors des sessions de dessin au KS et au PRI, c'est l'observation participative qui était utilisée avec les chimpanzés. Cette méthode, développée par le professeur Matsuzawa il y a plus de 30 ans, permet de réaliser des expérimentations en face à face avec les individus (Matsuzawa, 2017). À ses débuts, il s'agissait de créer une relation triadique entre la mère chimpanzé, son enfant et le chercheur afin d'étudier plus efficacement le développement cognitif. Sous le regard de la mère, l'expérimentateur peut soumettre l'enfant à diverses tâches. C'est le lien étroit établi entre le chercheur et la mère - basé sur des années d'expérience et d'interactions quotidiennes - qui permet de travailler avec les jeunes chimpanzés dans un contexte très similaire à ce qui est fait avec les bébés humains. En développant ce type de méthodologie, certains chercheurs peuvent donc, en ayant gagné la confiance d'un individu, réaliser des expériences en face à face avec l'animal.

Dans le cadre de notre expérience à KS, les cinq femelles étaient amenées à quitter chacune leur tour ou en duo mère-fille leur enclos aux alentours de midi (heure de nourrissage) pour se rendre dans une salle d'expérimentation (3,0m × 3,0m × 2,0m) dans laquelle se trouvaient les expérimentateurs Naruki Morimura et Satoshi Hirata ainsi que l'écran tactile qu'elles pouvaient utiliser. Au PRI, les sessions de dessin avaient lieu le matin, avec Tetsuro Matsuzawa, après les expérimentations auxquelles elles prennent part en semaine. L'écran et le logiciel de dessin étaient commandés à distance par Marie Pelé à KS en 2017 et par moi-même en 2019 à KS et au PRI. Nous pouvions à tout moment sauvegarder et relancer une page vierge, changer la couleur si besoin ou recentrer la fenêtre du logiciel.

Les expérimentations de dessin ayant eu lieu pendant le repas pour les femelles de KS, de la nourriture leur était régulièrement donnée. Cependant, les deux femelles du PRI disposaient également de morceaux de fruits ou de jus en guise de stimulation lors des sessions si nécessaire. Dans les deux cas, la durée de l'expérimentation dépendait des chercheurs et de la motivation qu'ils percevaient des individus, car comme pour toutes les études auxquelles ces femelles prennent part, leur participation restait volontaire.

2.2.2 Enfants et adultes

Habituatation et mise en situation

La majeure partie du temps, cela avait lieu dans la salle des professeurs, sur un bureau au calme au fond de la pièce. En revanche, pour les enfants de petite section qui étaient trop intimidés, nous les faisons dessiner au fond de la classe sur une petite table isolée de leurs camarades qui poursuivaient leurs activités normalement. Chaque enfant n'étant pas habitué à l'utilisation de la tablette tactile et à dessiner au doigt, une période d'habituatation, aussi longue que nécessaire, a systématiquement eu lieu avant la collecte du premier dessin.

Pour ce qui est des adultes novices, les temps de dessin se sont organisés en fonction de leurs disponibilités dans une salle calme et non fréquentée du laboratoire. Pour les experts, une partie étant des étudiants de la Haute École des Arts du Rhin, les tests avaient lieu dans une des salles de leur établissement. Pour le reste, des illustrateurs professionnels, Cédric Sueur a pu collecter leurs dessins lors du forum du livre de Saint-Louis en Alsace en 2018 en veillant à ce qu'ils soient placés dans les conditions les plus calmes possibles. Là aussi une

période d'habituatation était systématiquement accordée afin que chaque personne s'approprie le matériel.

Production des dessins : base de données âge

Enfants et adultes devaient chacun produire deux dessins, sous deux consignes différentes. L'une d'elles, plus restrictive, consistait à se dessiner soi-même (« Dessine-toi ») (Porte et coll. 2012). Il fallut trouver une consigne non discriminante, que chaque individu pouvait concevoir et s'approprier. L'autre consigne était libre (« Dessine ce que tu veux »), l'individu devait alors faire le choix de dessiner ce qu'il souhaitait. L'objectif était de voir si nos analyses ultérieures montreraient des différences entre ces deux consignes et si oui, lesquelles. Pour chaque classe d'âge ainsi que pour chacun des deux groupes d'adultes, la moitié des individus commençaient à dessiner sous la première consigne et l'autre moitié sous la seconde de façon aléatoire. Les adultes effectuaient, pour la plupart, leurs deux dessins d'affilée. En revanche, pour les enfants, plus susceptibles de se lasser ou d'être influencés par la consigne précédente, les deux dessins n'étaient pas collectés le même jour. Pour ces derniers comme pour les adultes, le temps n'était pas limité, mais le nombre de dessins était fixé à un par consigne.

Le dessin terminé, nous demandions à chaque participant, enfant comme adulte, ce qu'il avait représenté dans son dessin libre. En revanche, deux différences de protocole étaient appliquées pour les enfants de maternelle. Pour ces derniers, nous reposons cette même question trois jours plus tard afin de voir si la réponse qu'ils apportaient sur la représentation de leur dessin libre restait ou non la même. Cette question leur était également posée concernant leur dessin sous consigne juste après qu'ils l'aient terminé. Cette distinction de protocole s'explique par leur jeune âge et le rapport qu'ils peuvent entretenir avec l'activité de dessin. L'objectif était de comprendre si le sens donné à leur dessin était de l'ordre du fortuit (les lignes leur évoquent quelque chose sur le coup) ou internalisé et réfléchi (Cox 2005). Concernant la consigne de se représenter soi-même, la comprenaient-ils même s'ils n'étaient pas encore en mesure de le retranscrire par la figuration ? Était-elle ou non prise en considération ?

Production des dessins : base de données méthodologique

En plus des dessins collectés chez les enfants et les adultes, nous souhaitons disposer de dessins plus stéréotypés afin de les utiliser pour la construction d'une méthodologie. L'idée était de pouvoir travailler avec deux ensembles de données, l'un plus « contrôlé » (base de données méthodologique), présentant en théorie moins de variation et une plus variée (base de données âge).

13 participants (de 21 à 29 ans) novices en dessins, alors étudiants au sein du Département d'Écologie, Physiologie et Éthologie de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (CNRS-Université de Strasbourg) ont dessiné. Cinq instructions différentes, prévues pour produire cinq types de dessins particuliers étaient demandées : 1) Dessine un gribouillage, 2) Dessine à base de cercles, 3) Dessine en utilisant des angles de valeurs différentes, 4) Dessine un ciel étoilé, 5) Dessine en *fan pattern* (les *fan pattern*, également appelés motifs en éventail sont définis comme un ensemble de lignes produites en aller-retour sous l'action répétitive de la main et généralement de droite à gauche). Pour cette dernière consigne, un exemple leur était présenté. Chaque consigne menait à la production d'un dessin. L'ordre dans lequel elles étaient proposées était aléatoire et chaque personne disposait du temps qu'elle souhaitait pour réaliser chacun des cinq dessins.

3. Utilisation des fractales

Étymologiquement le mot « fractale » provient du latin « fractus » qui signifie fracturé ou brisé. Il s'agit d'une forme dont les contours sont infiniment morcelés. Toute partie de la structure est un modèle réduit du tout. La complexité d'un objet mathématique fractal est donc invariante par changement d'échelle (autosimilarité), échelle qui peut être spatiale ou temporelle. Force est de constater que la plupart des éléments de la nature ne peuvent être décrits par la simple géométrie euclidienne qui décrit le monde en termes de points, de lignes, de surfaces et de volumes. Benoît Mandelbrot, pionnier en matière de fractalité écrivait déjà dans son premier ouvrage *The fractal geometry of Nature* : « Les nuages ne sont pas des sphères, les montagnes ne sont pas des cônes, les rivages ne sont pas des arcs de cercle, l'écorce d'un arbre n'est pas lisse et l'éclair ne trace pas de ligne droite ». Ainsi, et dans des domaines aussi variés que la géologie, la médecine et la météorologie, des structures complexes ont progressivement pu être modélisées plus en détail (Figure 4).

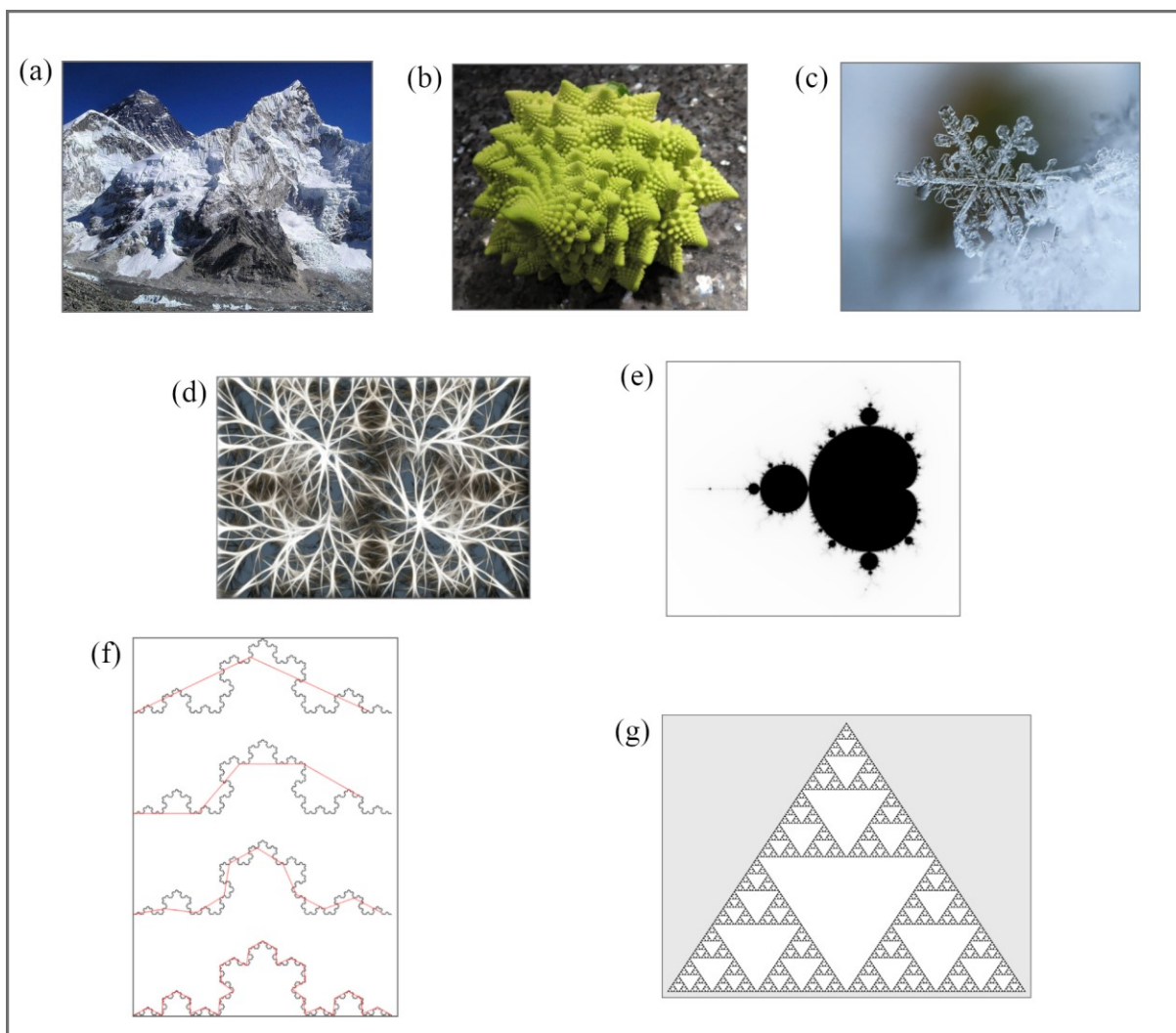


Figure 4. Ensemble de figures fractales naturelles. (a) Chaîne de montagne, (b) Chou romanesco, (c) flocon de neige, (d) réseau de neurones, (e) ensemble de Mandelbrot, et de figures fractales modélisées (f) courbe de Von Koch, (g) triangle de Sierpinski.

Nous pouvons à partir de là, distinguer deux types de fractales. D'abord, les systèmes de fonctions itérées qui suivent une règle de remplacement géométrique fixe. C'est le cas des formes mathématiques (d), (f) et (g) de la figure 4. Ces dernières montrent une autosimilarité parfaite (le même motif se répète indéfiniment à des échelles de plus en plus petites). Avec une complexité génétiquement déterminée, c'est également le cas du brocoli, du flocon, de la fougère ou du chou romanesco. Il y a ensuite les fractales aléatoires qui sont générées par des processus stochastiques et non déterministes comme les chaînes de montagnes ou les réseaux hydriques. Considérons le tracé d'une côte rocheuse et mesurons la distance entre deux points, en suivant toutes les sinuosités, sur des cartes à différentes échelles. Nous nous

apercevrons rapidement que la « longueur de côte » n'est pas définie et fixe, mais qu'elle varie avec l'échelle de la carte employée. Une carte détaillée prendra en compte des sinuosités qui n'apparaissent pas sur une carte à plus grande échelle et la longueur mesurée pourra ainsi être décuplée voire plus. Comme il n'y a pas de limite théorique à la précision (on peut faire le tour d'un grain de sable), la longueur mesurée tend vers l'infini quand le détail devient extrême.

3.1 Les analyses fractales spatiales ou analyses « random walk »

Les analyses *random walk*, également dénommées promenade aléatoire ou marche au hasard, sont utilisées pour modéliser des chemins constitués d'une succession d'étapes aléatoires. Il peut s'agir d'étudier l'évolution des variations boursières ou au sens propre des trajectoires comme celles de particules dans un fluide ou d'un animal dans son environnement. Ce type d'analyse est donc utilisé en mathématiques, en physique-chimie, en écologie, en informatique, en économie, mais aussi en éthologie (Bhattacharya & Narayan 2005; MacIntosh 2014; Mofakham & Ahmadi 2019; Sims et coll. 2012). Au cours de mon projet de doctorat, l'idée était de considérer le tracé d'un dessin de son début à sa fin comme la trajectoire d'un animal dans son environnement (Edwards 2008; Sueur et coll. 2011).

Dans les faits, un chemin peut disposer de propriétés plus ou moins déterministes et n'est pas nécessairement purement aléatoire. L'analyse de marche aléatoire détermine le type de distribution que suivent les points du tracé. Dans notre cas, nous distinguerons deux types de marches aléatoires (Figure 5). D'une part, le mouvement Brownien, caractéristique du déplacement d'une grosse particule immergée dans un fluide. Le mouvement de celle-ci n'est conditionné que par les chocs aléatoires avec les autres particules environnantes en mouvement. Les points de sa trajectoire suivent alors une distribution exponentielle, la probabilité de chacune des longueurs de pas possible (c.-à-d. les différents segments de la trajectoire) est constante. D'autre part, le processus de Lévy montre une distribution des points du tracé de type puissance qui signe un caractère non aléatoire de la trajectoire. Il s'agit d'une forme particulière de mouvement dans laquelle les longueurs de pas ne sont pas constantes, avec un ensemble consécutif de plus petites occasionnellement séparées par une ou plusieurs plus grandes. Pour ce type de marche aléatoire, le coefficient puissance de la distribution des trajectoires est compris entre 1 et 3 (du moins déterminé au plus orienté). Fréquemment observé en écologie du mouvement, le processus de Lévy se retrouve chez

plusieurs espèces animales et permettrait d'augmenter la probabilité que les individus trouvent de la nourriture (Edwards 2008; Ramos-Fernández et coll. 2004; Schreier & Grove 2010; Sueur et coll. 2011; Viswanathan et coll. 1996). Il s'agirait d'une stratégie de fourragement optimal permettant d'économiser temps et énergie pour des animaux qui vivent dans des environnements hétérogènes dans lequel les ressources alimentaires sont dispersées. Il ne s'agit donc pas de déplacements aléatoires, mais déterminés et orientés dans un but précis.

En appliquant ce type d'analyse au dessin, l'idée était de comprendre si cela nous permettrait de mieux caractériser la nature du tracé, parfois non déchiffrable à l'œil nu. Pourrions-nous conclure sur la nature plus ou moins orientée et optimisée des dessins collectés ? Les plus jeunes et les chimpanzés semblent, d'un point de vue extérieur, produire des dessins aléatoires, est-ce réellement le cas ?

Les résultats obtenus ainsi que le détail de la méthodologie mathématique employée sont expliqués dans l'Article 1 Chapitre III.

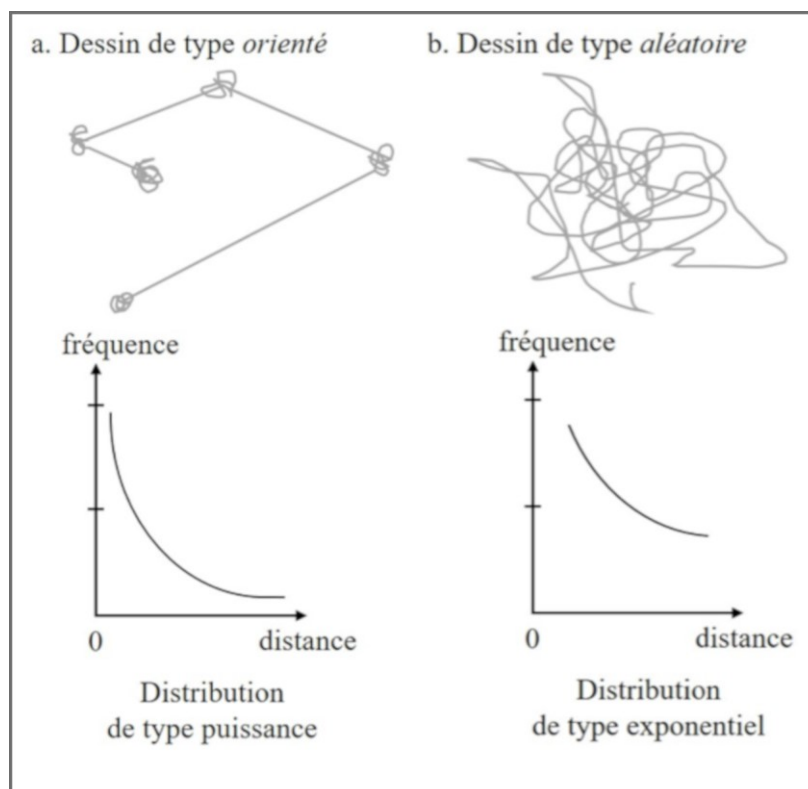


Figure 5. Types de marches aléatoires et dessins associés. (a) Dessin orienté avec une distribution des longueurs de pas de type puissance. (b) Dessin aléatoire avec une distribution des longueurs de pas de type exponentiel.

3.2 Les analyses fractales temporelles

Au-delà de la géométrie fractale, Mandelbrot a étendu son concept dans le domaine temporel. Lorsque l'on observe le déroulé d'un phénomène complexe (comportement, rythme physiologique ou lié à des phénomènes naturels), on observe une variabilité, une fluctuation de la réponse bien que celle-ci reste globalement centrée autour d'une valeur stable. Ces fluctuations longtemps vues comme aléatoires ne le sont pas en réalité et montrent au contraire un profil particulier de corrélations à long terme (également appelée mémoire à long terme et faisant référence à la complexité de la séquence) (Delignières & Torre 2012). Dans ce cadre, l'état comportemental à un instant t n'est pas uniquement lié à celui qui le précède, mais également à un grand nombre d'événements passés. La valeur actuelle est marquée par l'histoire antérieure de la série temporelle. Il s'agit d'un phénomène semblable à ce que l'on retrouve dans la géométrie fractale : quelle que soit l'échelle temporelle choisie pour analyser la série (jour, heure, minute, seconde), la structure statistique reste similaire.

Ces fluctuations fractales concernent un grand nombre de systèmes : le rythme cardiaque, l'activité neuronale, le rythme de la marche ou du sommeil, les tremblements de terre, etc. Dans le domaine de l'éthologie, les analyses fractales temporelles se sont ajoutées depuis une trentaine d'années aux spatiales afin de mieux cerner le comportement des animaux. De la même manière qu'il existe des déplacements vus comme optimaux en écologie du mouvement, les études comportementales intégrant les fractales temporelles assument qu'il existe un niveau ou un intervalle optimal de complexité dans l'expression d'un comportement (MacIntosh 2014). Ainsi, des changements physiologiques ou comportementaux dus à des facteurs intrinsèques (hormones, état reproducteur) ou extrinsèques (stress, pathogènes) peuvent altérer cette complexité. La série temporelle pourra alors tendre vers une plus grande stéréotypie ou au contraire vers plus de stochasticité selon le perturbateur, ce qui pourra être détecté (MacIntosh 2014; Meyer et coll. 2015; Rutherford et coll. 2003).

Avant de pouvoir être étudiée, une séquence comportementale doit être traduite de façon binaire. Si le comportement est présent, on le codera 1, s'il est absent, on le codera -1 (ou 0), et ce, en fonction d'un intervalle de temps défini (seconde ou milliseconde la plupart du temps) (Figure 6). En cela on ne peut donc pas étudier une suite de comportements différents (mange, bois, se couche, etc.), mais bien un seul dans la durée (p. ex : mange, s'arrête, mange, s'arrête, etc.).

La manière la plus répandue d'évaluer et de quantifier les processus de mémoire à long terme dans les séquences temporelles est d'estimer l'exposant de Hurst (H). Ce dernier est une mesure de la corrélation entre les composantes de la séquence comportementale (Cannon et coll. 1997; Stroe-Kunold et coll. 2009). Trois scénarios mutuellement exclusifs peuvent ensuite se retrouver : (1) la persistance ($H > 0,5$) se produit lorsqu'il existe une autocorrélation positive à long terme, de sorte que les blocs de certains comportements (par exemple, « dessine ») sont susceptibles d'être suivis par des blocs de durée similaire ; (2) l'anti-persistance ($H < 0,5$) se produit lorsqu'il existe une autocorrélation négative à long terme, de sorte que les blocs de comportement sont susceptibles d'être suivis par des blocs de durée différente ; (3) le bruit blanc ($H = 0,5$) se produit lorsqu'il n'existe aucune mémoire, c'est-à-dire que la séquence est aléatoire ou bien que les états comportementaux ne sont corrélés qu'à court terme (Delignières et coll. 2005).

Dans le cadre de notre projet, plusieurs méthodes d'estimation de l'exposant de Hurst ont été utilisées après avoir montré que les séries temporelles de dessin exprimaient une structure fractale. Notre méthodologie est développée dans l'Article 2 du Chapitre III.

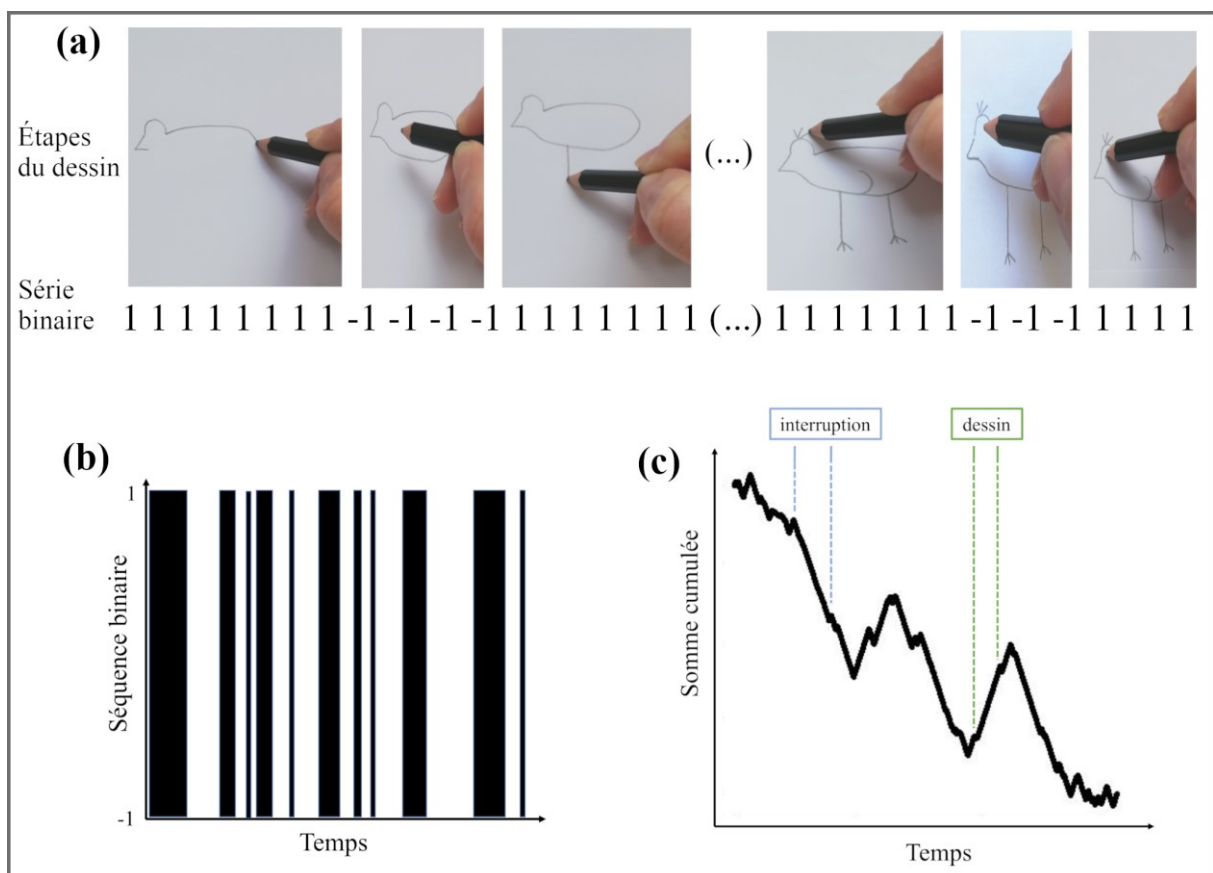
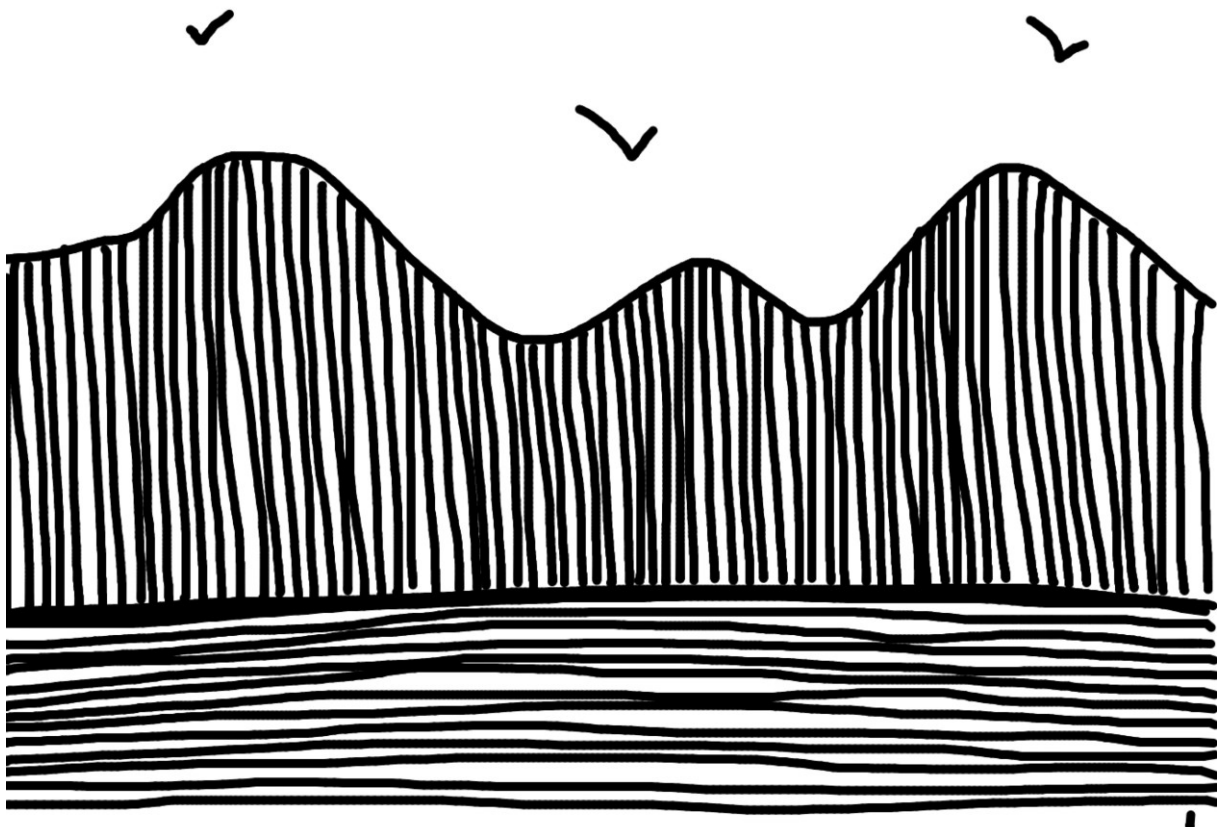


Figure 6. Explications quant à la binarité de la séquence temporelle de dessin avant analyses fractales. (a) Découpage binaire du comportement de dessin (par millisecondes dans notre cas), 1 l'individu dessine, -1 il s'interrompt. (b) Visualisation en code-barres de la séquence binaire. (c) Évolution de la somme cumulée des valeurs de la série binaire en fonction du temps – la courbe décroît lorsque l'individu s'interrompt et croît lorsque l'individu dessine.

CHAPITRE III

NOUVELLES CONSIDÉRATIONS, NOUVEAUX INDICES : LES ANALYSES FRACTALES APPLIQUÉES AU DESSIN



1. L'analyse fractale spatiale

Article 1: New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Publié dans *Scientific Reports*

Question : L'analyse fractale spatiale peut-elle permettre de conclure sur le degré d'intentionnalité et d'optimisation du tracé ?

1.1 Synthèse de l'article 1

L'activité de dessin étant souvent explorée à partir du moment où les dessins deviennent figuratifs, le tracé avant cela n'est que peu étudié. Décrits comme aléatoires et dénués de sens, les dessins des plus petits (en dessous de 3-4ans) et ceux d'autres espèces, de grands singes notamment, ne constituent pas souvent un secteur d'intérêt. Or, absence de figuration ne veut pas nécessairement dire absence de symbolisme ou d'un but autre que la représentation, comme la volonté de remplir l'espace par exemple.

Dans ce premier article, nous traitons le tracé laissé sur la tablette par le doigt de l'individu (enfant, adultes ou chimpanzés) de la même manière que le déplacement d'un animal dans son environnement (c.-à-d. un ensemble de trajectoires d'angles différents). L'analyse fractale permet en partie de conclure sur le caractère plus ou moins aléatoire de celui-ci. Nos analyses montrent qu'aucun dessin - qu'il soit figuratif ou non - est de l'ordre de l'aléatoire pur ce qui semble en effet difficilement possible ne serait-ce que face aux contraintes motrices qui s'exercent de la part des dessinateurs. Chaque tracé (c.-à-d. un ensemble de longueurs de pas) présente alors une distribution de type puissance et appartient à la classe des mouvements de Lévy. En prenant ensuite en considération les valeurs des estimations du maximum de vraisemblance de l'exposant de la loi puissance (u_{mle}), nous pouvons voir si les dessins se différencient dans leur degré d'optimisation. Cet indice, compris entre 1 et 3, est plus élevé lorsque le tracé est dirigé et efficient. Les dessins de chimpanzés présentent un indice significativement plus faible que l'ensemble des productions humaines. Bien que non aléatoires, les traces laissées sont a priori peu déterminées et ordonnées. Au sein des dessins d'humains et de façon générale, l'indice augmente progressivement chez les enfants et se stabilise entre cinq et dix ans avant de diminuer chez les adultes pour revenir à

un niveau similaire à celui des enfants de trois et quatre ans. Contrairement à ce que nous pensions, l'efficacité du tracé diminue chez les adultes dû à l'addition de nombreux détails. À l'élaboration de cet indice, nous avons ajouté l'analyse des couleurs utilisées (nombre de couleurs et nombre de changements) ainsi que celle de la durée de dessin. En moyenne les participants passaient plus de temps sur leur dessin libre que sur leur dessin sous consigne avec une différence marquée chez les plus jeunes qui dessinaient significativement moins longtemps que l'ensemble des autres sujets. Pour l'utilisation de la couleur, les chimpanzés en faisaient moins l'utilité que l'ensemble des participants humains. En condition libre, les participants se servaient davantage de la couleur avec une différence marquée entre les genres, les filles l'utilisant plus que les garçons. Pour les enfants de maternelle, les réponses qu'ils apportent sur le sens de leur dessin de suite après l'avoir terminé et trois jours plus tard ont également été prises en compte afin de mieux cerner le rapport qu'ils entretiennent avec l'activité et les consignes ainsi que le sens qu'ils leur donnent. Pour le dessin sous consigne, ils se sont montrés beaucoup plus enclins à répondre "moi" lorsqu'on les interrogeait directement après avoir dessiné que lorsqu'on leur posait la même question trois jours plus tard. Cependant, et ce pour les deux consignes, les enfants de quatre et cinq ans étaient plus susceptibles de se souvenir du sens qu'ils avaient donné à leurs dessins lorsque la question leur était posée trois jours plus tard.



OPEN New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Lison Martinet^{1✉}, Cédric Sueur^{1,2}, Satoshi Hirata³, Jérôme Hosselet¹, Tetsuro Matsuzawa^{4,5} & Marie Pelé⁶

Techniques used in cave art suggest that drawing skills emerged long before the oldest known representative human productions (44,000 years BC). This study seeks to improve our knowledge of the evolutionary origins and the ontogenetic development of drawing behavior by studying drawings of humans (N = 178, 3- to 10-year-old children and adults) and chimpanzees (N = 5). Drawings were characterized with an innovative index based on spatial measures which provides the degree of efficiency for the lines that are drawn. Results showed that this index was lowest in chimpanzees, increased and reached its maximum between 5-year-old and 10-year-old children and decreased in adults, whose drawing efficiency was reduced by the addition of details. Drawings of chimpanzees are not random suggesting that their movements are constrained by cognitive or locomotor aspect and we cannot conclude to the absence of representativeness. We also used indices based on colors and time and asked children about what they drew. These indices can be considered relevant tools to improve our understanding of drawing development and evolution in hominids.

“My drawing was not a picture of a hat.
It was a picture of a boa constrictor digesting an elephant.”
Antoine de Saint-Exupéry, *The Little Prince*

Evidence in prehistoric caves and in museums underlines that drawing is one of the most characteristic behaviors of the human species, yet its definition remains vague. Indeed, drawing behavior is considered by some authors as the simple will to mark, to produce visible traces but it can also be etymologically understood as something more complex such as a design, or a goal to reach¹. This study considers drawing behavior in its simplest form, i.e. an active creation of visible marks that may or may not be figurative². Children start drawing what we call scribbles around their first year of age³. At the age of 3–4 years, children begin to produce figurative drawings, i.e. they can be recognized by external observers³. This progress is partly linked to the improvement of motor coordination, completed by the progressive integration of a visual vocabulary of patterns and graphic syntax aided by the child's cultural and living environment and of course by the maturation of their cognitive skills^{4,5}. During early childhood, crucial neurological transformations occur in cerebral tissues such as important increases in grey matter volumes until 4 years⁶. This organic substratum allows children for example to acquire the understanding of self and others, to regulate their emotions, but also to communicate and to enter a world filled with symbols⁷. Progressively the systems involved in the drawing behavior develop capacities such as visual perception, graphic production including action programming and planning, and visual imagery. In drawing, symbolism (i.e. the use of symbols such as marks or particular shapes) helps the subject to represent their thoughts by giving them symbolic meaning beyond their literal ones. Then DeLoache and collaborators⁸ stated “the realization of figurative drawing goes hand in hand with the appropriation of symbols”. This early developmental stage of drawing is composed by traces and lines which have a universal nature, belonging to a culturally inherited symbolic system⁹.

¹Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France. ²Institut Universitaire de France, Paris, France. ³Kumamoto Sanctuary, Wildlife Research Center, Kyoto University, Kumamoto, Japan. ⁴Kyoto University Institute for Advanced Study, Kyoto, Japan. ⁵Primate Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan. ⁶ETHICS EA 7446, Lille Catholic University, Lille, Hauts-de-France, France. ✉email: lison.martinet@iphc.cnrs.fr

One of the first steps of children's early symbolic drawing development is tadpole figures¹⁰. Consisting of two lines (legs) attached to a round form (head), the tadpole figure arises around 3 years of age¹¹ and is observed in Western as well in non-Western countries^{12,13}. Thus, in the same way that children reorganize their spoken language to communicate efficiently, the appearance of these first recognizable drawings also allows them to be better understood by others¹⁴. An adult can easily understand what a 4-year-old child wanted to represent when they drew, because the outlined objects are recognizable. But what happens if this is not the case? Does this mean that drawings of very young children do not represent anything in particular?

For decades, researchers have suggested that the early phase of drawing—called scribbling—simply reflects a simple motor activity that is visually unplanned and only determined by the motor system of the arm, the wrist and the hand¹⁵. This would mean that very young children do not take pleasure in their finished drawings, but only in the act itself. Other studies acknowledge that the development of drawing follows a linear trajectory towards realism and that a child's spontaneous fortuitous realism eventually evolves into representative drawings¹⁶. However, more recent studies tend to show evidence of pre-representative activities during scribbling^{14,17}.

Drawing is part of the larger activity of creating meaning in young children. Children have multiple ways of making sense through the modes, means and materials they use to do so. In their drawings, children encode a lot of information making them a way of constructing and depicting their thoughts in action^{18,19}. A 2- or 3-year-old child is not capable of attributing meanings to the entirety of their drawing, which is often unstructured and complex. However, the child can attribute meaning to some parts of their drawing, and especially broken lines, which more easily describe the contours of an object than curved ones¹⁷. Although caution should be used here because children can change their answers when asked several times about the meaning of their drawings, these kinematic aspects could be considered as precursors of a graphical representation (i.e., the act of producing in visible form a figure or an idea we have in mind). According to Willats²⁰, the developmental stages of drawing reflect attempts to represent the child's ever-increasing levels of perceptual understanding of the world in which they live. In this case, lines drawn in early childhood describe entire objects and are not simply random productions. These suggestions could be of use to answer the continuing debate over the representativeness of drawings by young scribblers. Although the loops, lines and stipples of a scribble usually have no sense for an adult, can we presume that it has no meaning for the young child? Like the young Saint-Exupéry, who complained that adults did not understand his drawing of an elephant eaten by a snake and that "they always need to have things explained", Longobardi¹⁴ argues that the inability to detect representativeness in children's scribbles may be explained by the limitation of adults' interpretations rather than the absence of this intentionality. In this case, the representativeness of a drawing, namely its concrete and figurative character, would result from the perspectives of two individuals: the entity who produces it (here, a child) and an outside observer who evaluates it (here, an adult). These individuals could be considered to represent two elements: internal representativeness (for the individual who draws) and external representativeness (for the observer). All the aforementioned elements underline the necessity for further studies on drawing behavior to better understand the development of drawing abilities and more specifically the emergence of representativeness in human beings.

An additional factor to consider when seeking to understand the development of drawing behavior in humans may be its evolutionary emergence. Is drawing a typically human behavior or does it originate from ancestor species? This question can be answered by studying the evolution of drawing behavior in species that are genetically close to humans, such as great apes. So far, no spontaneous drawing behavior has been reported in great apes in the wild. Even known as the most meticulous tool makers and users²¹, no chimpanzee was ever observed using sticks to trace on the floor. Moreover, such marking behavior would be difficult to differentiate from other actions such as digging or exploring surfaces. Nevertheless, it is more and more common for captive individuals to use pencils and brushes on paper sheets or even draw on tactile tablets²². Indeed, as Call²³ stated "testing non-human animals outside their 'natural' box is needed to fully probe their capabilities and limitations, something that is particularly desirable if our ultimate goal is to reconstruct the evolution of cognition" and in our case, the evolution of drawing. Drawing by chimpanzees has been considered in human-ape comparative developmental studies²⁴, and also in art and aesthetics research²⁵. In the first experimental study on drawing in chimpanzees, Schiller²⁶ presented geometric figures to a female chimpanzee named Alpha who changed her scribbling patterns according to the stimuli provided. A number of studies have shown that chimpanzees maintain their graphic activity without any reinforcement, indicating a likely interest in drawing^{25–27}. Beyond the sensation linked to locomotor movement, visual feedback seems to play a reinforcement role: drawing behavior decreases when the line drawn by the subject on the tactile screen disappears²⁸. Although there are many studies on mark-making in chimpanzees, none reported drawings that were recognizable by observers (external representativeness), and researchers generally compared the productions to the scribbles of young human children. However, some results such as the trend to change scribbling patterns in presence of stimuli or patterns^{5,26} or, according to Zeller²⁹, the manifestation of a choice for some features such as the colors used or patterns drawn leads to conclude that ape drawings "are definitely not random scribbles".

The most common way to establish whether a drawing is representative or not is to ask the individual who produced it about its meaning, which is often done with children. A sign-language trained female chimpanzee named Moja was asked this question, and she answered "bird"³⁰. Of course, her answer is not reliable evidence of her internal representativeness of a bird; it is possible that she answered randomly, or was influenced or misinterpreted by the experimenters. Thus, despite numerous studies on this topic, it is still impossible to exclude the presence of goal-oriented behavior in drawing by very young children and chimpanzees. The use of a symbol requires understanding it, its abstract relation to what it stands for and being able to mentally represent it⁸. In humans, the basic understanding of the analogical space-object-symbol relation emerges around 3 years of age³¹. At this age, a child can understand for example that the illustration of a cat asleep on a couch represents the cat currently sleeping on the living room couch. Besides, pretend play, a symbolic play where children express

their imagination by using actions or objects to represent other objects or actions begins in toddlers of around 1–2 years old^{32,33}. This capacity of pretense, which is evidence of representational abilities, has also been shown in chimpanzees even if it is less developed³². Other abilities, as the fact that they can track invisible displacement³⁴ and use a scale model as a source of information for the location of a hidden item³⁵ prove that they are capable of mental representation. Then, although their mark-making is not, a priori, driven by a desire to represent an object, the absence of figurative drawings does not necessarily indicate an absence of symbolism for the chimpanzee or the young child^{36,37}. Especially as in our sapiens ancestors, “the elaboration of nonfigurative patterns certainly participated in the development of a symbolic thought on which later prospered the invention of the figure and of a true iconographic language”³⁸.

Different methods have been used to investigate drawings of young children. The most well-known of these is the comparison of broken lines and curved lines to evaluate the kinematic aspects of the outlines that have been drawn¹⁷. Although relevant, this method remains subjective as researchers directly question children about what their drawings represent. It cannot therefore be used with very young children (toddlers) or with great apes, as neither group are able to express themselves about their drawings. It is therefore necessary to find a new method of analysis for the objective study of drawing behavior in children and chimpanzees.

To achieve this goal, we asked children aged 3–10 years and adults with different levels of drawing skills (naive versus expert) to draw on tactile devices. Each participant was given two drawing tasks, namely to draw freely (*free drawing condition*) and to draw themselves (*self-portrait condition*) to assess a possible difference in results between a non-specific and a specific task. Five female chimpanzees were also asked to draw freely on a touchscreen tablet. We then developed an innovative and objective index based on the lines drawn by both humans and chimpanzees. This was achieved through the use of spatial analysis. Also called the random walk analysis³⁹, this approach is commonly used in ecology to study the movements of animals. We considered the outline of the drawing as an animal's path (meaning a set of trajectories of different lengths⁴⁰), and characterized the efficiency of the drawing, defined here as the correct reading of the drawing with a minimum of details. In other words, the external representativeness of the observer matches the internal representativeness of the individual who drew. The random walk analysis determines whether the distribution of drawing lines follows a power law or an exponential law. If the distribution follows an exponential law, we expect the drawing to be random, meaning that the individual who is drawing has no intention to represent anything. Contrarily, a power distribution should reflect a non-random and oriented behavior, as found for the daily paths of animals in their natural environments (i.e. goal-oriented and efficient movements⁴¹). On one hand, we could expect drawing to be random in chimpanzees (i.e. no internal representativeness) since no chimpanzee has ever produced a representative drawing—with a human eye—despite a demonstrated interest in the activity in several studies^{25–27}. On the other hand, as chimpanzees are able to change their scribbling outlines and to manifest a preference for colors used or patterns drawn, their drawings might be not so random. Considering humans, we definitely expected a non-random and goal-oriented behavior in children and adults, with an index that increased with age.

Finally, we complemented this innovative spatial index for drawing by investigating the use of colors by individuals and the duration of drawing, since these indices are commonly used in drawing studies. We expected a less developed use of colors in chimpanzees and progressively a more important one with age in humans. Considering the duration of drawing in humans, we predicted a longer one with age in parallel with the improvement of motor and psychic abilities and the growing interest with age for this activity. To study and apprehend the variability of these drawing indices, the variables group (age), gender, test condition, gender-condition interaction and/or the group-condition interaction were used. The gender effect has already been proved to influence drawing in different ways^{42–44}. We tested the gender-condition interaction since we thought that, especially for children, the drawing's variables could be different according condition between girls and boys. Concerning the group-condition interaction, we first expected that the instruction might intimidate some children, especially the youngest, and potentially restrict their creative process. Then experts might react differently from naive adults by being more comfortable and inspired, especially for free drawing, resulting in a potentially longer drawing time and greater use of color.

Results

The spatial index μ_{MLE} . Chimpanzees showed a lower index μ_{MLE} than human participants (GLM Gaussian, $p < 0.0001$, $t > 4.10$, Fig. 1, Supplementary Table S1A). The index for 3-year-old children was lower than those recorded for 5- ($p < 0.001$, $t = 3.43$, Fig. 1, Supplementary Table S1B), 7- ($p < 0.0001$, $t = 4.33$), 9- ($p < 0.001$, $t = 3.37$) and 10-year-old children ($p = 0.002$, $t = 3.05$), but was similar to those of 4- and 8-year-old children and naive or expert adults. Five-year-old children had a higher spatial index μ_{MLE} than the naive ($p = 0.032$, $t = 3.24$) and the expert ($p = 0.0016$, $t = 4.03$) adults. Seven-year-old children showed an index higher than naive ($p = 0.001$, $t = 4.14$) and expert ($p < 0.001$, $t = 4.93$) adults. Similarly, 9-year-old children presented a higher spatial index than naive adults ($p = 0.039$, $t = 3.19$) and expert adults ($p = 0.0023$, $t = 3.98$). Ten-year-old children also had a higher index than expert ($p = 0.008$, $t = 3.66$) adults, and possibly also naive ($p = 0.097$) adults. No difference was found between the two adult groups, and no significant effects of the *conditions* and *sex* factors were observed.

Drawing duration. After model selection, we retained the most explicative model containing the *groups* and *conditions* factors. In both test conditions, 3-year-old children spent less time drawing (mean = 110 ± 97 s) than all other participants (272 ± 192 s) (GLM Gamma, $p < 0.001$, $t > 3.32$, Fig. 2, Supplementary Table S2). Furthermore, all human participants spent more time drawing in the *free* condition compared to the *self-portrait* condition ($p < 0.0001$, $t = 4.52$).

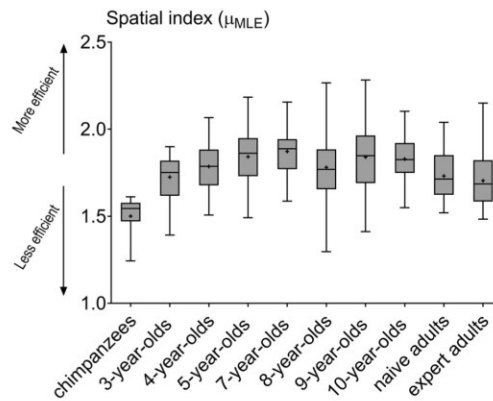


Figure 1. Boxplots of the spatial index μ_{MLE} for each group, i.e. chimpanzees and humans (children and adults). Since the *condition* factor is not present in the selected model, all drawings were studied without distinction of conditions. Each boxplot depicts the median (bold bar), 25–75% quartiles (box), mean (cross) and outliers (points).

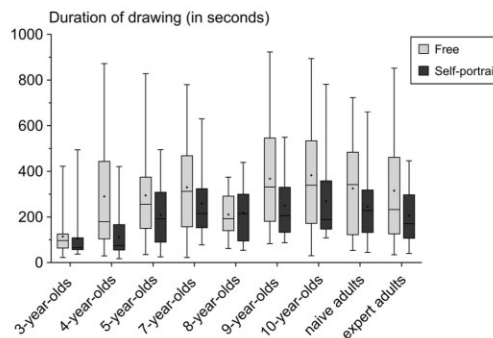


Figure 2. Boxplots of drawing duration (in seconds) for each group and for each condition. Boxplots depict the median (bold bar), 25–75% quartiles (box), mean (cross) and outliers (points).

The use of colors. *Number of colors used.* The results of the model (Supplementary Table S3A) indicate that chimpanzees used fewer colors than humans (across all groups; GLM Poisson, $p \leq 0.001$, $t > 3.29$, Fig. 3A). After model selection, the factors *conditions* and *sex* were retained to explain the number of colors used in humans. The number of colors used is higher under the *free* condition than under the *self-portrait* condition ($p < 0.0001$, $t = 5.06$, Fig. 3A, Supplementary Table S3B). Furthermore, there is a gender-related difference in the use of color. Women and girls used significantly more colors than men and boys ($p < 0.001$, $t = 2.97$).

Number of color changes. Chimpanzees did not change the colors they used as much as the human participants did (GLM Negative binomial, $p < 0.008$, $t > 3.34$, Fig. 3B, Supplementary Table S4A). In humans, the number of color changes was higher in the *free* condition compared to the *self-portrait* condition (GLM Negative binomial, $p < 0.0001$, $t = 4.45$, Fig. 3B, Supplementary Table S4B). Furthermore, men and boys changed the colors they used significantly less often than women and girls in all groups ($p = 0.002$, $t = -3.11$).

The meaning of drawings in children. When asked what their drawing represented in the *self-portrait* condition, 3-, 4- and 5-year-old children were much more likely to answer “me” when questioned directly after drawing than when they were asked the same question three days later (GLM Binomial, $p < 0.0001$, $z = 5.16$, Fig. 4, Supplementary Table S5). However, these three age groups showed some differences in their response consistency. Four- and five-year-old children were more likely to confirm that the drawing was self-representation immediately after drawing and few days later than the youngest children ($p < 0.0001$, $z > 7.02$, Fig. 4, Supplementary Table S5).

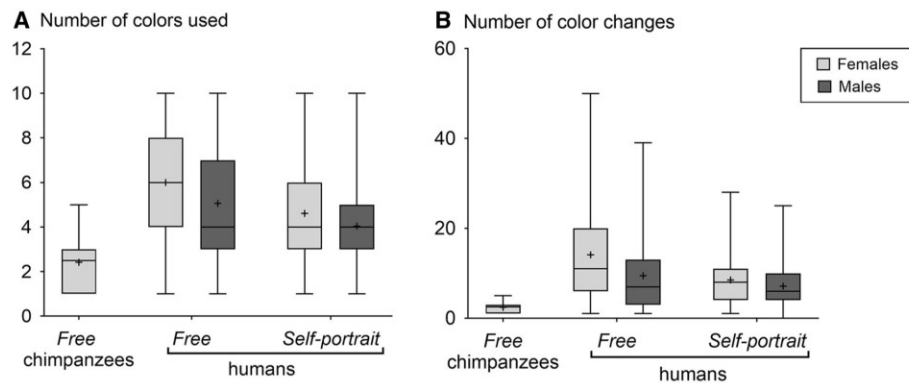


Figure 3. (A) Boxplots of the number of colors used by chimpanzees and humans for each condition and for each sex. (B) Boxplots of the number of color changes by chimpanzees and humans for each condition and sex. Boxplots depict the median (bold bar), 25–75% quartiles (box), mean (cross) and outliers (points).

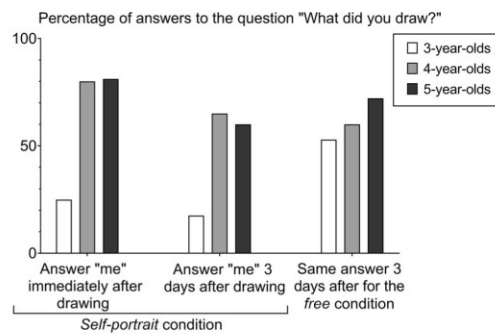


Figure 4. Percentages of answers given by children of 3, 4, 5 years old to the question “What did you draw?” for the self-portrait condition and for the free condition.

The comparison of the answers given by children several days after drawing in the two conditions (free and self-portrait) showed that 4- and 5-year-olds had a better memory of what they had intended to represent a few days after drawing than the youngest children ($p \leq 0.021$, $z > 2.30$, Fig. 4, Supplementary Table S6). Three days after the drawing activity, the 3-year-old children seemed to find it easier to remember what they had drawn in the free drawing condition (52.9%) than to remember what they had intended to draw or indeed the initial instruction to draw themselves in the self-portrait condition (17.6%) (Fig. 4).

Discussion

This comparative and explorative study allowed us to define new and objective indices characterizing drawing in human and non-human primates. We used common measures in drawing studies (duration and colors) combined with an innovative spatial index that is commonly used in animal trajectories studies⁴⁵. This is the first study to use this mathematical index to understand drawings.

This spatial index μ_{MLE} is clearly lower for chimpanzees compared to human participants. This suggests the presence of a behavior that is less goal-oriented than that observed in humans, but which is still not random: even chimpanzees displayed a power-like distribution showing that their movements are constrained by cognitive or locomotor aspects that limit the randomness we could expect. However, these results conduct us not to conclude to the absence of internal representativeness in chimpanzees. This lack of efficiency is not surprising given their behavior when facing the touchscreen: most of them showed less interest than humans did, as proved by the fact that they were stimulated by the experimenters and their more limited use of colors. This is a surprising contrast to Zeller’s study²⁹ which shows that chimpanzees and humans make similar use of colors in their pictures. This difference could be due to the use of the touchscreen, which does not require individuals to use materials such as pencils or paint. Only one chimpanzee, Hatsuka, appeared to be more attentive during test sessions, looking at her fingers and at the outlines produced on the screen. This variability among chimpanzees

in studies of drawing by non-human primates²⁹. Turgeon⁴³ showed a gender difference in color use solely in older children (7–9 years old), whereas we found a difference even in younger children, a finding that is consistent with previous studies⁴⁴. Turgeon⁴³ noted that the number of colors used can be directly linked to the subject of the drawing, with some requiring more colors than others (e.g. a flower versus a car). In our case, the gender effect appears in both the constrained (self-portrait) and the free conditions. This gender difference in the use of colors has already been studied, notably from a biological perspective by studying the level of prenatal androgen exposure, even if minimal support was found to assess its role⁴³. The importance of social influence is very often highlighted in descriptions of a 'sex role socialization' process⁴⁴. Our study shows that this gender difference persists beyond childhood into adulthood.

To complement the analyses of our different indices, we asked the youngest children (between 3 and 5 years of age) about the meaning of their drawings (i.e., internal representativeness) in *free* and *self-portrait* conditions. We asked the children not only at the end of the drawing session but also few days later. Remembering and implementing instructions require the storage and the manipulation of information. For the younger ones for whom this exercise could be difficult, we did not hesitate to recall the drawing instruction "*do you remember, I ask you to draw yourself*". We naturally repeated it to children who looked at the experimenter, asked her to repeat or told her they did not know what to draw. We did not, or very rarely, have to repeat for the oldest children. The fact that we have to recall the instruction could also be a sign of a lack of concentration on the part of the child. For the self-portrait condition, approximately 80% of the 4- and 5-year-old children answered "*me*" immediately after having drawn, identifying themselves in their drawing. This contrasts with the 3-year-old children, who answered "*me*" significantly less frequently than the older children. Some answered "*nothing*" or "*I do not know*" which may confirm, as our indices do, the absence of an internal representation process for most children of this age. At this age, children are able to form a mental image of themselves¹⁵, so a misunderstanding of the instruction is not a plausible explanation for our results. On this basis, several hypotheses can be considered. It is possible that 3-year-old children perhaps did not apply our instruction due to a lack of motivation. Also, some of them could have struggled with keeping the instruction in mind during the drawing session. Another hypothesis is that they were simply not capable of carrying out the task since they had not yet integrated the graphical elements necessary for the production of a tadpole man due to developing motor and/or cognitive abilities. We can also consider that despite the habituation phase, some of them were too shy to answer when we asked them. Many 3-year-old children told the experimenter that they "*did not know how to do it*". This answer can be understood in two ways which are most probably linked: (1) under-developed locomotor control or (2) a partial or incomplete internalization of the graphic elements necessary to draw the figure of a man (round, vertical and horizontal lines). A final hypothesis is that 3-year-old children realized that their drawing did not look like them and therefore could not answer "*me*" when they saw it finished. Among the few 3-year-olds who managed to draw something figurative (i.e., external representativeness), several responded "*a man*", showing that they did not recognize themselves, which is characteristic of the early period of figurative drawing⁵². It should be noted that the condition in which the drawing was made (free and self-portrait) did not affect the child's memory of its initial meaning. Like for the self-portrait condition, 3-year-old children did not remember the meaning they had given to their free drawings as well as the oldest children did. In addition to our indices, these results tend to show that the internal representativeness may not well be elaborated in the 3-year-old children, affecting their outlines' efficiency and therefore the external representativeness of their drawings.

Our study uses an innovative index in this domain and reveals differences between chimpanzees and human beings in their capacities to draw, and further differences between humans at different ages. It is important to note that humans learn to draw—a main activity in nursery school—while chimpanzees do not. This can explain some of the differences observed between human and non-human primates. From an early age, a human child raised in an industrial country lives in a graphic environment (books, television, and advertising) that might contribute to the emergence of their figurative conception of drawing⁴⁶. Following this idea, it could be interesting in the future to conduct cross-cultural studies with children living in a less graphic environment. However, one difficulty here would be testing children with technology they are not used to. Chimpanzees can be taught to draw^{53–55} and adults of this species show better control of their movements than younger ones⁵. Then, like in humans, the fine motor skills of chimpanzees improve with age and training, suggesting that the lack of external representativeness in this species is not explained solely by a lack of adequate motor skills. The meticulous examination of productions made by trained chimpanzees over several years could then be an important next step for future studies. Our spatial index μ_{MLE} already reveals the high reliability of efficiency for the lines traced on screens by individuals. The results presented here are preliminary but already show the relevance of pursuing research on new graphical representation clues. New indices should now be developed to understand the degree of representativeness in drawings by primates, and possibly in other animal taxa.

Methods

Ethics. Drawings by human participants were confidentially collected. Study protocol followed the ethical guidelines of our research institutions and ethical approval was obtained from the Strasbourg University Research Ethics Committee (Unistra/CER/2019-11). Informed consent was obtained from all adult participants and from a parent or legal guardian for children. Informed consent for publication of identifying images in an online open-access publication has been obtained too.

All chimpanzees were tested in a dedicated testing room and their participation in this study was voluntary⁵⁶. Regular feeding, daily enrichment and ad libitum access to water, leaves, and grasses of live plants were provided⁵⁷. Animal husbandry and research methods complied with international standards (Weatherall report "The use of non-human primates in research") and all our experimental protocols were approved by Kyoto University (WRC-2017KS009A).

Participants groups		Gender	Free => Self-portrait	Self-portrait => Free
Children	3-year-olds	Girls	n = 2	n = 3
		Boys	n = 8	n = 7
	4-year-olds	Girls	n = 5	n = 5
		Boys	n = 5	n = 5
	5-year-olds	Girls	n = 5	n = 5
		Boys	n = 5	n = 5
	7-year-olds	Girls	n = 5	n = 5
		Boys	n = 5	n = 5
	8-year-olds	Girls	n = 5	n = 4
		Boys	n = 4	n = 5
	9-year-olds	Girls	n = 5	n = 4
		Boys	n = 5	n = 6
10-year-olds	Girls	n = 5	n = 5	
	Boys	n = 5	n = 5	
Adults	Naive	Women	n = 5	n = 5
		Men	n = 5	n = 5
	Expert	Women	n = 5	n = 5
		Men	n = 5	n = 5

Table 1. Groups, sex and test condition of human participants. For each group of participants, half of the subjects began testing with the *free* condition instructions; the other half with the *self-portrait* condition. The choice was made randomly.

Name	Born in	Session 1	Number of drawings	Session 2	Number of drawings
Natsuki	2005	Tested alone	1	Tested alone	1
Mizuki	1996	Tested with her daughter Iroha	2	Tested with her daughter Iroha	1
Hatsuka	2008	Tested with her mother Misaki	2	Tested with her mother Misaki	2
Misaki	1999	Tested with her daughter Hatsuka	1	Tested with her daughter Hatsuka	1
Iroha	2008	Tested with her mother Mizuki	0	Tested with her mother Mizuki	1

Table 2. Name and year of birth for each chimpanzee and the number of drawings completed for each test session.

Subjects. *Human participants.* One hundred and thirty-eight children (63 girls and 75 boys) and forty adults (20 women and 20 men) took part in this study. Children were pupils in a kindergarten and primary school in Strasbourg, France. Twenty children were enrolled for each age group (3-year-old, 4-year-old, 5-year-old, 7-year-old, 8-year-old, 9-year-old and 10-year-old) except for the group of 8-year-olds, which was composed of 18 children (Table 1). Their participation was voluntary and subject to parental consent. Drawings from kindergarten children (3-, 4-, 5-year-olds) were collected in 2018 and drawings from primary school children in 2019. This means that children who were 6 years old in 2019 could not be tested because they have already been involved when they were 5 years old in 2018.

The adults tested were 21–60 years old (Table 1). Beyond the age effect (children versus adults), experienced and naive sub-samples were tested in adults to assess the effect of experience on the indices studied. Twenty adults were considered to be naive in drawing since they never took drawing lessons and did not draw as a hobby. These participants were researchers and students of the research institute where the authors worked (naive adults: 30.8 ± 10.54 years-old). Twenty experts in drawing were also enrolled, including art school students and professional illustrators (expert adults: 30.4 ± 11.12 years-old). For both groups, naive and expert, we accepted all ages but made sure to retain the same number of men and women. Participation was voluntary.

Chimpanzees. Five female chimpanzees (*Pan troglodytes*) between 10 and 22 years of age were tested at the Kumamoto Sanctuary of the Wildlife Research Center of Kyoto University in Japan (Table 2). Individuals belonged to the same social group of 6 individuals (5 females and 1 male) and lived in a 300 m² enriched and wooded enclosure. All had experienced behavioral and cognitive tests during “participant observation”^{56,58}, in which the experimenters interacted directly with the subject during test sessions and were present in the daily lives of the chimpanzees. Chimpanzees had already been familiarized with touchscreens in previous experimental procedures.

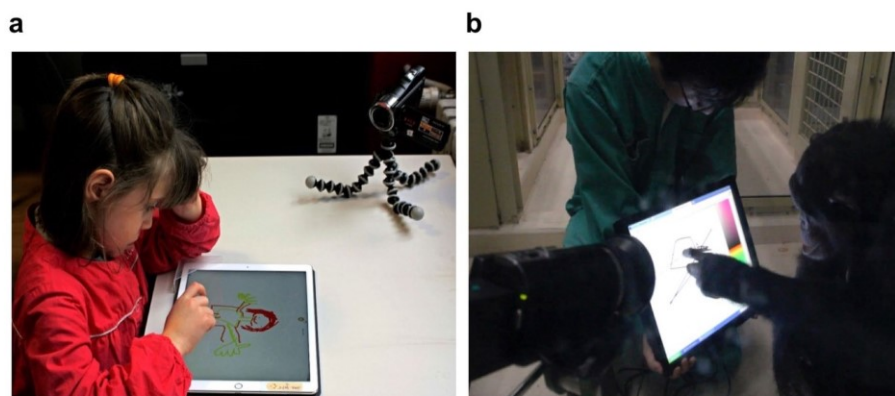


Figure 5. Procedure set up for (a) human participants and (b) chimpanzees. All drew with their fingers and were filmed during the drawing sessions.

Experimental design. *Human participants.* Habituation phase: each participant (children and adults) was invited to try a touchscreen tablet (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2, capacitive screen reacting to the conductive touch of human fingers), then draw on it with their fingers and understand how it worked, notably to change the color used (Fig. 5a, Supplementary Video S7). The drawing with fingers was preferred to allow the inclusion of some chimpanzees and youngest children who have not yet mastered the use of a pencil. A panel consisting of 10 different colors was displayed on the bottom of the screen, and the participant could select one color for their drawing by clicking on one of them. When they clicked on a different color in the panel, any subsequent drawing production was in that color. Children were habituated the day before the tests to avoid overstimulation. Adults were tested immediately after discovering the tablet.

Testing phase: each child was individually tested at school, during school time, in their classroom for 3-year-olds, and in the staff room for the older children. The experimenter (LM or MP) stayed during the test but kept their distance during drawing in order to avoid influencing the child. Adults were also tested individually in a room at the research institute for naive participants or at the art school for the experts. Contrary to children, adult participants were left alone in the room. A camera recorded the hand movements of all participants while drawing, in case we needed to control for any problem during the session (interruption of the drawing, involuntary tracings, etc.). No time limit was applied.

Each participant (child and adult) was tested in two conditions. This choice of drawing tasks was made in order to assess a possible difference in results between a non-specific task (*free drawing*) and a specific one (*self-portrait*).

Free condition: "Draw what you want" The experimenter explained to the subject that they could draw whatever they wanted, with no further instructions. The experimenter systematically asked each child up to and including the age of five to say what they had drawn when they had finished their drawing (in older children, it was always obvious what has been drawn). The same question was asked three days later to monitor the consistency of the answer.

Self-portrait condition: "Draw yourself" The experimenter instructed the subject to draw themselves. Again, the experimenter systematically asked each child up to and including the age of five what they had drawn, and repeated the question three days later to monitor the consistency of the answer.

In each participant group, half of the subjects began the test with the *free condition* instructions, the other half started with the *self-portrait condition*. The choice was made randomly. To ensure adequate levels of concentration, none of the children drew under both conditions the same day. A total of 356 drawings were collected in humans (Table 1, Supplementary Fig. S8).

Chimpanzees. Each female or mother–daughter duo was isolated during lunch time in a testing room using a system of trapdoors and tunnels. Once inside the room, they were provided with fruit and vegetables and asked to sit down. The experimenter (SH) presented a resistive touch screen (1947L 19-Inch Rear-Mount Touch monitor) to the chimpanzee and encouraged her to draw on it using her fingers (Fig. 5b, Supplementary Video S7). Each individual was free to approach and use the touchscreen. There was no time limitation. In the case of mother–daughter duos, some fruit juice was given to the chimpanzee who did not draw to avoid disruptions. The touch screen was connected to a computer that was controlled by a second experimenter (MP), who directly recorded the data for the drawing. Since chimpanzees have a color recognition quite similar to that of humans^{59,60}, they also had the opportunity to use colors. A color gradient was displayed on the right-hand side of the screen, and the subject could select a color for her drawing by clicking on it. When she clicked a different color of the panel then any subsequent drawing appeared in that color. Each test session was videotaped in order

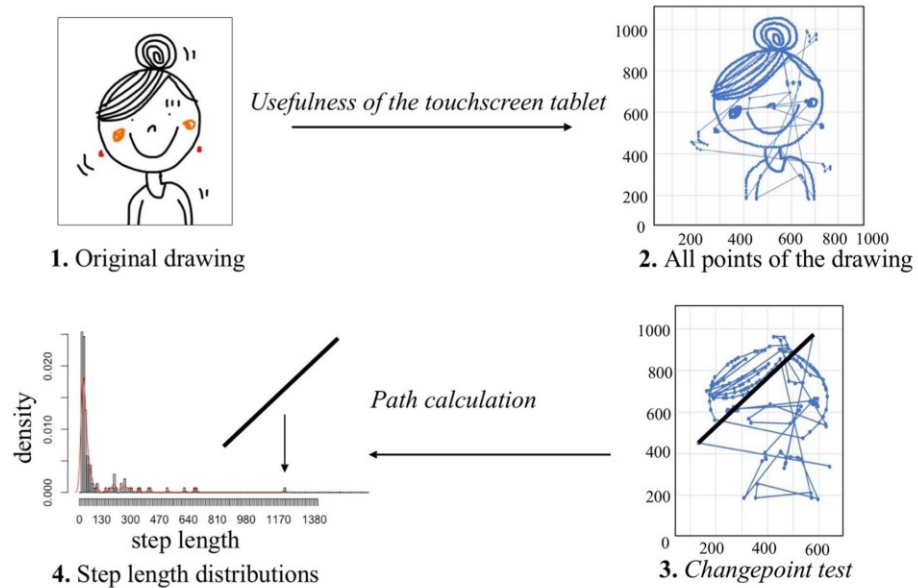


Figure 6. Schema of the different analytical stages for a drawing. All the points of a drawing were extracted from the original one. The application of the changepoint test enabled us to use a reduced number of points; step length distribution was then analyzed. The step length (thick black line) in stage 3 is transferred onto the graph in stage 4. Isabelle Jacqué drew the original drawing.

to analyze the chimpanzee’s behavior when drawing. Chimpanzees drew on two consecutive days in October 2017, and 12 drawings were collected (Table 2, Supplementary Fig. S9).

Statistical analysis. For each drawing, the software allowed us to record the spatial coordinates X and Y of every point of the lines drawn as well as their time coordinates [min; s; ms].

The spatial index μ_{MLE} . This first index allowed us to characterize the lines of the drawing. As coordinate scoring of the drawing was continuous (one point per frame), we focused on active changes^{41,61}: a selection of points was carried out for each drawing via a change-point test under R software (version 1.1.383; CPT⁴⁰). This allowed us to determine points which included changes of directions and to select solely the active changes of directions produced by the individual who was drawing⁴⁰. This enabled us to limit the number of points considered for each drawing (Fig. 6).

Two consecutive points (i and j) in the drawing d determined a step or a vector of a length L(i,j). We then calculated the step lengths S on Excel with latitude x and longitude y (in pixels).

$$S(i,j) = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}.$$

Step lengths between 0 and 10 pixels were removed since they often corresponded to very short, inactive movements such as imprecise lines or finger sideslips and caused inaccuracies.

We then determined whether the step length frequency distribution of a drawing followed a power law ($y = a \times x^b$) or an exponential law ($y = a \cdot e^{-x/\lambda}$) using the *Maximum Likelihood Method*⁴⁵. To achieve this, we calculated the exponent of the distribution (Eq. 1 for power law and Eq. 2 for exponential law) in order to determine the distribution log-likelihood (Eq. 3 for power law and Eq. 4 for exponential law), where n is the total number of step lengths and S_{min} is the minimum step length.

- (1) Maximum estimate of the power law exponent μ_{MLE} :

$$\mu_{MLE} = 1 + n \left(\sum \ln \frac{S_i}{S_{min}} \right)^{-1}$$

- (2) Maximum estimate of the exponential law exponent λ_{MLE} :

$$\lambda_{MLE} = n \left(\sum (S_i - S_{min}) \right)^{-1}$$

(3) Log likelihood of the power law L_{pow}

$$L_{pow} = n(\ln(\mu_{MLE} - 1) - \ln S_{min}) - \mu_{MLE} \sum \ln S_i / S_{min}$$

(4) Log likelihood of the exponential law L_{exp}

$$L_{exp} = n \ln \lambda_{MLE} - \lambda_{MLE} \sum (S_i - S_{min})$$

Log-likelihoods of the exponential and power distributions for each drawing d could then be compared using the Akaike Information Criterion (AIC) calculated with $L_{i,d}$ the log-likelihood of the exponential and of the power distribution and K_i the number of free parameters i in the model ($K = 1$ as the exponent is the only one parameter for both distributions).

$$AIC_{i,d} = -2L_{i,d} + 2K_i$$

The model retained (power or exponential) was that with the lowest AIC, considering a minimum difference of 2 between the two AICs⁶².

All the drawings produced by our 10 groups of participants (chimpanzees, 7 grades of children, naive and expert adults) followed a power law (lowest AIC, see Supplementary Table S10). The Maximum Likelihood Estimate of the power law exponent μ_{MLE} was then used to draw conclusions on the efficiency of the representation for each drawing. This index is comprised of values between 1 and 3^{39,63}. The higher the index, the more the line was considered to be directed, well planned and efficient⁶³.

The drawing duration. In chimpanzees, drawing sessions lasted on average 5 min during which each individual drew less than one minute (mean = 49 ± 17.7 s). However, given that chimpanzees were stimulated by the experimenters and often distracted by their environment, drawing duration was only analyzed in humans. The duration of each drawing was measured in seconds and corresponded to the elapsed time between the first and the last point of the drawing.

The use of color. The color of each point has also been recorded by our drawing software. Since the subjects had access to 10 different colors, we defined first a color index ranging from 1 to 10 and corresponding to the number of colors used. We then considered the number of times a subject changed the color used. This second color index can be equal or higher to the number of colors used, as the same color can be used several times.

The meaning of drawings in children. When asked about the meaning of their drawing, a child can say what they intended to draw before drawing (internal representativeness) but also what they see once their drawing is finished (fortuitous meaning¹⁹). If a child remembers the first meaning of their drawing three days later, we can consider this consistency in their answer to be evidence of a real intention to represent the object in question at the outset. This part of the study concerns the three youngest groups of children (between 3 and 5 years old), for whom representative, decipherable and readable drawing (external representativeness) was not systematic.

Each child was questioned immediately after drawing and three days later (LM or MP showed him his drawing again) about the meaning of their drawing in the *self-portrait* and *free* conditions. We chose to not question children before and after their drawing to not disturb them, influence them and their choices, especially the youngest ones who, for some, were initially intimidated by the exercise. Besides, drawing sessions did not last long and children could give the same meaning to their drawing just to match what they had announced, even if plans changed along the way (they did not have the necessary graphic skills to achieve their drawing or at the end, the drawing had no real representational purpose per se). Answers were recorded and coded 1 when the child gave us the same answer at the end of the test session and three days later (for example, “me” for the self-portrait condition) and 0 when the child gave us two different answers. First, we analyzed children’s answers for the self-portrait condition. This allowed us to determine whether children were able to understand and follow an instruction, and also indicated their ability to represent something when asked to do so, regardless of whether they could produce a figurative drawing on their own under the free condition. We then compared the answers given by children three days after their drawing in the self-portrait condition with those given three days after drawing in the free condition. This comparison allowed us to determine whether the type of test condition affected the meaning (or the memory thereof) that children had given to their production.

Statistics. The multicollinearity of our different indices was tested using a VIF test for each model. As no index had a VIF superior to 4 ($VIF_{max} = 2.71$), we concluded that there was no collinearity between our variables⁶⁴. This means that the spatial index, the color used and the time taken to draw are not dependent on each other.

The indices were analyzed in two different ways. First, we compared human participants and chimpanzees by taking only the *free* condition drawings into account. The sex factor was excluded as all chimpanzees were female. In a second step, we compared *gender*, *test condition* and *groups* within the groups of human participants. No influence of condition order was found (Wilcoxon test, $W < 303$, $p > 0.05207$) meaning that data did not significantly differ whether the person first drew under *free* or *self-portrait* conditions.

Each index was studied through Generalized Linear Models GLM (dependent variable ~ explanatory variables). *Individual (IDs)* was added as a random factor when considering the meanings of drawings in children. We first selected the most efficient model to explain the variability of the studied index, using the variables group, gender, test condition, gender-condition interaction and/or group-condition interaction. The model selection was carried out by a dredge (package MuMin⁶⁵) which is a forward procedure (from the null to complete model). After the dredge, we selected the one with the lowest AIC (model selection⁶⁵). When the AIC difference of the first two best models did not exceed two⁶², they were compared using an Anova [anova function (glm1, glm2, test: "F" or "Chisq")]. When the difference was not significant ($p > 0.05$), the simplest model was preferred to respect the parsimony principle. For each selected model, the probability distribution was adapted to the dependent variable and the conditions of application (normality and homoscedasticity of residuals) were graphically verified. All analyses were performed in R. 3.5.0⁶⁶ and for all tests, the significance threshold was set to $\alpha = 0.05$.

Data availability

Information and data are available in the Supplementary Materials, and additional data related to this paper may be requested from the authors.

Received: 6 May 2020; Accepted: 19 January 2021

Published online: 16 February 2021

References

- Martinet, L. & Pelé, M. Sortir du cadre: désanthropiser le concept de dessin en questionnant les primates non humains. In *Pourquoi Désanthropiser et Décloisonner* (eds. Baratay, E.) (Éditions de La Sorbonne, in press).
- MacDonald, J. Alpha: The figure in the cage. *Relat. Beyond Anthropocentrism*. **2**, 27–43 (2014).
- Golomb, C. *The Child's Creation of a Pictorial World* (University of California Press, Berkeley, 1992).
- Cohn, N. Explaining, "I can't draw": Parallels between the structure and development of language and drawing. *Hum. Dev.* **55**, 167–192 (2012).
- Saito, A., Hayashi, M., Takeshita, H. & Matsuzawa, T. The origin of representational drawing: A comparison of human children and chimpanzees. *Child Dev.* **85**, 2232–2246 (2014).
- Coulbeau, L., Royer, P., Brouziyne, M., Dosseville, F. & Molinaro, C. Development of children's mental representations: Effects of age, sex, and school experience. *Percept. Motor Skill*. **106**, 241–250 (2008).
- Brownell, C. A. & Kopp, C. B. *Socioemotional Development in the Toddler Years: Transitions and Transformations* (The Guilford Press, New York, 2007).
- DeLoache, J. S., Pierroutsakos, S. L. & Troseth, G. L. The three 'R's of pictorial competence. In *Annals of Child Development* (eds. Vasta, R.) 1–48 (Jessica Kingsley, Bristol, 1996).
- Golomb, C. *Child Art in Context: A Cultural and Comparative Perspective* (American Psychological Association, Washington, DC, 2002).
- DeLoache, J. S. Becoming symbol-minded. *Trends Cogn. Sci.* **9**, 66–70 (2004).
- Cox, M. V. *Children's Drawings of the Human Figure* (Psychology Press, Hove, 1993).
- Gernhardt, A., Rübelling, H. & Keller, H. Cultural perspectives on children's tadpole drawings: At the interface between representation and production. *Front. Psychol.* **6**, 812 (2015).
- Porte, G. Dessine-toi. <http://www.early-pictures.ch/porte1/en/> (2010).
- Longobardi, C., Quaglia, R. & Lotti, N. O. Reconsidering the scribbling stage of drawing: A new perspective on toddlers' representational processes. *Front. Psychol.* **6**, 1227 (2015).
- Piaget, J. & Inhelder, B. L. *Psychologie de l'Enfant* (PUF, Paris, 1966).
- Le Luquet, G. H. *Dessin Enfantin* (Alcan, Paris, 1927).
- Adi-Japha, E., Levin, I. & Solomon, S. Emergence of representation in drawing: The relation between kinematics and referential aspects. *Cogn. Dev.* **13**, 25–51 (1998).
- Matthews, J. *The Art of Childhood and Adolescence: The Construction of Meaning* (Falmer Press, London, 1999).
- Kress, G. *Before Writing: Re-thinking the Paths to Literacy* (Routledge, London, 1997).
- Willats, J. *Making Sense of Children's Drawings* (Erlbaum, Mahwah, 2005).
- McGrew, W. *Chimpanzee Material Culture: Implications for Human Evolution* (Cambridge University Press, Cambridge, 1992).
- Martinet, L. & Pelé, M. Drawing in non-human primates: What we know and what remains to be investigated. *J. Comp. Psychol.* Available online (2020).
- Call, J. On space geckos and urban apes. In *Diversity in Harmony: Insights from Psychology-Proceedings of the 31st International Congress of Psychology 42* (Wiley, Hoboken, 2018).
- Kellogg, W. N. & Kellogg, L. A. *The Ape and the Child: A Study of Environmental Influence Upon Early Behaviour* (McGraw-Hill, New York, 1933).
- Morris, D. *The Biology of Art: A Study of the Picture-making Behavior of the Great Apes and its Relationship to Human Art* (Methuen Young Books, London, 1962).
- Schiller, P. H. Figural preferences in the drawings of a chimpanzee. *J. Comp. Physiol. Psychol.* **44**, 101–111 (1951).
- Hanazuka, Y., Kurotori, H., Shimizu, M. & Midorikawa, A. The effects of the environment on the drawings of an extraordinary productive Orangutan (*Pongo pygmaeus*) artist. *Front. Psychol.* **10**, 2050 (2019).
- Tanaka, M., Tomonaga, M. & Matsuzawa, T. Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Anim. Cogn.* **6**, 245–251 (2003).
- Zeller, A. What's a picture? A comparison of drawings by apes and children. *Semiotica*. **166**, 181–214 (2007).
- Gardner, R. A. & Gardner, B. T. Comparative psychology and language acquisition. *Ann. NY. Acad. Sci.* **309**, 37–76 (1978).
- DeLoache, J. S. Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science* **238**, 1556–1557 (1987).
- Matsuzawa, T. Pretense in chimpanzees. *Primates* **61**, 543–555 (2020).
- Fein, G. Pretend play in childhood: An integrative review. *Child Dev.* **52**, 1095–1118 (1981).
- Collier-Baker, E., Davis, J. M., Nielsen, M. & Suddendorf, T. Do chimpanzees (*Pan troglodytes*) understand single invisible displacement?. *Anim. Cogn.* **9**, 55–61 (2006).
- Kuhlmeier, V. A. & Boysen, S. T. Chimpanzees (*Pan troglodytes*) recognize spatial and object correspondences between a scale model and its referent. *Psychol. Sci.* **13**, 60–63 (2002).
- Savage-Rumbaugh, E. S., Rumbaugh, D. M. & Boysen, S. Symbolic communication between two chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Science* **201**, 641–644 (1978).
- DeLoache, J. S. Symbolic functioning in very young children: Understanding of pictures and models. *Child Dev.* **62**, 736–752 (1991).

38. Bon, F. Dis, dessine-moi un mammouth. In *Sapiens à l'œil nu* (eds CNRS, 2019).
39. Bartumeus, F., da Luz, M. G. E., Viswanathan, G. M. & Catalan, J. Animal search strategies: A quantitative random-walk analysis. *Ecology* **86**, 3078–3087 (2005).
40. Byrne, R. W., Noser, R., Bates, L. A. & Jupp, P. E. How did they get here from there? Detecting changes of direction in terrestrial ranging. *Anim. Behav.* **77**, 619–631 (2009).
41. Sueur, C., Briard, L. & Petit, O. Individual of Lévy walk in semi-free ranging Tonkean macaques (*Macaca tonkeana*). *PLoS ONE* **6**, e26788 (2011).
42. Kirkorian, H. L. et al. Drawing across media: A cross-sectional experiment on preschoolers' drawings produced using traditional versus electronic mediums. *Dev. Psychol.* **56**, 28–39 (2020).
43. Turgeon, S. M. Sex differences in children's free drawings and their relationship to 2D:4D ratio. *Pers. Individ. Differ.* **45**, 527–532 (2008).
44. Wright, L. & Black, F. Monochrome males and colorful females: Do gender and age influence the color and content of drawings?. *SAGE Open* **3**, 1–9 (2013).
45. Edwards, A. M. et al. Revisiting Lévy flight search patterns of wandering albatrosses, bumblebees and deer. *Nature* **449**, 1044–1045 (2007).
46. Baldy, R. *Fais-moi un Beau Dessin: Regarder le Dessin de l'Enfant, Comprendre son Evolution* (Paris, France: In Press, 2011).
47. Yamagata, K. Emergence of representational activity during the early drawing stage: Process analysis. *Jpn. Psychol. Res.* **43**, 130–140 (2001).
48. Young, R. W. Evolution of the human hand: The role of throwing and clubbing. *J. Anat.* **202**, 165–174 (2003).
49. Itskowitz, R., Glaubman, H. & Hoffman, M. The impact of age and artistic inclination on the use of articulation and line quality in similarity and preference judgments. *J. Exp. Child Psychol.* **46**, 21–34 (1988).
50. Picard, D., Martin, P. & Tsao, R. iPads at school? A quantitative comparison of elementary schoolchildren's pen-on-paper versus finger-on-screen drawing skills. *J. Educ. Comput. Res.* **50**, 203–212 (2014).
51. Milne, L. C. & Greenway, P. Color in children's drawings: The influence of age and gender. *Arts Psychother.* **26**, 261–263 (1999).
52. Cox, M. V. & Parkin, C. E. Young children's human figure drawing: Cross-sectional and longitudinal studies. *Educ. Psychol.* **6**, 353–368 (1986).
53. Iversen, I. H. & Matsuzawa, T. Visually guided drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Jpn. Psychol. Res.* **38**, 126–135 (1996).
54. Iversen, I. H. & Matsuzawa, T. Model-guided line drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Jpn. Psychol. Res.* **39**, 154–181 (1997).
55. Iversen, I. H. & Matsuzawa, T. Establishing line tracing on a touch monitor as a basic drawing skill in chimpanzees (*Pan troglodytes*). In *Primate Origins of Human Cognition and Behavior* 235–268 (Springer, Tokyo, 2001).
56. Matsuzawa, T., Tomonaga, M. & Tanaka, M. *Cognitive Development in Chimpanzees* (Springer, Tokyo, 2006).
57. Matsuzawa, T. WISH cages: Constructing multiple habitats for captive chimpanzees. *Primates* **61**, 139–148 (2020).
58. Matsuzawa, T. The 40th anniversary of the AI Project: The commemorative gift is a silk scarf painted by AI the chimpanzee. *Primates* **58**, 261–265 (2017).
59. Matsuzawa, T. Colour naming and classification in a chimpanzee (*Pan troglodytes*). *J. Hum. Evol.* **14**, 283–291 (1985).
60. Matsuno, T., Kawai, N. & Matsuzawa, T. Color classification by chimpanzees (*Pan troglodytes*) in a matching-to-sample task. *Behav. Brain Res.* **148**, 157–165 (2004).
61. Noser, R. & Byrne, R. W. Change point analysis of travel routes reveals novel insights into foraging strategies and cognitive maps of wild baboons. *Am. J. Primatol.* **76**, 399–409 (2014).
62. Burnham, K. P. & Anderson, D. R. Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol. Methods Res.* **33**, 261–304 (2004).
63. Viswanathan, G. M. et al. Optimizing the success of random searches. *Nature* **401**, 911–914 (1999).
64. Dormann, C. F. et al. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* **36**, 27–46 (2012).
65. Barton, K. MuMIn: multi-model inference, R package version 0.12.0. <http://r-forge.r-project.org/projects/mumin/> (2009).
66. R Core Team R: *A Language and Environment for Statistical Computing* <https://www.R-project.org> (Vienna, Austria, 2018).

Acknowledgements

We thank the school director and the teachers who gave us access to their classrooms, proving their interest in our research project. We are grateful to all the participants and to the parents of all the children, who accepted with enthusiasm to contribute to our study. Thanks also to Sarah Piquette, who provided help regarding the ethical components of this project. We are also grateful to Naruki Morimura and Fumihiko Kano, who helped us with data collection in chimpanzees.

Author contributions

The concept and design were initiated by C.S. and M.P. The drawing software was developed by J.H. The collection of human drawings was carried out by L.M. et M.P. The access and possibility to work with chimpanzees was possible thanks to the contribution of S.H. and T.M. The collection of chimpanzee drawings was performed by S.H., M.P. and C.S. Interpretation of data and analysis were mainly carried out by L.M., C.S. and M.P. Writing was mainly performed by L.M., C.S. and M.P. but all authors contribute to comment and improve the manuscript.

Funding

Chimpanzee data collection was financially supported by Japan Society for Promotion of Science (26245069, 16H06283, 18H05524, Core-to-core CCSN, GAIN, PWS-U04) and by a CNRS grant (PICS4455).

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Supplementary materials for the article “New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*)”

Lison Martinet, Cédric Sueur, Satoshi Hirata, Jérôme Hosselet, Tetsuro Matsuzawa, Marie Pelé

Results

1. The spatial index μ_{MLE}

Table S1. Results of the generalized linear model realized to compare the spatial fractal index μ_{MLE} . **(a)** between chimpanzees and humans (compared to chimpanzees) and **(b)** among humans (compared to 3-year-old children).

		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	Intercept	1.50	0.04	34.91	< 0.0001
	3-year-old children	0.22	0.05	4.51	< 0.0001
	4-year-old children	0.28	0.05	5.73	< 0.0001
	5-year-old children	0.34	0.05	6.85	< 0.0001
	7-year-old children	0.37	0.05	7.47	< 0.0001
	8-year-old children	0.28	0.05	5.55	< 0.0001
	9-year-old children	0.34	0.05	6.82	< 0.0001
	10-year-old children	0.33	0.05	6.60	< 0.0001
	Naive adults	0.23	0.05	4.63	< 0.0001
	Expert adults	0.20	0.05	4.10	< 0.0001
b	Intercept	1.72	0.03	71.72	< 0.0001
	4-year-old children	0.06	0.03	1.79	0.07
	5-year-old children	0.12	0.03	3.43	< 0.001
	7-year-old children	0.14	0.03	4.33	< 0.0001
	8-year-old children	0.05	0.03	1.58	0.11
	9-year-old children	0.11	0.03	3.37	< 0.001
	10-year-old children	0.10	0.03	3.05	0.002
	Naive adults	0.01	0.03	0.19	0.85
	Expert adults	-0.02	0.03	-0.61	0.54

2. The drawing duration

Table S2. Results of the generalized linear model to study drawing duration among humans (compared to 3-year-old children, and *free* condition compared to *self-portrait* condition).

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercept	4.54	0.12	38.41	< 0.0001
4-year-old children	0.52	0.16	3.32	< 0.001
5-year-old children	0.80	0.16	5.08	< 0.0001
7-year-old children	0.96	0.16	6.11	< 0.0001
8-year-old children	0.67	0.16	4.15	< 0.0001
9-year-old children	1.06	0.16	6.33	< 0.0001
10-year-old children	1.06	0.16	6.69	< 0.0001
Naive adults	0.93	0.16	5.89	< 0.0001
Expert adults	0.83	0.16	5.23	< 0.0001
<i>Free</i> condition	0.33	0.07	4.52	< 0.0001

3. The use of colors

a. Number of colors used

Table S3. Results of the generalized linear model carried out to compare the number of colors used. **(a)** between chimpanzees and humans (compared to chimpanzees) and **(b)** among humans (*free* condition compared to *self-portrait* condition and boys/men compared to girls/women).

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(< z)
a				
Intercept	0.88	0.18	4.75	< 0.0001
3-year-old children	0.88	0.21	4.26	< 0.0001
4-year-old children	1.06	0.20	5.21	< 0.0001
5-year-old children	0.81	0.21	3.89	< 0.0001
7-year-old children	0.77	0.21	3.65	< 0.001
8-year-old children	0.77	0.21	3.63	< 0.001
9-year-old children	0.70	0.21	3.29	< 0.001
10-year-old children	0.88	0.21	4.26	< 0.0001
Naive adults	0.71	0.21	3.34	< 0.001
Expert adults	0.74	0.21	3.60	< 0.001
b				
Intercept	1.45	0.04	35.56	< 0.0001
<i>Free</i> condition	0.24	0.05	5.06	< 0.0001
Boys/men	-0.14	0.05	-2.97	< 0.001

b. Number of color changes

Table S4. Results of the generalized linear model to compare the number of color changes. **(a)** between chimpanzees and humans (compared to chimpanzees) and **(b)** among humans (*free* condition compared to the *self-portrait* condition and boys/men compared to girls/women).

		Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
a	Intercept	0.35	0.35	0.98	0.33
	3-year-old children	1.40	0.42	3.34	< 0.001
	4-year-old children	2.14	0.41	5.17	< 0.0001
	5-year-old children	1.99	0.41	4.81	< 0.0001
	7-year-old children	2.02	0.41	4.87	< 0.0001
	8-year-old children	1.92	0.42	4.56	< 0.0001
	9-year-old children	2.02	0.41	4.88	< 0.0001
	10-year-old children	1.95	0.41	4.70	< 0.0001
	Naive adults	2.10	0.41	5.08	< 0.0001
	Expert adults	2.34	0.41	5.71	< 0.0001
b	Intercept	2.07	0.09	24.02	< 0.0001
	Boys/men	-0.30	0.1	-3.11	0.002
	<i>Free</i> condition	0.43	0.1	4.45	<0.0001

4. The meaning of drawings in children

Table S5. Results of the generalized linear model carried out to study the consistency of the answer for the *self-portrait* condition among the three youngest categories of children (compared to the 3-year-old children and the response rate « me » immediately compared to « me » after three days).

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Intercept	-26.99	4.48	-6.03	< 0.0001
4 year-old children	39.12	5.57	7.02	< 0.0001
5 year-old children	38.76	5.51	7.04	< 0.0001
Response rate « Me » immediately after the <i>self-portrait</i> condition	14.34	2.78	5.16	< 0.0001

Table S6. Results of the generalized linear model carried out to study the effect of the condition on memorization (compared to the 3-year-old children).

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Intercept	-0.61	0.36	-1.69	0.091
4 year-old children	1.12	0.48	2.30	0.021
5 year-old children	1.26	0.49	2.54	0.011

Data collection and analysis

Video file S7. Short sequence of an adult's drawing session on the touchscreen tablet (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2) followed by a short sequence of a chimpanzee's drawing session on the resistive touchscreen (1947L 19-Inch Rear-Mount Touch monitor).

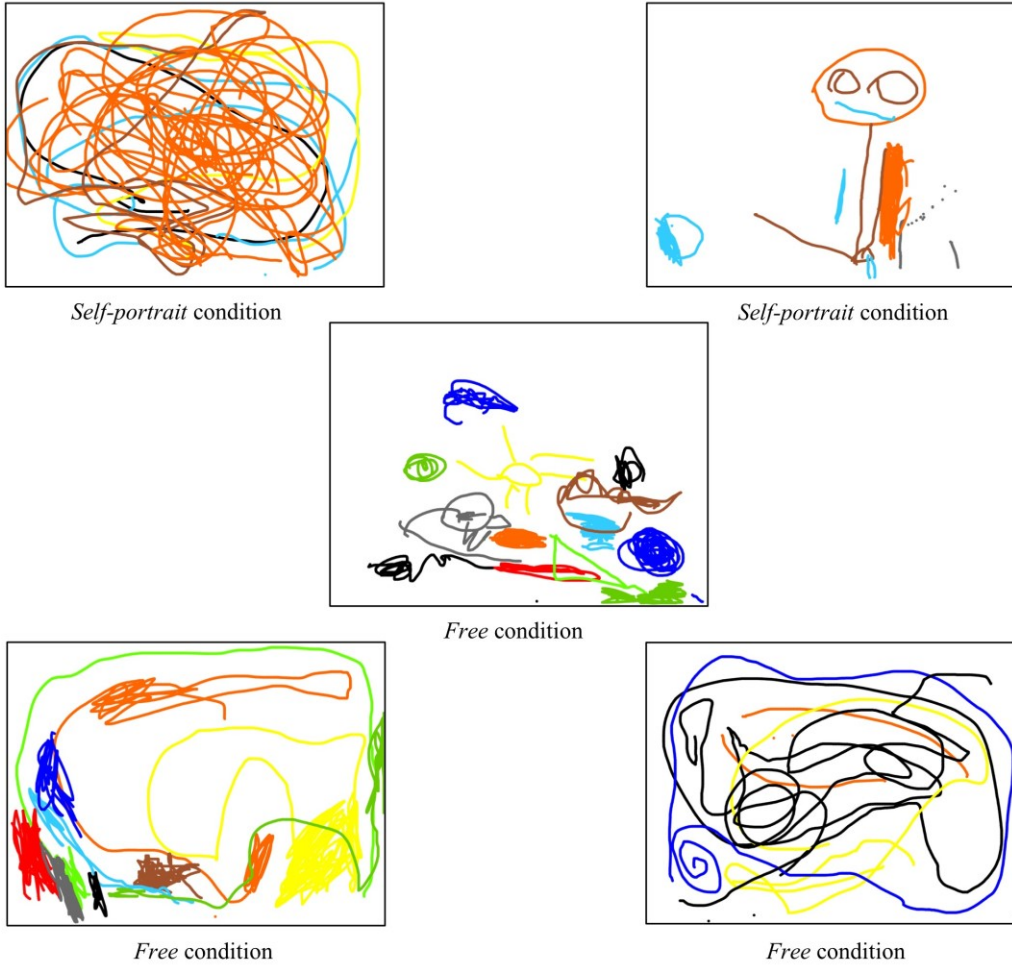


Figure S8. Examples of drawings by 3-year-old children, in *free* and *self-portrait* conditions.

Drawings collected on 10/26/2017



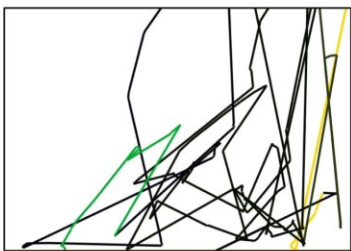
Hatsuka, first drawing



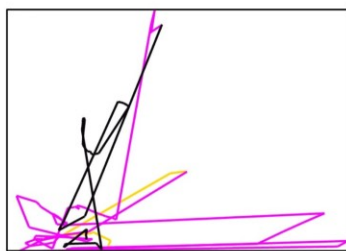
Hatsuka, second drawing



Misaki



Mizuki, first drawing

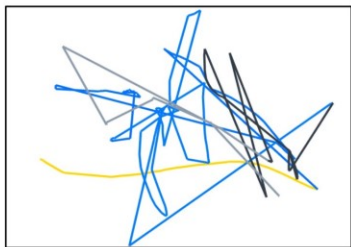


Mizuki, second drawing



Natsuki

Drawings collected on 10/27/2017



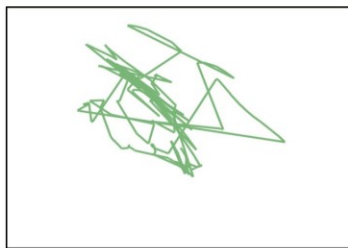
Hatsuka, first drawing



Hatsuka, second drawing



Iroha



Misaki



Natsuki

Figure S9. Chimpanzees' drawings collected on two consecutive days in October 2017. During the second day, one of the females (Mizuki) erased her drawing but the data had been saved.

Table S10. Table with data used for the analysis

Categories	Condition	Sex	Duration (s)	Umlc	lpow	amle	lexp	AICpow	AICexp	Nb of step length	Nb of colors	Nb of color changes
3 - year - olds	F r e e	boy	67	1,605	-375,37	0,0091	-621,08	752,74	1244,15	117	3	2
		boy	107	1,794	-425,98	0,0175	-675,88	853,96	1353,75	168	1	0
		boy	54	1,515	-491,14	0,0085	-784,89	984,28	1571,78	142	3	2
		girl	59	1,780	-426,21	0,0180	-667,11	854,41	1336,23	142	2	1
		boy	63	1,771	-249,81	0,0131	-415,95	501,63	833,90	88	10	9
		boy	171	1,392	-2662,31	0,0058	-4136,62	5326,62	8275,25	683	10	6
		girl	86	1,781	-628,29	0,0196	-957,23	1258,59	1916,47	204	9	8
		girl	194	1,836	-1359,14	0,0214	-2107,02	2720,28	4216,05	550	10	11
		boy	62	1,661	-1045,97	0,0152	-1618,66	2093,94	3239,32	333	3	2
		boy	22	1,638	-217,60	0,0117	-348,93	437,20	699,86	68	1	0
		girl	75	1,799	-1235,91	0,0237	-1849,41	2473,83	3700,81	444	6	7
		boy	206	1,820	-2728,04	0,0225	-4159,70	5458,09	8321,41	1006	7	18
		boy	422	1,740	-4935,13	0,0186	-7586,00	9872,25	15174,01	1654	10	10
		girl	111	1,599	-1777,36	0,0123	-2779,52	3556,72	5561,05	542	6	6
		boy	112	1,711	-1210,64	0,0183	-1846,10	2423,27	3694,20	385	4	4
		boy	81	1,823	-380,16	0,0158	-623,05	762,32	1248,10	144	6	6
		boy	114	1,760	-125,46	0,0119	-211,93	252,91	425,86	46	4	3
		boy	123	1,869	-1285,10	0,0226	-1982,54	2572,21	3967,08	449	9	9
		boy	33	1,562	-157,20	0,0047	-235,43	316,41	472,85	37	3	2
		boy	128	1,748	-2412,87	0,0222	-3591,59	4827,73	7185,19	801	10	9
	girl	65	1,710	-335,17	0,0145	-533,73	672,34	1069,46	118	8	10	
	boy	91	1,849	-931,52	0,0213	-1445,23	1865,05	2892,46	338	3	4	
	boy	494	1,608	-3714,70	0,0122	-5847,88	7431,39	11697,76	1176	10	11	
	girl	51	1,675	-476,63	0,0097	-800,29	955,26	1602,58	148	4	3	
	boy	115	1,610	-1840,93	0,0142	-2814,54	3683,86	5631,09	560	5	6	
	boy	65	1,819	-138,55	0,0168	-223,75	279,10	449,51	52	6	5	
	boy	56	1,717	-89,06	0,0109	-149,04	180,12	300,07	35	1	0	
	boy	109	1,696	-1310,67	0,0155	-2050,48	2623,35	4102,96	430	4	4	
	boy	66	1,591	-173,37	0,0111	-275,13	348,73	552,27	55	1	0	
	boy	110	1,846	-929,82	0,0203	-1459,11	1861,63	2920,22	365	4	3	
	boy	52	1,868	-609,98	0,0179	-989,83	1221,97	1981,65	217	4	3	
	boy	303	1,876	-771,21	0,0231	-1191,86	1544,43	2385,73	298	5	6	
	boy	58	1,661	-482,90	0,0124	-771,14	967,80	1544,29	151	4	3	
	girl	55	1,881	-440,20	0,0200	-702,09	882,41	1406,19	159	1	0	
	boy	116	1,565	-130,01	0,0072	-213,53	262,02	429,05	41	10	9	
	boy	51	1,602	-368,83	0,0124	-576,33	739,65	1154,66	113	2	10	
girl	59	1,755	-271,08	0,0160	-431,56	544,17	865,11	93	6	6		
girl	64	1,781	-216,39	0,0144	-350,94	434,77	703,88	105	4	3		
boy	101	1,782	-647,50	0,0179	-1019,74	1296,99	2041,49	226	3	3		
boy	37	1,899	-436,10	0,0238	-672,53	874,19	1347,06	156	1	0		
4 - year - olds	F r e e	girl	456	1,775	-3566,17	0,0214	-5404,32	7134,33	10810,65	1220	8	14
		boy	203	1,783	-1733,54	0,0196	-2684,16	3469,08	5370,31	595	7	6
		girl	411	1,836	-4327,06	0,0236	-6573,49	8656,13	13148,98	1734	8	8
		boy	108	1,987	-538,43	0,0265	-838,26	1078,86	1678,53	200	6	5
		girl	694	1,823	-6710,99	0,0255	-9986,12	13423,98	19974,24	2369	9	15
		boy	157	1,674	-1014,81	0,0155	-1571,51	2031,62	3145,02	363	7	8
		girl	581	2,066	-6247,03	0,0429	-8904,92	12496,06	17811,84	2539	5	6
		boy	627	1,616	-6102,74	0,0151	-9253,92	12207,47	18509,84	1865	10	38
		boy	290	1,627	-3842,34	0,0150	-5860,65	7686,68	11723,30	1179	10	24
		girl	872	1,668	-3211,40	0,0116	-5242,76	6424,80	10487,52	1455	10	45
		girl	69	1,661	-1105,84	0,0154	-1706,92	2213,68	3415,84	344	6	6
		boy	100	1,807	-555,75	0,0199	-865,76	1113,50	1733,52	203	1	0
		boy	130	1,797	-1322,52	0,0169	-2119,19	2647,04	4240,38	461	10	9
		boy	36	1,818	-239,02	0,0122	-411,17	480,04	824,35	90	3	2
		girl	302	1,682	-1561,97	0,0141	-2468,66	3125,94	4939,32	639	9	20
		girl	73	1,725	-460,35	0,0148	-730,21	922,70	1462,42	159	3	2
		girl	377	1,879	-3635,69	0,0309	-5282,32	7273,37	10566,64	1296	10	15

		boy	136	1,741	-1340,03	0,0162	-2114,62	2682,05	4231,24	451	10	9
		boy	29	1,873	-213,25	0,0216	-333,77	428,51	669,53	80	1	0
		girl	150	1,537	-1726,79	0,0112	-2660,14	3455,58	5322,29	496	7	9
		girl	188	1,884	-1297,79	0,0207	-2059,09	2597,59	4120,18	636	8	8
		boy	97	1,545	-142,63	0,0106	-232,80	287,27	467,60	42	3	2
		boy	180	1,960	-1208,79	0,0309	-1804,84	2419,57	3611,69	461	10	9
		boy	46	1,790	-222,84	0,0145	-366,57	447,68	735,15	75	6	5
		girl	170	1,879	-529,08	0,0201	-838,70	1060,15	1679,40	202	6	9
		girl	84	1,907	-805,16	0,0310	-1181,38	1612,32	2364,76	303	3	2
		girl	107	1,924	-490,59	0,0297	-727,26	983,18	1456,51	207	4	4
		boy	60	1,687	-700,05	0,0157	-1087,67	1402,10	2177,34	230	2	1
		boy	17	1,671	-80,92	0,0108	-132,77	163,84	267,54	33	1	0
		girl	58	1,506	-738,84	0,0100	-1131,68	1479,68	2265,37	205	4	3
		girl	421	2,016	-2678,71	0,0367	-3907,89	5359,42	7817,78	1227	9	18
		boy	142	1,893	-475,96	0,0218	-748,34	953,92	1498,69	190	2	2
		girl	54	1,688	-321,77	0,0158	-499,17	645,54	1000,34	109	1	0
		boy	64	1,855	-410,49	0,0215	-638,61	822,98	1279,22	186	4	3
		girl	53	1,983	-357,44	0,0231	-572,39	716,87	1146,77	158	1	0
		boy	161	1,714	-531,56	0,0127	-868,90	1065,12	1739,79	183	6	6
		girl	184	1,975	-1571,56	0,0373	-2256,43	3145,12	4514,85	689	4	3
		boy	53	1,726	-189,03	0,0158	-298,57	380,07	599,14	63	3	2
		boy	58	1,772	-449,71	0,0171	-709,40	901,43	1420,79	167	4	3
		girl	18	1,675	-117,86	0,0097	-197,16	237,72	396,32	52	1	0
		girl	384	1,492	-2417,44	0,0074	-3898,70	4836,88	7799,40	707	10	49
		boy	66	1,773	-569,71	0,0204	-871,24	1141,43	1744,47	206	3	1
		girl	828	1,685	-11412,30	0,0204	-16836,47	22826,61	33674,94	3587	9	35
		girl	200	1,949	-1384,29	0,0362	-1987,22	2770,58	3976,44	581	3	3
		girl	435	1,995	-2887,65	0,0317	-4331,67	5777,30	8665,34	1317	9	13
		boy	478	1,766	-3585,24	0,0173	-5654,51	7172,47	11311,02	1296	10	18
		girl	156	1,535	-2012,37	0,0112	-3091,96	4026,74	6185,91	607	4	5
		boy	716	1,803	-6221,21	0,0247	-9244,88	12444,41	18491,77	2526	7	6
		boy	113	1,886	-1514,23	0,0325	-2182,15	3030,46	4366,30	554	3	2
		boy	145	1,926	-738,10	0,0239	-1150,09	1478,20	2302,18	272	3	2
		girl	201	1,835	-1351,30	0,0218	-2083,89	2704,60	4169,79	499	3	3
		boy	258	1,695	-2272,95	0,0155	-3556,06	4547,89	7114,13	876	4	2
		boy	253	1,710	-2296,30	0,0158	-3601,96	4594,59	7205,92	826	7	14
		girl	143	2,057	-1482,30	0,0365	-2190,09	2966,60	4382,18	720	3	2
		girl	331	1,885	-3047,14	0,0263	-4597,51	6096,27	9197,02	1122	7	11
		girl	351	1,864	-2206,36	0,0214	-3453,94	4414,71	6909,87	929	7	23
		girl	275	2,183	-2712,14	0,0464	-3912,73	5426,28	7827,45	1166	5	10
		boy	187	1,671	-1608,90	0,0153	-2495,82	3219,79	4993,63	513	7	6
		boy	332	1,804	-2320,36	0,0207	-3579,01	4642,73	7160,03	826	4	3
		boy	35	1,748	-77,51	0,0137	-126,95	157,03	255,90	32	1	0
		girl	241	1,887	-1139,88	0,0236	-1761,46	2281,77	3524,92	499	2	2
		boy	25	1,663	-134,30	0,0142	-210,24	270,60	422,49	46	1	0
		boy	185	1,808	-1018,22	0,0160	-1649,17	2038,43	3300,34	401	2	2
		girl	75	1,994	-377,80	0,0230	-605,89	757,59	1213,79	163	1	0
		girl	115	1,996	-501,80	0,0276	-775,88	1005,60	1553,77	246	4	5
		girl	210	2,057	-933,75	0,0287	-1456,44	1869,51	2914,88	456	10	20
		girl	315	1,849	-3632,69	0,0276	-5362,82	7267,38	10727,63	1510	4	3
		boy	198	1,646	-1644,68	0,0171	-2462,59	3291,35	4927,19	536	8	8
		boy	238	1,957	-1268,19	0,0312	-1884,56	2538,38	3771,12	506	3	5
		boy	165	1,923	-913,87	0,0281	-1376,57	1829,73	2755,14	370	1	0
		girl	495	1,973	-4176,96	0,0357	-6051,60	8355,92	12105,21	1624	10	22
		boy	31	1,725	-111,72	0,0129	-181,90	225,45	365,79	39	1	0
		girl	456	1,867	-2223,52	0,0226	-3439,37	4449,04	6880,74	846	8	12
		girl	152	1,877	-644,36	0,0276	-959,05	1290,73	1920,11	261	7	7
		girl	294	1,948	-1553,67	0,0273	-2374,08	3109,34	4750,16	687	9	10
		boy	79	1,659	-868,85	0,0189	-1286,49	1739,71	2574,98	283	3	5
		girl	344	1,860	-2587,79	0,0259	-3886,97	5177,58	7775,94	1143	6	8
		boy	397	1,799	-3410,68	0,0245	-5071,44	6823,36	10144,87	1178	10	13
		boy	69	1,879	-284,93	0,0147	-475,28	571,85	952,56	104	3	2
		boy	166	2,032	-596,12	0,0276	-931,60	1194,24	1865,20	238	2	3

7	y	e	a	r	-	o	l	d	s			boy	647	1,662	-9538,65	0,0193	-14089,80	19079,30	28181,60		2990	6	9												
												girl	479	1,790	-1103,19	0,0270	-1599,88	2208,38	3201,75		1061	8	33												
												girl	364	1,798	-858,22	0,0227	-1291,59	1718,44	2585,18		313	8	19												
												girl	174	1,744	-1357,87	0,0185	-2090,79	2717,75	4183,59		465	8	9												
												boy	642	1,764	-7341,23	0,0237	-10850,25	14684,47	21702,50		2426	4	5												
												boy	266	1,876	-1814,88	0,0180	-2955,20	3631,77	5912,39		674	2	2												
												boy	249	1,737	-958,28	0,0159	-1511,98	1918,57	3025,95		318	9	16												
												boy	22	1,955	-267,79	0,0209	-166,50	335,01	537,57		69	2	1												
												girl	440	2,155	-4342,75	0,0380	-2890,07	5782,15	8687,51		1493	6	12												
												boy	476	1,943	-1413,83	0,0284	-934,88	1871,77	2829,65		1414	6	10												
												girl	358	2,079	-1332,08	0,0540	-986,14	1974,29	2666,16		1776	5	6												
												girl	451	1,849	-3933,69	0,0238	-2581,95	5165,90	7869,38		1081	8	12												
												girl	780	2,052	-5033,61	0,0325	-3319,87	6641,74	10069,23		1466	10	45												
												girl	251	1,882	-3151,50	0,0319	-2180,62	4363,23	6305,00		780	4	5												
												girl	149	1,894	-863,91	0,0230	-557,19	1116,37	1729,82		211	4	7												
												boy	106	1,935	-1482,05	0,0250	-956,90	1915,79	2966,11		347	3	4												
												girl	425	1,942	-4715,22	0,0289	-3130,87	6263,73	9432,44		1514	7	16												
												boy	52	1,845	-644,95	0,0229	-420,45	842,90	1291,90		148	1	0												
												boy	32	1,934	-510,28	0,0241	-327,26	656,52	1022,57		127	1	1												
												8	y	e	a	r	-	o	l	d	s			boy	115	1,716	-2699,89	0,0225	-1843,52	3689,05	5401,78		605	4	4
																								boy	218	1,893	-583,81	0,0227	-374,61	751,23	1169,63		180	4	5
																								girl	449	1,844	-2751,47	0,0234	-4200,38	5504,94	8402,76		1029	8	27
																								girl	226	1,706	-3462,87	0,0201	-5170,51	6927,73	10343,02		1313	3	3
																								girl	144	1,918	-1669,99	0,0339	-2407,15	3341,99	4816,31		606	8	5
																								boy	284	1,699	-629,72	0,0151	-991,39	1261,43	1984,77		230	5	11
																								boy	77	1,905	-640,72	0,0251	-978,99	1283,43	1959,99		250	1	0
																								boy	204	1,899	-1312,19	0,0287	-1951,73	2626,38	3905,45		486	5	8
																								boy	172	1,587	-1309,30	0,0162	-1926,35	2620,61	3854,70		1058	3	4
																								girl	206	2,108	-1021,82	0,0329	-1567,27	2045,64	3136,55		518	4	4
																								boy	202	1,736	-1105,09	0,0203	-1664,94	2212,17	3331,89		831	3	6
																								girl	553	1,817	-3322,39	0,0217	-5100,56	6646,79	10203,12		1458	4	10
girl	430	1,820	-3226,21	0,0249	-4815,99	6454,41	9633,97		1250	5	3																								
girl	326	1,957	-927,61	0,0270	-1425,49	1857,23	2852,98		431	10	25																								
girl	630	1,978	-4695,07	0,0380	-6720,23	9392,13	13442,45		1795	4	9																								
girl	233	1,748	-1989,59	0,0218	-2968,67	3981,18	5939,34		676	3	8																								
boy	97	2,062	-405,02	0,0314	-620,18	812,04	1242,36		179	5	5																								
girl	212	1,929	-1556,81	0,0334	-2261,50	3115,62	4524,99		589	6	7																								
boy	81	2,003	-256,32	0,0231	-405,30	514,64	812,60		111	2	1																								
boy	324	1,790	-2750,19	0,0227	-4138,70	5502,39	8279,40		952	6	7																								
8	y	e	a	r	-	o	l	d	s															boy	374	1,296	-7076,46	0,0150	-7635,40	14154,92	15272,80		1468	6	11
																								boy	364	1,654	-4624,69	0,0190	-6830,02	9251,39	13662,05		1434	9	14
																								girl	191	1,322	-2086,68	0,0207	-2195,88	4175,37	4393,77		450	9	17
																								girl	366	1,656	-6070,32	0,0170	-9169,34	12142,63	18340,69		1904	5	9
																								girl	109	1,869	-1325,32	0,0260	-1995,41	2652,64	3992,81		101	1	0
												boy	115	1,785	-904,93	0,0197	-1399,15	1811,87	2800,31		316	5	5												
												boy	160	1,933	-583,84	0,0197	-951,13	1169,68	1904,27		227	5	7												
												boy	62	2,267	-631,65	0,0313	-1017,89	1265,29	2037,78		306	5	9												
												boy	177	1,530	-1839,15	0,0098	-2811,15	3680,30	5624,30		506	7	16												
												girl	229	1,762	-1727,90	0,0178	-2699,72	3457,80	5401,43		591	7	20												
												girl	143	1,614	-1571,57	0,0122	-2475,30	3145,14	4952,61		495	6	7												
												girl	194	2,052	-1259,83	0,0268	-1991,61	2521,65	3985,22		572	4	11												
												girl	289	2,129	-2963,75	0,0505	-4129,21	5929,50	8260,42		1218	2	1												
												boy	123	1,794	-873,07	0,0165	-1403,74	1748,14	2809,48		311	3	5												
												girl	303	1,887	-1513,67	0,0249	-2314,58	3029,35	4631,16		575	8	26												
												boy	212	1,738	-963,15	0,0166	-1513,94	1928,29	3029,88		322	3	5												
												boy	152	1,877	-1084,41	0,0237	-1668,63	2170,81	3339,26		392	4	7												
												girl	229	1,733	-3583,62	0,0196	-5436,18	7169,25	10874,36		1228	5	4												
												boy	439	1,762	-1424,10	0,0232	-2110,13	2850,19	4222,27		1332	4	3												
												boy	314	1,840	-3207,38	0,0290	-4664,26	6416,76	9330,53		1121	4	11												
												girl	133	1,777	-712,19	0,0184	-1113,93	1426,38	2229,85		260	4	7												
												girl	289	2,068	-2150,18	0,0418	-3085,31	4302,35	6172,62		906	5	11												
												girl	297	1,785	-897,50	0,0196	-1385,91	1796,99	2773,83		350	1	0												
												boy	67	1,741	-188,18	0,0168	-295,14	378,37	592,28		62	4	5												
												boy	228	2,071	-851,80	0,0318	-1303,21	1705,60	2608,43		346	7	12												
												boy	54	1,806	-189,96	0,0131	-314,96	381,92	631,91		71	4	6												
												girl	85	1,715	-537,75	0,0164	-838,04	1077,50	1678,07		183	5	7												
												girl	255	1,650	-3751,61	0,0175	-5621,39	7505,21	11244,78		1173	6	7												
												girl	196	1,519	-1796,39	0,0111	-2737,64	3594,78	5477,28		533	4	4												
												girl	354	1,604	-1994,26	0,0129	-3098,99	3990,52	6199,97		654	4	9												
												boy	413	1,650	-3636,42	0,0175	-5438,23	7274,83	10878,46		1134	9	13												
												boy	82	1,713	-634,50	0,0174	-969,85	1270,99	1941,70		226	6	5												
												girl	96	1,751	-765,11	0,0166	-1207,66	1532,23	2417,31		276	4	6												
boy	165	1,792	-1663,47	0,0242	-2468,57	3328,93	4939,13		579	2	3																								
boy	265	1,891	-1425,79	0,0282	-2151,74	2853,59	4305,49		532	6	10																								
girl	201	2,059	-1652,34	0,0321	-2627,65	3306,68	5257,30		645	6	9																								

2. L'analyse fractale temporelle

Article 2: To draw or not to draw: understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses

Soumis le 31 août 2021 dans *iScience*

Question : L'analyse fractale temporelle peut-elle permettre de mieux appréhender la dynamique du comportement de dessin selon les classes d'âge ?

2.1 Synthèse de l'article 2

L'étude des dimensions spatiales (l'utilisation de l'espace, les types de formes utilisées, la représentation en perspective, etc.) du dessin a fait l'objet de différents travaux même si tout n'est pas encore parfaitement compris. En revanche, l'aspect temporel et notamment la dynamique de réalisation d'un dessin ceci n'a, à notre connaissance, pas été explorés. En appliquant l'analyse fractale temporelle au comportement de dessin, l'idée est de comprendre si sa temporalité, entre dessin et interruption, présente ou non la même complexité entre nos différentes classes d'âge. Pour cela et comme expliqué dans le Chapitre II, nous estimons le coefficient de Hurst qui permet de conclure sur l'aspect fractal des séquences comportementales et d'étudier les corrélations entre les éléments de celle-ci. Ce type d'analyse étant appliqué depuis peu en éthologie, différents estimateurs de Hurst existent. Après un travail bibliographique, nous avons choisi d'analyser les séquences avec quatre indices présentant chacun leur méthodologie propre. Étant donné qu'aucun consensus n'existe à ce jour afin de comprendre lequel il est préférable d'utiliser, nous les avons, avec une méthodologie expliquée dans l'article, regroupés au sein d'une analyse en composantes principales. Le premier axe de celle-ci constitue un proxy de l'exposant de Hurst et sa valeur pour chaque dessin est utilisée dans les tests statistiques effectués. Nous trouvons que les plus jeunes enfants et les adultes ne dessinent pas de la même manière en ce qui concerne l'alternance entre les états de dessin et d'interruptions. Les valeurs plus élevées de l'axe de Hurst pour les plus jeunes montrent que leur comportement de dessin tend à être plus stéréotypé et donc moins complexe que les adultes. Ce résultat est appuyé par celui de l'analyse de la fréquence de changement entre dessin et interruptions qui s'est lui aussi avéré plus faible chez les plus jeunes.

2.2 Article 2

To draw or not to draw: understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses

*Benjamin Beltzung^a, *Lison Martinet^a, Andrew J. J. MacIntosh^b, Xavier Meyer^{a,b}, Jérôme Hosselet^a, Marie Pelé^c, Cédric Sueur^{a,d}

^a. Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, 67000 Strasbourg, France

^b. Primate Research Institute, Kyoto University, Inuyama, Japan

^c. ETHICS EA 7446, Lille Catholic University, Hauts-de-France, France

^d. Institut Universitaire de France, Paris, France

Corresponding author: Lison Martinet

Email: lison.martinet@iphc.cnrs.fr

Address: Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien

Département Écologie, Physiologie et Éthologie

23, rue Becquerel

67087 Strasbourg

FRANCE

Phone number: +33 (0)3 88 10 69 30

* Authors equally contributed to this work as first authors.

Abstract

Studies on drawing often focused on spatial aspects of the finished products. Here, the drawing behaviour was studied by analysing its intermittent process, between *drawing* (i.e. marking a surface) and *interruption* (i.e. a pause in the marking gesture). To assess how this intermittence develops with age, we collected finger-drawings on a touchscreen by 185 individuals (children and adults). We measured the temporal structure of each drawing sequence to determine its complexity. To do this, we applied temporal fractal estimators to each drawing time series before combining them in a Principal Component Analysis procedure. The youngest children (3 years-old) drew in a more stereotypical way with long-range dependence detected in their alternations between states. Among older children and adults, the complexity of drawing sequences increased showing a less predictable behaviour as their drawings become more detailed and figurative. This study improves our understanding of the temporal aspects of drawing behaviour, and contributes to an objective understanding of its ontogeny.

Keywords: temporal complexity, drawing intermittence, marking gesture, anthropology, evolution, mathematics, *Homo sapiens*

1. Introduction

The expression of artistic behaviour is predominant in *Homo sapiens*, even if the time allocated to such activities tends to decrease with age. A good example of such declining interest across the lifetime can be seen in drawing. Prevalent among children, drawing persists as a recreational activity only among a minority of adults, and as a professional activity among a select few. Drawing develops from internal representativeness (i.e. a drawing representative only from the perspective of the child who produces the drawing) to external representativeness (i.e. a drawing interpretable from the perspective of an independent observer) around the age of 3-4 years (Freeman, 1993; Martinet et al., 2021). Drawing behaviour has been studied in different research fields, especially in psychology, e.g. to characterise its ontogeny (Luquet, 1927; Willats, 2005), its representational development (Adi-Japha et al., 1998; Cherney et al., 2006), the use of colour (Wright and Black, 2013), the comprehension of realism (Jolley et al., 2000) or the influence and role of gender (Cherney et al., 2006; Turgeon, 2008). Such studies have provided critical information about drawing behaviour, despite the fact that the analyses used are often qualitative and subject to biases.

Adi-Japha et al (1998) showed that young children, even if not capable of attributing meanings to the entirety of their drawing, can make sense of broken lines which seem to be more descriptive than curved ones. Although relevant, this method remains subjective because researchers directly question children about what their drawings represent. Moreover, very young children (toddlers) are unable to express themselves with respect to

their drawings. Furthermore, the majority of drawing studies focus on spatial measures, whereas the temporal aspects that might also be important in revealing cognitive and decision-making processes remain underexplored. Recent developments in mathematical analyses in animal behaviour might bring new perspectives to the study of such processes.

Indeed, new analytical approaches from statistical physics are now being developed to study individual behaviour, such as fractal analyses. An object is considered fractal when any of its parts examined separately resemble its overall structure at any magnification scale, either in the spatial or temporal domain (Mandelbrot, 1977). A good example of a natural fractal object is Romanesco broccoli, but many other natural systems have fractal structure in the spatial domain, such as river networks (Rinaldo et al., 1993) and human lung architecture (Nelson et al., 1990). Fractal structure is also found in the temporal domain, in processes such as human breathing cycle dynamics (Peng et al., 2002) or human sleep EEG (Weiss et al., 2009). In the behavioural sciences, recent studies have established that fractal analyses of spatial and temporal patterns can lead to a better understanding of animal and human behaviour (MacIntosh, 2014; Rutherford et al., 2003).

On one hand, the study of movement behaviour through spatial fractal analyses have allowed comparisons between observed movement patterns and theoretically optimal foraging patterns (Sims et al., 2008; Viswanathan et al., 1999). We previously applied this approach in examining the efficiency of the drawing trajectory, defined as the correct reading of the drawing with minimal detail in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and humans (*Homo sapiens*). Analogous to the trajectory of an animal in its environment, we wanted to know if the efficiency of drawings made on a screen differed between humans and chimpanzees, and with age in humans. Results show that the drawing spatial index was lowest in chimpanzees, increased and reached its maximum between 5-year-old and 10-year-old children, and

decreased in adults, whose drawing efficiency was reduced by the addition of details (Martinet et al., 2021).

On the other hand, temporal fractal analyses have shown that an animal's physiological condition (e.g. health status or degree of physiological stress) affects its sequences of behaviour (Alados, 1996). The concept of fractal time reflects the degree to which current behavioural states depend not only on states immediately preceding them in the sequence but also on those that occur much earlier in the sequence (so-called long-memory processes) (Delignières et al., 2005). Like spatial fractal analyses, temporal fractal analyses also suggest an optimal structure in behaviour time series, within which a normally functioning individual should fall (MacIntosh, 2014). Some environmental pressures or physiological impairments can lead to a loss of complexity in the behavioural sequences of an individual, associated with increases in periodicity or long-range dependence (i.e. greater stereotypy) (MacIntosh et al., 2011; Maria et al., 2004; Meyer et al., 2020). Other factors may in contrast lead to increased complexity, i.e. reduced long-range dependence and increased behavioural stochasticity (Rutherford et al., 2003). To summarise or simplify the concept, certain complexity signatures in behaviour sequences equate to increased stability and/or adaptability, which is the case for some physiological processes as well as sequences of animal behaviour, where it can be an indicator of well-being (Alados, 1996; Maria et al., 2004). By allowing more detailed insight into behavioural sequences, temporal fractal analyses open up new research perspectives for diverse fields of study.

In humans, behavioural sequences are complex and structured in time by multiple factors (e.g., environmental, psychological, physiological), which may limit randomness in the occurrence of behaviour. Several behaviours have been described as fractal, such as patterns of physical activity (Paraschiv-Ionescu et al., 2008) or short-message communication in online

communities (Rybski et al., 2009). Considering drawing and handwriting, both pacing and grip force showed a fractal dimension (Fernandes and Chau, 2008). However, the latter study was restricted to an analysis of young adults drawing circles in synchrony with a metronome, so these results cannot be generalised.

In the present study, we sought to improve our understanding of drawing behaviour and its ontogenetic processes by applying temporal fractal analyses to drawing data from humans of all ages. Drawing behaviour is an intermittent process, composed of two main states, including *drawing* (i.e. marking a surface) and *interruption* (i.e. a break in the marking gesture). The temporal structure of each drawing sequence (i.e. sequence memory) can be measured to determine its degree of complexity (MacIntosh et al., 2011). To assess how drawing intermittence develops with age, we collected drawings from 185 individuals of different ages, including children as well as both naive and expert adults. We hypothesized that drawing sequences would be simpler in young children (aged 3 to 5 years), with greater periodicity and long-range dependence in their alternations between states. Indeed, young children who have not yet entered the representative phase of drawing may be more interested in gestures and engaged more in play than in drawing. On the contrary, complexity in drawing sequences may increase among older children and adults, for whom drawings become more and more detailed and representative.

To accomplish our aims, we applied multiple temporal fractal estimators to study long-memory processes in drawing time series. A first challenge was to link these few estimators to drawing behaviour, as we are not aware of any previous studies on this topic. A second challenge was to assess the effectiveness of these fractal estimators, as there is little consensus as to which are most appropriate for a given set of data (Stadnitski, 2012; Stroekunold et al., 2009). Therefore, we first present a robust analytical approach to performing

these fractal analyses using our drawing dataset to decrease errors and biases. We then introduce the analysis of complementary indices such as the duration of drawing behaviour in relation to the duration of the drawing session, and the number of swings between drawing and non-drawing states during the drawing session. We discuss our results in the light of biological processes.

2. Material and methods

2.1 Ethics

We followed the ethical guidelines of our research institutions and obtained ethical approval from the University of Strasbourg Research Ethics Committee (Unistra/CER/2019-11). Drawings were anonymously collected. The contribution of all participants was voluntary and subject to parental consent for children.

2.2 Participants

One hundred and forty-four children (67 girls and 77 boys) and forty-one adults (21 women and 20 men) participated in this study (Table 1). We worked with children from kindergarten and primary school in Strasbourg, France. We collected their drawings over two consecutive years (in 2018 for kindergarten children and in 2019 for primary school children). For this reason, 6-year-old children could not be tested in 2019 since they had already participated in the study the year before. Adult participants were between 21 and 60 years old. In addition to a general age effect, we also tested the effect of experience in our adult participants. Among researchers and students at the authors' research institute, twenty were considered naive (naive adults: 30.8 ± 10.54 years old) as they had never taken drawing lessons and did not draw as a hobby. The other twenty adults were classified as experts and included art school students and professional illustrators (expert adults: 30.4 ± 11.12 years old).

Table 1. Groups and gender of human participants.

Participants groups		Gender	Number of participants
Children	3-year-olds	girls	n=5
		boys	n=15
	4-year-olds	girls	n=10
		boys	n=10
	5-year-olds	girls	n=10
		boys	n=10
	7-year-olds	girls	n=12
		boys	n=11
	8-year-olds	girls	n=9
		boys	n=9
	9-year-olds	girls	n=10
		boys	n=11
	10-year-olds	girls	n=11
		boys	n=11
Adults	naive	women	n=11
		men	n=10
	expert	women	n=10
		men	n=10

2.3 Experimental design

2.3.1. Habituation phase

Children and adults were invited to try the device, a touchscreen tablet (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2) by drawing on it with their fingers. Participants could use 10 different colours displayed on the bottom of the screen and selected one of them by clicking on it. Adults were tested immediately after habituation but, to avoid overstimulation, children were habituated the day before their respective tests.

2.3.2. Testing phase

Children were tested individually at school, either in their own classrooms (for 3-year-olds) or in the staffroom (for older children). During the test, the experimenter (LM or MP) stayed with the child but kept their distance so as not to influence their behaviour. Adults

participated individually, either alone in a room at the research institute (for naive subjects) or at the art school (for experts). We used a video camera to record the hand movements of each participant while drawing, in case we needed to control for any contextual issues arising during the session (e.g. disruption of the drawing session, unintentional points or lines made by the experimenter at the end of the session, *etc.*). No time limits were imposed during the study.

Participants were tested under two conditions to assess potential differences between a non-specific task (*free* drawing) and a specific task (drawing a *self-portrait*). Under the *free condition*, subjects were asked to draw whatever they wanted, with no further instructions. Under the *self-portrait condition*, subjects were asked to draw themselves. In each participant category, we randomly assigned subjects such that half began the test with the *free condition* instructions while the other half began with the *self-portrait condition*. To avoid overstimulation and a lack of concentration, none of the children participated in both conditions on the same day.

2.3.3. Data collection

Three hundred and sixty-nine drawings were collected (one drawing by a naive adult was deleted by mistake). Since there were no imposed time limits, so as to not constrain the creativity of each participant, the drawing duration was different for each person and ranged from 17 seconds to 923 seconds (mean \pm s.d. = 250.5 ± 189.2). When the individual was drawing, a triplet (x, y, t) was recorded every 17 milliseconds on average (resolution of point recording), where (x, y) is the position of the finger on the touchscreen and t the time. For two consecutive points (x_i, y_i, t_i) and $(x_{i+1}, y_{i+1}, t_{i+1})$, the time interval in milliseconds is $t_{i+1} - t_i$. If $t_{i+1} - t_i < 100$, we considered it drawing time. If $t_{i+1} - t_i > 100$, we considered it non-drawing time; i.e.,

the individual must raise their finger long enough for this stop to be voluntary (Tanaka et al., 2003). This succession of time intervals was then transformed into a binary series of -1 (not drawing) and 1 (drawing), where the duration between two consecutive points was set at 1 millisecond. Note that analyses with other resolutions (10 milliseconds and 17 milliseconds) were performed for comparison and gave similar results (see Supplementary Materials Figure 1). The resultant time series can be represented as a barcode as shown in Figure 1. The width of each black band corresponds to a drawing duration, while a non-drawing duration is equivalent to the width of a white band. Each video was watched several times to remove moments during which participants were distracted by something else (Longstaff and Heath, 1999) (simulations showed that this did not mathematically impact the results, see Supplementary Materials Box1) . This happened a few times at school during drawing sessions with children. This concerns only 22 drawings in our final analyses (i.e. 6.4% of the dataset) where 1 to maximum 2 durations were removed, representing $12.2 \pm 7.1\%$ of the final sequence (these were generally times exceeding 15 seconds on average and caused by a child entering the room, the bell for recess ringing, *etc*).

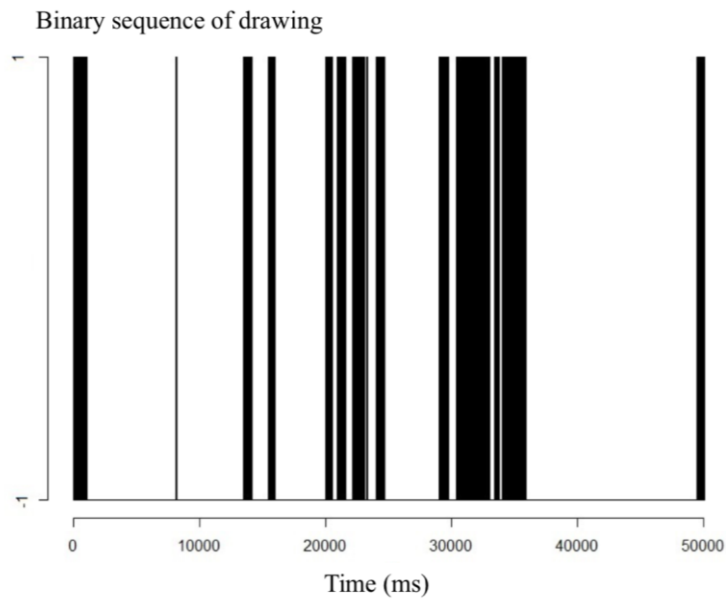


Figure 1. Example of a binary sequence of intermittent drawing, denoted 1 for drawing and 0 for non-drawing behaviour. Black bars reflect the durations of the drawing state while white bars reflect the durations of the non-drawing state.

2.4 Analyses

2.4.1. Type of signal

Fractal characteristics or long memory processes can be measured via different algorithms, each having its own statistical parameter. Here, the difficulty arises from the fact that, for each parameter, numerous estimators have been defined, but the effectiveness of each is still debated in the literature (Stadnitski, 2012; Stadnytska et al., 2010). Studies often focus on one or few estimators without a rigorous reason for comparing them. As a consequence, there is no simple and systematic way to estimate the fractal process, which often results in errors or misleading conclusions (Karagiannis et al., 2006).

The most widespread way to assess and quantify long memory processes in temporal sequences is estimation of the Hurst exponent (H). This exponent is a measure of the

correlation among signal components in a time series (Cannon et al., 1997; Stroe-Kunold et al., 2009) Within this framework, behavioural sequences can reflect three mutually-exclusive scenarios: (1) *persistence* ($H > 0.5$) occurs when positive long-range autocorrelation exists, such that blocks of certain behaviours (e.g. drawing) are likely to be followed by blocks of similar duration in succession; (2) *anti-persistence* ($H < 0.5$) occurs when negative long-range autocorrelation exists, such that blocks of behaviour are likely to be followed by blocks of divergent duration; (3) *white noise* ($H = 0.5$) occurs when no sequence memory exists, i.e., the sequence is random or contains only short-range autocorrelation (Delignières et al., 2005).

Methods for H estimation differ depending on the signal class of the original sequence, which can be either *Fractional Gaussian noise* (fGn) or *fractional Brownian motion* (fBm) (Mandelbrot and Van Ness, 1968). fGn is stationary with constant variance and mean whereas fBm is nonstationary, even if both signals are theoretically linked: differencing fBm produces fGn and integrating fGn creates fBm (Stadnytska et al., 2010). The same original sequence expressed as one or the other signal class will be characterized by the same Hurst exponent (Figure 2). However, before estimating a behaviour sequence's H exponent, it is essential to first define its signal class, which can be done through different methods (Cannon et al., 1997). The so-called 'temporal' methods are those which do not require prior transformation of the data and identify statistical dependence in elements of the time series (Eke et al., 2002). Frequency-based methods, on the other hand, are based on transformation of the time series, for example by considering the periodogram (i.e. the spectral density of a signal). In this article both types of methods are used with the aim of comparison and to combine the different approaches for a more robust investigation.

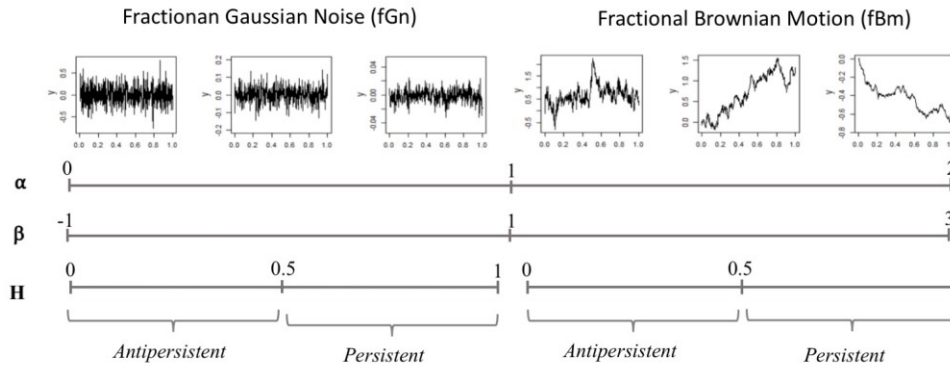


Figure 2. Illustration of the fGn/fBm continuum. Values of the scaling exponent α (from detrended fluctuation analysis: DFA) and the index β (from power spectral analysis) are depicted in relation to the Hurst exponent, H . This representation is largely inspired by (Marmelat et al., 2012).

2.4.2. Temporal methods

Detrended Fluctuation Analysis (DFA)

To investigate long-memory processes in the sequential distribution of drawing and non-drawing durations, we employed Detrended Fluctuation Analysis (DFA) (Peng et al., 1995) which is among the most used to study binary sequences of animal behaviour (MacIntosh et al., 2013; Meyer et al., 2020; Rutherford et al., 2003). It is also a robust estimator of the Hurst exponent (Cannon et al., 1997; Eke et al., 2002). DFA calculates a scaling exponent (α_{DFA}) corresponding to the slope of the line on a log-log plot of the average fluctuation at each box size (given by the three steps, from equation 1 to equation 3 below). A lower α_{DFA} reflects greater stochasticity and reduced long range memory (Figure 2) (Meyer et al., 2017). If a linear relation exists, it indicates the presence of scale invariance.

To summarize the application of DFA to our data, a binary sequence of a drawing (Figure 3a) is cumulatively summed such that

$$y(t) = \sum_{i=1}^t x(i) \quad (1)$$

Where $y(t)$ is the cumulative sum and $x(i)$ is the binary sequence at each time step (1ms intervals).

The cumulative sum is then divided into non-overlapping boxes of length n (Figure 3a) and a least-squares regression line is fit to each box $y_n(t)$ to remove local trend and it is repeated over all box sizes, then the fluctuation is calculated as follows (Figure 3b)

$$F(n) = \sqrt{1/N \sum_{i=1}^N (y_n(t) - \hat{y}_n(t))^2} \quad (2)$$

Where $\hat{y}_n(t)$ is the regression estimate for $y_n(t)$ at each box size n and $F(n)$ is the fluctuation of the modified root-mean-square equation across all scales available ($2^2, 2^3, 2^4 \dots 2^m$) where m is the largest scale examined, such as $2^m < N/2$ (rounded down to the nearest whole number) (Constantine and Percival, 2007; Stadnytska et al., 2010; Stroe-Kunold et al., 2009). We then obtained the following relationship

$$F(n) \sim n^\alpha \quad (3)$$

This method makes it possible to know whether the starting signal is a fBm or a fGn, since it can be used on both (Seuront, 2009; Stadnytska et al., 2010; Stroe-Kunold et al., 2009). The α exponent can be interpreted as follows:

If $\alpha_{DFA} > 1$, the original signal is of the signal class fBm and $H = \alpha_{DFA} - 1$

If $\alpha_{DFA} < 1$, the original signal is of the signal class fGn and $H = \alpha_{DFA}$

α_{DFA} in the range of 0.5–1 and 1.5–2 reflects persistence while α_{DFA} in the range of 0–0.5 and 1–1.5 reflects anti-persistence for fGn and fBm, respectively (Figure 2). Values of 0.5 and 1.5 reflect Gaussian (white) noise and Brownian motion, respectively.

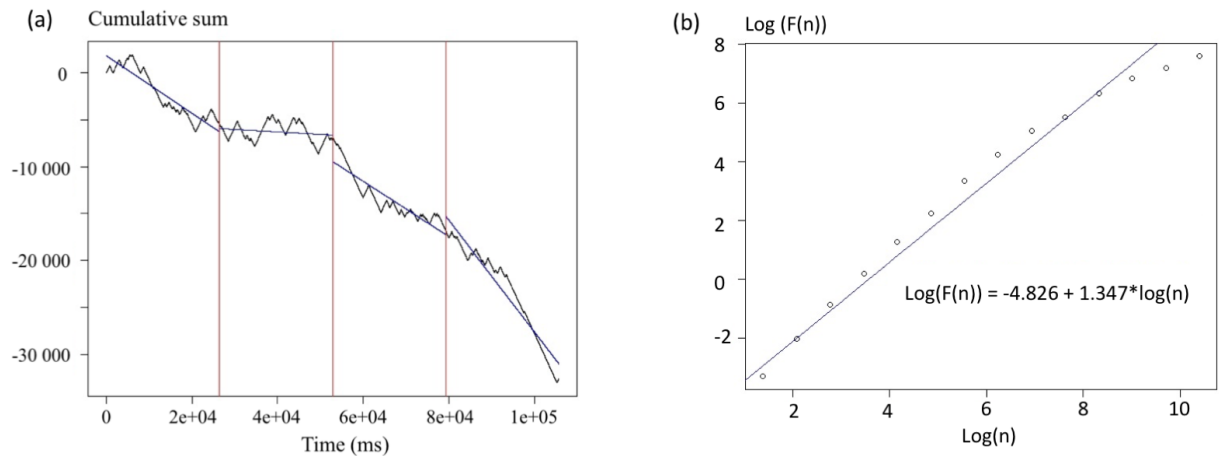


Figure 3. (a) Integration of a drawing sequence. Vertical lines give an example of dividing the sequence into $N/n = 4$ boxes. Lines in each box correspond to the polynomial regression. (b) Bi-logarithmic plot of the statistic $F(n)$ against the length of the time intervals n . The regression line allows calculation of the scaling exponent α , which is its slope (1.347 in this case).

Hurst Absolute Value (HAV)

The HAV method is similar to DFA but does not integrate the time series before analyses so that H is calculated from the original binary sequences of drawing and non-drawing durations. We included the HAV method because it is able to capture the self-similarity parameter in time series data where DFA fails to do so (Mercik et al., 2003). This method only works on fGn, so any application of HAV on fBm signals must use their increments (i.e. the corresponding fGn). A time series of class fGn of length N is divided into smaller boxes of length n , denoted as $x^{(n)}$, and the first absolute moment is obtained as follows:

$$\delta^{(n)} = 1/(N/n) \sum_{k=1}^{N/n} |x^{(n)}(k) - \bar{x}| \quad (4)$$

This is reiterated for the different window size n with the variance δ varying as follows:

$$\delta^{(n)} = n^{H_{AV}-1} \quad (5)$$

Where H_{AV} is the scaling exponent.

Scaled Windowed Variance (SWV)

Since we only had fBm series, the SWV method was selected as it a good estimator for this type of signal (Delignieres et al., 2006). The fBm series $x(t)$ is divided into non-overlapping boxes of length n . In each box, a bridge detrending method is used to remove the trend, this is what is recommended for series of more than 2^{12} points (Cannon et al., 1997), which is our case here. Then the standard deviation (SD) is calculated in each box such that

$$SD(i) = \sqrt{\sum_{t=1}^n [x(t) - \bar{x}_i]^2 / n - 1} \quad (6)$$

With \bar{x}_i being the average in the box i . Then, the average standard deviation (\overline{SD}) of all boxes of length n is calculated such that

$$\overline{SD(n)} = 1/m \sum_{i=1}^m SD(i) \quad (7)$$

Where m is the number of boxes of length n .

This step is then repeated over all possible box lengths and $\overline{SD(n)}$ is related to n by a power law

$$\overline{SD(n)} \propto n^{H_{swv}} \quad (8)$$

The $\log(\overline{SD}(n))$ is plotted against $\log(n)$ and the slope of the regression is the estimated Hurst coefficient H_{SWV} (Cannon et al., 1997; Delignières et al., 2005).

2.4.3. Frequency-based method

Power Spectral Density analyses (PSD)

Like DFA, this method is widely used to determine the signal class of time series data. It is included here for comparison, because of the widespread use of PSD in standard time series analysis, and the added diversity it affords us as an index based on frequency. In the frequency domain, the fractal character is expressed through the following power law:

$$E(f) \propto 1^{-\beta} / f \quad (9)$$

where $E(f)$ is the squared amplitude for the corresponding f frequency. The β exponent is obtained by calculating the negative slope ($-\beta$) of the regression between $\log(E(f))$ and $\log(f)$ (Figure 4). β values range between -1 and 3, with β between -1 and 1 reflecting fGn and β between 1 and 3 reflecting fBm (Delignières et al., 2005; Eke et al., 2000). β is linked to H such that:

$$H = (\beta + 1)/2 \text{ for fGn}$$

$$H = \beta - 1/2 \text{ for fBm}$$

In the present study, the high frequencies ($1/8 < f < 1/2$) are excluded. This method provides more reliable estimates of β and is known as ^{low}PSD (Stadnitski, 2012).

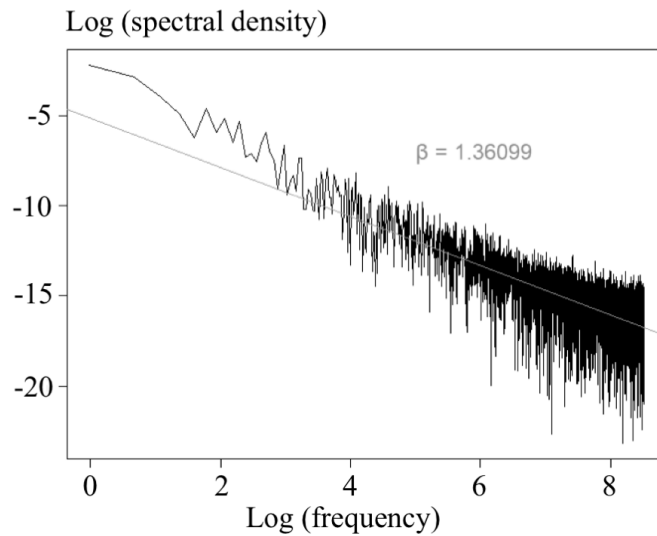


Figure 4. Bi-logarithmic power spectrum of a time series with regression slope fitted to obtain the β index.

2.4.4 Methods implementation

We performed DFA using the package *fractal* (Constantine and Percival, 2007) in R. For the Power Spectral Density, we based our analyses on the script found in Stadnitski et al. (2012). As the Scaled Windowed Variance and Hurst Absolute Value methods are not currently implemented in R, we coded and tested our own algorithms through Monte-Carlo simulation. We simulated, using the *somebm* package (Huang, 2013), fBm of different lengths and known H . In these simulations, the lengths of the series were defined as powers of 2, from 2^{11} (= 2,048 points) to 2^{15} (= 32,768 points). For each possible length, 100 fBm were generated with $H = 0.2$, $H = 0.4$, $H = 0.6$ and $H = 0.8$. More than 2000 series were generated in total and the errors, $H - \hat{H}$, are shown in the Supplementary Materials (Figures 2 and 3). The drawing sequences obtained in this study were much longer (mean \pm s.d. = 240,832ms \pm 185,561ms) than these simulated series and therefore will not be a limiting factor in the estimates. Since the HAV method only works on fGn, the simulated series used are those of the respective fBm

increments. These simulations have shown that the larger the size of the series, the closer the errors are to 0, proving the efficiency of these analyses.

2.4.5 H estimation

The Hurst coefficient H was estimated using the four methods described above. The binary time series studied all being fBm, it was necessary to consider series consisting of the increments of these fBm (i.e. the corresponding fGn) to be able to apply certain methods such as HAV. As mentioned earlier, each of these methods does not always directly estimate the Hurst coefficient, H , but the latter's relationship with the calculated exponent is relatively simple (Figure 2). Once the four methods were applied to each series, a Pearson correlation matrix was calculated.

2.4.6 Additional temporal indices

Both of the indices described below were extracted from the complete binary sequences.

Proportion of drawing in the sequence

We first calculated the number of 1's in the sequence. Since each binary sequence had a different length, we divided the sum of 1 by the total sequence length to come up with a drawing proportion for comparison across sequences.

Rate of state changes

The number of state changes corresponds to the number of times a participant changed their behaviour between drawing and interruption during the drawing session. For each sequence,

the number of state changes was divided by the total sequence length and multiplied by 1000 to obtain a rate of change per second.

2.4.7 Statistical analysis

Statistical analyses were conducted in R (version 3.6.2). Since we used four methods to estimate H , we obtained 4 estimated values of this index for each time series to use in our statistical analyses. Some previous studies have advised averaging the different estimates, but the choice of which to use and the overall number of estimators used has varied (Eke et al., 2000; Seuront, 2009). The four estimates of H were found to be highly correlated with each other. Considering that averaging variables whose variance may be different can remove information, we chose to perform a PCA. In our case, the method was used to reduce the number of estimators used into one that retained as much of the information as possible. The new resultant variable was thus constructed as a linear combination of the original variables, allowing for a synthesis of our variables into a single index (Berni et al., 2011). After using the Kaiser-Guttman criterion to select the number of axes, only values of the first principal component from the PCA – a proxy for the Hurst exponent that we term the '*Hurst axis*' – were used and set as a response variable in our statistical models. In our case, results obtained following this methodology with those resulting from averaging the estimates were equivalent (see Results). We decided to retain the PCA, as it makes it possible to create a new variable (i.e. an index) which is an optimally weighted combination of correlated estimators of H .

A correlation of -0.43 was observed between the sequence length and the Hurst axis. Indeed, there were considerable differences in the lengths of our drawing sequences, which averaged approximately 4 minutes and ranged between approximately 17 seconds and 15 minutes (mean \pm s.d. =240832 \pm 185561ms; range=16848-908250ms). We were not interested

in this correlation but needed to account for it when testing relationships between H and our other variables of interest, such as the *gender*, the *group* (age) or the *condition* under which the drawing was made. For this reason, the four estimated coefficients of H were recalculated on the first 50,000 points (i.e. the first 50 seconds of the drawing), 100,000 points, 150,000 points and 200,000 points. DFA coefficients based on the first 50,000 points in the sequence were correlated with those based on these other three lengths (Supplementary materials, Figure 4), as well as with those from the whole sequence at more than 54%, meaning that the information contained in the first 50,000 points is a good threshold compared to that contained in the entire sequence. Therefore, we analysed only the first 50,000 points of each sequence and excluded all sequences less than 50,000 points in length (6.5% of the drawings collected).

Given the above criteria, we analysed 346 drawings out of the initial 369 we obtained. After recalculating the indices on the first 50,000 points for each sequence, the PCA procedure was redone. We then determined whether *group*, *gender* or *condition* were associated with variation of the “Hurst axis” by constructing a Generalized Linear Mixed Model with Gaussian error structure (*nmle* package (Pinheiro et al., 2006)). Since each participant produced two drawings, *individual identity* was added as a random factor. Residual normality was graphically verified. The normality of the residuals of the random effect was graphically validated for each group. Since heteroscedasticity was detected across groups in the original model, we added a covariance structure (*VarIdent*, adapted to the categorical variables) to allow the variance of the residuals to change according to group. The full model included all possible variables and first-order interactions between *group*, *gender*, and *condition*. We proceeded to model selection using a dredge function based on the lowest Aikake’s Information Criterion (package

MuMIn; $\Delta AIC > 2$ (Barton, 2009)). Paired comparisons were made using the *lsmeans* package to compare different age groups in pairs.

Concerning the two additional metrics, the proportion of drawing in the sequence and the rate of state changes, measures have been done on the binary sequences. For the number of states changes, we normalized the data using a Box-Cox transformation and ran a Linear Mixed Model (package *nlme*) containing the variables *group*, *gender* and *condition* with *individual identity* added as a random factor. Again, model selection was carried out using the dredge function (package *MuMIn*) and we chose the model with the lowest AIC. Residual normality was graphically verified, but since heteroscedasticity was detected, we added a covariance structure to allow for a difference in the residuals variance between groups (*VarIdent*). For the proportion of drawing, we used a Linear Mixed Model (package *nlme*) too. The conditions of application (residual normality and homogeneity of variance) were graphically verified. The alpha level for all statistical analyses was set at 0.05.

3. Results

3.1 Type of signal

Examination of α through DFA (mean \pm sd = 1.419 ± 0.0490) shows that the original binary sequences were characteristic of fBm. This result was confirmed by the ^{low}PSD method which estimates of β were greater than 1 (mean \pm sd = 1.927 ± 0.0472).

3.2 Estimates of H

The Hurst exponent was estimated with the four methods (Supplementary Materials Figure 5). The binary time series studied being all fBm, we considered series resulting from the

increments of these fBm. Each of the methods is positively correlated to the others, an expected result since they estimate the same coefficient (Figure 5).

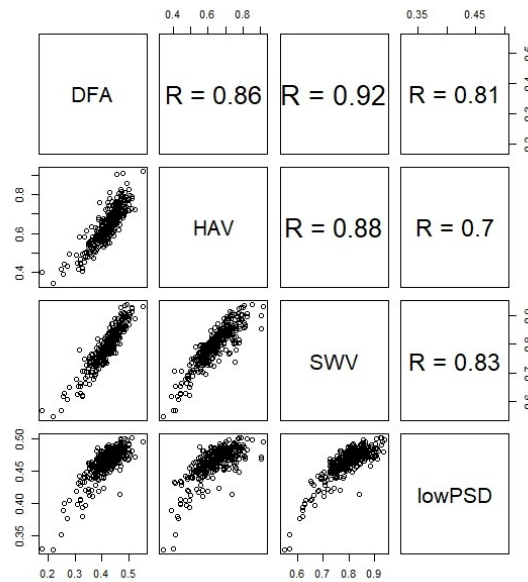


Figure 5. Pearson correlation matrix indicated the correlation values between the four methods used to estimate the Hurst exponent H .

3.3 Combination of the estimators through a Principal Component Analysis (PCA)

Since the PCA was standardized, only the axes whose inertia was strictly greater than 1 were kept, which was equivalent to keeping only axis 1 in our data set, explaining 87.68% of the variance (Correlation circle available in Supplementary Materials Figure 6). All H estimators loaded positively into the first principal component, i.e. the Hurst axis (the loadings for DFA, HAV, SWV, and $lowPSD$ were 0.513, 0.491, 0.518, and 0.475, respectively).

3.4 Variation in the Hurst axis according to the group

The selected model was the one that contained only the variable *group* ($df = 8$, $\chi^2 = 21.434$, $p = 0.006$; Figure 6). Paired comparisons indicated that two significant differences

emerged: 3-year-olds had a higher value along the Hurst axis than novice ($p = 0.0085$, $t = 3.706$) and expert ($p = 0.0148$, $t = 3.540$) adults. Neither gender nor condition was associated with variation in the Hurst axis.

Furthermore, values of the Hurst axis were highly correlated with the average value across our 4 estimators ($r = 0.993$), and the same statistical model, containing only group as an independent variable, best explained variation in this averaged metric (Supplementary Materials Table 1).

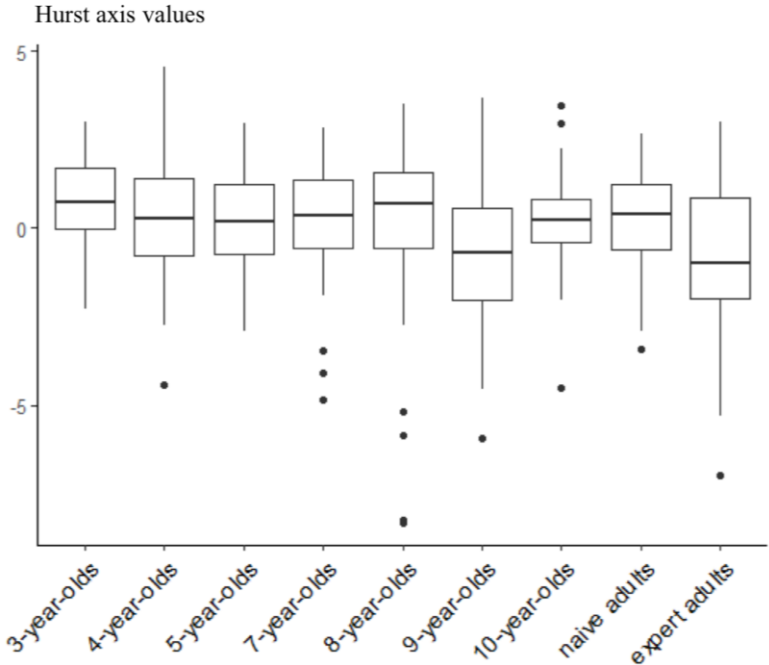


Figure 6. Boxplots of the Hurst axis values for each group. Each boxplot depicts the median (bold bar), 25-75% quartiles (box) and outliers (points).

3.5 Additional temporal indices

3.5.1 Proportion of drawing in the sequence

The selection of models led us to choose the model containing the variables *group* ($df = 8$, $\chi^2 = 65.559$, $p < 0.0001$) and *condition* ($df = 1$, $\chi^2 = 13.042$, $p = 0.0003$). Naive adults showed a

proportion of drawing significantly lower than that of all other participants ($p < 0.005$, $t < -3.845$; Figure 7). In addition, the proportion of time spent drawing as higher in the *free* condition compared to the *self-portrait* condition ($p = 0.0004$, $t = 3.611$; Figure 7).

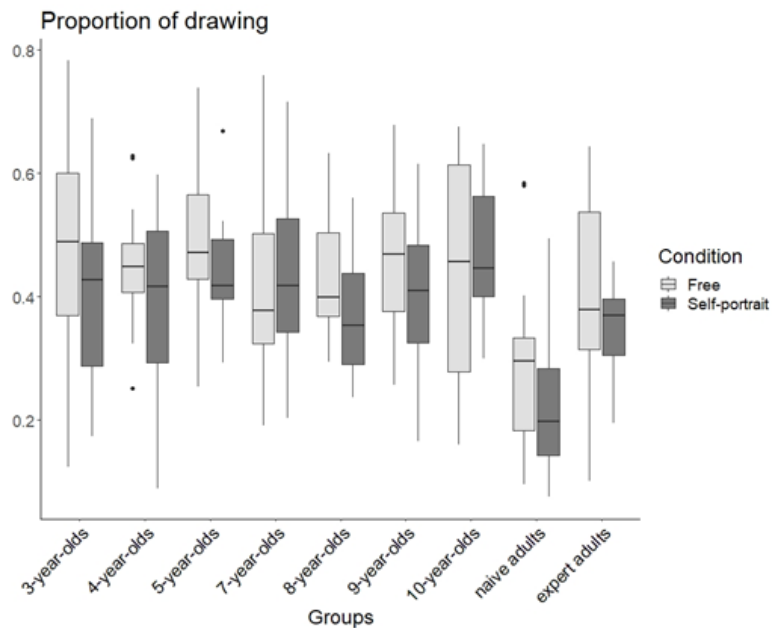


Figure 7. Boxplot of the proportion of drawing for each group and for both conditions. Each boxplot depicts the median (bold bar), 25-75% quartiles (box) and outliers (points).

3.5.2 Rate of state changes

The selected model was the one containing only the variable group ($df = 8$, $\chi^2 = 32.607$, $p < 0.0001$). The 3-years-old children alternate significantly less between drawing and interrupting behaviours than 5-year-olds ($p = 0.0310$, $t = -3.303$), 8-year-olds ($p = 0.0262$, $t = -3.359$) and adults, both naive ($p = 0.0011$, $t = -4.261$) and expert ($p = 0.0009$, $t = -4.303$) (Figure 8). No other significant effects, gender or condition, were found.

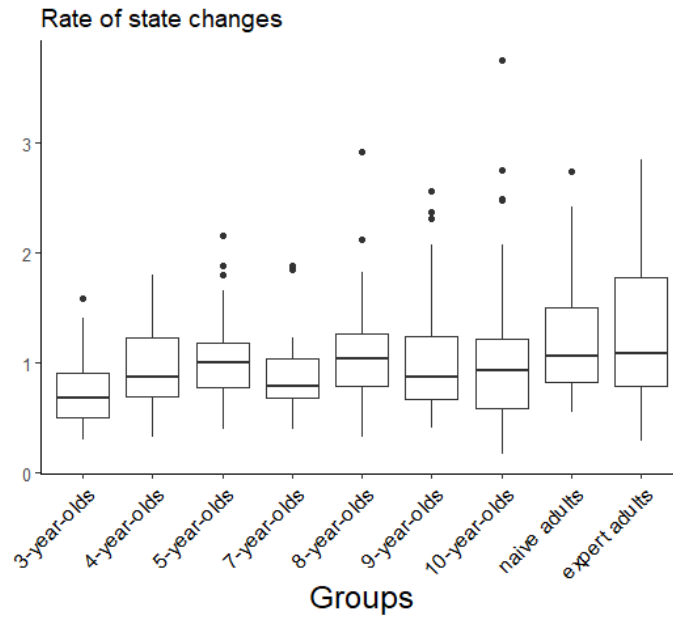


Figure 8. Boxplot of the rate of state changes (number of state changes per second) for each group. Each boxplot depicts the median (bold bar), 25-75% quartiles (box) and outliers (points).

4. Discussion

With this study, we wanted to know whether temporal fractal analysis could provide insight into the study of drawing behaviour, as has been done in other fields (MacIntosh, 2014) but not yet – to our knowledge – to understand intermittence in drawing. Specifically, we tested whether the temporal dynamics of drawing varies according to the age, gender or instruction under which the drawing was carried out. In a previous study applying spatial fractal analyses in the field of drawing behaviour, we found that the efficiency of the drawing trajectory, defined as the correct reading of the drawing with minimal detail, increased during childhood and reached its maximum in children between 5 and 10 years of age, before

decreasing in adults due to the addition of greater detail (Martinet et al., 2021). Studying temporal aspects should allow us to further understand the ontogeny of drawing behaviour.

We found a difference between the youngest (3-year-old children) and oldest (adults) participants, meaning that these two groups do not draw with the same patterns of alternation between drawing and non-drawing states. In other words, the process of drawing shows different degrees of temporal complexity. Young children showed the highest values of the Hurst axis, suggesting that they exhibit more stereotypical and therefore less complex temporal patterns in their drawing behaviour. On the contrary, temporal sequences of drawings were found to be more complex, meaning less predictable, in both naive and expert adults. In relation to this, the rates of state change we observed demonstrate that 3-year-olds performed significantly fewer alternations between drawing and drawing interruptions than all adults, 8-year-olds and 5-year-olds. Said differently, the drawings of the youngest children are composed of fewer strokes per unit of time spent on the activity.

In general, previous work has shown that 3-year-old children draw for shorter periods than older participants, get bored faster and may be more motivated by the simple motor pleasure of using the tablet rather than recognizing it as a real drawing support tool (Martinet et al., 2021). Many young children first tried each available colour, one by one, which might have induced a certain stereotypy in alternations between drawing and interruption, leading to high Hurst axis values. Their drawings were comprised of what could be called scribbles, as they were not figurative, not representative, at least to the eye of an external observer (Martinet et al., 2021).

However, 3-year-old children did not stand out in terms of the proportion of time spent drawing during a session. Indeed, all participants spent a greater proportion of their time drawing in the *free* condition than in the *self-portrait* condition, and we know from a previous

study that the durations of the entire drawing sessions were also longer in the *free* condition compared to the *self-portrait* condition (Martinet et al., 2021). The present study confirms that the addition of instructions limits the proportion of actual drawing time during a session by requiring more reflection time.

Regardless of the condition, the proportion of time spent drawing during a session was significantly lower in naive adults. Naive adults, more than any other group, expressed feelings of being judged and apprehension toward doing wrong, and expressed explicitly that they did not know how to draw. Despite these apprehensions and their alleged impacts on performance, the H estimates characterizing the drawing behaviour of naive adults was not different from those of experts. Whether this suggests that different mechanisms can lead to similar fractal patterns in drawing, or that such patterns are not sensitive to subjective experiences during drawing, cannot be determined at this time. However, this does highlight that the differences between young children and adults may not depend strongly on experience or skill but may instead reflect more fundamental ontogenetic processes.

Given that the majority of drawings made by 3-year-olds did not exhibit external representativeness, one possible explanation for this difference of complexity with age could be a desire for figuration. Indeed, in adults the process of drawing is intentional and may lead to greater stochasticity in the intermittences between drawing and non-drawing states, due to thought processes and/or tendencies toward representativeness. When an individual produces a figurative drawing, recognizable by an observer, the intentionality of his acts is obvious. Concerning abstract drawings, non-figuration does not necessarily mean absence of intention. The probable role of drawing instructions can then be evoked. This last consideration leads us to go further in future drawing analyses, asking adults to draw abstract or figurative drawings for comparison with children's' scribbles. As the temporal fractal index

is a measure of the temporal complexity of the drawing behavioural sequence, if the two measures of H are different between the abstract drawings made by young children and those made by adults, this would mean that the complexity assessed by the H index could be interpreted as a measure of intentionality more than just figuration. Additional studies would be needed to confirm this.

In the present study, drawing instructions (*free* and *self-portrait*) had no effect on drawing intermittence. Extrapolating from the previous discussion, inviting participants to produce archetypes, more stereotyped drawings of common objects such as a house or a flower, might produce a gradient of temporal patterns depending on the complexity of the task. Perhaps asking subjects to draw a specific object would lead to homogenization of temporal patterns across participants. Asking participants to reproduce a photograph – which would reduce the role of creativity and therefore minimize reflection time but not necessarily simplify the drawing task – may lead to further variation, and potentially reduced variability between subjects. The latter would allow measuring the variation in drawing complexity while removing cultural and normative aspects. In this way, it would be possible to reach stronger conclusions about the influence of a directive on drawing behaviour.

Concerning differences in drawing behaviour between individuals, gender can be an influential factor. Previous results have shown such differences in the fields of drawing and writing, particularly with regards to colour utilization, where girls show a more extensive use of colour than boys (Martinet et al., 2021; Turgeon, 2008; Wright and Black, 2013). However, we found no evidence to suggest that drawing intermittence differs between girls/women and boys/men.

Though we observed clear differences in fractal patterns of drawing intermittence between age groups, there remain limitations to the study. For example, difficulty arises from

the fact that multiple methods exist to estimate the Hurst exponent, which often leads to conflicting results (Karagiannis et al., 2006). It remains challenging to determine which estimator best suits the type of data being analysed, and this is exacerbated by the fact that estimations themselves vary according to the method used even in simulated time-series with *a priori* seeded Hurst values (Karagiannis et al., 2006). In our study, individuals with high (or low) H according to one method generally exhibited similarly high or low H with other methods, but the variations between groups differed from method to method. Indeed, different methods sometimes produced large differences in H for the same individual (± 0.3). Such large differences interfered with conclusions about whether a drawing sequence was persistent or anti-persistent because in some cases H could be both above and below 0.5, depending on the method.

By applying new methods of analysis, it will be possible to progressively grasp the ontogeny of drawing behaviour. The results of a single study are not sufficient to identify the development of a behaviour as complex as drawing. Only a grouping of clues, each one characterizing one aspect of the behaviour, could make it possible to comprehend the whole. This work on temporal fractal analysis provides one piece that was previously missing and completes our previous research on spatial fractal analysis of drawings. Such works seem promising to better understand the ontogeny of drawing behaviour and, by extending this type of analysis to other species, notably great apes, we could learn more about its evolutionary history.

Acknowledgement

We thank Jean-Louis Deneubourg for his help on analyses. We are grateful to the school director and the teachers who gave us the opportunity to collect a large number of

children's drawings. We would like to warmly thank all the participants and parents of all the children who participated with enthusiasm to the study.

This project has received financial support from the CNRS through the MITI interdisciplinary programs.

Author contributions

Conceptualization, B.B., L.M., C.S.; Methodology, B.B. and L.M.; Investigation, B.B., L.M. and C.S.; Writing – Original Draft, B.B. and L.M.; Writing – Review & Editing, C.S., A.M, X.M. and M.P.; Funding Acquisition, C.S. and M.P.; Resources, J.H.; Data Curation, B.B. and L.M., Supervision, C.S. and M.P.

Resource availability

Lead contact

Further information and requests for resources and reagents should be directed to and will be fulfilled by the Lead Contact, Lison Martinet (lison.martinet@iphc.cnrs.fr)

Data and code availability

The dataset generated during this study are available at Mendeley Data: <https://data.mendeley.com/datasets/n672kz24f2/1>

Declaration of Interests

The authors declare no competing interests.

References

- Adi-Japha, E., Levin, I., Solomon, S., 1998. Emergence of representation in drawing: The relation between kinematic and referential aspects. *Cogn. Dev.* 13, 25–51.
- Alados, C.L. et al, 1996. Fractal structure of sequential behaviour patterns: an indicator of stress. *Anim. Behav.* 7.
- Barton, K., 2009. MuMIn: multi-model inference. [Http-Forge R-Proj. Orgprojectsmumin](http://Forge.R-Project.org/projects/mumin).
- Berni, A., Giuliani, A., Tartaglia, F., Tromba, L., Sgueglia, M., Blasi, S., Russo, G., 2011. Effect of vascular risk factors on increase in carotid and femoral intima-media thickness. Identification of a risk scale. *Atherosclerosis* 216, 109–114.
- Cannon, M.J., Percival, D.B., Caccia, D.C., Raymond, G.M., Bassingthwaite, J.B., 1997. Evaluating scaled windowed variance methods for estimating the Hurst coefficient of time series. *Phys. Stat. Mech. Its Appl.* 241, 606–626. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(97\)00252-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(97)00252-5)
- Cherney, I.D., Seiwert, C.S., Dickey, T.M., Flichtbeil, J.D., 2006. Children's Drawings: A mirror to their minds. *Educ. Psychol.* 26, 127–142. <https://doi.org/10.1080/01443410500344167>
- Constantine, W., Percival, D., 2007. The fractal Package.
- Delignières, D., Ramdani, S., Lemoine, L., Torre, K., Fortes, M., Ninot, G., 2006. Fractal analyses for 'short'time series: a re-assessment of classical methods. *J. Math. Psychol.* 50, 525–544.
- Delignières, D., Torre, K., Lemoine, L., 2005. Methodological issues in the application of monofractal analyses in psychological and behavioral research. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci.* 9, 435–461.

- Eke, A., Hermán, P., Bassingthwaite, J., Raymond, G., Percival, D., Cannon, M., Balla, I., Ikrényi, C., 2000. Physiological time series: distinguishing fractal noises from motions. *Pflüg. Arch. - Eur. J. Physiol.* 439, 403–415. <https://doi.org/10.1007/s004249900135>
- Eke, A., Herman, P., Kocsis, L., Kozak, L.R., 2002. Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals 38.
- Fernandes, D.N., Chau, T., 2008. Fractal dimensions of pacing and grip force in drawing and handwriting production. *J. Biomech.* 41, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.07.017>
- Freeman, N.H., 1993. *Drawing: Public instruments of representation.*
- Huang, J., 2013. somebm: some Brownian motions simulation functions. URL <http://CRAN.R-project.org/package=somebm>.
- Jolley, R.P., Knox, E.L., Foster, S.G., n.d. The relationship between children's production and comprehension of realism in drawing 26.
- Karagiannis, T., Molle, M., Faloutsos, M., 2006. Understanding the Limitations of Estimation Methods for Long-Range Dependence 23.
- Longstaff, M.G., Heath, R.A., 1999. A nonlinear analysis of the temporal characteristics of handwriting. *Hum. Mov. Sci.* 18, 485–524. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(99\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(99)00028-7)
- Luquet, G.-H., 1927. *Le dessin enfantin.* (Bibliothèque de psychologie de l'enfant et de pédagogie.).
- MacIntosh, 2014. *The Fractal Primate: Interdisciplinary Science and the Math behind the Monkey* 25.
- MacIntosh, A.J.J., Pelletier, L., Chiaradia, A., Kato, A., Ropert-Coudert, Y., 2013. Temporal fractals in seabird foraging behaviour: diving through the scales of time. *Sci. Rep.* 10.

- MacIntosh, Alados, C.L., Huffman, M.A., 2011. Fractal analysis of behaviour in a wild primate: behavioural complexity in health and disease. *J. R. Soc. Interface* 8, 1497–1509. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0049>
- Mandelbrot, B.B., 1977. *Fractals. Form Chance Dimens.*
- Mandelbrot, B.B., Van Ness, J.W., 1968. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Rev.* 10, 422–437.
- Maria, G.A., Escós, J., Alados, C.L., 2004. Complexity of behavioural sequences and their relation to stress conditions in chickens (*Gallus gallus domesticus*): a non-invasive technique to evaluate animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 86, 93–104.
- Marmelat, V., Torre, K., Delignieres, D., 2012. Relative Roughness: An Index for Testing the Suitability of the Monofractal Model. *Front. Physiol.* 3. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00208>
- Martinet, L., Sueur, C., Hirata, S., Hosselet, J., Matsuzawa, T., Pelé, M., 2021. New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Sci. Rep.* 11, 3860. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83043-0>
- Mercik, S., Weron, K., Burnecki, K., Weron, A., 2003. Enigma of self-similarity of fractional Levy stable motions. *Acta Phys. Pol. B* 34, 3773.
- Meyer, X., MacIntosh, A.J., Chiaradia, A., Kato, A., Ramírez, F., Sueur, C., Ropert-Coudert, Y., 2020. Oceanic thermal structure mediates dive sequences in a foraging seabird. *Ecol. Evol.*
- Meyer, X., MacIntosh, A.J.J., Chiaradia, A., Kato, A., Mattern, T., Sueur, C., Ropert-Coudert, Y., 2017. Shallow divers, deep waters and the rise of behavioural stochasticity. *Mar. Biol.* 164, 149. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3177-y>

- Nelson, T.R., West, B.J., Goldberger, A.L., 1990. The fractal lung: universal and species-related scaling patterns. *Experientia* 46, 251–254.
- Paraschiv-Ionescu, A., Buchser, E., Rutschmann, B., Aminian, K., 2008. Nonlinear analysis of human physical activity patterns in health and disease. *Phys. Rev. E* 77, 021913. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.77.021913>
- Peng, C.-K., Havlin, S., Stanley, H.E., Goldberger, A.L., 1995. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos Interdiscip. J. Nonlinear Sci.* 5, 82–87.
- Peng, C.-K., Mietus, J.E., Liu, Y., Lee, C., Hausdorff, J.M., Stanley, H.E., Goldberger, A.L., Lipsitz, L.A., 2002. Quantifying fractal dynamics of human respiration: age and gender effects. *Ann. Biomed. Eng.* 30, 683–692.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., Team, R.C., 2006. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R Package Version 3, 109.
- Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I., Rigon, R., Ijjasz-Vasquez, E., Bras, R.L., 1993. Self-organized fractal river networks. *Phys. Rev. Lett.* 70, 822.
- Rutherford, K.M.D., Haskell, M.J., Glasbey, C., Jones, R.B., Lawrence, A.B., 2003. Detrended fluctuation analysis of behavioural responses to mild acute stressors in domestic hens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83, 125–139. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00115-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00115-1)
- Rybski, D., Buldyrev, S.V., Havlin, S., Liljeros, F., Makse, H.A., 2009. Scaling laws of human interaction activity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 12640–12645. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902667106>
- Seuront, L., 2009. *Fractals and multifractals in ecology and aquatic science*. CRC Press.
- Sims, D.W., Southall, E.J., Humphries, N.E., Hays, G.C., Bradshaw, C.J.A., Pitchford, J.W., James, A., Ahmed, M.Z., Brierley, A.S., Hindell, M.A., Morritt, D., Musyl, M.K., Righton, D.,

- Shepard, E.L.C., Wearmouth, V.J., Wilson, R.P., Witt, M.J., Metcalfe, J.D., 2008. Scaling laws of marine predator search behaviour. *Nature* 451, 1098–1102. <https://doi.org/10.1038/nature06518>
- Stadnitski, T., 2012. Measuring fractality. *Front. Physiol.* 13.
- Stadnytska, T., Braun, S., Werner, J., 2010. Analyzing Fractal Dynamics Employing R 29.
- Stroe-Kunold, E., Stadnytska, T., Werner, J., Braun, S., 2009. Estimating long-range dependence in time series: An evaluation of estimators implemented in R 15.
- Tanaka, M., Tomonaga, M., Matsuzawa, T., 2003. Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Anim. Cogn.* 6, 245–251. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0198-3>
- Turgeon, S.M., 2008. Sex differences in children’s free drawings and their relationship to 2D:4D ratio. *Personal. Individ. Differ.* 6.
- Viswanathan, G.M., Buldyrev, S.V., Havlin, S., da Luz, M.G.E., Raposo, E.P., Stanley, H.E., 1999. Optimizing the success of random searches. *Nature* 401, 911–914. <https://doi.org/10.1038/44831>
- Weiss, B., Clemens, Z., Bódizs, R., Vágó, Z., Halász, P., 2009. Spatio-temporal analysis of monofractal and multifractal properties of the human sleep EEG. *J. Neurosci. Methods* 185, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2009.07.027>
- Willats, J., 2005. Making sense of children’s drawings. Psychology Press.
- Wright, L., Black, F., 2013. Monochrome Males and Colorful Females: Do Gender and Age Influence the Color and Content of Drawings? *SAGE Open* 3, 215824401350925. <https://doi.org/10.1177/2158244013509254>

Supplementary Materials for the article “To draw or not to draw: understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses

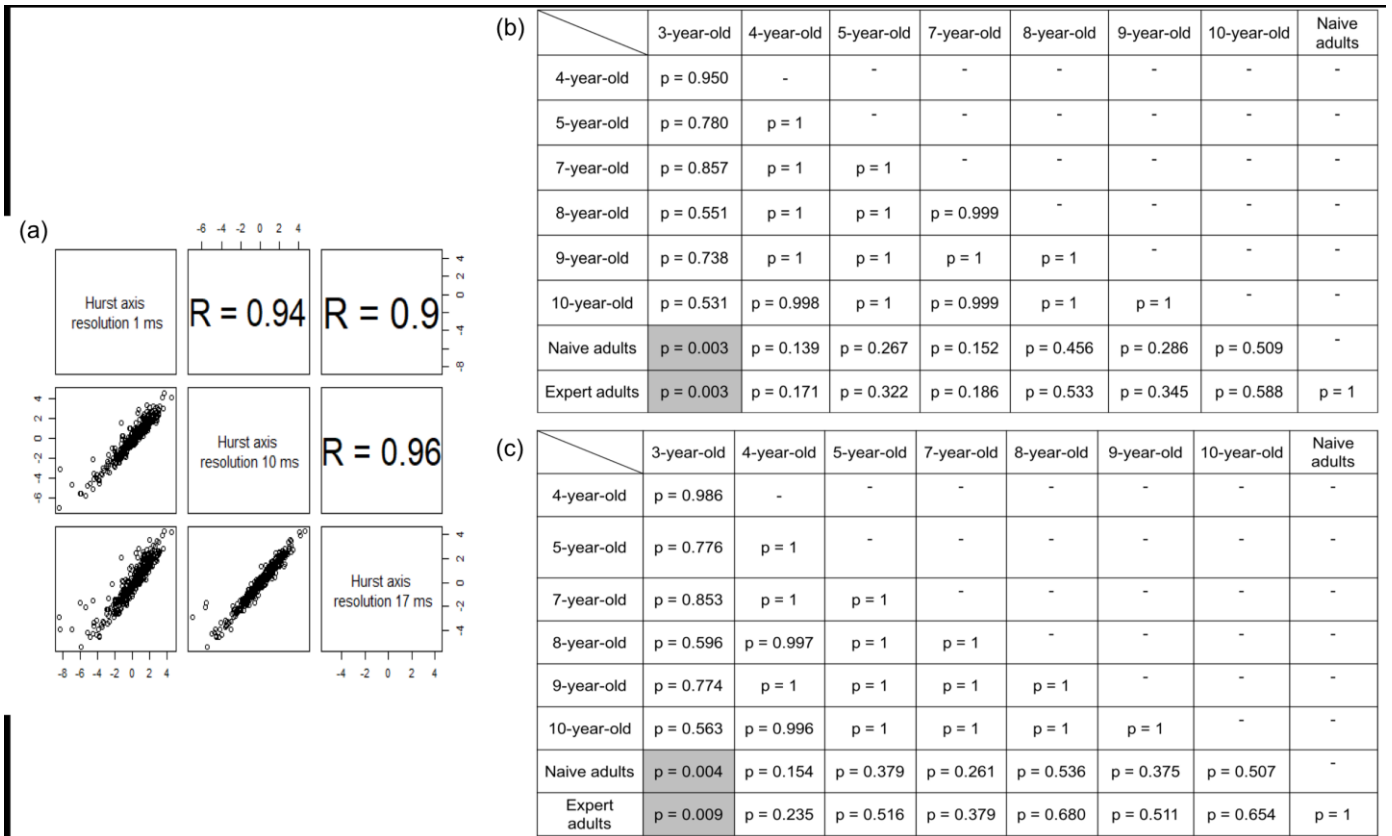


Figure 1. Analyses of different resolutions for the construction of the time series. (a) Pearson correlation matrix indicated the correlation between the Hurst axis values obtained with 3 different resolution in the time series (1ms being the one used in the manuscript). (b) Pairwise comparisons of groups obtained from the selected model (GLMM, $df = 8$, $\chi^2 = 25.811$, $p = 0.001$) with a time resolution of 10 milliseconds. (c) Pairwise comparisons of groups obtained from the selected model (GLMM, $df = 8$, $\chi^2 = 23.23$, $p = 0.003$) with a time resolution of 17 milliseconds. The different resolutions give the same results with the 3-year-olds showing a higher value along the Hurst axis than adults, both, naïve and expert.

To understand the impact of removing a period of time in the sequences, and to ensure this will lead to consistent estimates, 50 drawings were randomly sampled. A chunk of 30 seconds was then randomly removed from the whole temporal sequence for each drawing, and the remaining parts were spliced. The 4 estimates were calculated on the first 50 seconds of the shortened sequences of drawings. The correlation of these estimates and the corresponding estimates on the first 50 seconds of the non-modified sequences were calculated. The correlations were strong (DFA: 97%, SWV: 96%, HAV: 92%, lowPSD: 94%), showing the consistency of this methodology and its robustness to missing segments of data.

Box 1. Explanation of simulations showing the robustness of fractal estimates to random removals of segments within the sequence.

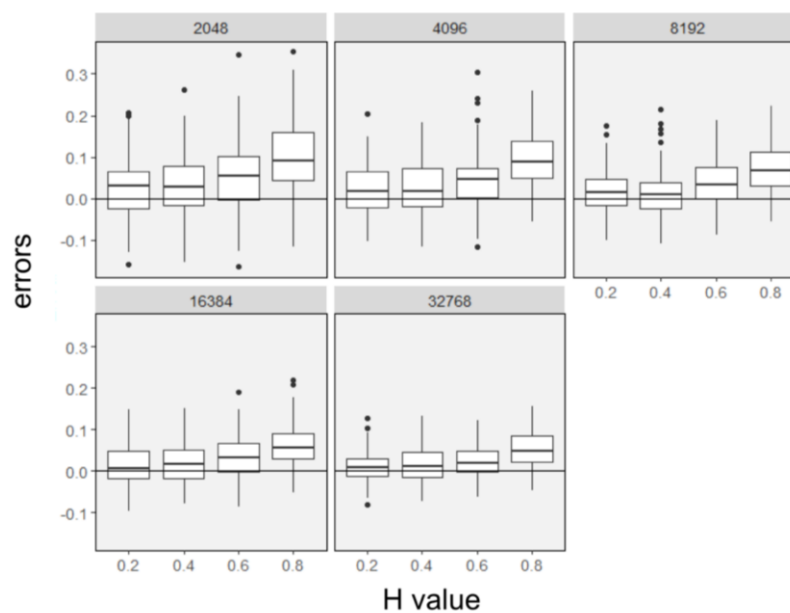


Figure 2. Estimation errors of the estimates of Monte Carlo simulations with the HAV method by varying H and the length of the time series.

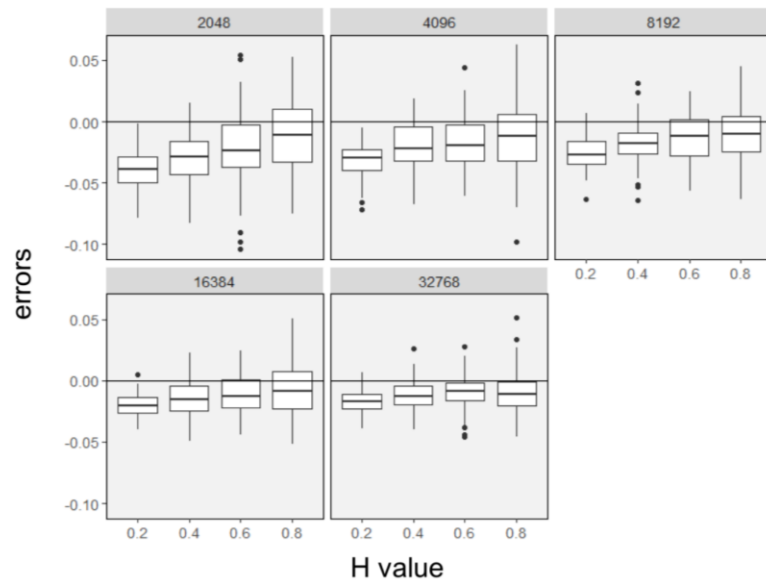


Figure 3. Estimation errors of Monte Carlo simulations with the SWV method by varying H and the length of the time series.

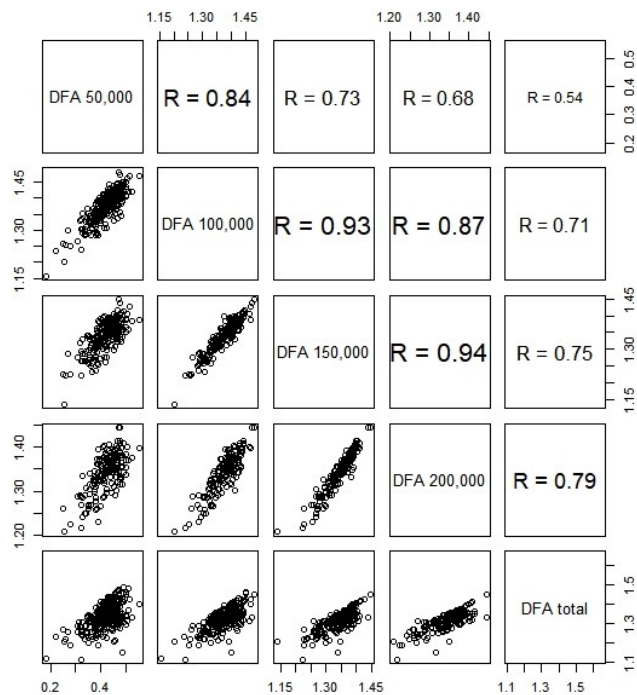


Figure 4. Correlations between DFA coefficients based on the first 50,000 points, 100,000 points, 150,000 points and 200,000 points and the total length of the times series.

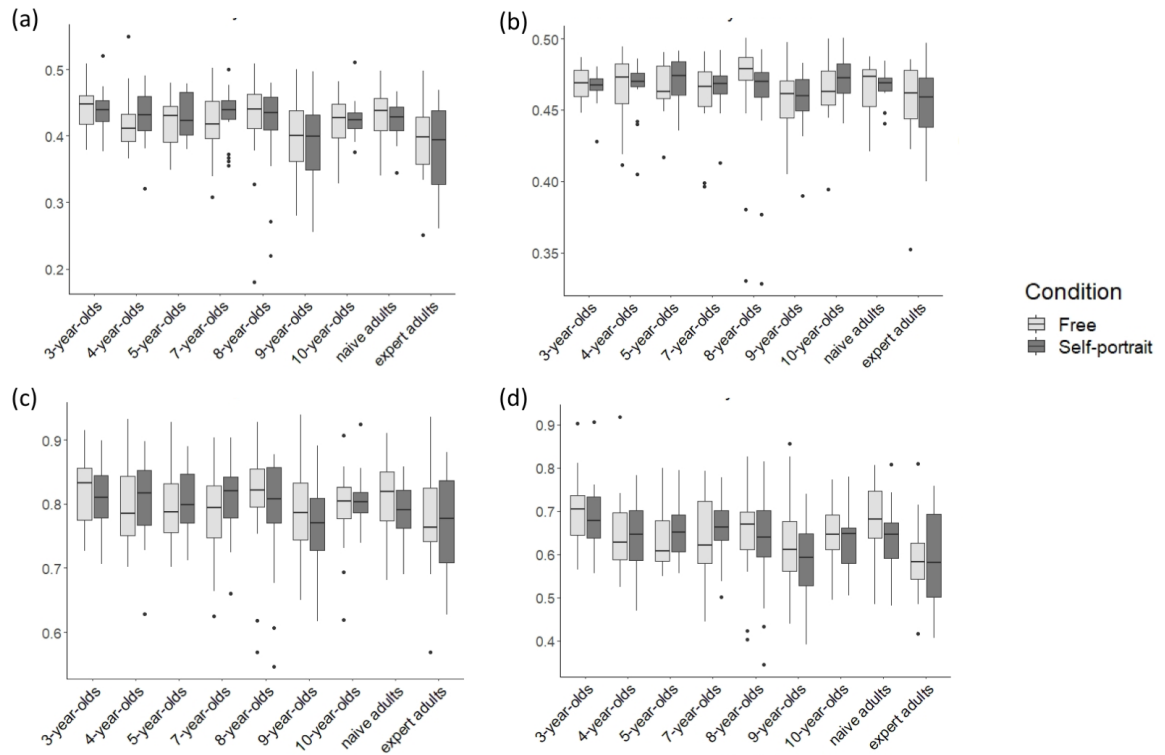


Figure 5. Boxplots of the Hurst estimates calculated with four different methods. (a) Hurst exponent estimated with (a) the Detrended Fluctuation Analysis (DFA), (b) the Power Spectral Density analysis (^{low}PSD), (c) the Scaled Windowed Variance (SWV) and (d) the Hurst Absolute Value method (HAV).

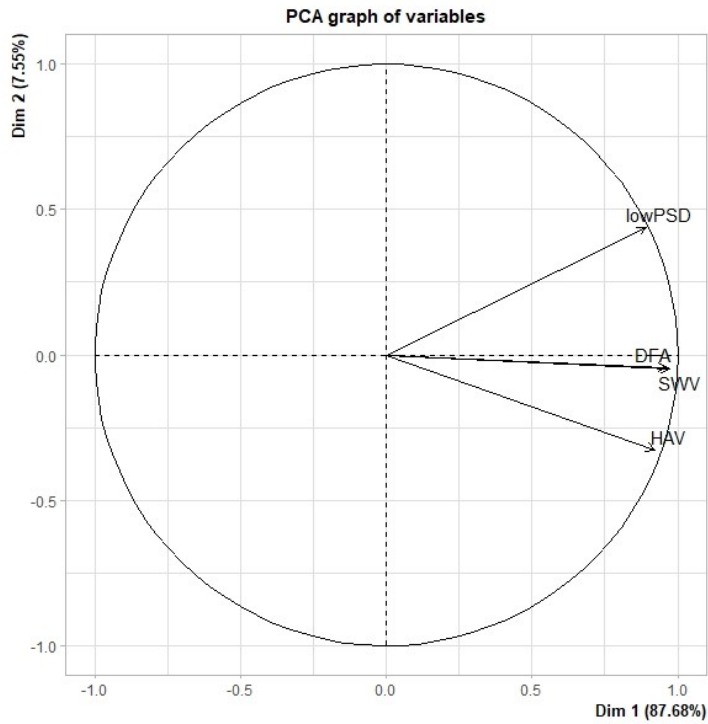


Figure 6. Correlation graph of the variables.

Table 1. Pairwise comparisons of groups obtained from the selected model (GLMM, $df = 8$, $\chi^2 = 22.842$, $p = 0.003$) made by averaging the estimates of H .

	3-year-old	4-year-old	5-year-old	7-year-old	8-year-old	9-year-old	10-year-old	Naive adults
4-year-old	$p = 0.950$	-	-	-	-	-	-	-
5-year-old	$p = 0.780$	$p = 1$	-	-	-	-	-	-
7-year-old	$p = 0.722$	$p = 1$	$p = 1$	-	-	-	-	-
8-year-old	$p = 0.832$	$p = 1$	$p = 1$	$p = 0.1$	-	-	-	-
9-year-old	$p = 0.701$	$p = 1$	$p = 1$	$p = 1$	$p = 1$	-	-	-
10-year-old	$p = 0.645$	$p = 0.999$	$p = 1$	$p = 0.1$	$p = 1$	$p = 1$	-	-
Naive adults	$p = 0.004$	$p = 0.139$	$p = 0.319$	$p = 0.273$	$p = 0.271$	$p = 0.332$	$p = 0.621$	-
Expert adults	$p = 0.010$	$p = 0.333$	$p = 0.05682$	$p = 0.186$	$p = 0.502$	$p = 0.587$	$p = 0.849$	$p = 1$

3. Conclusion

Appliqué au tracé, l'analyse fractale spatiale permet de mieux comprendre son degré d'efficacité, mais ce qu'elle traduit de l'intentionnalité peut, dans notre cas, être discuté. Nous ne pouvons remettre en cause l'intentionnalité d'un adulte qui dessine et ce même lorsqu'il produit un dessin abstrait. Picasso affirmait déjà qu'il lui fallut toute une vie pour apprendre à dessiner comme un enfant, nous pouvons alors aisément conclure qu'il semble impossible de produire un dessin en mettant de côté toute intention. Ainsi, et dans le cadre particulier qu'est celui de l'étude du dessin, comportement complexe aux influences multiples, notre indice comporte des limites quant à l'appréciation de l'intentionnalité notamment en ce qui concerne les adultes. Bien que ça puisse être le cas, l'efficacité du tracé, et donc la répartition des différentes trajectoires dans l'espace, ne peut pas systématiquement être reliée à l'intentionnalité.

L'analyse temporelle a permis de montrer le caractère fractal des séquences comportementales de dessin. Avec l'âge nous ne dessinons pas de la même manière : l'intermittence du comportement, entre périodes de dessins et périodes d'interruption devient progressivement de moins en moins prévisible, de plus en plus complexe. Ainsi les jeunes enfants, bien souvent dans le jeu plus que dans la création essaient chaque couleur une à une et pendant une durée relativement similaire menant ainsi à un enchaînement dessin/non-dessin rythmé et relativement stable. Bien qu'il aurait été intéressant d'avoir ce type de mesure pour les femelles chimpanzés, le fait que les temps de dessin soient interrompus à plusieurs reprises au cours de chaque séquence (individus se désintéressent, nourrissage, bruit) engendrerait trop de biais.

Ces deux indices fractals nouvellement appliqués au dessin sont des outils supplémentaires et complémentaires à ceux déjà utilisés dans de précédentes études. Dans les deux cas, des mesures annexes (couleurs, temps, questions aux enfants, proportion du temps de dessin, nombre de changements d'états entre dessin et interruption) nous ont aidé à mieux définir les nouvelles clés de compréhension que nous développons. Ces deux indices, spatial et temporel, ne peuvent, bien entendu, à eux seuls prétendre cerner ce comportement dans son entièreté, mais sans nul doute, ils y contribuent.

CHAPITRE IV

DÉPLOIEMENT D'UNE NOUVELLE BOÎTE À OUTILS



1. Proposition d'une méthodologie nouvelle

Article 3: Making drawings speak through mathematical metrics

Soumis le 7 septembre 2021 dans *Scientific Reports*

Question : Est-il possible de mieux percevoir les processus d'intention et de représentation des sujets qui dessinent en regroupant plusieurs indices, tous portés sur des aspects différents du dessin ?

1.1 Synthèse de l'article 3

Dans ce troisième article, nous avons entrepris de regrouper les indices nouvellement élaborés avec d'autres, utilisés en écologie du mouvement et nous semblant informatifs ou couramment décrits dans les analyses portant sur le dessin. Ce sont au total 14 indices que nous avons cherché à regrouper dans cette étude. Informatifs sur des aspects différents mais complémentaires de l'acte de dessin, nous souhaitons savoir s'il est possible d'en regrouper certains et de mettre ainsi en perspective les conclusions que chacun permet d'apporter. Chaque métrique fut appliquée aux dessins des deux jeux de données à savoir les dessins de nos différents groupes d'âge ainsi que ceux stéréotypés. Les différents indices sont combinés dans une analyse en composantes principales. Après sélection, sept de ces derniers se répartissent selon trois dimensions, chacune pouvant être biologiquement identifiée. La première nommée « efficacité » regroupe les métriques spatiales (vitesse de tracé, distance de dessin et u_{MLE}), la deuxième nommée « diversité » les mesures concernant la couleur (nombre et profil colorimétrique moyen) et la troisième nommée « séquentialité », les mesures temporelles (indice de Hurst et nombre de séquences). Les indices impliqués dans la construction de ces 3 dimensions sont similaires entre les deux jeux de données et permettent une identification de l'intention et de la représentativité avec l'âge. L'étude de ces trois dimensions constitue un levier pour tirer davantage de conclusions d'un dessin abstrait. Nous pouvons alors mieux cerner la représentativité d'un dessin même si celle-ci n'est a priori qu'interne et non décelable à l'œil nu. Ce type de méthodologie semble prometteur pour mieux suivre l'ontogénie de ce comportement chez l'enfant, étudier les dessins de personnalités atypiques ou en situation de handicap ou encore comprendre davantage les productions d'autres espèces animales notamment celles des grands singes.

1.2 Article 3

Making drawings speak through mathematical metrics

Cédric Sueur^{1,2}, Lison Martinet¹, Benjamin Beltzung¹, Marie Pelé³

1: Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France

2: Institut Universitaire de France, Paris, France

3 : Anthro-Lab, ETHICS EA7446, Lille Catholic University, Lille, France

Corresponding author: Cédric Sueur, cedric.sueur@iphc.cnrs.fr; IPHC UMR 7178, 23 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France

Abstract: Figurative drawing is a skill that takes time to learn, and evolves during different childhood phases that begin with scribbling and end with representational drawing. Between these phases, it is difficult to assess when and how children demonstrate intentions and representativeness in their drawings. The marks produced are increasingly goal-oriented and efficient as the child's skills progress from scribbles to figurative drawings. Pre-figurative activities provide an opportunity to focus on drawing processes. We applied fourteen metrics to two different datasets (N=65 and N=345) to better understand the intentional and representational processes behind drawing, and combined these metrics using principal component analysis (PCA) in different biologically significant dimensions. Three dimensions were identified: efficiency based on spatial metrics, diversity with colour metrics, and temporal sequentiality. The metrics at play in each dimension are similar for both datasets, and PCA explains 77% of the variance in both datasets. These analyses differentiate scribbles by children from those drawn by adults. The three dimensions highlighted by this study provide a better understanding of the emergence of intentions and representativeness in drawings. We discussed the perspectives of such findings in Comparative Psychology and Evolutionary Anthropology.

Keywords: marking gesture, anthropology, evolution, Homo sapiens, comparative psychology

1. Introduction

Humans are the only species who naturally draw and paint objects. This behaviour takes time to develop over a series of childhood phases. Researchers agree that drawing evolves from scribbling in toddlers ^{1,2} to representational drawing in older children. In its initial phases, scribbling is often viewed purely as a motor pleasure that is not guided by visual planning, and is mainly determined by the mechanical functioning of the motor system of the arm, wrist and hand ^{2,3}. The youngest children show only transient interest in their own scribbles, and often readily move from one scribble to the next ^{4,5}. With increasing perceptual motor coordination and a progressive acquisition of complex and effective drawing rules, the scribbles become complex patterns that are guided by visual attention and are determined by aesthetic considerations such as balance or symmetry ^{4,6,7}. While a full-blown representational drawing (i.e. preplanned by the child and readable by an observer) first appears by the age of three to four years old ^{1,4,6,8}, preliminary indications of drawing-related symbolic actions can be traced back to as early as the second or third year of life. This finding suggests that at this age, children have already become aware of the dual function of a drawing, i.e. a graphic signifier that signifies a referent and is also a real object in its own right ⁹. Concerning the development of early mark-making and pre-representational activities, different theories have been developed, some of which are very similar ¹⁰⁻¹³. The three following types of early pre-representations have been described in the literature, all of which were claimed to have appeared before children produce planned shapes: action representation, romancing, and guided elicitation ^{12,14}.

In humans, action representations, also called gestural drawings, appear both in spontaneous drawing and in response to the request to draw an object (e.g. an airplane). Children may accompany scribbling with verbalizations or sounds such as roaring, which indicates that both their motions and the marks emerging from their drawing instrument simulate the motion of an object. We can then speculate whether children are really scribbling or if they are simply demonstrating an active rather than a figurative mode of representation ¹². The personal actions of children are therefore not random but are intentional and combined with marks and sounds to represent the moving, roaring object ¹⁵⁻¹⁸. So the drawing has representativeness for the drawer (i.e. internal representativeness) even if this is not the case for an external observer (i.e. external representativeness, (Martinet et al., 2021)). Romancing refers to instances where children name a scribble with an object but an observer has difficulty finding a graphic resemblance between the scribble and the object the child claims to have drawn. Naming takes place either spontaneously or when elicited by questioning from an adult, and

can occur before or during the drawing, or after its completion. Action representations and romancing cannot be observed in children before they are two to three years old, or in children with certain psychopathologies. During these two stages, it is therefore difficult to establish if a drawing is goal-directed, with a meaning and an intentional representation. Evidence of intention is provided during the third step, called guided elicitation, when the child shows no representational intention in his free drawings but produces figurative drawings when assisted. However, even if it is not always easy to demonstrate intentional pre-representational activities, we can predict without difficulty that the marks produced are increasingly goal-oriented and efficient as the child progresses from scribbles to figurative drawings. Rather than studying the finished drawings, we should focus on the presence of pre-representative activities on drawing processes ^{10,11,13,20}.

Different methods have been used to answer this question of representativeness and goal directedness beyond drawing ^{21,22}. Publications describe topics ranging from the kinematic aspects of scribbling to the precursors of graphic representation, including authors who compare curved lines in drawings to mathematical laws. Children tended to attribute representational meanings (e.g. an airplane) to angular curves and nonrepresentational meanings (e.g. a line) to smooth curves that they had just finished drawing ². However, these studies are not objective given that authors asked children *a posteriori* what their drawings represented. Moreover, this methodology cannot be applied to subjects (human or nonhuman primates) who are unable to explain their drawings. Thus, only one study to date has used methodology permitting the comparison of drawing abilities in humans and nonhuman primates or made it possible to understand the evolution of drawing in children and in other primates ¹⁹.

This paper describes the use of different mathematical metrics to objectively and quantitatively measure intention and representativeness in drawing. Recently developed techniques make it possible to consider ethology as a physical science and apply quantitative measures in this discipline ²³. Although simple drawing measures such as the number of colours can be used ²⁴, they provide few cues about the intention behind the drawing. We aim to go further by using mathematical measures to fulfil this goal. Metrics are already used to understand whether movements are optimal or evaluate the extent to which behavioural sequences are complex and predictable in animals, including humans. For instance, Martinet et al. (2021) and ²⁵ used spatial and temporal fractal analyses, which had previously been applied to understand optimal movements and optimal behavioural sequences of animals searching for food ²⁶⁻²⁹, and found an increase in complexity and efficiency in humans

compared to chimpanzees, but also an increase with age in humans. Other metrics such as entropy^{30,31} or the Gini index^{32,33} were also used to understand the distribution or complexity of different behaviours (e.g. activity, food exchange, vocalisation) from ants to humans. We used a total of fourteen metrics to enrich our understanding of the intentional and representational processes behind drawing. These metrics are detailed in Table 1 along with definitions and predictions.

This paper seeks to combine all of these metrics in different dimensions using principal component analysis. PCA is used to extract and visualize important information contained in a multivariate data table by combining metrics to form a biologically significant dimension, as already shown for personality^{34,35} or sociality³⁶. Here, we expect metrics to be combined and form dimensions that correspond to representativeness (at least internal, meaning from the point of view of the drawer but not for the observer) and show evidence of anticipation or aestheticism in the drawing^{18,37–39}. Temporal metrics and some spatial metrics based on fractal theory could indicate representativeness and anticipation, whilst the use of colours and space could indicate a sense of aestheticism. We used two datasets of drawings with different instructions in order to generalise results. We hypothesise that objective and quantitative patterns in drawings will provide cues about the intentions and representativeness of the drawer, even if the observer fails to perceive an object or entity in the drawing.

2. Material and Methods

a. Dataset

All methods were performed in accordance with the relevant guidelines and regulations in France, checked and approved by the research ethical committee of Strasbourg University (Unistra/CER/2019-11).

Dataset#1: We asked 13 adults (6 men, 7 women), aged from 21 to 29 years old, to draw five drawings. These adults were considered “naïve” insofar that they had never taken drawing lessons and did not draw as a hobby. These participants were students of the research institute where the authors worked. Each drawing corresponded to an instruction that was specifically designed to produce a range of drawings: 1.) draw something with scribbles; 2.) draw something with circles; 3.) draw something with different angles; 4.) draw something with a starry sky; 5.) draw something with fan patterns (fan patterns are defined as straight lines with sharp angles due to repetitive actions of hand, usually from right to left). The reasons for the choice of these five instructions are detailed with the list of metrics in Section 2.c. Examples for each

instruction are given in Figure 1. This dataset was collected in 2020 and is composed of 65 drawings.

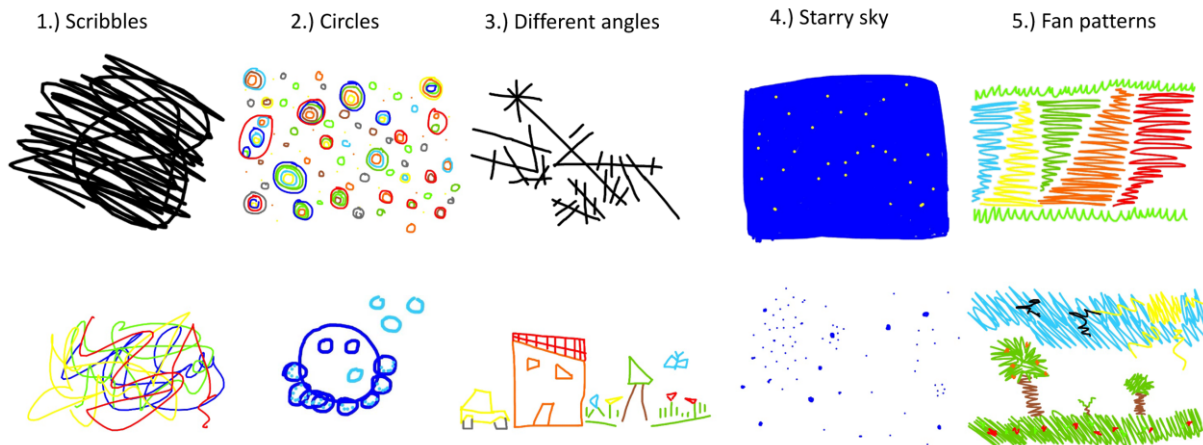


Figure 1: Examples of the five instructions we gave to participants for dataset#1. 1.) Make a drawing with scribbles; 2.) Make a drawing with circles; 3.) Make a drawing with different angles; 4.) Make a drawing with a starry sky; 5.) Make a drawing with fan patterns.

Dataset#2: This dataset included children and adults. The group of 144 children aged from three to ten years old was split into 18-20 children per one-year age interval. Boys and girls were equally represented in these categories except in the youngest category, which was composed of 5 girls and 15 boys. The adult group was composed of 41 adults (21 men, 20 women) aged 21 to 60 years old who were naive and expert drawers. The latter were art school students and professional illustrators. Participation was voluntary for adults and subject to parental consent for children.

According to Martinet et al. (2021), all participants were asked to draw in two different conditions: free drawing (*draw what you want*: the experimenter told the subject that they could draw whatever they wanted, with no further instructions) and self-portrait conditions (*draw yourself*: the experimenter instructed the subject to draw themselves). The dataset was collected in 2018 and 2019. Further information about this dataset (i.e. methodology, examples of drawings and video footage of hand movements) is given in Martinet et al. (2021). A total of 370 drawings were initially collected for this dataset; however, some data were lost during the recording processes. The final dataset therefore contains 344 drawings. It should be noted that three of the naive subjects are present in both #dataset1 and #dataset2.

b. Experimental design

The experimental design is similar as the one described in Martinet et al. (2021).

Habituation phase: each participant was invited to try a touchscreen tablet (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2, capacitive screen reacting to the conductive touch of human fingers), and draw on it with their fingers to understand how it worked and how to change the colour they used to draw. Drawing with fingers was preferred in order to involve very young children who had not yet mastered the use of a pencil. A panel consisting of ten different colours was displayed at the bottom of the screen, and the participant could select a colour for their drawing by clicking on it. When they clicked on a different colour in the panel, any subsequent drawing production was in that colour. Children were habituated to the touchscreens the day before the tests to avoid overstimulation. Adults were tested immediately after discovering the tablet.

Testing phase: each child was individually tested during school time at school, located in their classroom (for the 3-year-olds) and in the staff room for the older children. The experimenter (LM or MP) stayed during the test but kept her distance during drawing to avoid influencing the children. Adults were tested individually in a room at the research institute (for naive participants) or at the art school (for expert drawers). Adult participants were left alone in the room. A camera recorded the hand movements of all participants while drawing, in case we needed to check for any problem during the session (interruption of the drawing, involuntary tracings, etc.). No time limit was applied.

c. Data analysis

For each drawing, the software developed for these studies (details and software available on demand), allowed us to record the spatial coordinates X and Y of every point of the lines drawn as well as their time coordinates [min; s; ms] and the colour used. This data collection allows us to calculate spatial, temporal and colour metrics per drawing (Table 1). Details of metrics, their calculation and the range of values for each instruction for dataset#1 can be found in the supplementary information section. The number of sequences is correlated to the number of lines in the drawing. We retain the number of sequences as data, as temporal sequences can be analysed using the Hurst index and analysed in parallel with the duration of each sequence.

For dataset#1, we expect different values according to the instruction:

- 1.) The scribbles drawings are not expected to show sharp angles and straight lines, so we predict the observation of a small μ MLE (see Table 1) and a small angle distribution metric, but also a large minimum convex polygon. The drawing session duration and the number of sequences should be low but the drawing speed high. Finally, scribbles should have few colours.

- 2.) We expect that drawings with circles will not show sharp angles (but rather obtuse ones) or straight lines, so a small μ MLE and a small angle distribution metric are predicted. We have no presupposition for the minimum convex polygon. Likewise, we cannot predict the drawing session duration or the number of sequences, whether in terms of speed or the number of colours used.
- 3.) We expect drawings with different angles to have large angle distributions as well as large distributions of lines lengths, meaning an intermediate μ MLE. We have no hypothesis for the minimum convex polygon. The number of sequences should be high, corresponding to the different angles/lines but we cannot predict the duration of the drawing session, the drawing speed or the number of colours used.
- 4.) We expect drawings of a starry sky to contain different angles. We expect long distances between stars but short lines to draw stars, indicating a high μ MLE. The minimum convex polygon, the number of sequences and the drawing session duration should all be high. The number of colours should be low and the colours should be light unless the participants drew a dark sky.
- 5.) We expect drawings with fan patterns to have sharp angles and long lines. We have no prediction for the minimum convex polygon. Speed should be high given the findings of literature on fan patterns^{2,24}. The number of sequences should be high in relation to the different angles/lines. However, we have no prediction for the duration of the drawing session or for the number of colours used.

d. Statistical analysis

As preliminary results, we analysed whether and how each metric differs between drawings for each instruction. This was achieved using ANOVA, or a Kruskal-Wallis test when ANOVA conditions could not be met (i.e., non-Gaussian distribution). Pairwise comparisons were realised when ANOVA or Kruskal-Wallis tests were significant (the “TukeyHSD” function of the R base package and the “kruskalmc” function of the “pgirmess” package⁵⁸, respectively). Only differences with $p < 0.05$ were reported.

Analyses were carried out in three main steps using correlation analyses and principal component analyses: 1.) Analysis of dataset#1, 2.) analysis of dataset#2 following the same procedure as in step 1, 3.) a final combined analysis of dataset#1 and #2 in order to generalise our results.

First step on dataset#1: a correlation analysis was carried out with the R package “PerformanceAnalytics” (Carl et al., 2010; Peterson et al., 2018) on all metrics to identify those that were highly correlated. Following this correlation analysis, we removed the drawing duration proportion metric, which was highly correlated to the Gini index. Most of the variables were also influenced by the drawing test duration metric. We therefore decided to correct all the variables by carrying out a linear regression, using each metric as a response variable and the drawing test time as a factor. We took the residuals from this linear regression, which corresponds to any variance of each point that was not explained by the drawing test duration. A Principal Component Analysis ^{61,62} with Varimax rotation was then carried out using the R package ‘Psych’ ^{63,64}. Variables are automatically corrected to be comparable (mean and range). Three dimensions were set up. Varimax rotation is used to simplify the expression of a particular subspace in terms of just a few major items each. This means that the Varimax rotation applies the variables to each dimension in turn in order to maximise the explained variance. We examined the loadings of each variable on each dimension. The loadings are interpreted as the coefficients of the linear combination of the initial variables from which the principal components are constructed. The loadings are equal to the coordinates of the variables divided by the square root of the eigenvalue associated with the component. We removed variables for which loadings are inferior to 0.4, which indicates a weak contribution to each dimension and to the total explained variance. After this removal, we renewed PCA with Varimax rotation and analysed the results.

Second step on dataset#2: We followed the procedure described for dataset#1.

Third step on dataset#1 and dataset#2: We compared the variables contributing to each of the three dimensions for dataset#1 and dataset#2. We removed the variables that did not contribute to the same dimensions between dataset#1 and dataset#2 and performed a PCA with Varimax rotation on both datasets. These results were then compared to assess whether our procedure might be generalised to any dataset. PCA dimensions were compared via a Pearson correlation test. Finally, the same PCA procedure was used to combine both datasets and compare the scribbles made by adults following the instruction we gave (« draw something with scribbles ») and the “natural” scribbles of 3-year-old children. A Mann-Whitney test was performed to compare both categories in each dimension.

All analyses were carried out using Rstudio 1.4.1103 ^{65,66}.

Results

Preliminary results on dataset#1: the details of tests and pairwise comparisons between instructions (dataset#1) for each metric are available in the supplementary material section. Three metrics showed similar values for the five instructions given to participants: angle distribution metrics, the mean colorimetric profile and the standard deviation of the colorimetric profile. The minimum convex polygon was lower in drawings composed of different angles than in fan pattern drawings. The number of colours was higher for the fan pattern instruction than in the different angles drawing. The scribble instruction results are different from all others in terms of drawing test time (i.e. lower), entropy (i.e. lower), number of sequences (i.e. lower), the Gini index (i.e. lower for all instructions except the starry sky) and the Hurst index (i.e. higher except in comparison to the fan pattern instruction). The starry sky instruction is linked to a longer drawing distance compared to all other instructions except fan patterns, whilst the different angles instruction is linked to a shorter drawing distance. The different angles instruction has a lower drawing time proportion and a higher Gini index than all other instructions except “draw circles”.

First step on dataset#1: The results for the correlation analyses of metrics for the first dataset are shown in Figure 2. Drawing duration proportion is highly correlated ($r=-1$) with the Gini Index. We decided to remove drawing duration proportion as a variable. Moreover, as we could expect, ten of the 13 variables are correlated with drawing session duration. The latter is the most correlated with other variables. We then corrected all remaining variables according to the drawing duration. The correlation chart describing these corrected metrics is shown in Figure S15. This step was followed by a PCA with Varimax rotation. The total explained variance is 55.7% (Dimension 1 = 24.5%, Dimension 2 = 17.2%, Dimension 3 = 14%). Three variables have a loading below 0.4 for all three dimensions (details in Table S1, supplementary material), namely the angles distribution metric, the drawing session duration and the standard deviation of the colorimetric profile. We therefore removed these three variables from the dataset and carried out another Varimax rotation PCA. The total explained variance of this new PCA is 69.8% (dimension 1 = 31.9%, dimension 2 = 20.7, dimension 3 = 17.2%). Each metric shows a higher loading value in one dimension, unlike the two others (Table 2). We can thus attribute each metric to one dimension as follows: Dimension 1 (μ MLE, drawing speed, Gini metric, entropy metric, drawing distance), Dimension 2 (minimum convex polygon, mean colorimetric profile, number of colours), Dimension 3 (Hurst index, number of sequences). Examples of dataset#1 drawings scaled to the three dimensions are given in Figure S16a-c.

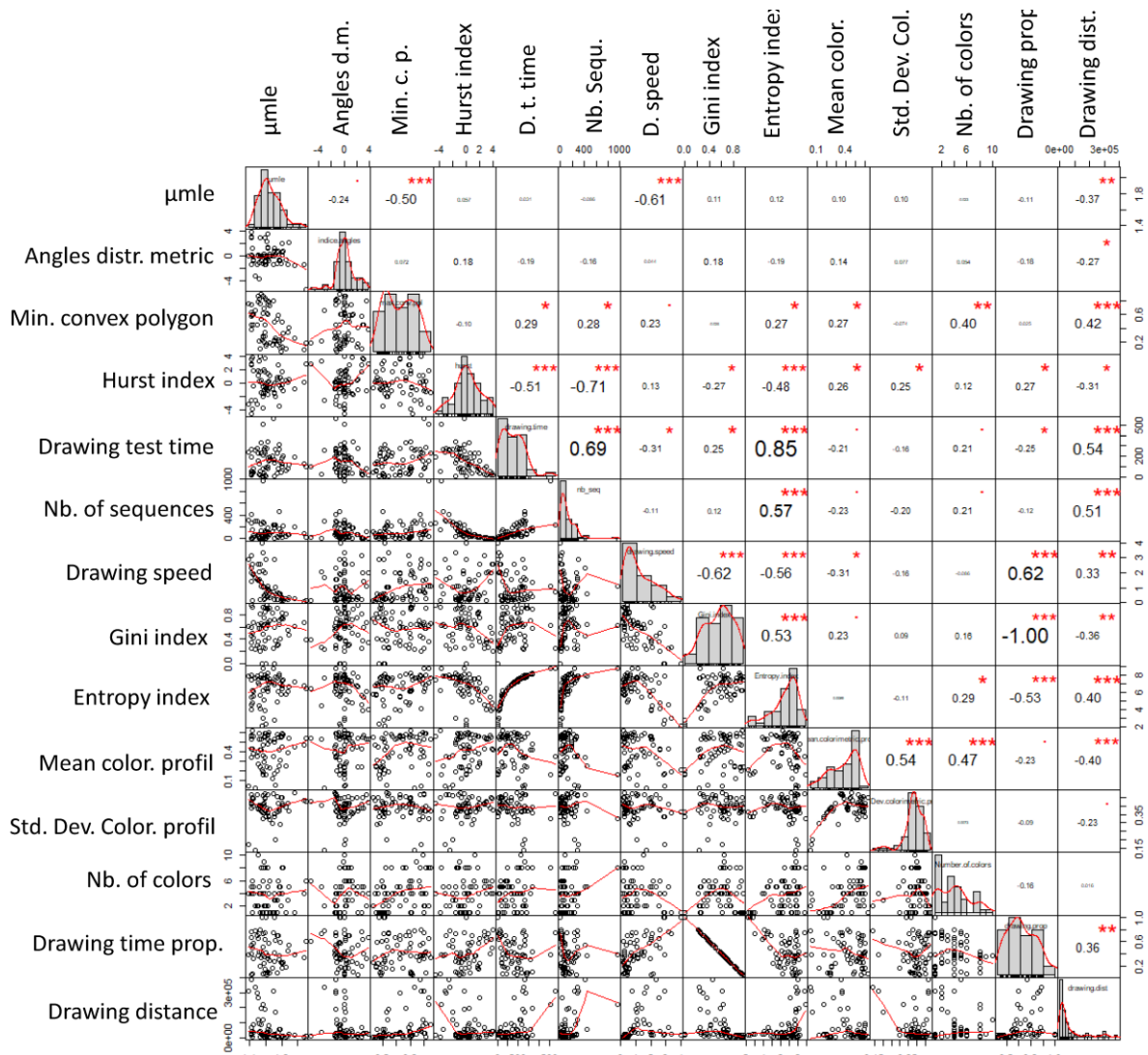


Figure 2: correlation chart of the 14 metrics for dataset#1. The diagonal of the graph provides the distribution of each metric, whilst the bottom left and the top-right provide the correlation figure and the correlation coefficient between two metrics, respectively. Statistical value is given with the correlation coefficient: * means $p < 0.05$, ** means $p < 0.01$, and *** means $p < 0.001$.

Second step on dataset#2: We followed the same steps as those described for dataset#1. Results for the correlation analyses of metrics of the second dataset are shown in Figure S17. The results of dataset#2 are comparable to those of dataset#1: the drawing duration proportion was highly correlated to the Gini index, and was therefore removed to correct other variables by the drawing duration. The correlation chart depicting these corrected metrics is shown in Figure S18. This step was followed by a Varimax rotation PCA. The total explained variance is 55.3% (dimension 1 = 18.7%, dimension 2 = 18.4%, dimension 3 = 18.2%). Like in dataset#1, the angle distribution and the drawing session duration have a loading below 0.4 for each

dimension. However, the standard deviation of the colorimetric profile has a loading equal to 0.87 for dimension 1. We removed this variable to ensure a fit with the results of dataset#1; this does not change the variance explained (64.6% with versus 64.7% without) or the contributions of other metrics to the different dimensions. We carried out another Varimax rotation PCA. The total explained variance of this new PCA is 64.7% (dimension 1 = 24.2%, dimension 2 = 23.5%, dimension 3 = 17.1%). Each metric shows a loading value higher in one dimension, unlike the two others (Table 2). We can thus attribute each metric to one dimension as follows: Dimension 1 (μ MLE, drawing speed, drawing distance, minimum convex polygon), Dimension 2 (mean colorimetric profile, number of colours), Dimension 3 (Hurst index, number of sequences, Gini metric, Entropy metric).

Third step on dataset#1 and dataset#2: Seven of the ten retained variables belong to the same dimension in the PCAs carried out for Dataset#1 and Dataset#2 (Table 2), and have quite similar loadings. However, three variables (minimum convex polygon, entropy index and Gini index) are not found in the same dimensions in the two datasets. When these three variables were removed from the PCA, we obtained similar results with comparable loadings per metric (Table 3) and 77.5% of the variance was explained for dataset#1 (dimension 1 = 31.9%, dimension 2 = 23.2%, dimension 3 = 22.4%) , whilst 77% of the variance was explained for dataset#2 (dimension 1 = 31%, dimension 2 = 26.1%, dimension 3 = 19.9%). Reducing the selection of variables from ten to seven does not substantially change the classification of drawings, as the values of the three PCA dimensions are highly correlated between the first and the third step in dataset#1 (RC1: $t = 18.942$, $df = 63$, $p < 0.0001$, $r = 0.92$; RC2: $t = 14.357$, $df = 63$, $p < 0.0001$, $r = 0.87$; RC3: $t = -15.764$, $df = 63$, $p < 0.0001$, $r = 0.89$). When we combined both datasets, we obtained similar results to those obtained in separate analyses of dataset#1 and dataset#2, with 77.5% of the variance explained (dimension 1 = 30.2%, dimension 2 = 25%, dimension 3 = 20.2%; Table 3). Examples of dataset#1 drawings scaled on the three dimensions are given in Figure 3a-c. Finally, we compared the three dimensions between scribbles of dataset#1 (made by adults) and scribbles of dataset#2 (made by 3-year-old children only, as scribbles become rare from the age of four onwards). Mann-Whitney tests showed that Dimension 1 differs between dataset#1 and dataset#2 ($w=29$, $p=0.0066$) whilst there is no significant difference between the two sets for dimension 2 ($w=107$, $p=0.122$) and dimension 3 ($w=105$, $p=0.152$) (Figure 4). Moreover, Figure 4 shows that data are more dispersed for the three dimensions in adults' scribbles compared to children ones. Mann-Whitney test for each metrics in each dimension are detailed in the supplementary material (Table S2).

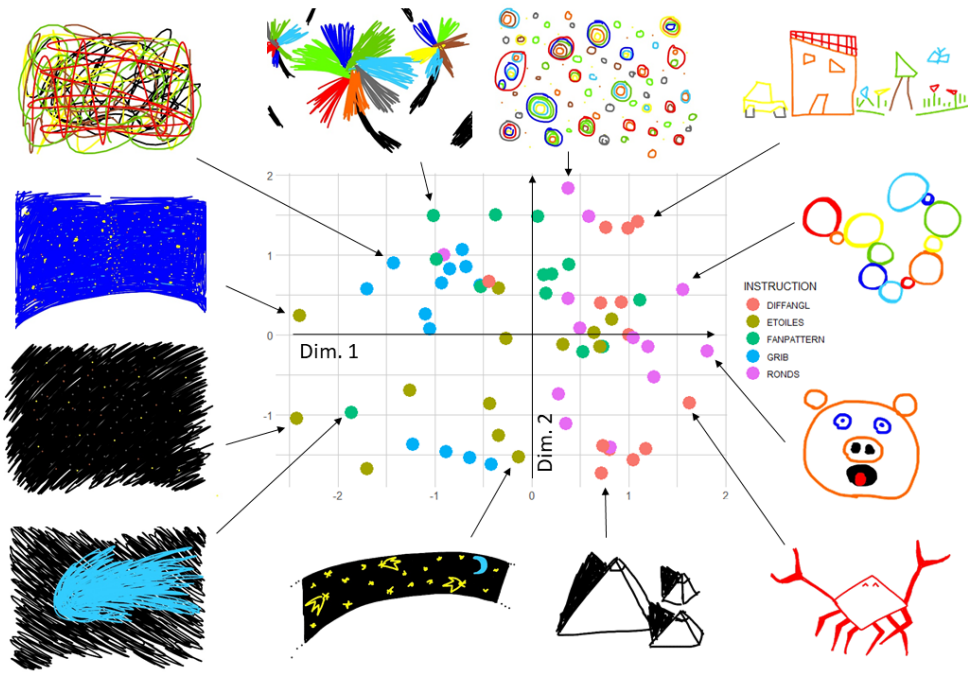


Figure 3a: Examples of Dataset#1 (third step) drawings according to Dimension 1 and Dimension 2, as provided by the PCA. Dimension 1 may represent representativeness in drawing whilst Dimension 2 may represent diversity in drawings.

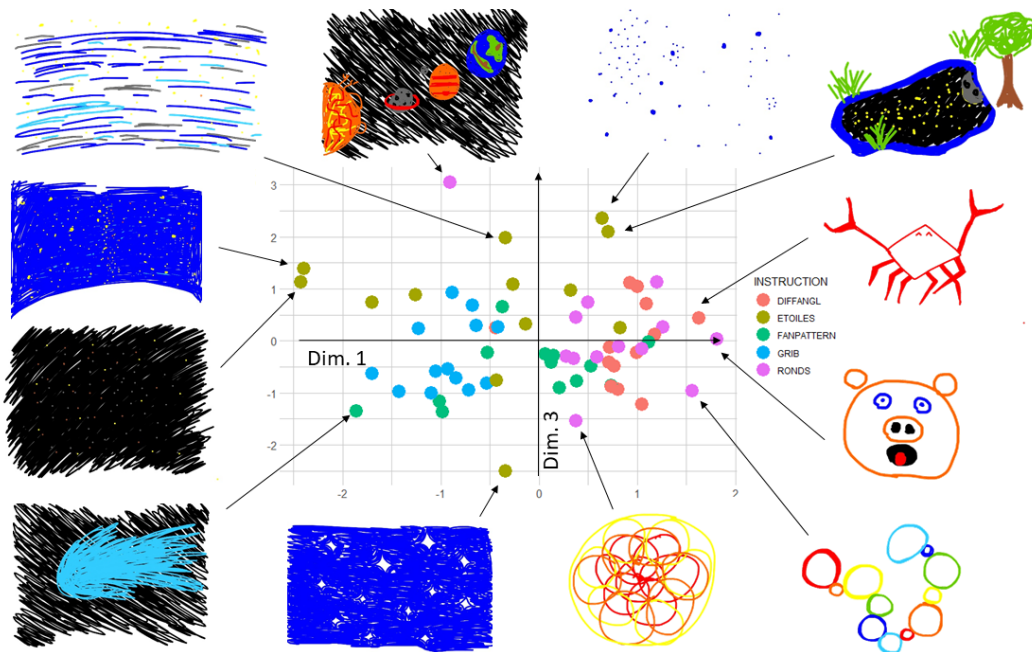


Figure 3b: Examples of Dataset#1 (third step) drawings according to Dimension 1 and Dimension 3, as provided by the PCA. Dimension 1 may represent representativeness in drawing whilst Dimension 3 may represent periodicity in drawings.

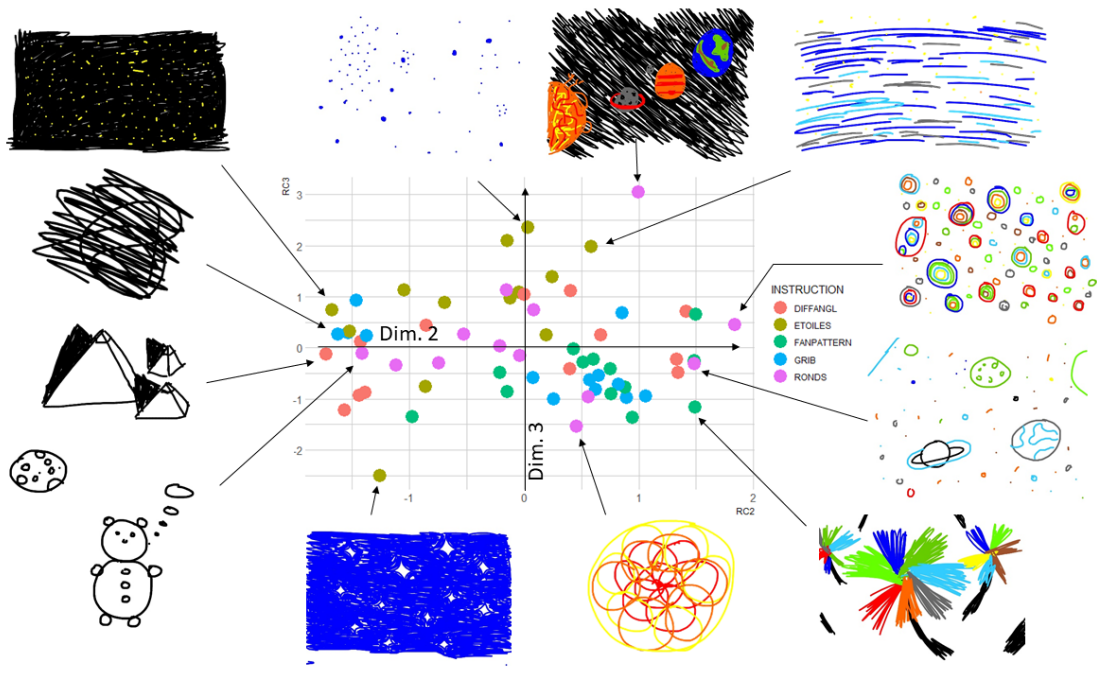


Figure 3c: Examples of Dataset#1 (third step) drawings according to Dimension 2 and Dimension 3, as provided by the PCA. Dimension 2 may represent diversity in drawing whilst Dimension 3 may represent periodicity in drawings.

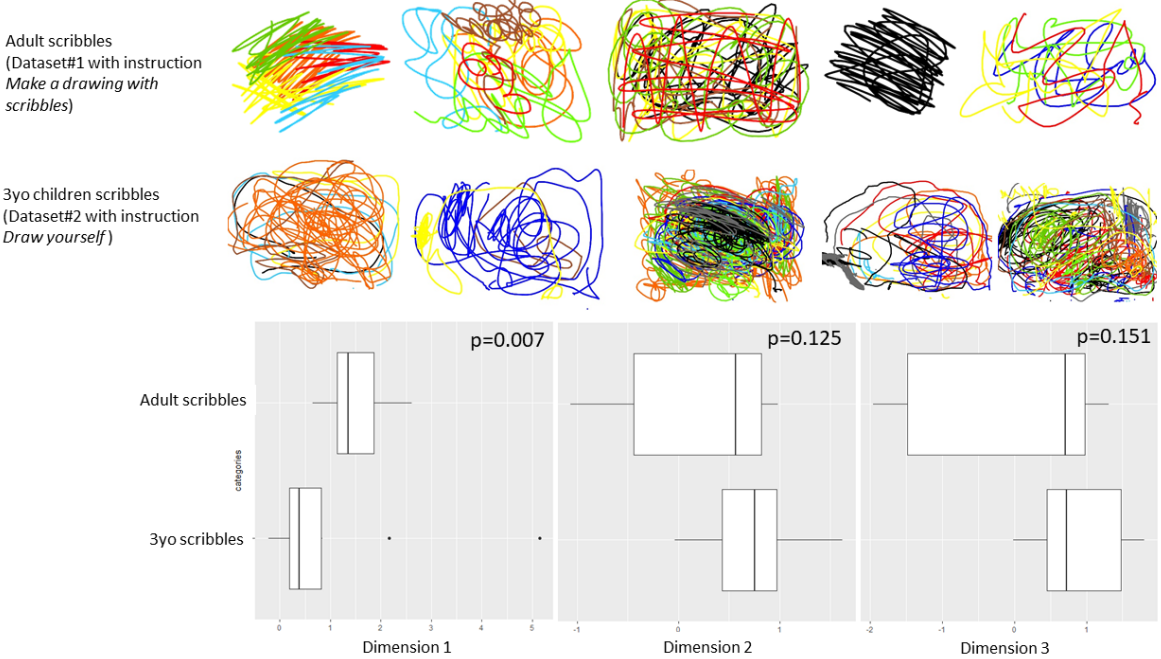


Figure 4: Examples of scribbles for dataset#1 (adults) and dataset#2 (3-year-old children) and boxplot of dimensions 1 to 3 for these two categories.

Discussion

We used several mathematical metrics to characterise drawings and assess whether they can give cues about representativeness and intention. Principal component analyses helped us to organise these metrics in three dimensions in a first dataset. The analyses on this first dataset were then confirmed with the analyses carried out on a second dataset, thus allowing us to generalise our method of characterising drawings and the subsequent results. This study is an important step in the analysis of drawings as it is the first time that such a high number of mathematical indices are used to analyse the cognitive processes behind creativity. This discussion seeks to understand which process corresponds to each dimension provided by the PCA.

The choice of two datasets that each involve different drawing instructions proves to be the right protocol to obtain variations in each metric. The colours used to draw are influenced by the instructions we gave. The choice of these instructions was designed to produce a variety of shapes and lines influencing spatiotemporal metrics. However, variation in used colours is still high and two colour metrics (i.e. number of colours and mean colorimetric profile) partly explains variance in different dimensions. Nevertheless, the standard deviation of the colorimetric profile does not provide any information about the drawing, as the choice of colours variable is more a question of personal preference than characteristic of any representative process. Similarly, and contrary to what we expected, the angles distribution metric does not differ between the instructions of dataset#1 and did not play any role in explaining variance in the PCAs of dataset#1 and dataset#2. This result might be due to the issuing of an unsuitable instruction, thus leading to false negatives. However, as we obtained similar results between dataset#1 and dataset#2, the explanation should be more in the drawing process itself where, whatever the objects, their representation produces similar angle distributions. The study of turning angles is often used when assessing the optimality of animal movements, but it is limited to differentiating random movements from goal-oriented and directed ones^{29,41,42}. The scale used to analyse angles in our study is possibly too limited to obtain significant results. After correcting all variables according to the drawing session duration, no difference is seen in the latter between instructions, nor did it play a role in explaining PCA variance in either of the datasets. This means that representativeness and aestheticism in drawing are not directly linked to drawing duration but more to all the other processes (e.g. the drawing traits length and the number of sequences depending on the number of objects) that influence the duration of drawing. In Dataset#1, scribbles were the only instruction leading solely to non-representative drawings, despite the fact that the definition of

a scribble can be unclear. Other instructions mainly resulted in the drawing of objects or animals. It is difficult to assess whether it is the instruction itself or the process of drawing scribbles that leads to non-representative drawings, but scribbles show the highest difference with other instructions for many metrics in dataset#1. Although it is possible to draw a figurative drawing using scribbles, no such cases were observed in our study. This is certainly because participants had toddler scribbles in mind when we gave the instruction. Observation of these differences shows that the process of drawing scribbles results in the rapid drawing of a small number of short sequences of relatively random lines.

Closer evaluation of the principal components analyses shows that some metrics obtained a high loading but were not found in the same dimensions in dataset#1 and dataset#2. This was the case for the minimum convex polygon, which does not show substantial differences between the instructions of dataset#1. We would expect the minimum convex polygon to be a proxy of representativeness or aestheticism by filling the screen, but toddlers are reported to fill the paper sheet when drawing ^{2,12,17}. Indeed, the minimum convex polygon was also shown to be high with scribbles or other non-representative drawings (see Figure 3), which indicates that this metric cannot be used to understand the cognitive processes underlying drawing. The Gini index and entropy index, both measured on temporal sequences of drawing, also belong to different dimensions in dataset#1 and dataset#2. The Gini index is a measure of the inequality of temporal drawing sequences, whilst entropy is a measure of the temporal uncertainty of drawing. However, the duration of drawing sequences is linked to the lengths of the drawing lines for each object in the drawing. This can be seen in the different correlation charts, where temporal metrics are correlated to spatial ones. Given this uncertainty in the explanation of the dimensions of dataset#1 and dataset#2, we preferred to remove these two metrics. However, PCA results did not change after this removal and the explained variance was higher. The Gini index and entropy index are increasingly used in different studies, despite a continuing debate about their interpretability ^{55,67,68}. Future works are required to assess their potential role in the domain of drawing and other behaviours. Moreover, the Gini index is ineffective when calculated on binary sequences and does not provide any new information. Perhaps considering the cumulative sum of drawing and non-drawing could lead to meaningful results.

After the different steps of selection of variables, we reached similar results between dataset#1 and dataset#2 and explained almost 80% of variance. This result is important because it means that whatever the dataset and the given instructions, our method could be applied to

analyse drawings. However, this method is only valuable if the dimensions of the PCA have a biological or psychological aspect.

Dimension 1 is composed of the drawing speed, the drawing distance and the μ MLE (see Table 1 for definitions). In movement ecology, the drawing speed is a proxy of goal directedness, i.e. the intention of an animal to go to a specific place that it knows^{41,56,57,69}. The higher the motivation to go to a place where resources can be found, the higher the speed. In our drawing context, speed can be a proxy of intentionality and of mastering, meaning that participants who are familiar with what they are drawing do it faster. We observed this tendency in dataset#2, where the mean drawing speed of experts was 0.73 ± 0.37 compared to 0.56 ± 0.27 for naive participants. However, drawing speed is also high for scribbling toddlers or for someone who wants to fill the screen (or paper sheet) with one colour, and in both of these cases, drawing speed is linked to drawing distance. This is what we obtained in our results (Tables 2 & 3, Figure 3) with many participants colouring the starry sky blue or black. This adds detail without providing a better representativeness of the drawing. On the other hand, μ MLE is negatively correlated to drawing speed and drawing distance, and is used in ecology to evaluate the efficiency of animal trajectories. In an environment with different food resources, an animal can move randomly or go directly to the resources area. In this case, movements are efficient and optimal and μ MLE is high. We qualified these movements as a Lévy flight (or walk)^{29,70}. In our drawing study, a high μ MLE indicates an efficient drawing, i.e. it is representative, intentional and with few details (see Figure 3). It is easy to recognise what the drawer wanted to draw, but drawing distance is low and indicates few details. If we could link an ability to this Dimension 1, it would be efficiency. In this way, Dimension 1 can be named efficiency. Indeed, efficiency can be defined as an ability to avoid wasting materials, energy, efforts, money, time, etc. Efficiency is different from effectiveness, which is the capability of producing a desired result or the ability to produce desired output^{71,72}. In our case effectiveness is representativeness, whilst efficiency is representativeness combined with few details (i.e. optimality). Efficiency might be illustrated in a sketch^{73,74} and by emoticons^{75,76}. Importantly, the scribbles made by adults showed higher values of Dimension 1 than scribbles by toddlers. This is particularly due to higher drawing speed in adults (Table S2). The number of sequences is also higher for adults' scribbles, but the number of colours is lower. This may indicate that even if these drawings do not have an external representativeness, they may have an internal representativeness for adult participants.

The second PCA dimension is composed of the number of used colours and the mean colorimetric profile. Adding and diversifying colours facilitates the differentiation of objects in a drawing. When there are few details in a drawing, one colour is enough to identify the object but when more details are present, the use of colours makes it easier to identify the different objects. This principle can be observed in Figure 3a, for instance, with the drawings of the crab (one colour) and the house (different colours to identify the flowers, the car, the butterfly, etc.). Colours facilitate the visual perception of objects and materials in our environment ^{77,78}. In our drawing datasets, this cognitive process is found to make drawings easier to interpret and increase their external representativeness. This second dimension can be named “diversity” to represent the diversity of colours in terms of number and panel.

Finally, the third PCA dimension is composed of the Hurst index and the number of sequences, both of which are temporal metrics. The number of sequences is directly dependent on the number of lines drawn (whatever their length), i.e. the number of forms that are either objects or components of an object. The Hurst index is a proxy of the temporal complexity of a drawing. It indicates how far the timeline of a sequence can predict another sequence. For instance, two drawings can contain the same number of sequences, but one will be considered as deterministic (small values of dimension 3, not complex, for analyses of Dataset#1) if the duration of sequences is similar (because the drawn objects are all similar), whilst the other will be considered stochastic (high values of Dimension 3) and more complex if the sequences cannot be predicted because they followed an unpredictable pattern (which is the intention when representing different objects). Such examples can be seen for instance in Figures 3b and 3c (a drawing that resembles a rose window and the drawing with planets) for Dataset#1. Here, higher values in Dimension 3 seem to indicate higher anticipation and intention in drawing. Dimension 3 can be named “sequentiality”. When the complexity of the drawing increases to make something representative, the number of sequences and the stochasticity increase.

Our study showed that we can identify three dimensions in drawing: efficiency, diversity and sequentiality. All three dimensions facilitate our understanding of drawing representativeness. This statement can be observed in Figure 3, where we can easily determine the intentions of participants, even if the drawing is abstract (i.e. there are no identifiable objects). The combination of these three dimensions allows us to judge the representativeness of a drawing even if it does not seem to represent anything for the observer. The perspectives of this study are therefore noteworthy: we can use this method to evaluate the intentions behind a drawing that has no meaning for us, as adults with no psychopathologies. In this respect, we identify three perspectives: 1) We can study the ontogeny of drawing in children and identify with

precision the premises of the different steps observed during the drawing learning process (action representation, romancing and guided elicitation). 2) We can also extend the study to other species, particularly great apes, which are known to draw, and assess whether their drawing is motivated by internal representativeness²⁰. 3) Finally, the method can be extended to psychopathologies such as autism^{79,80} and even certain emotional disorders^{21,81}, or simply be used to measure learning difficulties and creativity^{22,82}. New technologies combined with new mathematical methods appear to be very useful and provide new possibilities to test mental states, intentions and emotions beyond these representations⁸³. However, the meaning of each dimension has been assessed in visual terms only and is therefore not completely objective. New metrics could ultimately lead to the discover new cognitive dimensions and meanings, or reinforcing the discoveries of this study. Finally, the participants who have drawn for this study are all from France. To make these results universal, it could be useful to collect drawings from around the world.

Acknowledgments

We thank the director and the teachers of the school for giving us access to their classrooms and showing interest in our research project. We are grateful to all the participants and to the parents of all the children, who accepted with enthusiasm to contribute to our study. Thanks also to Sarah Piquette, who provided help for the ethical components of this project.

Declarations

Funding: This project has received financial support from the CNRS through the MITI interdisciplinary programs and an IDEX Exploratory Research program from Strasbourg University.

Conflicts of interest: The authors declare having no conflicts of interest.

Authors' contribution: MP and CS supervised the study. MP and LM collected data. LM, BB and CS analysed data. CS wrote a first draft. All authors worked on the paper and approved the final version.

Ethics approval: The study was approved by the research ethical committee of Strasbourg University (Unistra/CER/2019-11).

Consent to participate: Informed consent was obtained from all adult participants and from a parent or legal guardian for children. Informed consent for publication of identifying images in an online open-access publication has been obtained too.

Data availability: The datasets generated during and/or analysed during the current study are available in the Zenodo repository, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5387520>

References

1. Freeman, N. H. *Drawing: Public instruments of representation*. (1993).
2. Kellogg, R. *Analyzing children's art*. (McGraw-Hill Humanities, Social Sciences & World Languages, 1969).
3. Luquet, G.-H. *Le dessin enfantin*.(Bibliothèque de psychologie de l' enfant et de pédagogie.). (1927).
4. Golomb, C. *The child's creation of a pictorial world*. (Psychology Press, 2003).
5. Thomas, G. V. & Silk, A. M. *An introduction to the psychology of children's drawings*. (New York University Press, 1990).
6. Piaget, J. & Inhelder, B. *The psychology of the child*. (Basic books, 2008).
7. Willats, J. *Making sense of children's drawings*. (Psychology Press, 2005).
8. Gardner, H. *Artful scribbles: The significance of children's drawings*. (1981).
9. DeLoache, J. S. Symbolic Functioning in Very Young Children: Understanding of Pictures and Models. 18 (1991).
10. Costall, A. The myth of the sensory core: The traditional versus the ecological approach to children's drawings. (1995).
11. Cox, S. Intention and Meaning in Young Children's Drawing. *Int. J. Art Des. Educ.* **24**, 115–125 (2005).
12. Matthews, J. Children drawing: Are young children really scribbling? *Early Child Dev. Care* **18**, 1–39 (1984).
13. Matthews, J. *The art of childhood and adolescence: The construction of meaning*. (Taylor & Francis, 1999).
14. Adi-Japha, E., Levin, I. & Solomon, S. Emergence of representation in drawing: The relation between kinematic and referential aspects. *Cogn. Dev.* **13**, 25–51 (1998).
15. Cox, M. V. *Children's drawings of the human figure*. (Psychology Press, 2013).
16. Gardner, H. & Wolf, D. The symbolic products of early childhood. (1987).
17. Wolf, D. Drawing the boundary: The development of distinct systems for spatial representation in young children. *Spat. Cogn. Brain Bases Dev. Hillsdale N. J. Lawrence Erlbaum Assoc.* 231–245 (1988).
18. Wolf, D. & Perry, M. D. From endpoints to repertoires: Some new conclusions about drawing development. *J. Aesthetic Educ.* **22**, 17–34 (1988).

19. Martinet, L. *et al.* New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Sci. Rep.* **11**, 3860 (2021).
20. Martinet, L. & Pelé, M. Drawing in nonhuman primates: What we know and what remains to be investigated. *J. Comp. Psychol.* (2020).
21. Desmet, O. A., van Weerdenburg, M., Poelman, M., Hoogeveen, L. & Yang, Y. Validity and utility of the Test of Creative Thinking Drawing Production for Dutch adolescents. *J. Adv. Acad.* 1932202X21990099 (2021).
22. Urban, K. K. Assessing creativity: the test for creative thinking-drawing production (TCT-DP) the concept, application, evaluation, and international studies. *Psychol. Sci.* **46**, 387–397 (2004).
23. Brown, A. E. & De Bivort, B. Ethology as a physical science. *Nat. Phys.* **14**, 653–657 (2018).
24. Zeller, A. ‘What’s in a picture?’ A comparison of drawings by apes and children. *Semiotica* **2007**, 181–214 (2007).
25. Beltzung, B. *et al.* To draw or not to draw: understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses. *bioRxiv* (2021) doi:10.1101/2021.08.29.458053.
26. Bartumeus, F., Catalan, J., Fulco, U. L., Lyra, M. L. & Viswanathan, G. M. Optimizing the Encounter Rate in Biological Interactions: Lévy versus Brownian Strategies. *Phys. Rev. Lett.* **88**, 97901 (2002).
27. Meyer, X. *et al.* Shallow divers, deep waters and the rise of behavioural stochasticity. *Mar. Biol.* **164**, 1–16 (2017).
28. Meyer, X. *et al.* Oceanic thermal structure mediates dive sequences in a foraging seabird. *Ecol. Evol.* **10**, 6610–6622 (2020).
29. Reynolds, A. M. Optimal random Lévy-loop searching: New insights into the searching behaviours of central-place foragers. *EPL Europhys. Lett.* **82**, 20001 (2008).
30. Ebeling, W., Molgedey, L., Kurths, J. & Schwarz, U. Entropy, Complexity, Predictability, and Data Analysis of Time Series and Letter Sequences. in *The Science of Disasters: Climate Disruptions, Heart Attacks, and Market Crashes* (eds. Bunde, A., Kropp, J. & Schellnhuber, H. J.) 2–25 (Springer, 2002). doi:10.1007/978-3-642-56257-0_1.
31. Kershenbaum, A. Entropy rate as a measure of animal vocal complexity. *Bioacoustics* **23**, 195–208 (2014).
32. Debache, I. *et al.* Associations of Sensor-Derived Physical Behavior with Metabolic Health: A Compositional Analysis in the Record Multisensor Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **16**, 741 (2019).

33. Planckaert, J., Nicolis, S. C., Deneubourg, J.-L., Sueur, C. & Bles, O. A spatiotemporal analysis of the food dissemination process and the trophallactic network in the ant *Lasius niger*. *Sci. Rep.* **9**, 1–11 (2019).
34. Bousquet, C. A. H., Petit, O., Arrivé, M., Robin, J.-P. & Sueur, C. Personality tests predict responses to a spatial-learning task in mallards, *Anas platyrhynchos*. *Anim. Behav.* **110**, 145–154 (2015).
35. Wolf, M. & Weissing, F. J. Animal personalities: consequences for ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.* **27**, 452–461 (2012).
36. Viblanc, V. A., Pasquaretta, C., Sueur, C., Boonstra, R. & Dobson, F. S. Aggression in Columbian ground squirrels: relationships with age, kinship, energy allocation, and fitness. *Behav. Ecol.* **27**, 1716–1725 (2016).
37. Dissanayake, E. *Homo aestheticus: Where art comes from and why*. (University of Washington Press, 2001).
38. Matthews, J. *Drawing and painting: Children and visual representation*. (Sage, 2003).
39. Watanabe, S. Animal Aesthetics from the Perspective of Comparative Cognition. in *Emotions of Animals and Humans* (eds. Watanabe, S. & Kuczaj, S.) 129–162 (Springer Japan, 2012). doi:10.1007/978-4-431-54123-3_7.
40. Edwards, A. *et al.* Revisiting Levy flight search patterns of wandering albatrosses, bumblebees and deer. *NATURE* **449**, 1044-U5 (2007).
41. Sueur, C. A Non-Lévy Random Walk in Chacma Baboons: What Does It Mean? *PLoS ONE* **6**, e16131 (2011).
42. Sueur, C., Briard, L. & Petit, O. Individual Analyses of Lévy Walk in Semi-Free Ranging Tonkean Macaques (*Macaca tonkeana*). *PLoS ONE* **6**, e26788 (2011).
43. Viswanathan, G., Raposo, E. & da Luz, M. Levy flights and superdiffusion in the context of biological encounters and random searches. *Phys. LIFE Rev.* **5**, 133–150 (2008).
44. Handheld, G. P. S. 6 Estimating Travel Distance and Linearity of Primate Routes. *Spat. Anal. Field Primatol. Appl. GIS Varying Scales* 106 (2020).
45. Mitani, J. & Nishida, T. Contexts and social correlates of long-distance calling by male chimpanzees. *Anim. Behav.* **45**, 735–746 (1993).
46. Papi, F., Liew, H. C., Luschi, P. & Chan, E. H. Long-range migratory travel of a green turtle tracked by satellite: evidence for navigational ability in the open sea. *Mar. Biol.* **122**, 171–175 (1995).

47. Bartumeus, F., Catalan, J., Viswanathan, G. M., Raposo, E. P. & da Luz, M. G. E. The influence of turning angles on the success of non-oriented animal searches. *J. Theor. Biol.* **252**, 43–55 (2008).
48. Benhamou, S. How to reliably estimate the tortuosity of an animal's path:: straightness, sinuosity, or fractal dimension? *J. Theor. Biol.* **229**, 209–220 (2004).
49. Gurarie, E. *et al.* What is the animal doing? Tools for exploring behavioural structure in animal movements. *J. Anim. Ecol.* **85**, 69–84 (2016).
50. Potts, J. R. *et al.* Finding turning-points in ultra-high-resolution animal movement data. *Methods Ecol. Evol.* **9**, 2091–2101 (2018).
51. Gaston, K. J. & Fuller, R. A. The sizes of species' geographic ranges. *J. Appl. Ecol.* **46**, 1–9 (2009).
52. Nilsen, E. B., Pedersen, S. & Linnell, J. D. C. Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? *Ecol. Res.* **23**, 635–639 (2008).
53. MacIntosh, A. The Fractal Primate: Interdisciplinary Science and the Math behind the Monkey. *Primate Res. advpub*, (2014).
54. MacIntosh, A. J. J., Alados, C. L. & Huffman, M. A. Fractal analysis of behaviour in a wild primate: behavioural complexity in health and disease. *J. R. Soc. Interface* (2011) doi:10.1098/rsif.2011.0049.
55. Leff, H. S. Entropy, its language, and interpretation. *Found. Phys.* **37**, 1744–1766 (2007).
56. Byrne, R. W., Noser, R., Bates, L. A. & Jupp, P. E. How did they get here from there? Detecting changes of direction in terrestrial ranging. *Anim. Behav.* **77**, 619–631 (2009).
57. Noser, R. & Byrne, R. W. Change point analysis of travel routes reveals novel insights into foraging strategies and cognitive maps of wild baboons. *Am. J. Primatol.* **76**, 399–409 (2014).
58. Giraudoux, P., Giraudoux, M. P. & MASS, S. *Package 'pgirmess'*. (2018).
59. Carl, P., Peterson, B. G. & Peterson, M. B. G. *Package 'PerformanceAnalytics'*. Retrieved March 29, 2011 (2010).
60. Peterson, B. G. *et al.* *Package 'performanceanalytics'*. *R Team Coop.* (2018).
61. Budaev, S. V. Using principal components and factor analysis in animal behaviour research: caveats and guidelines. *Ethology* **116**, 472–480 (2010).
62. Holland, S. M. Principal components analysis (PCA). *Dep. Geol. Univ. Ga. Athens GA* 30602–2501 (2008).

63. Revelle, W. An overview of the psych package. *Dep. Psychol. Northwest. Univ. Accessed March 3*, 1–25 (2011).
64. Revelle, W. & Revelle, M. W. Package ‘psych’. *Compr. R Arch. Netw.* (2015).
65. Allaire, J. RStudio: integrated development environment for R. *Boston MA* **770**, 394 (2012).
66. Racine, J. S. RStudio: a platform-independent IDE for R and Sweave. (2012).
67. Ben-Naim, A. *Entropy and the second law: interpretation and misss-interpretationsss.* (World Scientific Publishing Company, 2012).
68. Lerman, R. I. & Yitzhaki, S. A note on the calculation and interpretation of the Gini index. *Econ. Lett.* **15**, 363–368 (1984).
69. King, A. J. & Sueur, C. Where Next? Group Coordination and Collective Decision Making by Primates. *Int. J. Primatol.* **32**, 1245–1267 (2011).
70. Viswanathan, G. M. *et al.* Optimizing the success of random searches. *Nature* **401**, 911–914 (1999).
71. Frøkjær, E., Hertzum, M. & Hornbæk, K. Measuring usability: are effectiveness, efficiency, and satisfaction really correlated? in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems* 345–352 (Association for Computing Machinery, 2000). doi:10.1145/332040.332455.
72. Marley, J. E. Efficacy, effectiveness, efficiency. (2000).
73. Mihai, D. & Hare, J. Differentiable Drawing and Sketching. *ArXiv Prepr. ArXiv210316194* (2021).
74. Xu, P. *et al.* Deep learning for free-hand sketch: A survey and a toolbox. *ArXiv Prepr. ArXiv200102600* (2020).
75. Huang, A. H., Yen, D. C. & Zhang, X. Exploring the potential effects of emoticons. *Inf. Manage.* **45**, 466–473 (2008).
76. Takahashi, K., Oishi, T. & Shimada, M. Is☺ smiling? Cross-cultural study on recognition of emoticon’s emotion. *J. Cross-Cult. Psychol.* **48**, 1578–1586 (2017).
77. Castelhana, M. S. & Henderson, J. M. The influence of color on the perception of scene gist. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* **34**, 660–675 (2008).
78. Witzel, C. & Gegenfurtner, K. R. Color Perception: Objects, Constancy, and Categories. *Annu. Rev. Vis. Sci.* **4**, 475–499 (2018).
79. Charman, T. & Baron-Cohen, S. Drawing development in autism: The intellectual to visual realism shift. *Br. J. Dev. Psychol.* **11**, 171–185 (1993).

80. Jolley, R. P., O'Kelly, R., Barlow, C. M. & Jarrold, C. Expressive drawing ability in children with autism. *Br. J. Dev. Psychol.* **31**, 143–149 (2013).
81. Nolzco-Flores, J. A., Faundez-Zanuy, M., Velázquez-Flores, O. A., Cordasco, G. & Esposito, A. Emotional State Recognition Performance Improvement on a Handwriting and Drawing Task. *IEEE Access* **9**, 28496–28504 (2021).
82. Lee, A. & Hobson, R. P. Drawing self and others: How do children with autism differ from those with learning difficulties? *Br. J. Dev. Psychol.* **24**, 547–565 (2006).
83. Watanabe, S. & Kuczaj, S. *Emotions of Animals and Humans: Comparative Perspectives*. (Springer Science & Business Media, 2012).

Type	Metric	Definition	Meaning ('it measures') or expectation ('we expect')	References
Spatial metrics	μ MLE	Spatial fractal metric, maximum estimate power coefficient of the drawing length distribution	It measures drawing efficiency, from random trajectories to optimal trajectories indicating a representativeness	40-43
	Drawing distance	Total distance of drawing, from the first point to the last, in pixels	We expect long distance drawings to be more representative or contain more details than short distance drawings. However, it can also mean deterministic drawing, (i.e no intention to represent anything).	44-46
	Angle distribution metric	PCA dimension based on the coefficients of the cubic survival function of angle distribution (from 0° to 180°)	We expect homogeneous distributions of angles (low values of this metric) to indicate randomness (scribbles) whilst heterogeneous distributions should be linked to goal directedness (i.e. representativeness)	47-50
	Minimum convex polygon	Minimum polygon covering all drawing points and giving the percentage of drawing cover on the screen	We expect high covering to inform about representativeness but also the play /emotional interest in drawing	51,52
Temporal metrics	Hurst index	Temporal fractal metric, measure of the long-term process in temporal sequence	It measures the temporal complexity of drawings sequences, from deterministic to complex	53,54

Temporal Gini index	Measure of the inequality among values of temporal drawing sequences distributions	We expect high Gini Index, meaning unequal distribution of sequences to give an idea about intention and anticipation in drawing	32,33
Entropy index	Measure of the temporal uncertainty of drawing	It measures the stochasticity or predictability of the drawing state. We expect a high entropy index to be linked to more representative drawing, including anticipation	30,31,55
Drawing test time	Total drawing time (including drawing time and non-drawing time)	We expect a long duration to inform about thinking about drawing, i.e. intention and representativeness	
Number of sequences	Number of drawing and non-drawing sequences during the test	We expect a high number of sequences to give an idea about goal-oriented behaviours, meaning intention and representativeness	
Drawing speed	Speed of drawing, which is the drawing distance in pixels divided by the time of drawing	Speed is used as a measure of goal directedness or knowledge (i.e., in this context, mastering)	41,56,57
Drawing time proportion	Drawing time divided by test time	We expect a high drawing time proportion to inform on thinking about drawing, i.e. intention and representativeness	

Colour metrics	Mean colorimetric profile	Mean distribution of intensity levels for the Red, Green, or Blue colours respectively and after removing the white (screen) colour on the parts covered by drawing	It measures the mean spectrum of colours used, from dark to light.	
	Standard deviation of the colorimetric profile	Standard deviation of the distribution of intensity levels for the Red, Green, or Blue colours respectively, on the parts covered by drawing	It measures the diversity of the spectrum of colours used. It is different from the number of colours as it takes also how much these colours are different.	
	Number of colours	Number of colours used from the ten proposed colours.	We expect the number of used colours to give an idea about the aestheticism but also inform about the play interest in drawing.	¹⁹

Table 2: Loadings of the metrics (after loadings selection) on the three Varimax rotation PCA dimensions of dataset#1 and dataset2. Bold values indicate the dimension in which the metric is retained in each dataset. Grey highlights indicate similar results for both datasets. Axes of Dimension 1 are inverted between Dataset#1 and Dataset#2, but results and correlations are similar.

	Dataset#1			Dataset#2		
	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
μ MLE	0.608	-0.389	-0.303	-0.781		-0.276
min. conv. pol	-0.374	0.783	0.134	0.666	0.404	-0.133
Hurst index		0.214	-0.881	-0.138		-0.911
N° of sequences	-0.131		0.79			0.775
Drawing speed	-0.914		0.104	0.867	-0.111	0.245
Gini index	0.784	0.19	0.211	-0.14	0.42	0.685
Entropy index	0.659	0.363	0.212			0.45
Mean colours profile	0.437	0.711	-0.191	-0.168	0.857	
Number of colours	0.11	0.759	-0.144	0.181	0.607	
Drawing distance	-0.754		0.223	0.708	-0.488	-0.296

Table 3: PCA loadings of the metrics similar to dataset#1 and dataset#2. Bold values indicate dimensions in which the metric is retained in each dataset.

	Dataset#1			Dataset#2			Dataset#1 & #2		
	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
μ MLE	0.812			0.814	-0.117	0.246	0.778	-0.14	0.252
Hurst index		0.248	0.872	-0.143		0.902			0.905
N° of sequences	-0.188	0.112	-0.886			-0.898			-0.896
Drawing speed	-0.894	-0.133		-0.9		-0.216	-0.88		-0.136
Mean colours profile	0.317	0.81		0.291	0.777		0.315	0.777	
N° of colours		0.909		-0.178	0.795		-0.141	0.824	
Drawing distance	-0.793	-0.194		-0.746	-0.371	0.296	-0.775	-0.312	0.21

Supplementary material for the article “Making drawings speak through mathematical metrics”.

Cédric Sueur^{1,2}, Lison Martinet¹, Benjamin Beltzung¹, Marie Pelé³

1: Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France

2: Institut Universitaire de France, Paris, France

3 : Anthro- Lab, ETHICS EA7446, Lille Catholic University, Lille, France

Corresponding author: Cédric Sueur, cedric.sueur@iphc.cnrs.fr; IPHC UMR 7178, 23 rue Becquerel 67087 Strasbourg, France

Details about metrics, their calculation and a value range for each instruction in dataset#1

1. μ MLE

Details about the use of this metric for drawing analysis are developed and detailed in Martinet et al. (2021)¹. μ MLE is the maximum likelihood exponent that results from the analyses of the drawing-line length distribution. This analysis originates from the random walk or Lévy walk theory^{2,3}. The random walk analysis determines whether the distribution of drawing lines follows a power law or an exponential law. If the distribution follows an exponential law, we expect the drawing to be random, meaning that the individual who is drawing does not intend to represent any specific thing. In contrast, a power distribution should reflect a non-random and oriented behaviour, as found for the daily paths of animals in their natural environments (i.e. goal-oriented and efficient movements^{2,3}).

As the coordinate scoring of the drawing was continuous (one point per frame), we focused on active changes^{4,5}: a selection of points was carried out for each drawing via a change-point test under R software (version 1.1.383; CPT, script available in Noser and Byrne, 2014). Two consecutive points (i and j) in the drawing determined a step or a vector of a length L (i, j). We then calculated the step lengths S on Excel with latitude x and longitude y (in pixels). Step lengths between 0 and 10 pixels were removed since they often corresponded to very short, inactive movements such as imprecise lines or finger sideslips, and caused inaccuracies. We then determined whether the step length frequency distribution of a drawing followed a power law ($y = a \cdot x^\mu$) or an exponential law ($y = a \cdot e^{-x/\lambda}$) using the Maximum Likelihood Method^{1,6}. Log-likelihood of the exponential and power distributions for each drawing could then be compared using the Akaike Information Criterion (AIC). We retained the model retained (power or exponential) with the lowest AIC, with a minimum difference of 2 between the two

AICs ⁷. All the drawings produced followed a power law. The Maximum Likelihood Estimate of the power law exponent μMLE was then used to draw conclusions on the efficiency of the representation for each drawing. This index is comprised of values between 1 and 3. The higher the index, the more the line was considered to be directed, well planned and efficient ^{8,9}.

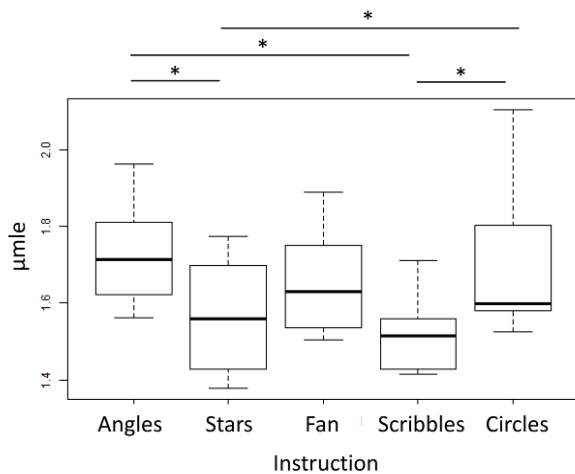


Figure S1: Boxplot of the μMLE according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test gives a $p = 0.0003$.

2. Drawing distance

Drawing distance is the total distance of drawing in pixels, from the first point to the last. Two consecutive points (i and j) in the drawing determined a step or a vector of a length $L(i, j)$. We then calculated the step lengths S on Excel with latitude x and longitude y (in pixels). We calculate the sum of all lengths S as the drawing distance.

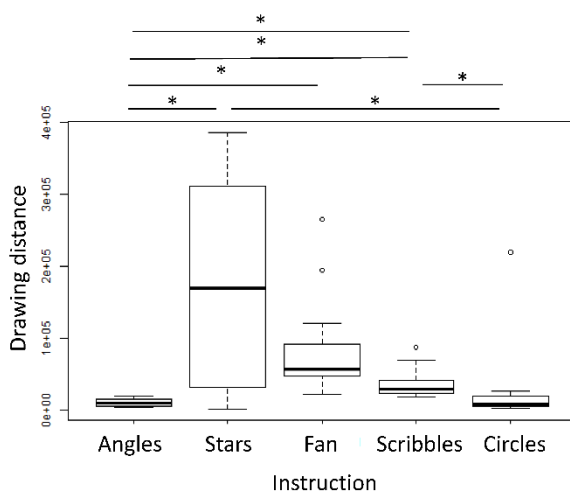


Figure S2: Boxplot of the drawing distance according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. Kruskal-Wallis test gives a p -value < 0.0001 .

3. Angle distribution metric

Goal directedness in animals is assessed by individuals moving in straight lines with limited tortuosity, except when they arrive at a food resource site and start to forage. Drawing intentionality can be considered similar to animal food research efficiency^{1,10}. Analyses of angle distributions (i.e. turning angles) between two trajectories or lengths can be considered as a reliable way to measure goal directedness and tortuosity^{11–13}. A turning angle is the difference in direction for two successive vectors or steps. We followed the same methodology as described in **1. μ MLE**. As coordinate scoring of the drawing was continuous (one point per frame), we focused on active changes^{4,5}: a selection of points was carried out for each drawing via a change-point test under R software (version 1.1.383; CPT). Step lengths between 0 and 10 pixels were removed as they often corresponded to very short, inactive movements such as imprecise lines or finger sideslips, and caused inaccuracies. Function ATAN2 in Excel was then used to calculate the angle (in radians) between two consecutive points and convert radians into degrees. We applied corrections to only retain angles between 0° and 180°, as movements are oriented. We then calculated the survival distribution of angles (i.e. going from 1 or 100% of points to 0) for each drawing. A cubic function was fitted to the distribution. Examples of drawings and the respective distributions are given in Figure S3.

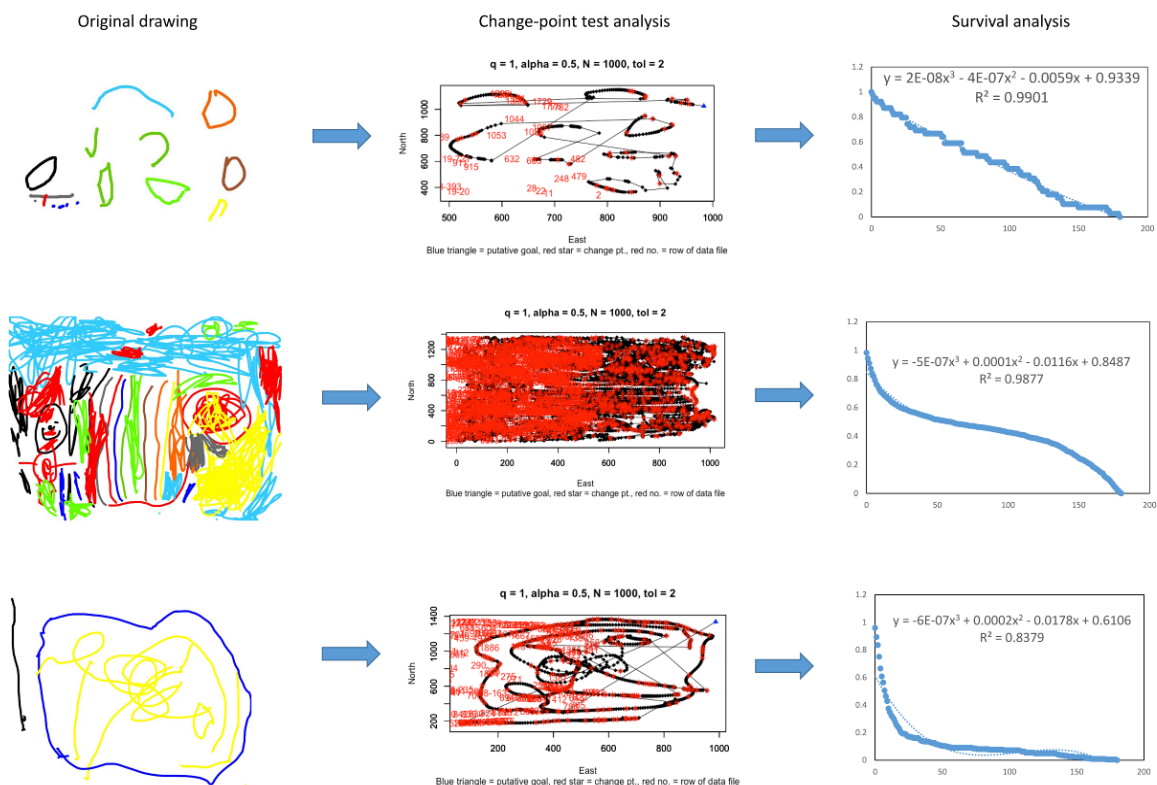


Figure S3: Analysis of angles distribution. The original drawing is transformed into vectors (i.e. trajectories) following the change-point test, and angles are calculated. The angle survival distribution is then fitted with a cubic function.

The cubic function is $y=-ax^3+bx^2-cx+d$. The more the distribution looks like a straight line, the lower the values of a, b and c will be. The more the curve looks like a sigmoid or inversed power function, the higher the values of a, b and c will be. The three constants a, b and c are highly correlated and can be combined using a principal component analysis, where one dimension explained 82% of variance for dataset#1 (dimension 2 = 15%) and 90% of variance for dataset#2 (dimension 2 = 5%). We used the values of dimension 1 as values for the angle distribution metric for each drawing.

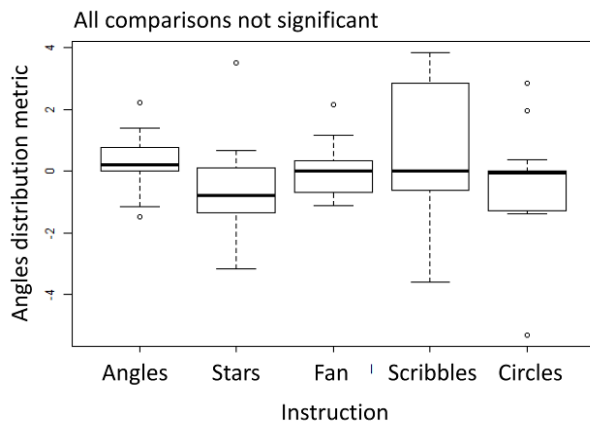


Figure S4: Boxplot of the angle distribution metric according to each instruction. ANOVA testing provides a P value of 0.329

4. Minimum convex polygon

The minimum convex polygon draws the smallest polygon around points with all interior angles measuring less than 180 degrees. Minimum convex polygons are common estimators of home range¹⁴ but represent the cover of drawing on the screen, between 0 (no drawing at all) to 100% (the drawing covered the entire screen). We used the scissors select tool in GIMP 2.10.22^{15,16} to select the minimum convex polygon of drawings.

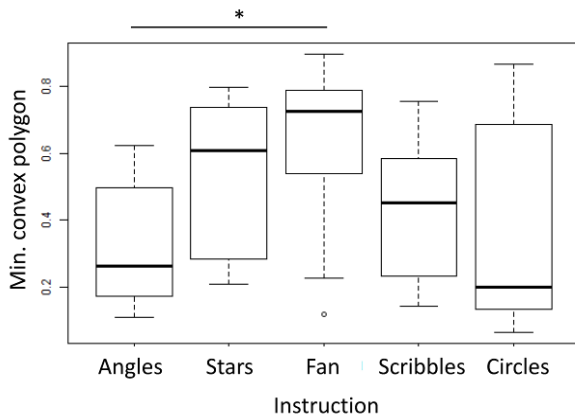


Figure S5: Boxplot of the minimum convex polygon according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA testing provides a P value of 0.016.

5. Hurst index

Details about the calculation of this metric can be found in Beltzung et al. (2021)¹⁷. Fractality or long-term processes can be measured by different methodological approaches, each of which has its own fractal statistical parameter. Here, the difficulty lies in the fact that numerous estimators have been defined for each parameter, yet the effectiveness of these very estimators is still debated in the literature^{18,19}. Studies often focus on one or a small number of estimators without a rigorous reason (such as comparing them). As a consequence, there is no simple and systematic way to estimate the long-memory process, which often results in errors or misleading conclusions in studies²⁰. The most widespread way to assess and quantify long-memory processes in temporal sequences is the estimation of the Hurst exponent H . Indeed, a behavioural state is influenced by previous states following two different scenarios: *persistence* ($H > 0.5$) when a positive correlation occurs, meaning that a long sequence is likely to be followed by a long sequence in the future, and *anti-persistence* ($H < 0.5$) when a long sequence is likely to be followed by a short sequence, i.e. a negative correlation²¹. Here, we combined different methods using a PCA as explained in¹⁷.

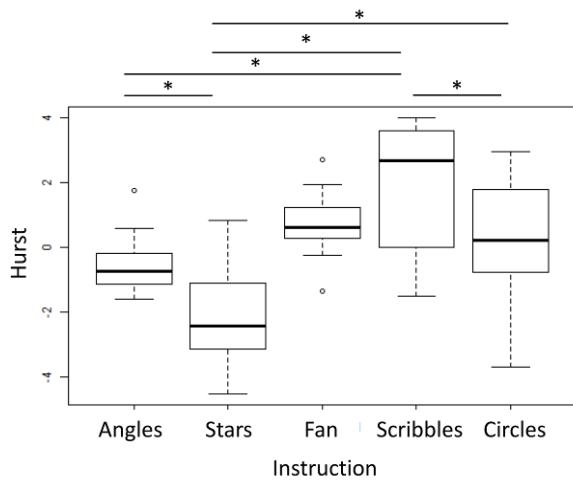


Figure S6: Boxplot of the Hurst index according to each instruction. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test gives a $p < 0.0001$.

6. Temporal Gini index

The Gini index was calculated on the binary sequences (drawing / non-drawing) and describes the uniformity of the distribution. This index is a real number between 0 and 1, where a value of 0 indicates perfect equality, and a value of 1 indicates maximal inequality. The interpretation of this index on behavioural sequences can be questioned, as well as the temporal sequence to consider. The Gini index was calculated by using the R package “DescTools”²².

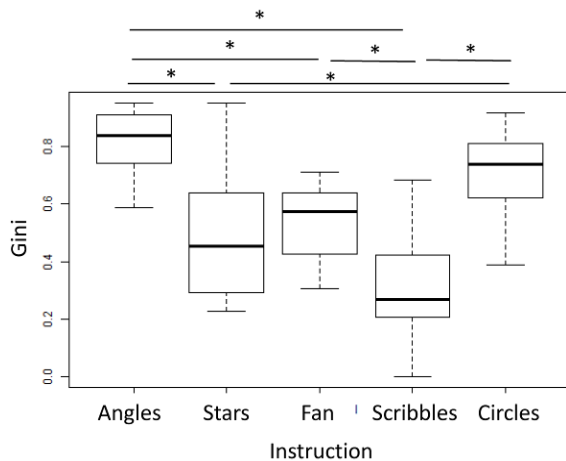


Figure S7: Boxplot of the Gini metric according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p < 0.0001$.

7. Entropy index

The Shannon entropy index ^{23,24} has not been calculated for temporal binary sequences, but for the cumulative sum of drawing time at each second. This index characterises the quantity of information contained in a variable. The higher the quantity of information, the higher the uncertainty (the entropy). For a string of sequences with n distinct sequences, each sequence has a frequency of p. The entropy index was calculated by using the R package “DescTools” ²². The entropy of **Shannon H** is calculated according to the formula:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

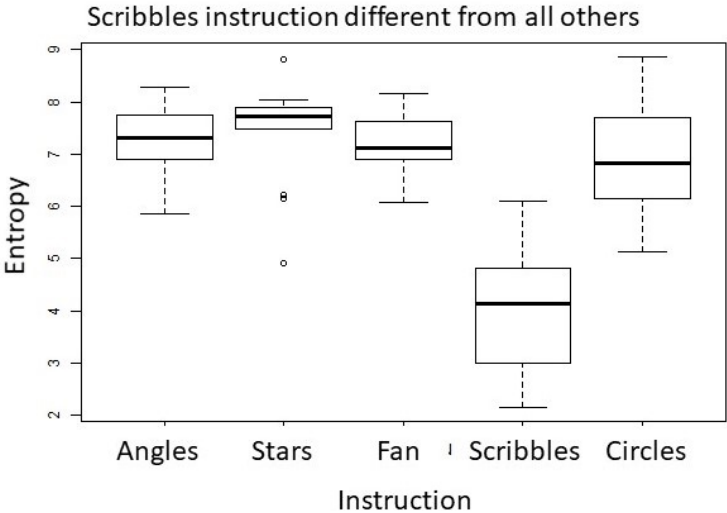


Figure S8: Boxplot of the entropy metric according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with p <0.05. ANOVA test: p <0.0001.

8. Drawing duration

The duration of the drawing session is defined as the time from the first point on the touchscreen to the last, including the time spent drawing and time without drawing between these two points.

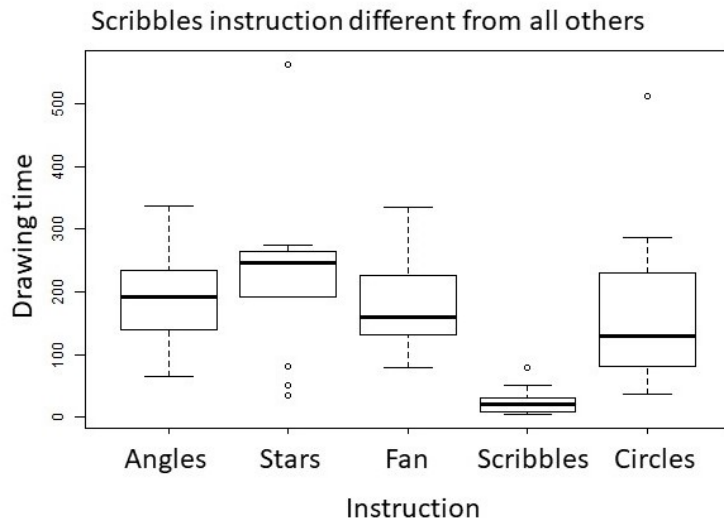


Figure S9: Boxplot of the drawing duration according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p < 0.0001$.

9. Number of sequences

Number of drawing and non-drawing sequences during the test.

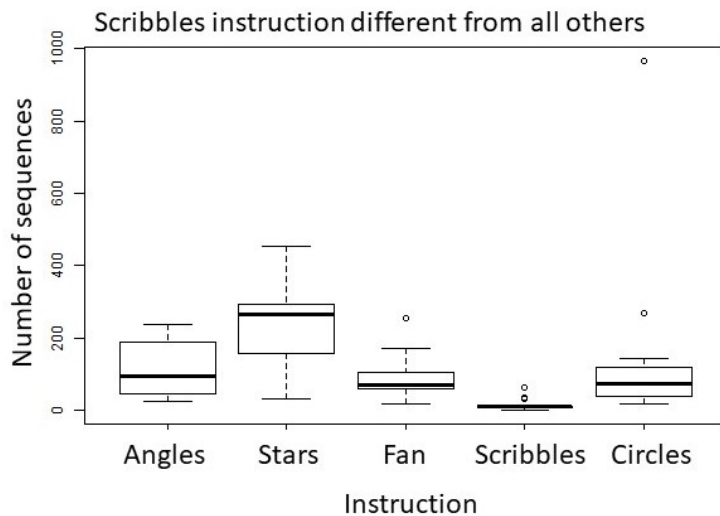


Figure S10: Boxplot of the number of sequences according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. Kruskal-Wallis test: $p < 0.0001$.

10. Drawing speed

Drawing distance divided by the drawing duration (i.e. duration of drawing only, not including duration of non-drawing during the test).

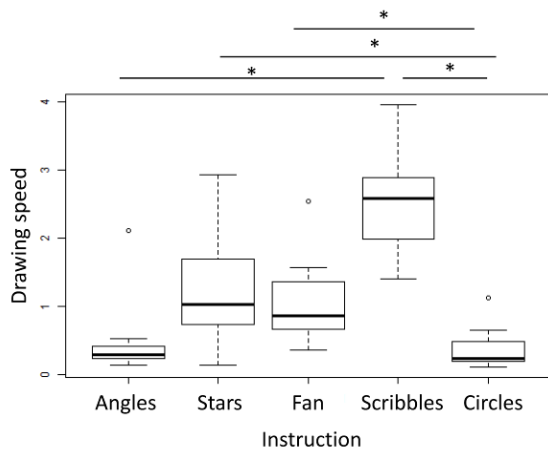


Figure S11: Boxplot of the drawing speed according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p < 0.0001$.

11. Drawing time proportion

Duration of drawing divided by the duration of drawing session.

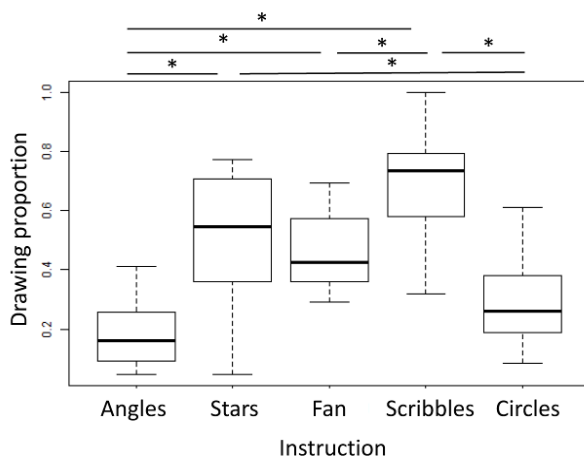


Figure S12: Boxplot of the drawing proportion according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p < 0.0001$.

12. Mean colorimetric profile

Mean distribution of intensity levels for the Red, Green, or Blue colours respectively and after removal of the white (screen) colour on the parts covered by drawing (after selection with the minimum convex polygon).

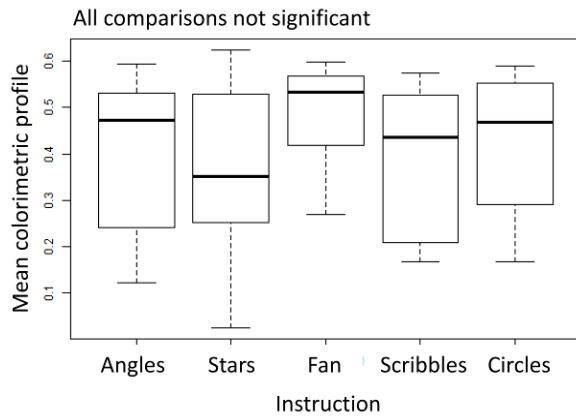


Figure S13: Boxplot of the mean colorimetric profile according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p = 0.319$.

13. Standard deviation of the colorimetric profile

Standard deviation of the distribution of intensity levels for the Red, Green, or Blue colours respectively, on the parts covered by drawing (after selection with the minimum convex polygon).

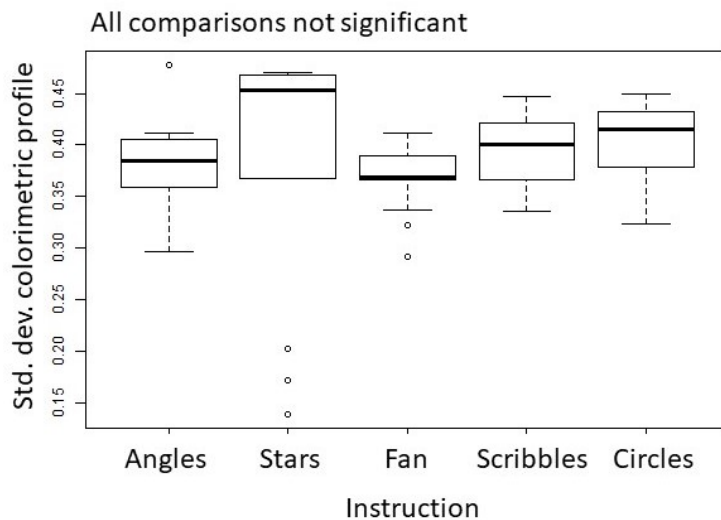


Figure S14: Boxplot of the standard deviation of the colorimetric profile according to instructions. Stars indicate significant difference between two instructions with $p < 0.05$. ANOVA test: $p = 0.675$.

14. Number of colours

Number of colours used from the ten proposed colours. The ten proposed colours are black, grey, red, blue, dark green, light green, sky blue, brown, orange and yellow.

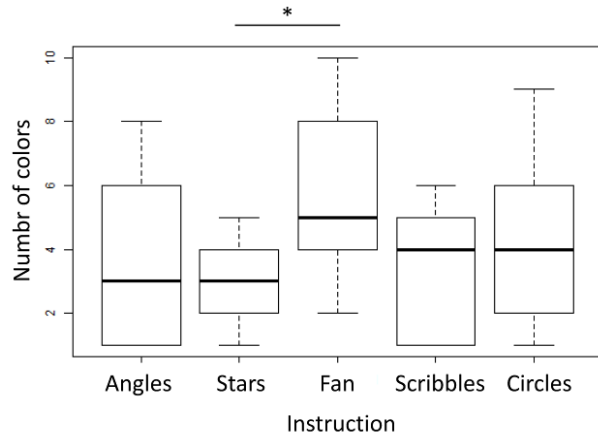


Figure S14: Boxplot of the number of colours according to instructions. Stars indicates significant difference between two instructions with $p < 0.05$. Kruskal-Wallis test: $p=0.04$.

Supplementary figures and tables referenced in the main text

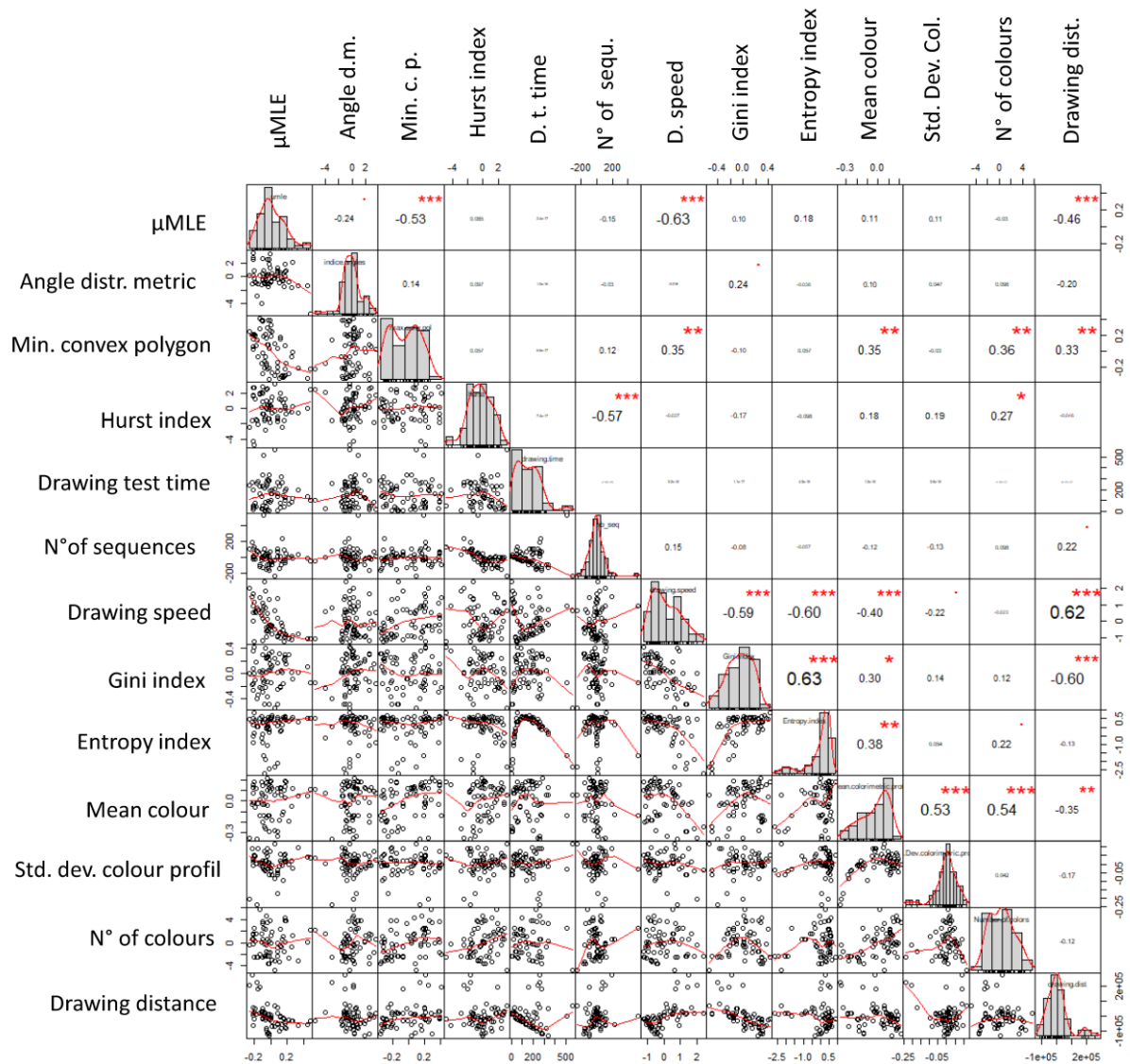


Figure S15: correlation chart of the 13 metrics for dataset#1 (first step, after removal of the drawing-time proportion and correction according to the drawing test time). The diagonal of the graph provides the distribution of each metric, whilst the bottom left and the top-right provide the correlation figure and the correlation coefficient between two metrics, respectively. Statistical value is given with the correlation coefficient: * means $p < 0.05$, ** means $p < 0.01$, and *** means $p < 0.001$.

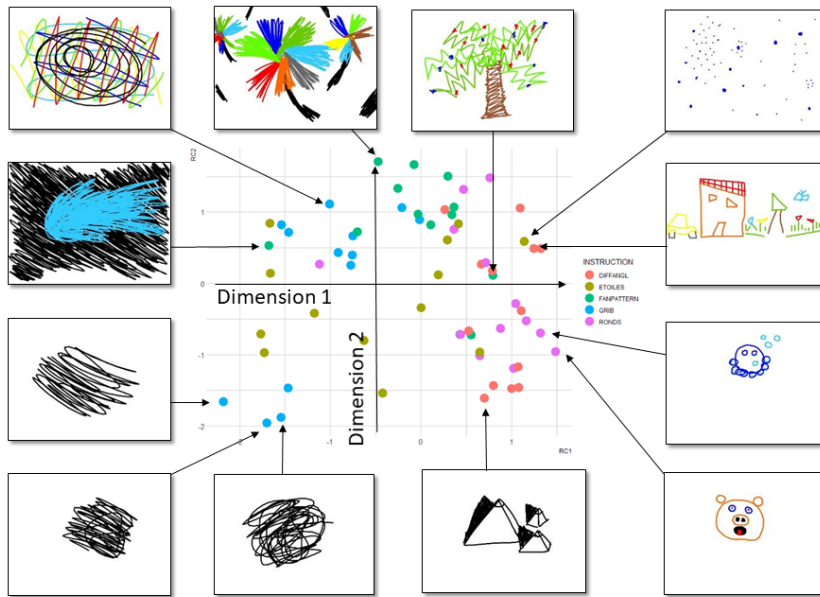


Figure S16a: Examples of Dataset#1 (first step) drawings according to Dimension 1 and Dimension 2, provided by the PCA. Dimension 1 may represent representativeness in drawing whilst Dimension 2 may represent diversity in drawings.

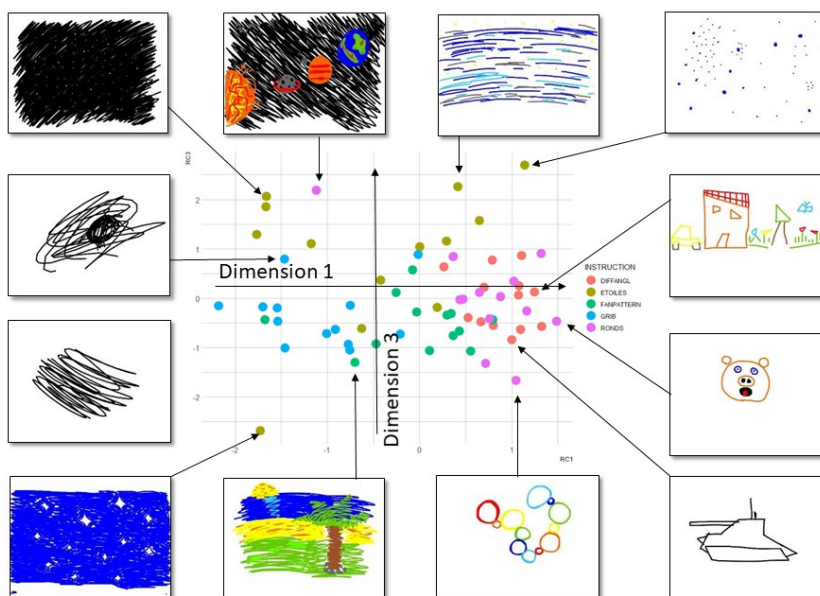


Figure S16b: Examples of Dataset#1 (first step) drawings according to Dimension 1 and Dimension 3, provided by the PCA. Dimension 1 may represent representativeness in drawing whilst Dimension 3 may represent periodicity in drawings.

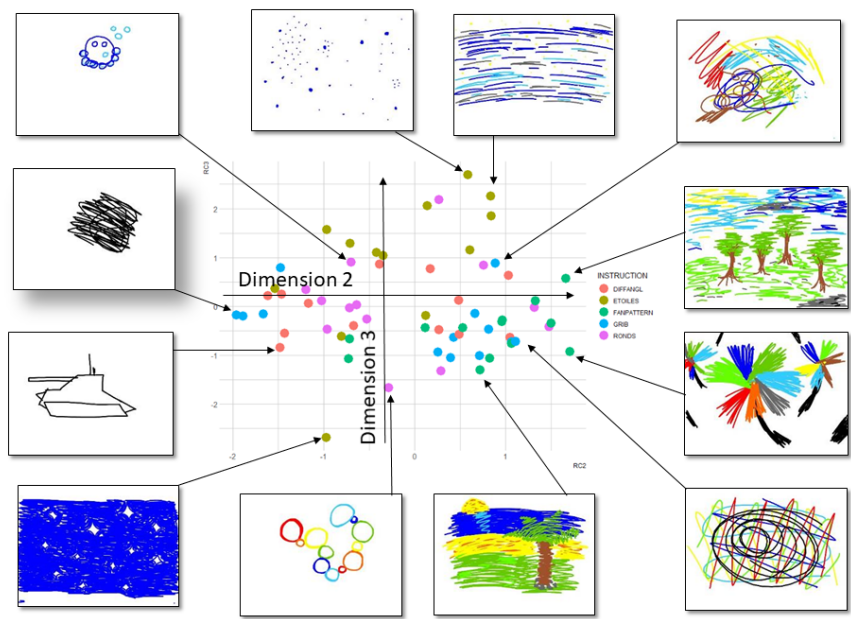


Figure S16c: Examples of Dataset#1 (first step) drawings according to Dimension 2 Dimension 3, provided by the PCA. Dimension 2 may represent diversity in drawing whilst Dimension 3 may represent periodicity in drawings.

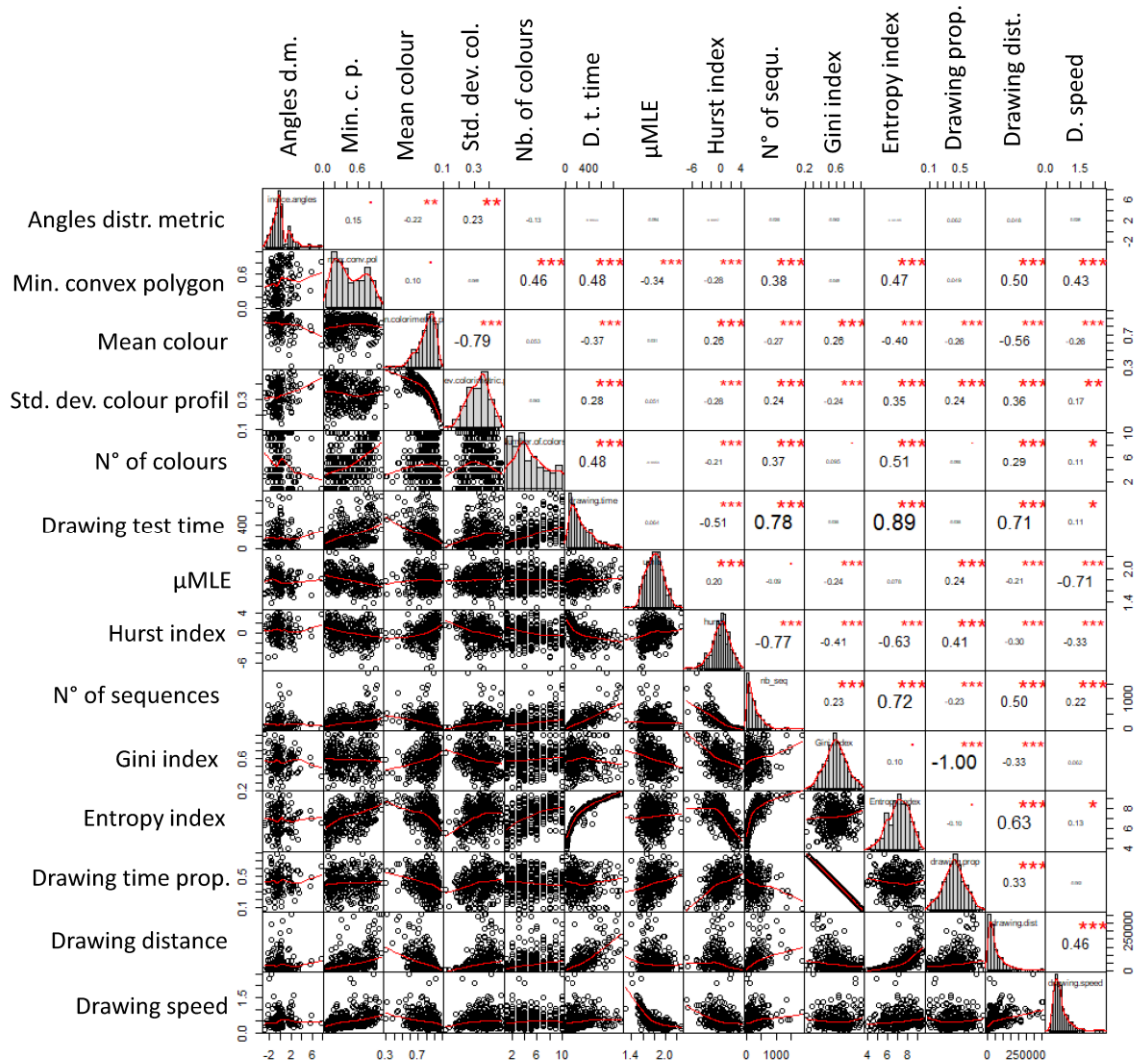


Figure S17: Correlation chart of the 14 metrics for dataset#2 (second step). The diagonal of the graph provides the distribution of each metric, whilst the bottom left and the top-right provide the correlation figure and the correlation coefficient between two metrics, respectively. Statistical value is given with the correlation coefficient: * means $p < 0.05$, ** means $p < 0.01$, and *** means $p < 0.001$.

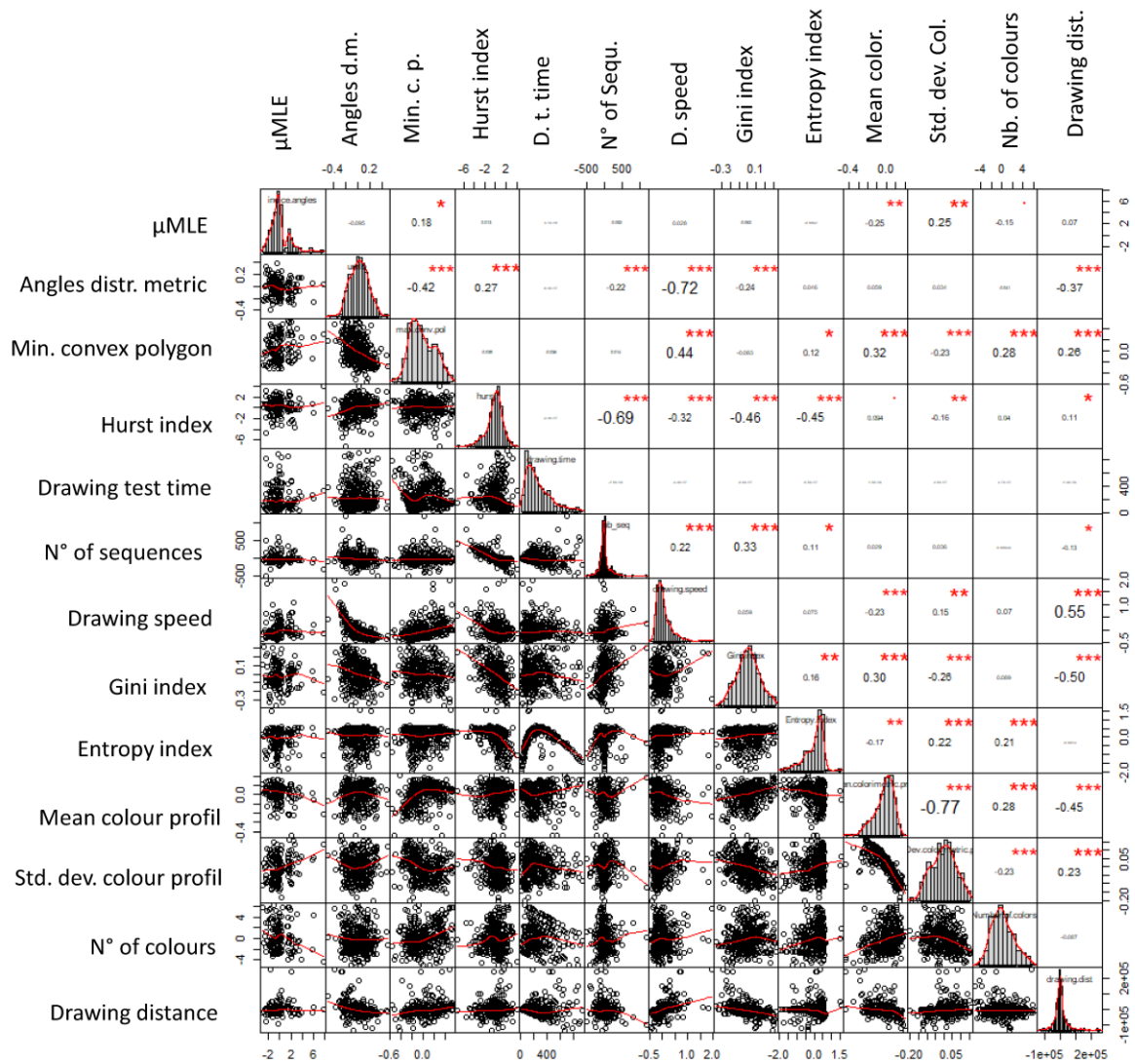


Figure S18: Correlation chart of the 13 metrics for dataset#2 (second step, after removal of the drawing-time proportion and correction according to the drawing test time). The diagonal of the graph provides the distribution of each metric, whilst the bottom left and the top-right provide the correlation figure and the correlation coefficient between two metrics, respectively. Statistical value is given with the correlation coefficient: * means $p < 0.05$, ** means $p < 0.01$, and *** means $p < 0.001$.

Table S1: Loading of the 13 metrics on the three Varimax rotation PCA dimensions (before selection of variables with loading superior to 0.4) of Dataset#1

	Dim1	Dim2	Dim3
μMLE	0.639	-0.373	0.314
Angle distribution metric		0.347	
Min. conv. pol.	-0.451	0.725	-0.159
Hurst index	-0.14	0.195	0.849
Drawing test time			
Number of sequences	-0.115		-0.755
Drawing speed	-0.911		-0.12
Gini index	0.762	0.301	-0.213
Entropy index	0.624	0.375	-0.235
Mean colour profile	0.365	0.758	0.254
Std. dev. colour profile	0.221	0.296	0.398
Number of colours		0.716	
Drawing distance	-0.746		-0.228

Table S2: Mann-Whitney test for each metric of each dimension between the scribbles of toddlers and those drawn by adults. p-values<0.05 are in bold print.

Dimension	Metrics	W	p-value	Mean for toddlers	Mean for adults
1	μMLE	101	0.225	-0.07±0.14	-0.12±0.09
	drawing distance	47	0.097	30239±72983	26505±14882
	drawing speed	29	0.007	0.31±0.73	1.04±0.68
2	Mean colour Profil	93	0.473	0.01±0.09	-0.05±0.16
	Number of colours	118	0.03	2.79±2.68	0.09±1.
3	Hurst	84	0.769	1.29±1.03	0.71±2.0
	Number of sequences	11	<0.0001	-52.12±33.0	5.39±18.3

References

1. Martinet, L. *et al.* New indices to characterize drawing behavior in humans (Homo sapiens) and chimpanzees (Pan troglodytes). *Sci. Rep.* **11**, 3860 (2021).
2. Sueur, C. A Non-Lévy Random Walk in Chacma Baboons: What Does It Mean? *PLoS ONE* **6**, e16131 (2011).
3. Sueur, C., Briard, L. & Petit, O. Individual Analyses of Lévy Walk in Semi-Free Ranging Tonkean Macaques (Macaca tonkeana). *PLoS ONE* **6**, e26788 (2011).
4. Byrne, R. W., Noser, R., Bates, L. A. & Jupp, P. E. How did they get here from there? Detecting changes of direction in terrestrial ranging. *Anim. Behav.* **77**, 619–631 (2009).
5. Noser, R. & Byrne, R. W. Change point analysis of travel routes reveals novel insights into foraging strategies and cognitive maps of wild baboons. *Am. J. Primatol.* **76**, 399–409 (2014).
6. Edwards, A. *et al.* Revisiting Levy flight search patterns of wandering albatrosses, bumblebees and deer. *NATURE* **449**, 1044-U5 (2007).
7. Burnham, K. P. & Anderson, D. R. Multimodel inference understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol. Methods Res.* **33**, 261–304 (2004).
8. Bartumeus, F., Da Luz, M., Viswanathan, G. & Catalan, J. Animal search strategies: A quantitative. random-walk analysis. *ECOLOGY* **86**, 3078–3087 (2005).
9. Viswanathan, G. M. *et al.* Lévy flight search patterns of wandering albatrosses. *Nature* **381**, 413–415 (1996).
10. Martinet, L. & Pelé, M. Drawing in nonhuman primates: What we know and what remains to be investigated. *J. Comp. Psychol.* (2020).
11. Bartumeus, F., Catalan, J., Viswanathan, G. M., Raposo, E. P. & da Luz, M. G. E. The influence of turning angles on the success of non-oriented animal searches. *J. Theor. Biol.* **252**, 43–55 (2008).
12. Hurford, A. GPS Measurement Error Gives Rise to Spurious 180° Turning Angles and Strong Directional Biases in Animal Movement Data. *PLOS ONE* **4**, e5632 (2009).
13. Potts, J. R. *et al.* Finding turning-points in ultra-high-resolution animal movement data. *Methods Ecol. Evol.* **9**, 2091–2101 (2018).
14. Nilsen, E. B., Pedersen, S. & Linnell, J. D. C. Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? *Ecol. Res.* **23**, 635–639 (2008).

15. Lecarme, O. & Delvare, K. *The book of GIMP: A complete guide to nearly everything*. (No Starch Press, 2013).
16. Peck, A. *Beginning gimp: From novice to professional*. (Apress, 2006).
17. Beltzung, B. *et al.* To draw or not to draw: understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses. *bioRxiv* (2021) doi:10.1101/2021.08.29.458053.
18. Stadnitski, T. Measuring fractality. *Front. Physiol.* 13 (2012).
19. Stadnytska, T., Braun, S. & Werner, J. Analyzing Fractal Dynamics Employing R. 29 (2010).
20. Karagiannis, T., Molle, M. & Faloutsos, M. Understanding the Limitations of Estimation Methods for Long-Range Dependence. 23 (2006).
21. Delignières, D., Torre, K. & Lemoine, L. Methodological issues in the application of monofractal analyses in psychological and behavioral research. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci.* 9, 435–461 (2005).
22. Signorell, A. *et al.* DescTools: Tools for descriptive statistics. *R Package Version 099* 18, (2016).
23. Gray, R. M. *Entropy and Information Theory*. (Springer Science & Business Media, 2011).
24. Leff, H. S. Entropy, its language, and interpretation. *Found. Phys.* 37, 1744–1766 (2007).

2. Confronter cette nouvelle méthodologie aux données

Article 4 : Understanding the emergence of drawing behaviour with age: a multi-metric analysis

Soumis le 30 septembre 2021 dans *i-Perception*

Question: La méthodologie développée dans l'article 3 est-elle assez informative pour déceler des différences entre des dessins d'individus d'âge différents ?

2.1 Synthèse de l'article 4

Il s'agit dans cet article de comprendre si la méthodologie préalablement développée dans l'article 3 permet de discerner des différences selon nos groupes d'âges et d'expertises et si oui, ce que cela nous permet de comprendre. Après traitement des données, la même méthodologie, autrement dit une analyse en composantes principales, est appliquée. Les valeurs de chaque dimension pour chaque individu sont ensuite étudiées en tant que variables dépendantes dans des modèles linéaires généralisés avec le genre, le groupe (âge/ experts ou novices pour les adultes), la consigne ainsi que les interactions genre-consigne et groupe-consigne en variables indépendantes. Le genre n'a pas d'effet sur les trois dimensions et la consigne uniquement sur la dimension « diversité » ce qui n'est pas surprenant au vu des résultats trouvés sur la couleur dans l'article 1. En dessin libre, les individus ont tendance à utiliser plus de couleurs que dans le dessin en condition portrait. En revanche, nous montrons ici que les valeurs des trois dimensions changent avec l'âge. Pour la première dimension « efficience », les valeurs augmentent avec l'âge puis diminuent, avec un schéma très similaire même si plus précis que ce que l'on retrouve en étudiant l'indice u_{mle} seul (article 1). Les valeurs de la dimension « diversité » sont plus importantes chez les plus jeunes et chez les adultes novices. Les uns étant dans la découverte de l'outil et des couleurs, les autres dans la volonté d'ajouter du détail pour faciliter la lecture et donc le réalisme de leurs dessins. Concernant la dimension « séquentialité », les valeurs étaient majoritairement plus importantes chez les adultes en comparaison des catégories plus jeunes ce qui rejoint les résultats de l'article 2.

2.2 Article 4

Understanding the emergence of drawing behaviour with age: a multi-metric analysis

Lison Martinet^{1,*}, Cédric Sueur^{1,2,*}, Benjamin Beltzung¹, Marie Pelé³

1: Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France

2 : Institut Universitaire de France, Paris, France

3 : Anthro-Lab, ETHICS EA7446, Lille Catholic University, Lille, France

* Authors contributed equally

Corresponding author: Cédric Sueur, cedric.sueur@iphc.cnrs.fr; IPHC UMR 7178, 23 rue Becquerel 67087 Strasbourg, France

Abstract

We need specific and objective methods to analyse the development of drawing in children, especially those too young to communicate via verbalisations. We asked 134 children and 38 adults to draw on a tablet under two conditions: free drawing and self-portrait. We then used seven metrics from three categories (spatial, temporal, and colorimetric) in a principal component analysis (PCA). Three dimensions of the PCA explained 77% of the variance in the drawings. We named these dimensions as diversity, sequentiality, and efficiency, which provided a mechanism for better understanding the intentionality and representativeness behind drawing. Gender had no effect, but age influenced all three dimensions differently. This multi-metric approach is a powerful tool for investigating the ontogenetic development of drawing, and could be used to understand the phylogenetic evolution of this behaviour or to reveal drawing characteristics in people with autism and depression or those from different cultures.

Keywords: drawing behaviour; ontogenetic development; intentionality; representativeness; PCA

1. Introduction

Children's drawings often attract our attention; however, these drawings may also perplex us because we do not possess the capacity to analyse their contents and understand how they are produced. The famous artist, Picasso, once said, "It took me a lifetime to paint like a child." We cannot know at what point drawings begin to have some meaning for a child, unless the child can explain this through verbalisation; thus, without language, we do not know if there are any aesthetic properties beyond the pictures. To analyse and understand the evolution of drawing in children, we need new specific and objective methods of analysis, such as those proposed in this paper (Martinet & Pelé, 2020).

Complex mathematical metrics such as fractals are increasingly used to understand behavioural complexity and its development, regardless of the studied behaviour (e.g. grooming, diving, moving) (MacIntosh, 2014; Meyer et al., 2017; Sueur, 2011). In previous studies, we used spatial and temporal fractals to better identify the ontogeny of drawing behaviours. By using spatial fractal analysis, we were able to show that drawing efficiency increases with age in children, before decreasing in adults who add many details (Martinet et al., 2021). This study also showed that humans draw more efficiently than chimpanzees, even if the chimpanzees' drawings were not random. Using temporal fractal analysis, we showed that the youngest children expressed a more stereotypical drawing behaviour than adults in their alternation between drawing and interruption phases; therefore, their behaviour is less complex (Beltzung et al., 2021). These indices were completed with the addition of other spatial (e.g. total length of lines drawn), temporal (e.g. drawing speed) and colorimetric (e.g. number of colours) metrics. Using a principal component analysis (PCA) to analyse trends across several datasets, we found that drawings can be characterised in three dimensions: efficiency, diversity and sequentiality (Sueur et al., 2021). First, spatial efficiency refers to drawings with few details that have a wide representation, as with emoticons (Huang et al., 2008; Takahashi et al., 2017) or sketches (Mihai & Hare, 2021; Xu et al., 2020). Second, diversity in colour metrics assists with the visual perception of objects and materials in our environment (Castelhano & Henderson, 2008; Witzel & Gegenfurtner, 2018). Third, the sequence of drawing behaviours and their temporal complexity are represented by the Hurst index (i.e. a fractal temporal index). When someone draws something representative, the number of sequences increases. Furthermore, their drawing behaviour is more complex, less

predictable, and the stochasticity of their alternation between drawing and non-drawing sequences also increases. These analyses differentiate children's scribbles from those of adults, a task which is impossible using the naked eye, and reveal their differences in external and internal representativeness (Martinet et al., 2021). Moreover, these analyses and results could represent important advances in comparative psychology and evolutionary anthropology (Martinet & Pelé, 2020).

In this study, we followed the same methodology to understand how efficiency, diversity, and temporal sequentiality provide a better understanding of the emergence of intentions and representativeness in drawings with age. We asked 134 children, ranging in age from three to ten years old; and 38 adults, ranging from novices to experts in drawing, to draw a self-portrait and a free drawing on tablets with their fingers (Figure 1). We then evaluated how mathematical analyses could reveal their drawing capacities. We expect children's drawings to become more complex with increased efficiency, diversity and sequentiality as their age increases. We expect adults' drawings to have higher diversity and sequentiality, but not efficiency, as they are known to add unnecessary details that decrease drawing efficiency.

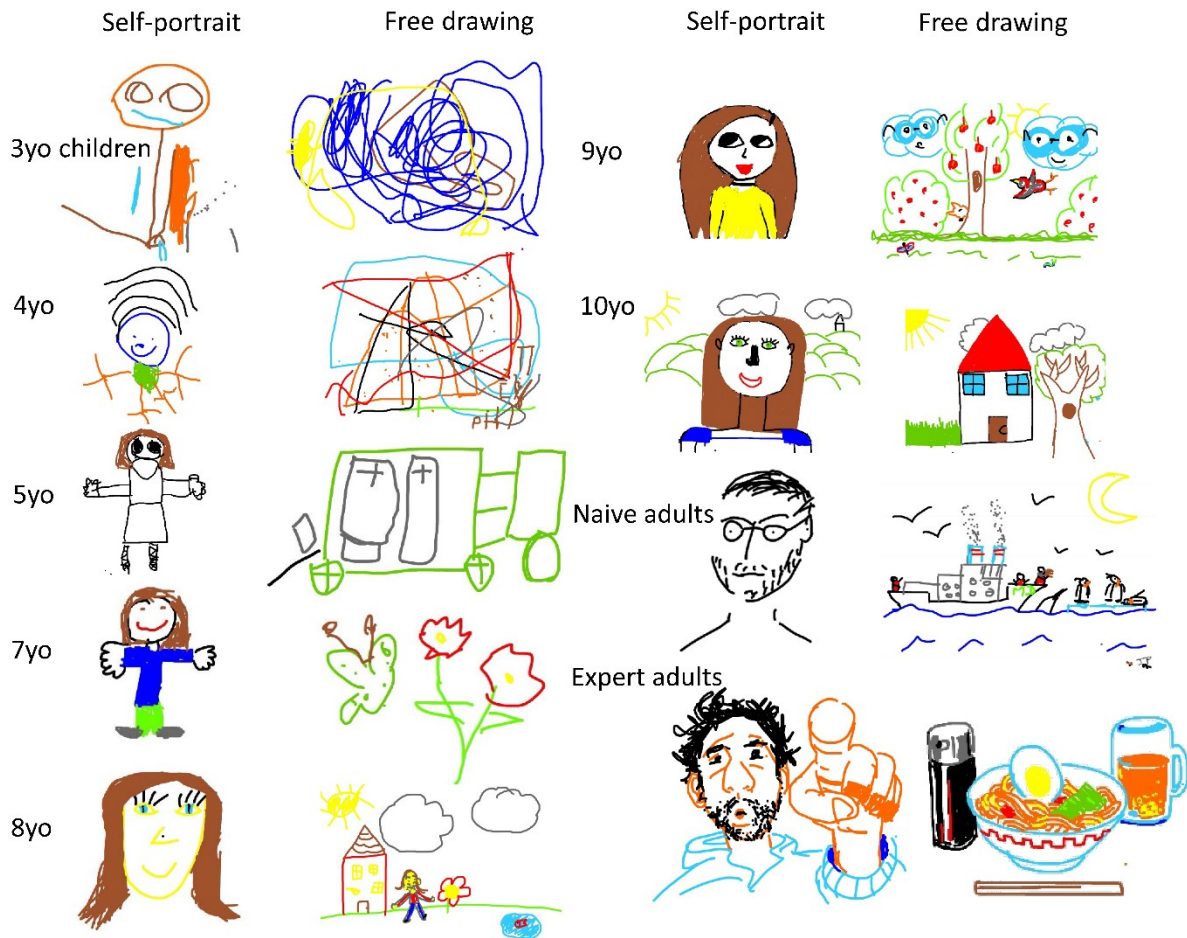


Figure 1: Representative examples of drawings created by children and adults of each age-category under free drawing and self-portrait conditions.

2. Methods

2.1 Dataset

We asked 134 children and 38 adults to draw under two conditions: free drawing conditions, in which the researcher explained to the subject that they could draw whatever they wanted and they were given no further instructions; and self-portrait conditions, in which the researcher instructed the subject to draw themselves. In total, this dataset comprised 344 drawings. The 134 children ranged in age from three to ten years old. There were 18–20 children per one-year age group with even numbers of boys and girls, except for the youngest age group which had 5 girls and 15 boys. The 38 adults comprised 19 men and 19 women, ranging in age from 21 to 60 years old, representing both novices and experts. In contrast to novices, experts were enrolled in art schools or were professional illustrators by trade. This dataset was collected during 2018 and 2019. Drawings from kindergarten children (3–5 years

of age) and primary school children were collected in 2018 and 2019, respectively. Children that were 6 years old in 2019 could not be tested because they had already been involved as 5-year-olds in 2018. For detailed methods and more information, please refer to Martinet et al. (2021)(Martinet et al., 2021).

2.2 Experimental design

The habituation phase is detailed in the Supplementary Material. During the testing phase, each child was individually tested at their school during normal class hours. Tests were conducted in their classroom for 3-year-olds, and in the staff room for older children. The researcher stayed during the test but kept their distance during drawing to avoid influencing the child. Novice adults were tested individually in a room at the research institute; experts were tested at the relevant art school. Adult participants were left alone in the room. A camera recorded their hand movements while drawing, in case we needed to control for any issues during the session; such as drawing interruption or involuntary tracing. No time limit was applied.

2.3 Data analysis

The software developed for these studies allowed the recording of spatial coordinates (X; Y) for every point of the lines drawn; their time coordinates (min; s; ms); and the colour for each drawing. From this data, we calculated the spatial, temporal and colorimetric metrics for each drawing (Table 1). Details about these metrics, their calculation, and the range of expected values for each are given in (Sueur et al., 2021).

2.4 Statistical analysis

We followed the analyses described in (Sueur et al., 2021). This methodology used a PCA to determine 14 metrics which can be used to understand drawing complexity; and was validated using two drawing datasets. This allowed the selection of the seven metrics used in this study. Most of the variables were influenced by the drawing test duration metric, which could lead to bias in the analyses. To solve this problem, we corrected all of them by performing a linear regression with each metric as the response variable and the drawing test time as a factor. We collated the residuals from this linear regression, which correspond to the variance of each

point that is not explained by the drawing test duration. Then, we performed a PCA (for more details, see Supplementary Material). From the PCA results, we extracted the value of each dimension for each individual and built a new dataset.

After normalising this data, we ran Generalised Linear Models (GLMs) with each dimension as the dependent variable and the gender of participants, age categories, and conditions as independent variables. We also added the interactions of gender–condition and group–condition as independent variables to the model. Normality and homoscedasticity of residuals were verified graphically. We then performed pairwise comparisons with Benjamini-Hochberg (Verhoeven et al., 2005) correction for significant independent variables. All analyses were performed in RStudio 1.4.1103 (Allaire, 2012; Racine, 2012). The significance threshold was set to $\alpha = 0.05$.

3. Results

The seven drawing metrics described in Table 1 were included in the PCA which explains 77% of the total variance (Table 2). Dimension 1, which explains 31% of the variance, contains the μ MLE, drawing distance and drawing speed, and corresponds to drawing efficiency. Dimension 2 (26.1%) corresponds to the sequentiality and contains the number of sequences and the Hurst index. Dimension 3 (19.9%) corresponds to diversity and contains the mean colorimetric profile and the number of colours used. Examples of drawings for each dimension are shown in Figures S1–S3.

With respect to the GLMs, the model selection of each dimension and the results for each variable are detailed in the Supplementary Material (Tables S1–S6). Interactions were only present in the models which best explained diversity, but were not significant (conditions: gender, $p=0.139$). Gender did not influence any of the three dimensions ($p>0.097$). The drawing condition only influenced the diversity dimension ($p=0.016$), with higher values for the free drawing indicating a higher number and spectrum of colours were used. Age categories influenced all three of the dimensions (Figure 2). Pairwise comparisons (Table S7) showed that the efficiency of 3yo children was lower than that of 5yo, 7yo and 9yo children ($p < 0.044$), as was the efficiency of expert adults ($p < 0.03$). This means that we observed a decrease and then an increase with maximum efficiency around 9yo. Sequentiality (Table S8) of novice adults was higher than that of all other age categories ($p < 0.004$). Expert adults

showed higher sequentiality compared to 3yo, 4yo and 7yo children ($p < 0.038$). Finally, diversity (Table S9) was higher in 3yo children than in other categories ($p < 0.03$), except that of 4yo children and novice adults. A higher diversity was noted in 4yo children compared to that of 7yo, 9yo, 10yo children, and expert adults ($p < 0.004$). A lower diversity was noted in 9yo children compared to that of 3yo, 4yo, 5yo, 8yo children, and novice adults ($p < 0.03$). Novice adults showed a higher diversity than 9yo children and expert adults ($p < 0.03$). There was a general decrease and then increase in the diversity dimension as young children, late-age children, and novice adults added more colours than middle-aged children and expert adults.

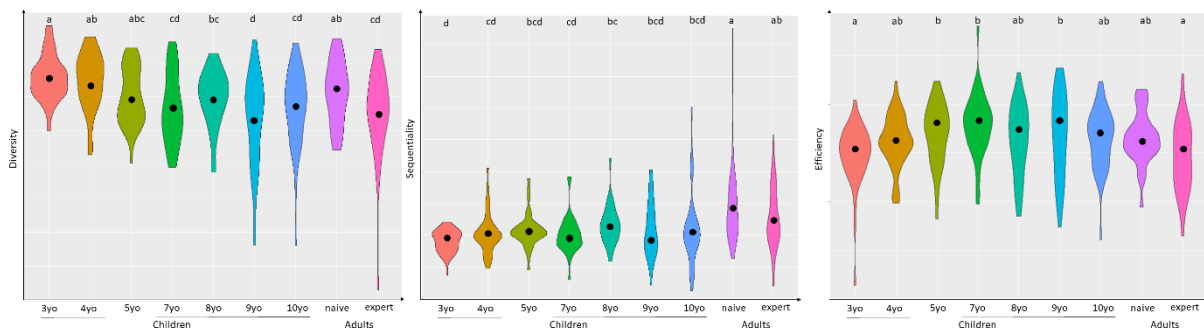


Figure 2: Violin plots representing diversity, sequentiality and efficiency across age categories. Violin plots represent the distribution of data, and the black dots represent the mean. Age groups with the same letter belong to the same group according to pairwise comparison tests (see details in Supplementary Material).

4. Discussion

While the final product may be non-figurative to human eyes, the process of drawing can reveal the artist's intentionality. Using a combination of different metrics, it is possible to differentiate a child's scribbles from those of an adult because even if the final product is similar, its manufacturing process is not (Sueur et al., 2021). In this study, we showed that the drawing dimensions identified in previous datasets – efficiency, sequentiality, and diversity – change with age.

We also tested two other factors: the gender of the participants and the conditions of the drawing sessions (i.e. free drawing or self-portrait). Gender had no significant overall effects on the drawing dimensions, barring a minor influence on sequentiality. In a previous study,

(Martinet et al., 2021) found that gender had an effect on colour use but not on the μ MLE spatial fractal metric. Other studies have shown that girls use more colours than boys in their drawings (Milne & Greenway, 1999; Wright & Black, 2013), but this mainly depends on the age of the children (Turgeon, 2008) and the instructions that they receive. Our results indicate that a higher number and more diverse spectrum of colours were used in free drawing versus self-portrait conditions, which may mitigate the gender effect. The open nature of free productions increased the use of colours, whereas the limitations imposed by self-portrait conditions lead individuals to use fewer elements when composing their drawing. (Martinet et al., 2021) also found that all age groups spent more time drawing under the free condition than under the self-portrait condition. This is an important bias to consider when thinking about research protocols, as the instructions given to participants appear to constrain their drawing process and may influence the results.

As expected, age influenced the three dimensions of drawing. The first dimension, efficiency, represents the μ MLE spatial fractal index, drawing distance, and drawing speed. It provides an insight into the representativeness and intentionality behind a drawing, even an abstract one; as well as the details needed to make a drawing figurative, such as the drawing distance. As such, the relationship between age and efficiency is nonlinear and efficiency initially increases, then decreases with age. This trend has previously been found with the μ MLE spatial fractal metric⁵, but the efficiency dimension from the PCA in this study gives more discriminative results. The efficiency increase in young children can be easily explained by the progressive development of more controlled and goal-oriented lines which often underlie the production of figurative drawings. Conversely, 3yo children are more motivated by motor pleasure alone when producing scribbles (Kellogg, 1969); therefore, efficiency is lowest for this age category. Thereafter, efficiency increases in 7–8 yo children and decreases in 10yo children and adults. At 7–8 yo, children draw all the parts of the object they have in mind without abstraction or unnecessary details (Baldy, 2011; Kellogg, 1969). Their primary goal is to be understood (external representativeness) with no aesthetic goals, which ensures that their drawings are more efficient. Adults' drawings appear more complex because of the compilation of numerous details. Furthermore, adult representations may be subject to other influences, such as social norms, which young children are not (Itskowitz et al., 1988); and our results in the diversity and sequentiality dimensions confirm this. The diversity dimension represents the diversity and number of colours used. Young children are more motivated by

the desire to play rather than drawing; thus, they try more colours and return the highest diversity values. Diversity is also higher among novice adults due to their willingness to add more details. Children of 7–9 yo have the lowest diversity as their drawing efficiency is high. Sequentiality represents the number of sequences and the temporal complexity of alternations; and it generally increased from the youngest children to the adults. Very young children draw with scribbles using few sequences, and are more deterministic than their older counterparts. Adults tend to add many details; as such, they present the highest number of sequences and alternations between drawing and interruption resulting in a higher complexity. Therefore, the higher sequentiality in adults results in a lower efficiency. Furthermore, the study of drawing's temporal components completes the spatial analysis and allows us to further understand the ontogenetic development of drawing behaviour.

Drawing behaviour is complex, and it is impossible to understand its development through a single metric. Decades of studies are providing a combination of metrics from which we are progressively gaining a better understanding of the ontogenetic development of this behaviour. In this study, three dimensions which represent a combination of metrics allowed the objective analysis of drawings, both figurative and non-figurative (Watanabe & Kuczaj, 2012). By applying this method in studies on other primates, it could be used to better understand the evolution of this behaviour. Furthermore, this method could potentially be used to reveal the drawing characteristics and behaviour of people with autism (Charman & Baron-Cohen, 1993; Jolley et al., 2013); people suffering from depression (Desmet et al., 2021; Nolzco-Flores et al., 2021); and people from different cultures (Lee & Hobson, 2006; Takahashi et al., 2017).

Ethics statement

We followed the ethical guidelines of our respective research institutions, and ethical approval was obtained from the Strasbourg University Research Ethics Committee (Unistra/CER/2019-11). The drawings were collected anonymously. The contributions of all participants were voluntary, and in the case of children, were subject to parental consent.

Acknowledgments

We thank the director and the teachers of the school for giving us access to their classrooms and showing interest in our research project. We are grateful to all the participants and to the

parents of all the children, who accepted with enthusiasm to contribute to our study. Thanks also to Sarah Piquette, who provided help for the ethical components of this project.

Data accessibility

The data are available at the Zenodo repository (<https://doi.org/10.5281/zenodo.5415290>).

Funding sources

This project has received financial support from the CNRS through the MITI interdisciplinary programs and from the University of Strasbourg through an IDEX Exploratory Research program.

Competing interests

We declare we have no competing interests

References

- Allaire, J. (2012). RStudio : Integrated development environment for R. *Boston, MA*, 770, 394.
- Baldy, R. (2011). *Fais-moi un beau dessin : Regarder le dessin de l'enfant, comprendre son évolution*. In Press.
- Beltzung, B., Martinet, L., MacIntosh, A. J. J., Meyer, X., Hosselet, J., Pelé, M., & Sueur, C. (2021). To draw or not to draw : Understanding the temporal organization of drawing behaviour using fractal analyses. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.08.29.458053>
- Byrne, R. W., Noser, R., Bates, L. A., & Jupp, P. E. (2009). How did they get here from there? Detecting changes of direction in terrestrial ranging. *Animal Behaviour*, 77(3), 619-631. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.11.014>
- Castelhano, M. S., & Henderson, J. M. (2008). The influence of color on the perception of scene gist. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(3), 660-675. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.3.660>
- Charman, T., & Baron-Cohen, S. (1993). Drawing development in autism : The intellectual to visual realism shift. *British Journal of Developmental Psychology*, 11(2), 171-185. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1993.tb00596.x>

- Desmet, O. A., van Weerdenburg, M., Poelman, M., Hoogeveen, L., & Yang, Y. (2021). Validity and utility of the Test of Creative Thinking Drawing Production for Dutch adolescents. *Journal of Advanced Academics*, 1932202X21990099.
- Edwards, A., Phillips, R., Watkins, N., Freeman, M., Murphy, E., Afanasyev, V., Buldyrev, S., da Luz, M., Raposo, E., Stanley, H., & Viswanathan, G. (2007). Revisiting Levy flight search patterns of wandering albatrosses, bumblebees and deer. *NATURE*, 449(7165), 1044-U5. <https://doi.org/10.1038/nature06199>
- Handheld, G. P. S. (2020). 6 Estimating Travel Distance and Linearity of Primate Routes. *Spatial Analysis in Field Primatology: Applying GIS at Varying Scales*, 106.
- Huang, A. H., Yen, D. C., & Zhang, X. (2008). Exploring the potential effects of emoticons. *Information & Management*, 45(7), 466-473.
- Itskowitz, R., Glaubman, H., & Hoffman, M. (1988). The impact of age and artistic inclination on the use of articulation and line quality in similarity and preference judgments. *Journal of Experimental Child Psychology*, 46(1), 21-34.
- Jolley, R. P., O'Kelly, R., Barlow, C. M., & Jarrold, C. (2013). Expressive drawing ability in children with autism. *British Journal of Developmental Psychology*, 31(1), 143-149. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12008>
- Kellogg, R. (1969). *Analyzing children's art*. McGraw-Hill Humanities, Social Sciences & World Languages.
- Lee, A., & Hobson, R. P. (2006). Drawing self and others : How do children with autism differ from those with learning difficulties? *British Journal of Developmental Psychology*, 24(3), 547-565. <https://doi.org/10.1348/026151005X49881>
- MacIntosh, A. (2014). The Fractal Primate : Interdisciplinary Science and the Math behind the Monkey. *Primate Research, advpub*. <https://doi.org/10.2354/psj.30.011>
- MacIntosh, A. J. J., Alados, C. L., & Huffman, M. A. (2011). Fractal analysis of behaviour in a wild primate : Behavioural complexity in health and disease. *Journal of The Royal Society Interface*. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0049>
- Martinet, L., & Pelé, M. (2020). Drawing in nonhuman primates : What we know and what remains to be investigated. *Journal of Comparative Psychology*.
- Martinet, L., Sueur, C., Hirata, S., Hosselet, J., Matsuzawa, T., & Pelé, M. (2021). New indices to characterize drawing behavior in humans (Homo sapiens) and chimpanzees (Pan

- troglodytes). *Scientific Reports*, 11(1), 3860. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83043-0>
- Meyer, X., MacIntosh, A. J., Chiaradia, A., Kato, A., Mattern, T., Sueur, C., & Ropert-Coudert, Y. (2017). Shallow divers, deep waters and the rise of behavioural stochasticity. *Marine Biology*, 164(6), 1-16.
- Mihai, D., & Hare, J. (2021). Differentiable Drawing and Sketching. *arXiv preprint arXiv:2103.16194*.
- Milne, L. C., & Greenway, P. (1999). Color in children's drawings : The influence of age and gender. *The Arts in Psychotherapy*, 26(4), 261-263.
- Mitani, J., & Nishida, T. (1993). Contexts and social correlates of long-distance calling by male chimpanzees. *Animal Behaviour*, 45(4), 735-746. <https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1088>
- Nolazco-Flores, J. A., Faundez-Zanuy, M., Velázquez-Flores, O. A., Cordasco, G., & Esposito, A. (2021). Emotional State Recognition Performance Improvement on a Handwriting and Drawing Task. *IEEE Access*, 9, 28496-28504. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058443>
- Noser, R., & Byrne, R. W. (2014). Change point analysis of travel routes reveals novel insights into foraging strategies and cognitive maps of wild baboons. *American Journal of Primatology*, 76(5), 399-409. <https://doi.org/10.1002/ajp.22181>
- Papi, F., Liew, H. C., Luschi, P., & Chan, E. H. (1995). Long-range migratory travel of a green turtle tracked by satellite : Evidence for navigational ability in the open sea. *Marine Biology*, 122(2), 171-175. <https://doi.org/10.1007/BF00348929>
- Racine, J. S. (2012). *RStudio : A platform-independent IDE for R and Sweave*.
- Sueur, C. (2011). A Non-Lévy Random Walk in Chacma Baboons : What Does It Mean? *PLoS ONE*, 6(1), e16131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016131>
- Sueur, C., Briard, L., & Petit, O. (2011). Individual Analyses of Lévy Walk in Semi-Free Ranging Tonkean Macaques (Macaca tonkeana). *PLoS ONE*, 6(10), e26788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026788>
- Sueur, C., Martinet, L., Beltzung, B., & Pelé, M. (2021). *Making drawings speak through mathematical metrics*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03333705>

- Takahashi, K., Oishi, T., & Shimada, M. (2017). Is 😊 smiling? Cross-cultural study on recognition of emoticon's emotion. *Journal of cross-cultural psychology*, 48(10), 1578-1586.
- Turgeon, S. M. (2008). Sex differences in children's free drawings and their relationship to 2D:4D ratio. *Personality and individual differences*, 45(6), 527-532.
- Verhoeven, K. J., Simonsen, K. L., & McIntyre, L. M. (2005). Implementing false discovery rate control : Increasing your power. *Oikos*, 108(3), 643-647.
- Viswanathan, G., Raposo, E., & da Luz, M. (2008). Levy flights and superdiffusion in the context of biological encounters and random searches. *PHYSICS OF LIFE REVIEWS*, 5(3), 133-150. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2008.03.002>
- Watanabe, S., & Kuczaj, S. (2012). *Emotions of Animals and Humans : Comparative Perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Witzel, C., & Gegenfurtner, K. R. (2018). Color Perception : Objects, Constancy, and Categories. *Annual Review of Vision Science*, 4(1), 475-499. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-091517-034231>
- Wright, L., & Black, F. (2013). Monochrome males and colorful females : Do gender and age influence the color and content of drawings? *SAGE Open*, 3(4), 2158244013509254.
- Xu, P., Hospedales, T. M., Yin, Q., Song, Y.-Z., Xiang, T., & Wang, L. (2020). Deep learning for free-hand sketch : A survey and a toolbox. *arXiv preprint arXiv:2001.02600*.

Table 1: Definitions and contextual explanations of metrics used to understand drawing complexity.

Type	Metric	Definition	Explanation	References
Spatial metrics	μ MLE	Spatial fractal metric; maximum estimate power coefficient of the drawing length's distribution	It measures the drawing efficiency, from random trajectories to optimal ones, and indicates a representativeness (internal or external)	(Edwards et al., 2007; Sueur, 2011; Sueur et al., 2011; Viswanathan et al., 2008)
	Drawing distance	Total distance of drawing from the first point to the last point; measured in pixels	We expect long-distance drawings to be more representative or have more details compared to short-distance drawings. However, this metric can also represent deterministic drawing (i.e., no intention by the subject to represent anything)	(Handheld, 2020; Mitani & Nishida, 1993; Papi et al., 1995)
Temporal metrics	Hurst index	Temporal fractal metric; measure of the long-term process in the temporal sequence	It measures the temporal complexity of drawings sequences, ranging from deterministic to complex	(A. MacIntosh, 2014; A. J. J. MacIntosh et al., 2011)
	Number of sequences	Number of drawing and non-drawing sequences during the test	We expect a high number of sequences to give an indication regarding goal-oriented behaviours; for example, intention and representativeness	
	Drawing speed	Speed of drawing, which is the drawing distance (in pixels) divided by the time to complete the line or drawing	Speed is used as a measure of goal-directedness or knowledge; or in this context, mastering	(Byrne et al., 2009; Noser & Byrne, 2014; Sueur, 2011)
Colour metrics	Mean colorimetric profile	Mean distribution of intensity levels for the red, green, or blue channels, respectively; as well as	It measures the mean spectrum of colours used, from dark to light	

		removal of the white (screen) colour on the parts covered by the drawing		
	Number of colours	Number of colours used from the ten proposed colours	We expect the number of used colours to give an indication regarding intentionality, as well as the interest in playing versus focused drawing	(Martinet et al., 2021)

Table 2: Loadings of the metrics on the three Varimax rotation PCA dimensions

Dimensions	Efficiency	Sequentiality	Diversity
μMLE	0.814	-0.246	-0.117
Drawing distance	-0.746	-0.296	-0.371
Drawing speed	-0.9	0.216	
Hurst metric	0.143	-0.902	
Number of sequences		0.898	
Mean colorimetric profile	0.291		0.777
Number of colours	-0.178		0.795

**Supplementary material for Understanding the emergence of drawing behaviour with age:
a multi-metric analysis**

Lison Martinet^{1,*}, Cédric Sueur^{1,2,*}, Benjamin Beltzung¹, Marie Pelé³

1: Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France

2 : Institut Universitaire de France, Paris, France

3 : Anthro-Lab, ETHICS EA7446, Lille Catholic University, Lille, France

* Authors contributed equally

Corresponding author: Cédric Sueur, cedric.sueur@iphc.cnrs.fr; IPHC UMR 7178, 23 rue Becquerel 67087 Strasbourg, France

Habituation phase: each participant was invited to try a touchscreen tablet (iPad Pro, 13-Inch, version 11.2.2, capacitive screen reacting to the conductive touch of human fingers), then draw on it with their fingers to understand how it worked, notably to change the colour used. The drawing with fingers was preferred to involve youngest children who have not yet mastered the use of a pencil. A panel consisting of ten different colours was displayed on the bottom of the screen, and the participant could select one colour for their drawing by clicking on one of them. When they clicked on a different colour in the panel, any subsequent drawing production was in that colour. Children were habituated the day before the tests to avoid overstimulation. Adults were tested immediately after discovering the tablet.

Multi-model inferences protocol: We ran multi-model inferences with protocols to compare and rank candidate models according to (i) their respective Akaike information criterion after correction for small sample sizes (AICc) and (ii) normalized Akaike weights (AICw) (Burnham & Anderson, 2004). $\Delta AICc$ is the difference in AICc between one given model and the model with the lowest AIC. The AIC weight indicates the probability of a given model being the best among candidate models. Models with a $\Delta AICc < 4$ were considered equally possible candidates and then their statistics averaged. The null model was included as a possible candidate but was never among the models with lowest AICc. Averaged model coefficients were obtained for models with a $\Delta AICc < 4$. Model inference and averaging were carried out with the R package 'MuMIn' (Bartoń, 2013).

Principal Components analysis with Varimax Rotation: We realised a Principal Component Analysis (Budaev, 2010; Holland, 2008) with Varimax rotation using the R package ‘Psych’ (Revelle, 2011; Revelle & Revelle, 2015). Variables are automatically normalised. We set up three dimensions based on our previous researches on drawings. Varimax rotation is used to simplify the expression of a particular subspace in terms of just a few major items each. This means that the Varimax rotation turns the variables on the dimensions in order to maximise the explained variance. We examined loadings of each variable on each dimension. The loadings are interpreted as the coefficients of the linear combination of the initial variables from which the principal components are constructed. The loadings are equal to the coordinates of the variables divided by the square root of the eigenvalue associated with the component.

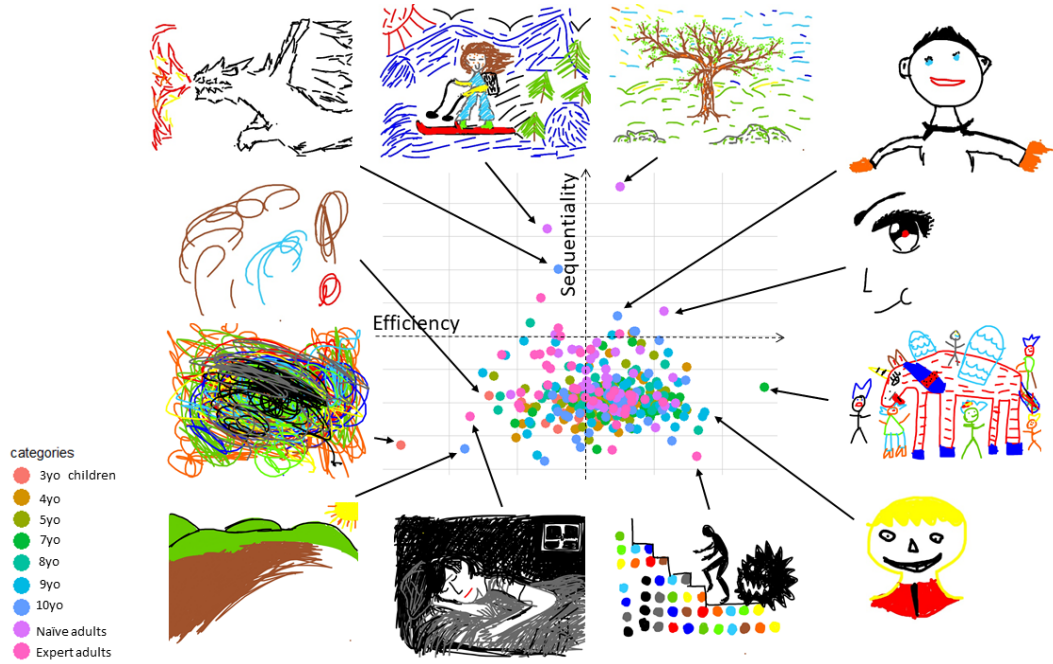


Figure S1: Instances of drawings for the graph Sequentiality in function of Efficiency.

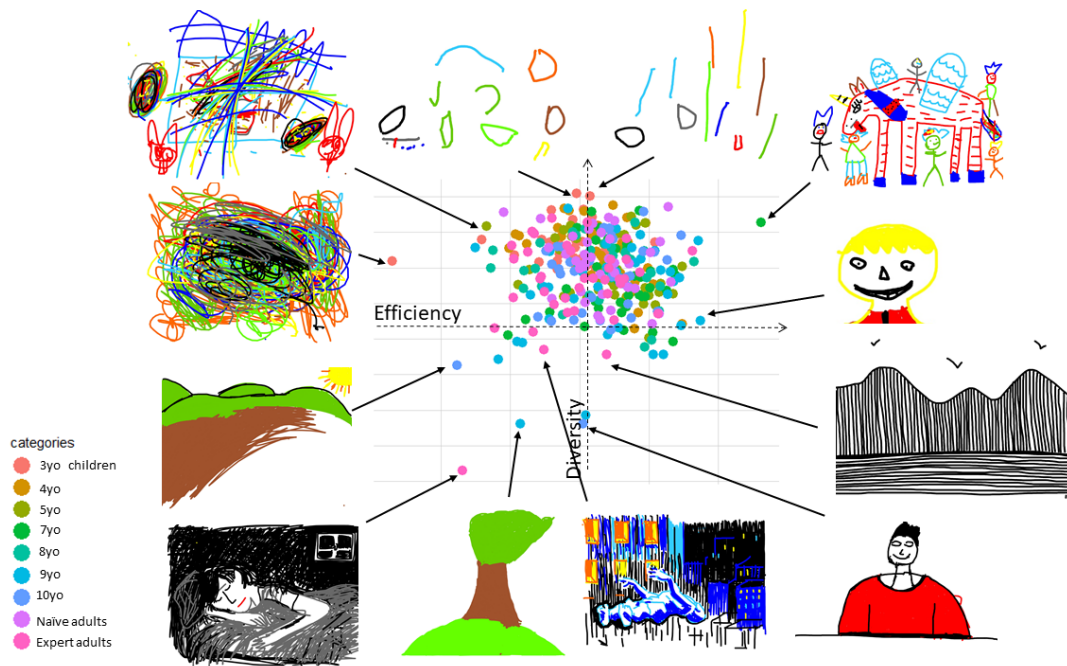


Figure S2: Instances of drawings for the graph Diversity in function of Efficiency.

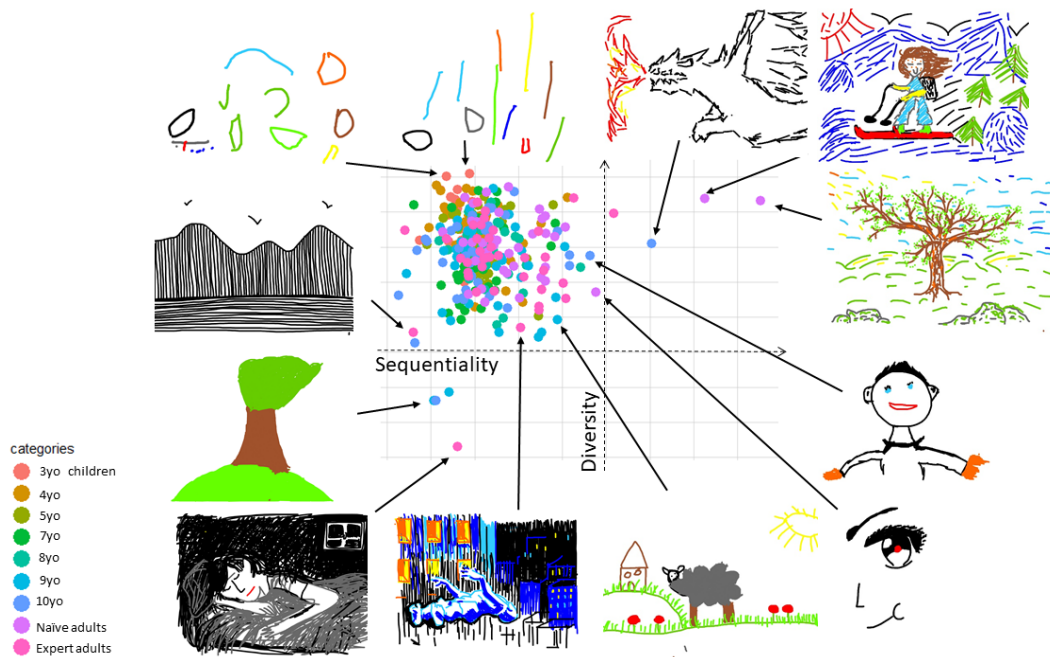


Figure S3: Instances of drawings for the graph Diversity in function of Sequentiality.

Table S1: Models retained in the selection model with the efficiency as dependent variables and the categories, the gender, the conditions and the gender-condition interaction and group-condition interaction as factors.

Models	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
Categories	10	-100.46	221.59	0	0.38
Categories + conditions	11	-99.55	221.9	0.31	0.33
Categories + gender	11	-100.27	223.33	1.74	0.16
Categories + conditions + gender	12	-99.35	223.65	2.06	0.14

Table S2: Results of the averaged model with the efficiency as dependent variables following the model selection

	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	Z value	p-value
(Intercept)	1.50521	0.057	0.0572	26.316	<0.0001
categoriesb	-0.13929	0.07361	0.07388	1.885	0.05938
categoriesc	-0.21448	0.07361	0.07388	2.903	0.00369
categoriesd	-0.30567	0.07461	0.07488	4.082	<0.0001
categoriese	-0.14455	0.07797	0.07825	1.847	0.0647
categoriesf	-0.1994	0.07446	0.07473	2.668	0.00762
categoriesg	-0.16295	0.07361	0.07388	2.206	0.02741
categoriesh	-0.17292	0.07461	0.07488	2.309	0.02093
categoriesi	0.01804	0.07453	0.0748	0.241	0.80946
Freedrawing	0.04718	0.03538	0.03551	1.329	0.18393
GenderMale	0.02223	0.03604	0.03618	0.614	0.53891

Table S3: Models retained in the selection model with the sequentiality as dependent variables and the categories, the gender, the conditions and the gender-condition interaction and group-condition interaction as factors.

Models	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
Categories + gender	11	51.39	-79.99	0	0.41
Categories	10	49.97	-79.28	0.71	0.29
Categories + conditions + gender	12	51.66	-78.37	1.62	0.18
Categories + conditions	11	50.23	-77.67	2.32	0.13

Table S4: Results of the averaged model with the sequentiality as dependent variables following the model selection

	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	Z value	p-value
(Intercept)	2.56429	0.03946	0.03958	64.782	<0.0001
categoriesb	-0.06957	0.0478	0.04797	1.45	0.14696
categoriesc	-0.09149	0.0478	0.04797	1.907	0.05648
categoriesd	-0.05961	0.04851	0.04868	1.224	0.2208
categoriese	-0.13207	0.05046	0.05064	2.608	0.00911
categoriesf	-0.10457	0.04818	0.04835	2.163	0.03057
categoriesg	-0.09812	0.0478	0.04797	2.045	0.04082
categoriesh	-0.30497	0.04851	0.04868	6.264	<0.0001
categoriesi	-0.19124	0.04832	0.0485	3.943	<0.0001
Gendermale	-0.03864	0.02321	0.0233	1.659	0.09718
Freedrawing	0.01629	0.02285	0.02293	0.71	0.47754

Table S5: Models retained in the selection model with the diversity as dependent variables and the categories, the gender, the conditions and the gender-condition interaction and group-condition interaction as factors.

Models	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
Categories+conditions	11	-7.94	38.67	0	0.63
Categories+conditions+gender+conditions:gender	13	-6.32	39.73	1.07	0.37

Table S6: Results of the averaged model with the diversity as dependent variables following the model selection

	Estimate	Std. Error	Adjusted SE	Z value	p-value
(Intercept)	2.10471	0.0447	0.04486	46.916	<0.0001
categoriesb	-0.03548	0.0564	0.05661	0.627	0.53081
categoriesc	-0.14666	0.0564	0.05661	2.591	0.00958
categoriesd	-0.22639	0.05719	0.0574	3.944	<0.0001
categoriese	-0.1591	0.05969	0.05991	2.656	0.00792
categoriesf	-0.31609	0.05701	0.05721	5.525	<0.0001
categoriesg	-0.22846	0.0564	0.05661	4.036	<0.0001
categoriesh	-0.11538	0.05719	0.0574	2.01	0.0444
categoriesi	-0.26246	0.05709	0.05729	4.581	<0.0001
Freedrawing	0.09323	0.03863	0.03873	2.407	0.01607
GenderMale	0.01341	0.03866	0.0388	0.346	0.72953
Freedrawing:GenderMale	-0.08042	0.05428	0.05448	1.476	0.13995

Table S7: P-values of age categories pairwise comparisons for the efficiency dimension

	3yo	4yo	5yo	7yo	8yo	9yo	10yo	naive adults
4yo	0.126	-	-	-	-	-	-	-
5yo	0.030	0.526	-	-	-	-	-	-
7yo	0.001	0.084	0.396	-	-	-	-	-
8yo	0.131	0.950	0.601	0.105	-	-	-	-
9yo	0.044	0.663	0.883	0.297	0.702	-	-	-
10yo	0.084	0.868	0.702	0.126	0.883	0.835	-	-
naive adults	0.078	0.835	0.801	0.158	0.868	0.868	0.917	-
expert adults	0.883	0.105	0.023	0.001	0.105	0.030	0.069	0.059

Table S8: P-values of age categories pairwise comparisons for the sequentiality dimension

	3yo	4yo	5yo	7yo	8yo	9yo	10yo	naive adults
4yo	0.322	-	-	-	-	-	-	-
5yo	0.151	0.725	-	-	-	-	-	-
7yo	0.419	0.875	0.620	-	-	-	-	-
8yo	0.038	0.351	0.576	0.273	-	-	-	-
9yo	0.096	0.592	0.826	0.497	0.69	-	-	-
10yo	0.117	0.657	0.889	0.576	0.62	0.889	-	-
naive adults	< 0.000	< 0.000	< 0.000	< 0.000	0.00	< 0.000	< 0.000	-
expert adults	0.001	0.038	0.096	0.027	0.41	0.160	0.117	0.064

Table S9: P-values of age categories pairwise comparisons for the diversity dimension

	3yo	4yo	5yo	7yo	8yo	9yo	10yo	naive adults
4yo	0.613	-	-	-	-	-	-	-
5yo	0.030	0.097	-	-	-	-	-	-
7yo	0.001	0.004	0.233	-	-	-	-	-
8yo	0.030	0.096	0.852	0.356	-	-	-	-
9yo	0.000	0.000	0.012	0.196	0.030	-	-	-
10yo	0.001	0.003	0.226	0.968	0.339	0.196	-	-
naive adults	0.097	0.233	0.618	0.104	0.558	0.003	0.097	-
expert adults	0.000	0.001	0.097	0.613	0.157	0.439	0.613	0.030

References

- Bartoń, K. (2013). MuMIn: Multi-model inference. *R Package Version*, 1(5).
- Budaev, S. V. (2010). Using principal components and factor analysis in animal behaviour research: Caveats and guidelines. *Ethology*, 116(5), 472–480.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research*, 33(2), 261–304.
- Holland, S. M. (2008). Principal components analysis (PCA). *Department of Geology, University of Georgia, Athens, GA*, 30602–32501.
- Revelle, W. (2011). An overview of the psych package. *Department of Psychology Northwestern University*. Accessed on March, 3(2012), 1–25.
- Revelle, W., & Revelle, M. W. (2015). Package ‘psych.’ *The Comprehensive R Archive Network*.

3. Conclusion

Bien qu'il soit nécessaire d'élaborer des indices innovants, il est aussi fondamental de comprendre que leur étude isolée ne permettra pas à elle seule de cerner un comportement aussi complexe que celui de dessiner. Il serait d'ailleurs vain de chercher à le décortiquer complètement et rendre exhaustive son analyse tant des facteurs externes, non ou difficilement mesurables, entrent en jeu. Cependant, avec ces deux articles, notre volonté est d'ancrer notre recherche dans une démarche et une prise en considération plus globales. Combiner des mesures s'est avéré prometteur pour une analyse plus complète des dessins et une meilleure définition des indices utilisés et de leurs limites respectives. Cette méthodologie constitue un pas de plus vers une meilleure identification de la représentativité ou de l'intentionnalité dans ce qui ne semble pas l'être aux yeux humains, comme le cas des gribouillis d'adultes.

CHAPITRE V

**J'VOUS DEMANDE PARDON, UN
CHIMPANZÉ QUI DESSINE ?**



1. État de l'art de l'étude du dessin chez les primates non-humains

Article 5 (revue de littérature): Drawing in nonhuman primates: What we know and what remains to be investigated

Publié dans *Journal of Comparative Psychology*

1.1 Synthèse de l'article 5

Il nous est rapidement apparu qu'aucun état de l'art des études réalisées sur le comportement de dessin des primates non-humains n'avait été produit quand bien même l'intérêt qu'il suscite date de plus d'un siècle. La première partie de cette revue s'est consacrée à regrouper l'ensemble de ces travaux et chercher à extraire leurs principales conclusions. Nous montrons l'évolution progressive des protocoles allant des simples observations et anecdotes aux études plus systématiques dans les années 1930. Plus que d'observer le comportement, les chercheurs ont tenté de répondre à des questions plus concrètes sur le rapport entre l'animal et l'activité en lui proposant notamment des tâches de dessin plus guidées ou avec présence de stimuli. Nous finissons notre rapport sur les études japonaises des années 1990 qui ont introduit l'analyse du dessin sur écran tactile et sur ce que l'utilisation de cet outil a permis en termes d'innovation des méthodologies. Nous ouvrons ensuite notre discours en dressant les points clés qui semblent nécessaires pour de futures recherches sur le sujet. Nous évoquons alors notamment notre vision anthropocentrée du support et des outils de dessin ainsi que la nécessité de mieux percevoir et agir en fonction de la motivation propre de l'animal testé.

1.2 Article 5



© 2020 American Psychological Association
ISSN: 0735-7036

Journal of Comparative Psychology

<https://doi.org/10.1037/com0000251>

Drawing in Nonhuman Primates: What We Know and What Remains to Be Investigated

Lison Martinet¹ and Marie Pelé²

¹ CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg University

² ETHICS EA 7446, Lille Catholic University, Lille

For over a century now, a number of researchers have explored the evolutionary emergence of mark-making and drawing behaviors through studies in monkeys and apes, and particularly in chimpanzees. Their observations and results remain relevant to this day and underline the interest of this question and the questions that remain to be answered. The present review begins by retracing the historical timeline of this specific and challenging topic from the earliest anecdotal evidence to the first systematic studies in the 1930s. We then describe how the research became more empirical through the use of stimulus figures, the examination of color choices, or even exploring outline-making processes. We discuss the use of touch screens in the 1990s, which enriched our knowledge by providing an opportunity for data collection and innovative analysis. Finally, we underline several key points that are of importance for future investigations into the mark-making process in nonhuman primates.

Keywords: drawing behavior, mark-making processes, methodologies, nonhuman primates, chimpanzees

Supplemental materials: <https://doi.org/10.1037/com0000251.supp>

Graphic representation can be achieved by drawing, painting, carving, and even scratching. To date, the oldest representative drawings are located in the limestone cave of Leang Bulu' Sipong 4 in Sulawesi (Indonesia) depicting therianthrope figures hunting endemic mammals and are estimated to be around 44,000 years old (Aubert et al., 2019). In Europe, pictorial representations on Chauvet cave walls (Ardèche, France) are estimated to be around 33,000 years old and are the work of prehistoric ancestors during the Aurignacian period (Chauvet et al., 1995; Clottes et al., 1995; Valladas et al., 2005). Most of the drawings found in both caves show animals and can be interpreted in different ways: Are they evidence of proto-religion and beliefs (Anati, 2003), shamanism and hunting rituals (Clottes, 2011), or are they simply proof of the pleasure of drawing? No consensus has been reached to date; the only certainty is that prehistoric artists had acquired their first

drawing skills before decorating the walls of these caves (Clottes, 2011). The techniques used on these walls are different according to sites and include the use of charcoal pencils, pigment combinations, animal-hair brushes, engraving and use of perspectives, and are so complex that we can presume *Homo sapiens* had previous knowledge of how to graphically represent and had already used this skill. This assumption was confirmed by the recent discovery of a cross-hatched pattern drawn with an ochre crayon on a ground silcrete flake recovered from approximately 73,000-year-old Middle Stone Age levels at Blombos Cave in South Africa (Henshilwood et al., 2018).

This notable finding demonstrates the ability of early *Homo sapiens* to produce graphic design using complex techniques (Henshilwood et al., 2018). It also leads us to other important unanswered questions, namely, *how*, *why*, and *when* graphic representations appeared in the *Homo* lineage. Defining the origin of this behavior is an undeniably huge challenge. Because *sapiens* is now the only remaining representative of the *Homo* genus, the only way to address the evolving emergence of representative drawing is to investigate the drawing abilities of our closest relatives. Within the great apes, chimpanzees share about 98.8% of our genes (Chimpanzees Sequencing and Analysis Consortium, 2005) and demonstrate a variety of human-like behaviors. In the wild, chimpanzees use and make tools (Boesch & Boesch, 1990; Goodall, 1964; Pruetz & Bertolani, 2007), develop cultural variants (Whiten et al., 1999), engage in intergroup conflicts (Boesch et al., 2008; Mitani et al., 2010; Muller & Mitani, 2005), and even perform rituals (Kühl et al., 2016). Captive chimpanzees now use computers (see Leighty & Frigaszy, 2003) and even draw and paint when they have the opportunity to do so.

This article examines studies on drawing behavior in animals, and more specifically in nonhuman primates. In this review, we

This document is copyrighted by the American Psychological Association or one of its allied publishers. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

Lison Martinet <https://orcid.org/0000-0001-9877-3068>

Marie Pelé <https://orcid.org/0000-0003-2297-5522>

We have no conflicts of interest to disclose.

We thank Anne Zeller for sending us precious information about the individuals whose drawings were analyzed in her study and Joanna Munro for English language editing.

Marie Pelé served as lead for supervision. Lison Martinet and Marie Pelé contributed to writing—original draft equally. Lison Martinet and Marie Pelé contributed to writing—review and editing equally.

Correspondence concerning this article should be addressed to Lison Martinet, Département Écologie, Physiologie et Éthologie, Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Centre national de la recherche scientifique, Université de Strasbourg, UMR 7178, 23, rue Beccquerel, 67087 Strasbourg, France. Email: lison.martinet@iphc.cnrs.fr

consider drawing as mark-making activity in which intentional and visible marks are produced (MacDonald, 2014). As Maslen and Southern (2011) perfectly summarized, "It [mark-making] is the gestural language of drawing, and marks are the component parts within it" (p. 28). However, the present article will not examine the "artistic behavior" (Lenain, 1990) or the "aesthetic aspects of picture-making" by nonhumans (Morris, 1962) that have been mentioned in previous literature. Indeed, a drawing is only considered a piece of art by human choice, and the potentially artistic aspect of animal productions has already been the subject of heated debate across a wide range of scientific domains (Lenain, 1995; MacDonald, 2014; Morris, 1962; Seghers, 2014). We begin by listing the different historical anecdotes that led to the first methodological studies and results. We have attempted to extract their major findings, although the comparison of the mark-making process across species can prove difficult given the wide range of approaches used to explore drawing in nonhuman primates. Online supplemental materials section provides information about the experimental design of these studies. We then describe studies that used technologies such as touch-monitors, which could lead to new analysis and thus new discoveries. Finally, we list some key elements that will be of use for future studies.

From Historical Anecdotes . . .

There are a number of anecdotal observations of behaviors that seem specific to humans in nonhuman animals, and drawing is no exception to this rule. In 1928, Alexandre Sokolowsky reported drawing by a chimpanzee named Tarzan II at Hamburg Zoo in Germany (Sokolowsky, 1928). In 1933, Heinrich Klüver related the case of a capuchin monkey who marked the floor with a piece of chalk (Klüver, 1933). This was the first recorded attempt of a mark-making activity by a monkey. In 1942, Julian Huxley detailed how a young gorilla named Meng traced his own shadow on a white wall of his cage: "Seeing his shadow before him at one moment, he stopped, looked at it, and proceeded to trace its outline with his forefinger" (Huxley, 1942; p. 637). Meng never did so again, despite Huxley's efforts to repeat the event (Huxley, 1942). Following the publication of Huxley's note in *Nature*, Leonard Bowen (1942) wrote him a short letter describing his observations during a trip to India: "(...) monkeys [certainly the common rhesus monkey (Bowen, 1942), *Macaca mulatta* (Huxley, 1942)] trace the outline of one of their hands in the dust, using a twig held almost as one would hold a pencil. Other monkeys inspected the traced outlines with a show of interest, walking round and round the spot with what seemed to be an anxious manner" (p. 733).

Not all historical anecdotes of nonhuman drawing concern primates. In the early 1980s, a female Asian elephant named Siri was observed by her caretaker marking floors with pebbles and sticks; she was then trained to use paper and pencils (Gucwa & Ehmann, 1985). Painting and drawing are now considered to be a form of environmental enrichment and are among the recreational activities proposed to some animals in zoos and research institutions (Kim-McCormack et al., 2016; Laule, 2003). However, very few studies of human-like behaviors in animals focus specifically on the emergence and the development of mark-making in nonhuman animals.

. . . to the First Systematic Research

One of the earliest reported and systematic studies is perhaps that of Furness (1916). Like many scientists at the beginning of the 20th century, he was driven by the idea that great apes living with and being raised by humans could acquire better mental abilities, especially in terms of language. Between 1909 and 1913, Furness conducted experiments and training on young chimpanzees and orangutans. In the process, he tried to teach them how to speak, recognize shapes, and draw crossed lines on a blackboard. After several months of training, Furness sadly concluded that "the ability to recognize the significance of graphic representation is as lacking in the anthropoid mind as is the inclination to speak" (p. 287).

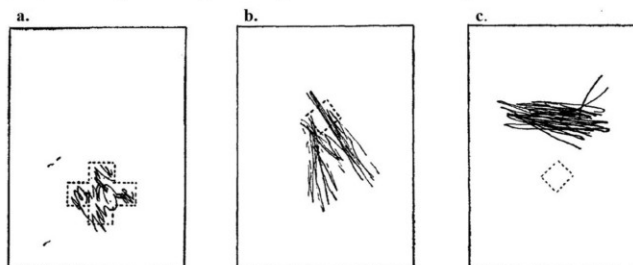
Drawing behavior in nonhuman primates was then observed in more detail by the Russian scientist Nadezhda Kohts in 1913. But it was only 20 years later that Kohts reported these observations of drawing activity by the infant chimpanzee Joni and her own son (Kohts, 1935). Kohts took care of Joni from 1913 to 1916 and provided him with paper and pencils as she did for her own child. Joni's productions are the first recorded elements permitting the study of how mark-making behavior developed in nonhumans. The first scribbles by Joni and by Kohts' son appeared to be quite similar, then the drawings by the human child evolved into figurative pictures, whereas Joni's remained unchanged, despite having acquired a certain level of control in the way he crossed lines (Kohts, 1935).

Similar comparisons of chimpanzee and infant drawings were carried out by Kellogg and Kellogg (1933), who raised a young chimpanzee named Gua with their young son Donald. In both comparative studies, the drawing abilities of the human children improved more than those of the apes as they grew older (Kellogg & Kellogg, 1933; Kohts, 1935). However, mark-making was just one of many behaviors observed in these two young chimpanzees (Smith, 1973) and was not investigated in detail in either study.

It was not until the fifties that the first controlled experiments were carried out, but the details were published after the death of its experimenter. Paul Schiller started to work with an adult female chimpanzee named Alpha, taken from the colony founded in Florida by Robert Yerkes (Schiller, 1951). She was home-raised by the Jacobsen couple during her first months of life. They described in their monitoring reports how Alpha seemed to enjoy tracing the patterns of a floor covering carpet with her index finger (Jacobsen et al., 1932; MacDonald, 2014). As an adult, Alpha still showed great interest in tracing patterns and begged for pencils and paper whenever she saw a lab member who had any. Schiller (1951) noted that Alpha tended to mark the corners of the paper, and often folded it. He used this opportunity to study her capacities of perception, observing her interest in the forms already present on the paper by presenting her with stimulus figures (MacDonald, 2014).

In a first condition, Schiller (1951) printed a square or an irregular polygon on a blank sheet of paper before presenting it to Alpha. When the stimulus figure was more than one inch wide, Alpha marked almost exclusively within the figure (Figure 1a). When the stimulus figure was less than one inch wide, her marks fell into two categories of responses: "If the figure is near the middle of the sheet, it becomes a starting point or focal point for broad scribbling. If it is off center, she tends to focus her scribbling

Figure 1
(a–c) Marks by the Chimpanzee Alpha on the Stimulus Figures



Note. Adapted from Schiller (1951). Originally published by American Psychological Association and now in the public domain.

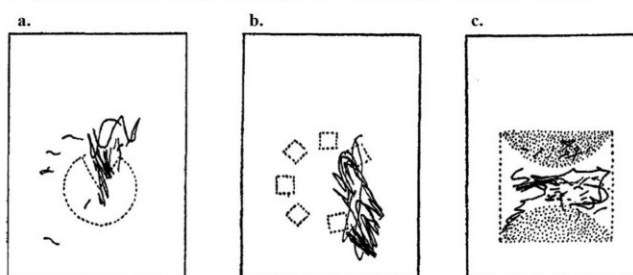
in the large open space, producing a sort of balance between her markings and the presented figure” (Schiller, 1951; Figure 1b and 1c, respectively). These results led Schiller (1951) to conclude that Alpha took the position and the dimensions of each stimulus into account in the location and dimensions of her production: Alpha did not randomly scribble.

In following conditions, Schiller (1951) investigated Alpha’s abilities to complete three types of geometrical shapes. The first type consisted of geometrical shapes from which a segment was missing (Figure 2a). The second type consisted of continuous but incomplete figures on paper (Figure 2b). The last type consisted of symmetrical arrangements of dots with one or more dots missing (Figure 2c). Alpha mostly failed to complete the geometrical pattern for the two first types of figures, but consistently completed the missing dot arrangements task. Schiller, therefore, concluded that principles of closure and of symmetry were present in the productions of Alpha (Schiller, 1951).

These principles reflect certain parts of the Gestalt theory, first introduced by Max Wertheimer, and then developed with the assistance of Koffka and Köhler in the field of perception in human psychology (for a review, please see Wagemans et al., 2012). For instance, the completion of open figures by Alpha

could reveal that chimpanzees have the same *bundle effect* (Wertheimer, 1922) as that observed in humans. This would mean that the chimpanzee perceives the whole form (i.e., holistic process) rather than a simple association of constitutive elements, as more recently showed by Hopkins and Washburn (2002). A second Gestalt theory principle concerns symmetry, which has been a more common subject of study in animals. Visual preferences for symmetrical or asymmetrical patterns have been explored in a multitude of species including mammals (Evans et al., 2000; Waitt & Little, 2006), birds (Mascalzoni et al., 2012; Møller, 1992; Swaddle & Cuthill, 1994; Swaddle & Johnson, 2007), insects (Giurfa et al., 1996; Plowright et al., 2011), or fishes (Mazzi et al., 2003; Merry & Morris, 2001; Morris, 1998; Schluessel et al., 2014), and were mostly explained in a biological context such as mating, finding food, or avoiding predation rather than in terms of aesthetics per se. It is true that Schiller’s works focused more on the perceptual and visual organizations of Alpha than on her abilities to draw and to represent. However, this first experimental study and its results encouraged other researchers to further pursue the exploration of drawing in nonhuman animals.

Figure 2
(a–c) Marks by the Chimpanzee Alpha on the Incomplete Stimulus Figures



Note. Adapted from Schiller (1951). Originally published by American Psychological Association and now in the public domain.

The Golden Age of Drawing by Apes

Schiller's study (1951) encouraged others to continue the survey, notably Bernard Rensch and Desmond Morris, who were even nicknamed the *biologists of art* (Lenain, 1990). Morris had the opportunity to admire the cave paintings at Lascaux (Dordogne, France) in 1954 when their colors were still bright, and the anthropologist was marked by this visit (Morris, 1980). From this point on, the interest in the graphic and pictorial capacities of nonhuman primates intensified and became more specific over the remainder of the 1950s.

In Germany, Rensch (1957) started to work with a capuchin monkey (*Sapajus apella*), a vervet monkey (*Cercopithecus aethiops*), and a young chimpanzee. By enrolling these three subjects in series of choice tasks that did not involve drawing, Rensch (1957) was able to identify individual preferences for colors, color combinations, and black and white patterns. Results showed that the capuchin monkey usually preferred yellow to other colors, whereas the vervet monkey favored white; it is also interesting to note that all subjects mostly ignored blue (Rensch, 1957). But these color preferences appeared to change with time, as a sort of "aesthetic vogue" in individuals (Rensch, 1957). All three individuals showed preferences for regular patterns over irregular ones (Rensch, 1957).

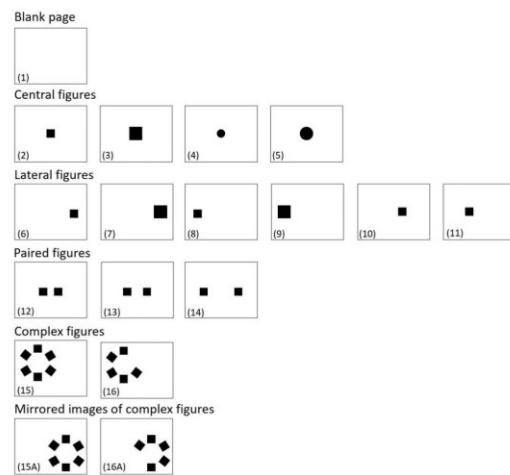
During the same period, Morris (1962) started to work with a young (~1-year-old) chimpanzee named Congo who had arrived at London Zoo in 1956. Unlike Joni (Kohts, 1935), Gua (Kellogg & Kellogg, 1933), and Alpha (Schiller, 1951), Congo was not raised by humans but was born in the wild (Morris, 1962). After some time, Congo showed great interest in drawing and painting activities and became the central subject of *Zoo Time*, a TV show directed by Morris himself. There was no doubt that like Alpha, Congo visually controlled his marks (Morris, 1962). Indeed, when presented with blank sheets of paper, Congo concentrated on the center and marked radiating lines (Morris, 1962). These *fan patterns* were also produced by other individuals, and proved to be—in some way—specific to productions by nonhuman primates (Morris, 1962; Rensch, 1958; Schiller, 1951). Congo's fame intensified when the *Institute of Contemporary Arts* mounted a large exhibition of his work in 1957. But more importantly, Morris (1962) used Schiller's techniques to investigate Congo's mark-making abilities, and his results confirmed the notion of balance in nonhuman productions (Casti, 2016; Morris, 1962; Schiller, 1951). Morris (1962) even identified two stages in the balance process observed in Congo. When presented with stimulus figures, Congo (a) positioned his marks in the blank space opposite the stimulus in the same way as Alpha (Schiller, 1951), but he also (b) placed the marks at an equal distance from the stimulus in relation to the center of the sheet of paper. However, it became more difficult for Morris to work with Congo after two years and 384 drawings and paintings (Morris, 1962). Morris then continued his work with six other chimpanzees. The drawings by five of these individuals allowed Morris (1962) to become the first researcher to suggest possible interesting connections between the personality of the individuals and the way they marked. The sixth chimpanzee, a 1-year-old male, always refused to participate (Morris, 1962). Although this difference in the interest of individuals in drawing activity has not been investigated in detail, it has been pointed out in different studies (Boysen et al., 1987; Zeller, 2007) and has

sometimes been linked with the age of individuals (Tanaka et al., 2003).

Morris (1962) presented all his work with Congo and others chimpanzees, but also reviewed all known ape drawing and painting at the time in his book *The Biology of Art*. From this point on, Morris changed the focus of his scientific interests and stopped working on the graphic abilities of nonhuman primates. Mark-making in apes was then sporadically studied by a small number of scientists. One such researcher was Smith (1973), who added new tests to those previously used by Schiller (1951) and Morris (1962). In his experiments, three young chimpanzees participated in sessions of free drawing on blank sheets of paper and drawing with stimulus figures (Smith, 1973). Their productions were then analyzed using a transparent Plexiglas grid with rows and columns that provided one hundred rectangular cells (Smith, 1973). A score was calculated for each chimpanzee's drawing according to the distribution of the marks across the sheet of paper (i.e., the number of cells in which marks were seen). Smith (1973) was thus the first researcher to apply statistical analysis to drawings by nonhuman primates. However, the results obtained by Smith (1973) were less impressive than those of Schiller (1951) and Morris (1962). Although Smith's chimpanzees marked stimulus figures and filled empty space on the paper, they failed to close open figures and no evidence of balanced drawing was found (Smith, 1973).

From this point on, research into mark-making in nonhuman primates became more empirical. Boysen et al. (1987) presented three young chimpanzees with drawing sheets that presented one of 18 categories of stimulus figures, as described by Smith (1973), and two categories that were mirror images (see Figure 3). Chimpanzees showed a tendency to mark closer to the center and toward the bottom of the page (Boysen et al., 1987). In monkeys, food was used as a reward every time either of two male rhesus macaques

Figure 3
Stimulus (1) to (16) Used by Smith (1973)



Note. Later, Boysen and collaborators (1987) added mirrored stimulus (15A) and (16A) and classified the stimuli as presented here.

(*Macaca mulatta*) placed in a “restraining chair” marked an opaque plastic surface with a crayon (Brewster & Siegel, 1976). Only one of them produced the fanlike pattern that appeared in the productions of other primates, and both individuals dedicated less than 50% of their time to marking (Brewster & Siegel, 1976). This led the authors to conclude that the marks reflected “simple mechanical arm movements” (Brewster & Siegel, 1976, p. 346), meaning that marks made by nonhuman primates are simply the result of motor patterns without any attention or creative aims. Boysen and colleagues (1987) disagreed, pointing out that “although it may be unnecessary to ascribe a psychological sense of aesthetics (Smith, 1973) to account for the nature and purpose of ‘marking, for marking’s sake,’ it appears that drawing was as fascinating for the chimpanzees as it was for the humans who merely observed” (p. 89). Primatologists then continued to explore the graphic abilities of nonhuman primates, examining them in increasing detail.

The Investigation of the Mark-Making Process

A figurative drawing is not complicated to understand for an external observer when what is drawn is recognizable; the difficulty occurs when a drawing is qualified as nonrepresentative, or even abstract. Although almost all the authors of ape drawing studies agree that the markings of nonhuman subjects are found in this second category (Tanaka et al., 2003), Gibson (1978) asked an interesting question about the visual perception of pictures: Does a drawing only have a meaning for its author, or only for the reader? Both may be true. This question was originally asked for drawings by humans and particularly scribbles by toddlers, but it remains valid for nonhumans such as apes. Does the act of marking have any sense or meaning for the ape? As a human reader sees the ape’s production as nonfigurative, an efficient means to answer the question would be an investigation of the *mark-making processes* underlying drawings in nonhuman primates—or in the words of Lenain (1995), their “visual thinking” (p. 208).

To do so, specific attention was paid to key elements such as the spatial positions of the outlines or the colors used by the apes and the order in which they were used. Casti (2016) examined 387 drawings out of a total of 593 produced by seven chimpanzees in the early seventies at the University of Oklahoma. She converted all productions into JPEG files and examined them using a Python code. The study of the mean x and mean y coordinates in relation to the center of the drawing (centroids) showed that the production of the chimpanzees varied according to whether the sheet was blank or contained a figure (Casti, 2016). Chimpanzees tended to mark in the center of the page when there were no stimuli present on the sheet, but the centroid changed when there was a central stimulus figure. This result showing patterns of central marking is consistent with previous studies (Boysen et al., 1987; Morris, 1962; Schiller, 1951; Smith, 1973; Zeller, 2007).

Zeller (2007) considered the colors used by eight chimpanzees, 17 gorillas, and 12 orangutans in their productions, and showed that yellow was significantly preferred as the first color used. Despite this initial choice, apes then continued to primarily use the color blue. This preference for blue contrasts with the results of Rensch (1957) showing that blue was the color used the least by his subjects (one vervet monkey, one capuchin monkey, and one young chimpanzee). Apes also demonstrated differences in their

performances of patterns: Straight lines characterized the marks made by chimpanzees, whereas orangutans appeared to be the only apes capable of circular patterns (Zeller, 2007). These different elements allowed Zeller to conclude that drawings by apes, like those by young human children, cannot be considered as simply random or “mindless scribbles,” as some choices appeared to be made about the use of color, the location on the paper, and the use of negative space and patterns (Zeller, 2007), all of which are consistent with previous studies (Morris, 1962; Schiller, 1951).

Going further, Saito et al. (2014) evaluated the hand motor skills that were necessary for infant and adult chimpanzees to imitate simple models such as lines, circles, or squares. They found a gradual improvement of manual movement control with age from young to adult life stages, leading them to presume that the absence of representational drawing in apes does not seem to be due to insufficient motor ability. Saito and colleagues (2014) then questioned the cognitive prerequisites for the production of a figurative drawing by presenting the chimpanzees with incomplete figures such as drawings of conspecific faces where an eye is missing. They never marked the missing parts, leading the authors to conclude that this species lacked imagination (Saito et al., 2014).

Although the systematic examination of paper drawings has proven its worth, this method is time consuming and does not permit the investigation of each step of the drawing process: The first marks made on the page are covered by the most recent ones in finished drawings, thus preventing the analysis of intermediate steps. Electronic tools, therefore, appear to be a good way to overcome such difficulties. Indeed, touch-sensitive monitor technology not only allows the drawing to be created but also enables us to investigate the processes underlying drawing in terms of where the marks are located and the time needed to do so.

The Touch-Sensitive Monitor Revolution

Any attempt to make an ape use an iPad with its fingers will fail. This is not only because iPads are fragile items, but particularly because the finger skin of apes is too thick to transfer the conductivity required by these devices (Satoshi Hirata, personal communication). However, touch-sensitive monitors have been successfully used in work with animals for some decades now, mostly in match-to-sample tasks (Matsuzawa, 1985, in chimpanzees; Markham et al., 1996, in rats; Truppa et al., 2010, in capuchin monkeys). These monitors must be sensitive enough to detect all pressure on the screen (even those of low intensity). When coupled with computing programs, this type of device can generate electronic ink each time it is touched. Another advantage of these monitors is that contrary to paint, crayons and stick of chalk, they cannot be eaten (Schiller, 1951; Smith, 1973; Vancatova, 2008; Zeller, 2007) and easily offer the possibility to use colors in the drawing.

These electronic ink devices were first used by Iversen and Matsuzawa (1996), who trained two chimpanzees to trace lines between two dots. First, chimpanzees learned to press on a series of aligned circles presented in different directions (vertical, horizontal, and the two diagonals). As the sessions progressed, the circles increased in number and proximity to each other, before being replaced by a single white unfilled rectangle, leading the subject to trace a line by moving his finger without lifting it. For

the last step, the chimpanzee had to trace the line between two white-filled dots located a fixed distance apart. The same individuals were then involved in a second exploratory three-step experiment of model-guided line drawing (Iversen & Matsuzawa, 1997). They were trained to draw a line parallel to the model through several steps of an experiment (connecting the two guide plots next to the model and then doing likewise after removal of one or both of the dots). At the end of these experiments, the two chimpanzees showed the ability to trace lines with the correct angle and the correct length when guided by a model, proving that chimpanzees can be taught to mark in a more structured way and seem to have the necessary motor and perceptual components for drawing (Iversen & Matsuzawa, 1997), as also later concluded by Saito and colleagues (2014). With these experiments, Iversen and Matsuzawa (1996, 1997) were the first to prove that chimpanzees could complete tasks based on finger drawing on a monitor.

In later studies, three infant chimpanzees (aged 13–23 months old) that were too young to handle drawing tools were introduced to finger-drawing on a touch-sensitive screen (Tanaka et al., 2003). These three young chimpanzees and their mothers were tested at the same time, and the infants were able to produce the same categories of marks (dot, straight line, curve, hook, and loop) on the touch-sensitive screen as their mothers (Tanaka et al., 2003). They were able to mark with their fingers on a touch-sensitive screen before they scribbled on paper. However, the marks made by infants were shorter or more curved than those of their mothers, leading the authors to conclude that young and adult chimpanzees had different levels of maturity in perceptual–motor coordination. It is nevertheless clear that the marks produced showed very little change across the different ages (Tanaka et al., 2003). Other authors pointed out the narrow “repertoire of marks” found in chimpanzee productions and suggested that the difficulties to produce more complex shapes could suggest a deficit in the hand visual-spatial motor coordination of chimpanzees (Hodgson, 2008, p. 345).

This touch-screen monitor revolution appears to be an ideal opportunity to obtain data (such as time or speed) that had previously been inaccessible in studies based on paper productions. These findings open up new opportunities for relevant and innovative methods of analysis such as fractals or machine learning, leading to new and objective knowledge on mark-making activity.

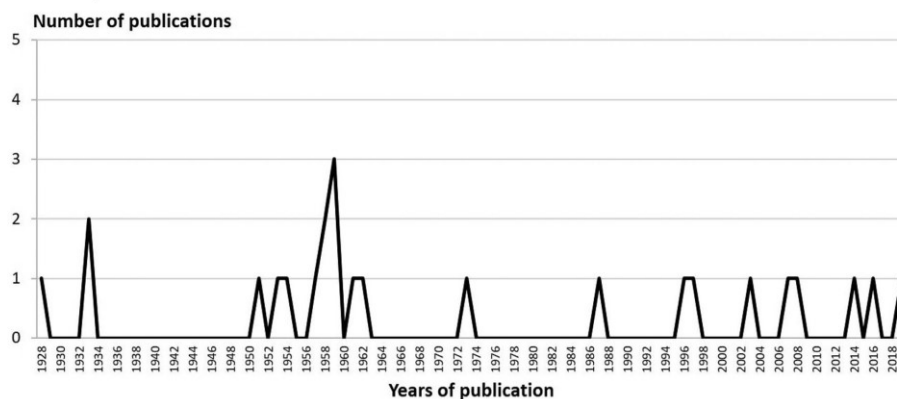
Key Points for Future Investigations

During the 1950s, drawing and painting by apes aroused the interest of scientists who then directly explored the question of art and aesthetics in animals (Lenain, 1990). Yet as the scientists failed to find convincing answers to their questions, interest in the topic waned (see Figure 4). Many studies were based on a limited number of individuals and more importantly, the methods of analysis were constantly different with no coordination between researchers. This review identifies a number of key elements for future studies of mark-making in nonhuman primates and animals in general.

Human Pictorial Devices: A Limitation for Animal Drawing?

Imagine a child who asks you for equipment to draw. Without thinking, you will give her/him a sheet of white paper and some colored pencils. In this example, the material offered to the child to draw can be divided into two pictorial devices: the support (the sheet of paper) and the instrument (the colored pencils). When paint is used, it can be counted as a third pictorial device. All appear to be ordinary, natural, and even self-evident in western countries (Lenain, 1990), yet this is not true. The use of the same type of mobile, rectangular, and smooth supports for drawing is a relatively recent habit that has evolved over the past few hundred years in art history (Lenain, 1990). These particularities are even true of electronic devices (tablets and touch screens). These arti-

Figure 4
Number of Publications on Drawing in Nonhuman Primates Through the Years (According to Morris [1962] Until 1962)



Note. The golden age of this topic appeared from the 1950s to the middle of the 1960s.

ficial devices (and particularly the drawing supports) certainly influence how nonhuman primates perceive, understand, and appreciate the drawing activity. Indeed, marking on a surface using a pen or a brush differs from finger drawing on touch-sensitive monitors, as the former requires combinatorial manipulation among objects (Hayashi & Matsuzawa, 2003). Nevertheless, inviting individuals to mark with their fingers (Iversen & Matsuzawa, 1996, 1997, 2001; Tanaka et al., 2003) simplifies the task and is certainly more reminiscent of the work of our prehistorical ancestors, whose first tools were their hands and fingers. On the other hand, using a finger to leave a mark on the tablet can generate a bias that must be taken into account in future studies, namely, the click bias. Animals working on a touch screen are more likely to click than to trace when they are already involved in studies that require computer use. Besides, the use of fingers can also be a bias for individuals that are used to tracing on paper with pencils, markers, or brushes and who may not be motivated or may not understand the task. More generally, the choice of the tool used ultimately depends on the individual's experience. A chimpanzee that is used to using paper and pens could be more interested and curious about drawing with a touch screen than an individual that is used to working with a monitor every day during experimental sessions. But the contrary is also true: An individual may prefer to use a piece of paper than a touch-sensitive monitor. The question of the proposed pictorial device (support, material, and tools) is, therefore, fundamental when designing a study about drawing.

Drawing: An Intention Rather Than a Technique?

The elementary use of the pictorial device obviously presupposes that the individual has a set of very particular physical, mental, and behavioral faculties: very powerful visual skills, manual dexterity, and well-developed play and exploratory behaviors (Lenain, 1990). It is now clear and proven that animals have personalities (see the review by Carere & Maestriperi, 2013) and that their traits of character can be shown by the interest that captive individuals exhibit in proposed activities. For example, Congo, Alpha, and Audrey appeared to show great interest in drawing, and did so for many years in certain cases (Morris, 1962; Schiller, 1951; Smith, 1973). In contrast, other individuals appeared to be less focused, such as Sheba, who appeared "more distractible" than her two other companions (Boysen et al., 1987, p. 83).

MacDonald (2014) quite rightly pointed out that nonhuman productions are considered a "homogeneous phenomenon" (p. 31) or can at least be categorized by species. Of course, the human/nonhuman (or between-species) comparative approach is classical in psychological studies. However, it now also seems important to go beyond interspecies comparisons and examine individual abilities to mark, as scientists have previously been struck by the apparent enjoyment of graphic activities by some apes. Indeed, the intention to engage in a particular activity seems to be a prerequisite to improvement. It is obvious that someone who does not enjoy cooking will never become a master chef. Very recently, Hanazuka and colleagues (2019) reported the case of an old female orangutan who spontaneously produced a thousand drawings in only 5 years, at the end of her life. The way that she marked seemed to be affected by the identity of the keeper present during drawing sessions. The authors consider this to be the first proof

that marking provides a window into the internal states of nonhuman primates.

However, a better characterization of the intrinsic motivation of the individual clearly requires the comparability of methodological aspects. A first important point is the distinction between methods that ask animals to mark on demand, for example, discrete trials and methods that simply give animals free access to materials. We may expect differences in outcomes between these two methods, as the level of willingness of the individuals could be impacted. The possible use of food rewards could also influence the motivation of the animal to participate, as noted by Morris (1962): "The ape quickly learned to associate drawing with getting the reward but as soon as this condition had been established the animal took less and less interest in the lines it was drawing" (p. 158). In the same way, one may ask at what point a drawing can be considered to be finished. Is it when the ape walks away, puts down the brush, stops marking for a certain period of time, or when the experimenter takes it away from the ape? This criterion is important and should not be overlooked, as it could also result from a human reaction and not actually reflect the individual's intention to stop its marking activity. Another human effect could be the selection of colors for the individuals by the experimenter; it is now clear that the choice of colors must be free and not constrained to obtain the most accurate evaluation possible of the individual's intention.

Conclusion

In *The Evolution Man, or How I Ate My Father*, Roy Lewis (1960) depicted with verve how somewhere during the middle Pleistocene, the young Alexander drew the shadow of his uncle Vania and invented, as he said to his horde, "representational art" (p. 64). This humorous scene is reminiscent of the gorilla Meng who traced the outlines of his shadow (Huxley, 1942). So, what differentiates Meng from the first of our prehistoric ancestors (certainly not named Alexander) who started to make visible marks?

Nonhuman primates have no reason to make visible marks in their natural environment. It is, however, important to note that even if marking is a common behavior in humans, it remains an acquired behavior. Graphic productions made by nonhuman primates have been explored through different perspectives and techniques in different species of monkeys and apes (see online supplemental materials). Thanks to the knowledge collected over the years, we are now aware that some nonhuman primates are capable of symmetry, rhythmicity, color choice, and marking within the limits of the medium they have been given. This suggests that it is necessary to go beyond a simple interest in the finished product and explore the very dynamic of the mark-making process. This and the general interest of individuals in this activity are promising avenues of research. New technologies and methodologies will be crucial tools in future studies to identify and develop our knowledge of the mark-making abilities of nonhuman primates.

References

- Anati, E. (2003). *Aux origines de l'art—50 000 ans d'art préhistorique et tribal* [At the origins of art -50,000 years of prehistoric and tribal art]. Fayard.
- Aubert, M., Lebe, R., Oktaviana, A. A., Tang, M., Burhan, B., Hamrullah, Jusdi, A., Abdullah, Hakim, B., Zhao, J.-X., Geria, I. M., Sulistyarto,

- P. H., Sardi, R., & Brumm, A. (2019). Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature*, *576*(7787), 442–445. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1806-y>
- Boesch, C., & Boesch, H. (1990). Tool use and tool making in wild chimpanzees. *Folia Primatologica*, *54*(1–2), 86–99. <https://doi.org/10.1159/000156428>
- Boesch, C., Crockford, C., Herbing, I., Wittig, R., Moebius, Y., & Normand, E. (2008). Intergroup conflicts among chimpanzees in Taï National Park: Lethal violence and the female perspective. *American Journal of Primatology*, *70*(6), 519–532. <https://doi.org/10.1002/ajp.20524>
- Bowen, J. (1942). Origins of human graphic art. *Nature*, *149*, 733(1942). <https://doi.org/10.1038/149733d0>
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., & Prentice, J. (1987). Simian scribbles: A reappraisal of drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, *101*(1), 82–89. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.101.1.82>
- Brewster, J. M., & Siegel, R. K. (1976). *Reinforced drawing in Macaca mulatta*. *Journal of Human Evolution*, *5*(4), 345–347. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(76\)90039-7](https://doi.org/10.1016/0047-2484(76)90039-7)
- Carere, C., & Maestri, D. (2013). *Animal personalities: Behavior, physiology, and evolution*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226922065.001.0001>
- Casti, A. B. (2016). *Reaction to stimulus figures in chimpanzee drawings* [Master thesis]. Central Washington University.
- Chauvet, J.-M., Deschamps, E. B., & Hillaire, C. (1995). *La grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc*. [The Chauvet cave in Vallon-Pont-d'Arc]. Seuil.
- Chimpanzees Sequencing and Analysis Consortium. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature*, *437*(7055), 69–87. <https://doi.org/10.1038/nature04072>
- Clottes, J. (2011). *Pourquoi l'art préhistorique?* [Why prehistoric art?] Gallimard.
- Clottes, J., Chauvet, J. M., Brunel-Deschamps, E., Hillaire, C., Daugas, J.-P., Arnold, M., Cachier, H., Evin, J., Fortin, P., & Oberlin, C. (1995). Les peintures paléolithiques de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc, à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche, France): Datations directes et indirectes par la méthode du radiocarbone [The Palaeolithic paintings of the Grotte Chauvet-Pont d'Arc, in Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche, France): Direct and indirect data by the radiocarbon method]. *Comptes rendus de l'Académie des sciences Série 2. Sciences de la terre et des planètes* [Proceedings of the Academy of Sciences Series 2. Earth and Planetary Sciences], *320*(11), 1133–1140.
- Evans, C. S., Wenderoth, P., & Cheng, K. (2000). Detection of bilateral symmetry in complex biological images. *Perception*, *29*(1), 31–42. <https://doi.org/10.1068/p2905>
- Furness, W. H. (1916). Observation on the mentality of chimpanzees and Orang-Utans. *Proceedings of the American Philosophical Society*, *55*(3), 281–290. <http://www.jstor.org/stable/984118>
- Gibson, J. J. (1978). The ecological approach to the visual perception of pictures. *Leonardo*, *11*(3), 227–235. <https://doi.org/10.2307/1574154>
- Giurfa, M., Eichmann, B., & Menzel, R. (1996). Symmetry perception in an insect. *Nature*, *382*(6590), 458–461. <https://doi.org/10.1038/382458a0>
- Goodall, J. (1964). Tool-using and aimed throwing in a community of free-living chimpanzees. *Nature*, *201*, 1264–1266. <https://doi.org/10.1038/2011264a0>
- Gucwa, D., & Ehmann, J. (1985). *To whom it may concern: An investigation of the art of elephants*. Norton and Company.
- Hanazuka, Y., Kurotori, H., Shimizu, M., & Midorikawa, A. (2019). The effects of the environment on the drawings of an extraordinarily productive orangutan (*Pongo pygmaeus*) artist. *Frontiers in Psychology*, *10*(2050), Article 2050. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02050>
- Hayashi, M., & Matsuzawa, T. (2003). Cognitive development in object manipulation by infant chimpanzees. *Animal Cognition*, *6*(4), 225–233. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0185-8>
- Henshilwood, C. S., d'Errico, F., van Niekerk, K. L., Dayet, L., Queffelec, A., & Pollarolo, L. (2018). An abstract drawing from the 73,000-year-old levels at Blombos Cave, South Africa. *Nature*, *562*(7725), 115–118. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0514-3>
- Hodgson, D. (2008). Neurovisual theory, the visuo-motor system and Pleistocene palaeoart. In R. G. Bednarik & D. Hodgson (Eds.), *Pleistocene palaeoart of the world* (pp. 49–55). Oxford.
- Hopkins, W. D., & Washburn, D. A. (2002). Matching visual stimuli on the basis of global and local features by chimpanzees (*Pan troglodytes*) and rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Animal Cognition*, *5*(1), 27–31. <https://doi.org/10.1007/s10071-001-0121-8>
- Huxley, J. S. (1942). Origins of human graphic art. *Nature*, *149*(3791), Article 733. <https://doi.org/10.1038/149733c0>
- Iversen, I. H., & Matsuzawa, T. (1996). Visually guided drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Japanese Psychological Research*, *38*(3), 126–135. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.1996.tb00017.x>
- Iversen, I. H., & Matsuzawa, T. (1997). Model-guided line drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Japanese Psychological Research*, *39*(3), 154–181. <https://doi.org/10.1111/1468-5884.00051>
- Iversen, I. H., & Matsuzawa, T. (2001). Acquisition of navigation by chimpanzees (*Pan troglodytes*) in an automated fingermaze task. *Animal Cognition*, *4*(3–4), 179–192. <https://doi.org/10.1007/s100710100101>
- Jacobsen, C. F., Jacobsen, M. M., & Yoshioka, J. G. (1932). *Development of an infant chimpanzee during her first year*. The Johns Hopkins Press.
- Kellogg, W. N., & Kellogg, L. A. (1933). *The ape and the child: A study of environmental influence upon early behavior*. Whittlesey House. <https://doi.org/10.1097/00006324-193311000-00009>
- Kim-McCormack, N. N. E., Smith, C. L., & Behie, A. M. (2016). Is interactive technology a relevant and effective enrichment for captive great apes? *Applied Animal Behaviour Science*, *185*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.09.012>
- Klüver, H. (1933). *Behavior mechanisms in monkeys*. University Chicago Press.
- Kohts, N. (1935). *Infant ape and human child: Instincts, emotion, play, habits*. Scientific Memoirs of the Museum Darwinianum.
- Kühl, H. S., Kalan, A. K., Arandjelovic, M., Aubert, F., D'Auvergne, L., Goedmakers, A., . . . Boesch, C. (2016). Chimpanzee accumulative stone throwing. *Scientific Reports*, *6*(22219), Article 22219. <https://doi.org/10.1038/srep22219>
- Laule, G. E. (2003). Positive reinforcement training and environmental enrichment: Enhancing animal well-being. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *223*(7), 969–973. <https://doi.org/10.2460/javma.2003.223.969>
- Leighty, K. A., & Frigaszy, D. M. (2003). Primates in cyberspace: Using interactive computer tasks to study perception and action in nonhuman animals. *Animal Cognition*, *6*(3), 137–139. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0177-8>
- Lenain, T. (1990). *La peinture des singes: Histoire et esthétique* [Monkey Painting: History and Aesthetics]. Syros Alternatives.
- Lenain, T. (1995). Ape-painting and the problem of the origin of art. *Human Evolution*, *10*(3), 205–215. <https://doi.org/10.1007/BF02438973>
- Lewis, R. (1960). *The evolution man, or, how I ate my father*. Pantheon Books.
- MacDonald, J. (2014). Alpha: The figure in the cage. *Relations Beyond Anthropocentrism*, *2*(2.2), 27–43. <https://doi.org/10.7358/rela-2014-002-macd>
- Markham, M. R., Butt, A. E., & Dougher, M. J. (1996). A computer touch-screen apparatus for training visual discriminations in rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *65*(1), 173–182. <https://doi.org/10.1901/jeab.1996.65-173>

- Mascalzoni, E., Osorio, D., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2012). Symmetry perception by poultry chicks and its implications for three-dimensional object recognition. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1730), 841–846. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1486>
- Maslen, M., & Southern, J. (2011). Marks and mark-making. In M. Malsen & J. Southern (Eds.), *Drawing projects: An exploration of the language of drawing* (pp. 28–30). Black Dog Publishing.
- Matsuzawa, T. (1985). Use of numbers by a chimpanzee. *Nature*, 315(6014), 57–59. <https://doi.org/10.1038/315057a0>
- Mazzi, D., Künzler, R., & Bakker, T. C. (2003). Female preference for symmetry in computer-animated three-spined sticklebacks. *Gasterosteus aculeatus*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54(2), 156–161. <https://doi.org/10.1007/s00265-003-0609-0>
- Merry, J. W., & Morris, M. R. (2001). Preference for symmetry in swordtail fish. *Animal Behaviour*, 61(2), 477–479. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1589>
- Mitani, J. C., Watts, D. P., & Amstler, S. J. (2010). Lethal intergroup aggression leads to territorial expansion in wild chimpanzees. *Current Biology*, 20(12), R507–R508. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.021>
- Møller, A. P. (1992). Female swallow preference for symmetrical male sexual ornaments. *Nature*, 357(6375), 238–240. <https://doi.org/10.1038/357238a0>
- Morris, D. (1962). *The biology of art: A study of the picture-making behaviour of the great apes and its relationship to human art*. Taylor & Francis.
- Morris, D. (1980). *Animal days*. William Morrow & Company.
- Morris, M. R. (1998). Female preference for trait symmetry in addition to trait size in swordtail fish. *Proceedings Biological Sciences*, 265(1399), Article 907. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0377>
- Muller, M. N., & Mitani, J. C. (2005). Conflict and cooperation in wild chimpanzees. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 275–331. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(05\)35007-8](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(05)35007-8)
- Plowright, C. M. S., Evans, S. A., Leung, J. C., & Collin, C. A. (2011). The preference for symmetry in flower-naïve and not-so-naïve bumblebees. *Learning and Motivation*, 42(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2010.08.009>
- Pruetz, J. D., & Bertolani, P. (2007). Savanna chimpanzees, *Pan troglodytes verus*, hunt with tools. *Current Biology*, 17(5), 412–417. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.12.042>
- Rensch, B. (1957). Ästhetische Faktoren bei Farb- und Formbevorzugungen von Affen [Aesthetic factors in colour and shape preferences of monkeys]. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 14(1), 71–99. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1957.tb00526.x>
- Rensch, B. (1958). Die Wirksamkeit ästhetischer Faktoren bei Wirbeltieren [The effectiveness of aesthetic factors in vertebrates]. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 15(4), 447–461. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1958.tb00575.x>
- Saito, A., Hayashi, M., Takeshita, H., & Matsuzawa, T. (2014). The origin of representational drawing: A comparison of human children and chimpanzees. *Child Development*, 85(6), 2232–2246. <https://doi.org/10.1111/cdev.12319>
- Schiller, P. H. (1951). Figural preferences in the drawings of a chimpanzee. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 44(2), 101–111. <https://doi.org/10.1037/h0053604>
- Schluessel, V., Beil, O., Weber, T., & Bleckmann, H. (2014). Symmetry perception in bamboo sharks (*Chiloscyllium griseum*) and Malawi cichlids (*Pseudotropheus sp.*). *Animal Cognition*, 17(5), 1187–1205. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0751-2>
- Seghers, E. (2014). Cross-species comparison in the evolutionary study of art: A cognitive approach to the ape art debate. *Review of General Psychology*, 18(4), 263–272. <https://doi.org/10.1037/gpr0000015>
- Smith, D. A. (1973). Systematic study of chimpanzee drawing. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 82(3), 406–414. <https://doi.org/10.1037/h0034135>
- Sokolowsky, A. (1928). *Erlebnisse mit wilden Tieren Schilderungen aus meinem Berufsleben* [Experiences with wild animals Descriptions from my professional life]. Verlag E. Haberland.
- Swaddle, J. P., & Cuthill, I. C. (1994). Preference for symmetric males by female zebra finches. *Nature*, 367(6459), 165–166. <https://doi.org/10.1038/367165a0>
- Swaddle, J. P., & Johnson, C. W. (2007). European starlings are capable of discriminating subtle size asymmetries in paired stimuli. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 87(1), 39–49. <https://doi.org/10.1901/jeab.2007.103-05>
- Tanaka, M., Tomonaga, M., & Matsuzawa, T. (2003). Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Animal Cognition*, 6(4), 245–251. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0198-3>
- Truppa, V., Garofoli, D., Castorina, G., Piano Mortari, E., Natale, F., & Visalberghi, E. (2010). Identity concept learning in matching-to-sample tasks by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Animal Cognition*, 13(6), 835–848. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0332-y>
- Valladas, H., Tisnérat-Laborde, N., Cacher, N., Kaltnecker, E., Arnold, M., Oberlin, C., & Evin, J. (2005). Bilan des datations carbone 14 effectuées sur des charbons de bois de la grotte Chauvet [Assessment of the carbon 14 dating carried out on charcoal from the Chauvet cave]. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 102(1), 109R507–113. <https://doi.org/10.3406/bspf.2005.13342>
- Vancatova, M. (2008). Creativity and innovative behaviour in primates on the example of picture-making activity of apes. *Серия: Исихология* 2(2), 50–60. Retrieved from <https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/3372/05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012). A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure-ground organization. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1172–1217. <https://doi.org/10.1037/a0029333>
- Waitt, C., & Little, A. C. (2006). Preferences for symmetry in conspecific facial shape among *Macaca mulatta*. *International Journal of Primatology*, 27(1), 133–145. <https://doi.org/10.1007/s10764-005-9015-y>
- Wertheimer, M. (1922). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. I. Prinzipielle Bemerkungen [Investigations into the theory of Gestalt. General remarks]. *Psychologische Forschung*, 1(1), 47–58. <https://doi.org/10.1007/BF00410385>
- Whiten, A., Goodall, J., McGrew, W. C., Nishida, T., Reynolds, V., Sugiyama, Y., Tutin, C. E. G., Wrangham, R. W., & Boesch, C. (1999). Cultures in chimpanzees. *Nature*, 399(6737), 682–685. <https://doi.org/10.1038/21415>
- Zeller, A. (2007). ‘What’s in a picture?’ A comparison of drawings by apes and children. *Semiotica*, 2007(166), 181–214. <https://doi.org/10.1515/SEM.2007.056>

Received October 11, 2019

Revision received July 10, 2020

Accepted July 10, 2020 ■

Supplementary materials of the review “Drawing in nonhuman primates: What we know and what remains to be investigated”

Table 1. Details of studies on drawing in non-human primates

Authors and year of publication	Species	Name (sex) of individuals	Rearing history	Age when tested (in years)	Devices used to draw: support/instrument	Design of experiments (see below)	Number of pictures
Kellogg, W. N., & Kellogg, L. A. (1933)	Chimpanzee	Gua (M)	human reared	infant	paper and pencils	(1)	unknown
Koths, N. (1935)	Chimpanzee	Joni (M)	human reared	infant	paper and pencils	(1)	unknown
Schiller, P.H. (1951)	Chimpanzee	Alpha (F)	human reared	18	paper/ pencils	(1) and (2)	> 200
Rensch, B. (1958)	Capuchin monkey	Pablo (M)	unknown	unknown	piece of chalk	(6)	a few
Morris, D. (1962)	Gorilla	Sophie (F)	unknown	adult	paper/ pencils and paintbrushes	(1) and (2)	unknown
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Congo (M)	born in the wild	1,5	paper/ pencils and paintbrushes	(1) and (2)	(1) 40, (2) 132 (total of 384 drawings and paintings)
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Fifi (F)	unknown	4	paper and pencils/paint	(1)	a few
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Josie (F)	unknown	3	paper and pencils/paint	(1)	a few
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Charlie (M)	unknown	3	paper and pencils/paint	(1)	a few
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Jubi (F)	unknown	3	paper and pencils/paint	(1)	a few
Morris, D. (1962)	Chimpanzee	Beebee (F)	unknown	3	paper and pencils/paint	(1)	a few
Smith, D. A. (1973)	Chimpanzee	Audrey (F)	human reared	3.5	paper/ pencils	(1) and (2)	101
Smith, D. A. (1973)	Chimpanzee	Leo (M)	born in the wild	5	paper/ pencils	(1) and (2)	100
Smith, D. A. (1973)	Chimpanzee	Walter (M)	born in the wild	4	paper/ pencils	(1) and (2)	99
Brewster, J. M. & Siegel, R. K. (1976)	Rhesus macaque	Larry (M)	unknown	2.5	opaque plastic surface/ wax crayon	(1)	unknown
Brewster, J. M. & Siegel, R. K. (1976)	Rhesus macaque	Alfie (M)	unknown	2.5	opaque plastic surface/ wax crayon	(1)	unknown
Boysen, S. T. <i>et al.</i> (1987)	Chimpanzee	Darrell (M)	laboratory nursery with peers	4.5	paper/ pencils	(2)	215
Boysen, S. T. <i>et al.</i> (1987)	Chimpanzee	Kermit (M)	laboratory nursery with peers	4	paper/ pencils	(2)	218
Boysen, S. T. <i>et al.</i> (1987)	Chimpanzee	Sheba (F)	human reared	2-3	paper/ pencils	(2)	185
Inversen, I. H. & Matsuzawa, T. (1996, 1997)	Chimpanzee	Ai* (F)	human reared	16	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(3)	/
Inversen, I. H. & Matsuzawa, T. (1996, 1997)	Chimpanzee	Pendesa (F)	mother reared	15	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(3)	/
Tanaka M., <i>et al.</i> (2003)	Chimpanzee	Ai* and Ayumu (M) (mother and infant)	human reared and mother reared	26 and 2	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	360 strokes for Ayumu
Tanaka M., <i>et al.</i> (2003)	Chimpanzee	Chloé (F) and Cleo (F) (mother and infant)	human reared and mother reared	21 and 1.5	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	61 and 257 strokes
Tanaka M., <i>et al.</i> (2003)	Chimpanzee	Pan* (F) and Pal* (F) (mother and infant)	human reared and mother reared	19 and 1	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	563 and 219 strokes
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Colin (M)	unknown	between 1.5 and 3	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	17
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Grub (M)	unknown	at 3 and at 15	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Dar (M)	unknown	More than 20	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	

Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Collen (F)	unknown	between 1.5 and 3	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	23
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Kenya (F)	unknown	about 1.5	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Washoe* (F)	human reared	about 34	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Moja (F)	unknown	More than 20	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Chimpanzee	Tatu (F)	unknown	More than 20	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	Charles (M)	unknown	more than 25	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	150
Zeller A. (2007)	Gorilla	Patrick (M)	unknown	between 5 and 8	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	Jabari (M)	unknown	between 5 and 9	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	King (M)	unknown	between 32 and 35	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	Michael (M)	unknown	10	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	

Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	unknown (M)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Gorilla	Josephine (F)	unknown	more than 20	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	3
Zeller A. (2007)	Gorilla	Tabitha (F)	unknown	between 3 and 4	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Din (M)	unknown	more than 25	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	125
Zeller A. (2007)	Orangutan	Molek (M)	unknown	more than 15	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Rei (M)	unknown	between 12 and 15	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Chantek (M)	unknown	between 12 and 15	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Abigale (F)	unknown	more than 30	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Jabe (F)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	21
Zeller A. (2007)	Orangutan	Rama (F)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Puppe (F)	unknown	more than 15	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	Mei (F)	unknown	between 8 and 10	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	

Zeller A. (2007)	Orangutan	Thelma (F)	unknown	22	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	unknown (F)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Zeller A. (2007)	Orangutan	unknown (F)	unknown	unknown	paper, bristol board, canvas/ paints, magic markers, pencils	(1)	
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Tedy (M)	unknown	4	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	414
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Jimi (M)	unknown	2	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	172
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Majoranka (F)	unknown	1	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	211
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Vaniilka (F)	unknown	1	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	38
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Kongo (M)	unknown	31	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	84
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Zina (F)	unknown	12	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	181
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Justin (M)	unknown	12	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	64
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Zuzana (F)	unknown	16	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	18
Vancatova, M. (2008)	Gorilla	Nigra (F)	unknown	24	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	52
Vancatova, M. (2008)	Gorilla	Tadao (M)	unknown	24	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	264
Vancatova, M. (2008)	Orangutan	Nuninka (F)	unknown	2	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	241
Vancatova, M. (2008)	Orangutan	Nunak (M)	unknown	3	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	40
Vancatova, M. (2008)	Orangutan	Dona (F)	unknown	16	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	267
Vancatova, M. (2008)	Orangutan	Zaneta (F)	unknown	20	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	266
Vancatova, M. (2008)	Orangutan	Upita (F)	unknown	12	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	21
Vancatova, M. (2008)	Chimpanzee	Kuba (M)	unknown	11	paper/ pastels, pencils, felt-tip pens and colors	(1) and (2)	12
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Akira (M)	born in the wild	29	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Ai*	human reared	28	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Popo (F)	human reared	23	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Pan*	human reared	21	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Ayumu	mother reared	5	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60
Saito, A. <i>et al.</i> (2014)	Chimpanzee	Pal*	mother reared	5	paper/ pencils	(5) and (7)	(1) 87, (2) 60

Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Ally (M)	human reared	2-3	paper/ pencils	(1) and (2)	81
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Booee (M)	human reared	4-5	paper/ pencils	(1) and (2)	88
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Bruno (M)	human reared	3-4	paper/ pencils	(1) and (2)	47
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Cindy (F)	born in the wild	5-6	paper/ pencils	(1) and (2)	70
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Lucy (F)	human reared	7-8	paper/ pencils	(1) and (2)	96
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Thelma (F)	born in the wild	4-5	paper/ pencils	(1) and (2)	70
Casti, A. (2016)	Chimpanzee	Washoe*	human reared	5-6	paper/ pencils	(1) and (2)	141
Hanazuka, Y. <i>et al.</i> (2019)	Orangutan	Molly (F)	probably born in the wild	50	paperboard and colored pencils	(1)	1037 in 5 years
Martinet, L. <i>et al.</i> (submitted)	Chimpanzee	Natsuki (F)	mother reared	12	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	2
Martinet, L. <i>et al.</i> (submitted)	Chimpanzee	Mizuki (F)	mother reared	21	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	3
Martinet, L. <i>et al.</i> (submitted)	Chimpanzee	Hatsuka (F)	human reared	9	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	4
Martinet, L. <i>et al.</i> (submitted)	Chimpanzee	Misaki (F)	mother reared	18	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	2
Martinet, L. <i>et al.</i> (submitted)	Chimpanzee	Iroha (F)	mother reared	9	touch-sensitive monitor/ electronic ink	(4)	1

2. Réflexions et propositions autour de l'étude du comportement de dessin des primates non-humains

Article 6 (chapitre d'ouvrage) : Sortir du cadre : désanthropiser le concept de dessin en questionnant les primates non humains

Publié dans *L'animal désanthropisé, redéfinir les concepts pour l'interroger* aux éditions de la Sorbonne

2.1 Synthèse de l'article 6

Ce chapitre d'ouvrage a été écrit dans le cadre du troisième atelier « Concepts animaux désanthropisés, décloisonnés » du programme IUF *Penser du côté des animaux* (2017-2022) mené par Éric Baratay (Université Jean Moulin, Lyon).

Les différents niveaux de décloisonnement développés dans ce chapitre font écho à un comportement qui nous apparaît comme typiquement humain, mais qui s'est trouvé être, à plusieurs reprises, rapporté chez l'animal : le dessin. L'émergence de l'art graphique est sans cesse reculée et nous pousse à une première forme de décloisonnement : celui de sa temporalité. S'intéresser au dessin, notamment par son émergence évolutive, ne semble donc pouvoir se faire qu'en questionnant nos plus proches cousins, les autres singes anthropoïdes. Dans une telle perspective d'ouverture spécifique nous proposons ici une déconstruction et une redéfinition du « dessin », concept anthropique et anthropisé par excellence, bien souvent relié à la figuration ou l'esthétisme dans l'imaginaire collectif. L'une de nos premières pistes de réflexion est de considérer ce comportement comme le seul fait de marquer une surface, de laisser une trace à la fois pour l'homme et les animaux. Mais cette démarche requiert des conditions de réalisation des dessins similaires pour le primate humain et le primate non humain. En cela, la vision de l'animal non humain en Orient s'avère pertinente grâce au protocole innovant qu'est *l'observation participative* développée par les primatologues japonais et qui repose sur la mise en place d'une relation de confiance et de complicité entre l'homme-expérimentateur et l'animal-modèle travaillant ensemble et sans barrière. En détaillant ce type de procédure, nous procédons à un décloisonnement spatial qui conduit à une meilleure et surtout plus juste connaissance du modèle et de ses capacités

à dessiner. Dans ce chapitre, nous mettons en avant la nécessité d'appréhender le dessin dans sa globalité, en s'enrichissant des connaissances d'autres disciplines telles que la psychologie, la philosophie, l'archéologie, la paléoanthropologie, la sociologie, *etc.* L'ayant nous-même appliquée, nous expliquons en quoi le recours à l'analyse mathématique pour étudier le tracé s'avère utile pour gagner en objectivité et œuvrer à une compréhension détachée de toute vision humano-centrée. Enfin, et au-delà du décloisonnement spécifique dont nous parlons, nous sondons la dimension individuelle du comportement de dessin chez les animaux ; car au même titre que chez les êtres humains, de nettes différences semblent se retrouver entre les dessins de plusieurs individus.

2.2 Article 6

Sortir du cadre :

désanthropiser le concept de dessin en questionnant les primates non humains

Lison Martinet, Marie Pelé

Et voici, l'ombre était là, immuable et fixée de la façon la plus étonnante, au milieu de nos ombres à nous qui dansaient et frémissaient dans la lumière du feu.

Roy Lewis, *Pourquoi j'ai mangé mon père*¹

Lorsque le jeune Alexandre invente ce qu'il appelle de l'art figuratif en traçant sur le sol l'ombre de son oncle Vania, ce dernier s'exaspère devant cette chose infernale que son groupe de pithécantropes s'obstine à appeler le progrès. Cette scène - tirée du fameux roman *Pourquoi j'ai mangé mon père* de Roy Lewis paru en 1960 n'est peut-être pas si éloignée de ce que l'on pourrait imaginer du tout premier dessin de l'histoire de l'humanité. Les dessins représentatifs les plus anciens connus à ce jour se trouvent dans la grotte ardéchoise de Chauvet. Ils sont l'œuvre d'hommes et de femmes préhistoriques ayant vécu il y a 33 000 ans, à la période aurignacienne du Paléolithique supérieur². La grotte Chauvet abrite en grande majorité des mammouths, des aurochs, des félins, des ours, des rennes, une panthère, un rhinocéros et même un hibou pour ne citer qu'eux. Ce bestiaire préhistorique donne ainsi lieu à plusieurs hypothèses quant à son interprétation : certains estiment que ces dessins sont des preuves de protoreligion et de croyances, d'autres, des rituels de chasse et de chamanisme, sans oublier le simple plaisir de représenter³. L'interprétation de ces œuvres ne fait donc l'objet d'aucun consensus, notre seule certitude est qu'elles n'ont pas surgi d'un coup du bout

¹ Roy Lewis, *Pourquoi j'ai mangé mon père*, trad. de l'angl. par Vercors et R. Barisse, Arles, Actes Sud, 1990, p. 60.

² Jean Clottes *et coll.*, « Les peintures paléolithiques de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc, à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche, France) : datations directes et indirectes par la méthode du radiocarbone », *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes*, 320/11, 1995, p. 1133-1140.

³ Jean Clottes, *Pourquoi l'art préhistorique ?*, Paris, Gallimard, 2011.

des doigts de leurs auteurs. En effet, les matériaux et les techniques utilisées sur ces parois comprennent le charbon de bois, des combinaisons de pigments, des brosses de poils d'animaux, l'utilisation de perspectives, et bien d'autres. Une telle complexité ne peut que nous laisser supposer qu'*Homo sapiens* avait déjà une connaissance préalable et importante de la représentation graphique. Cette hypothèse se confirme par la récente découverte dans la grotte de Blombos en Afrique du Sud d'un motif hachuré dessiné avec un crayon ocre sur un biface taillé et daté de 73 000 ans⁴. D'omniprésent aujourd'hui à quelque chose de rare il y a 33 000 ans, le dessin nous apparaît comme une machine à remonter le temps, ou comme l'écrit Emma Dexter « une activité qui nous relie directement dans une ligne ininterrompue avec le premier être humain qui n'ait jamais esquissé dans la poussière ou gratté sur les murs d'une grotte⁵ ». Et si le dessin n'est pas apparu soudainement, l'on peut émettre l'hypothèse que les dessins préhistoriques que l'on connaît ont certainement été précédés de protodessins.

Poser le cadre pour mieux en sortir

Sapiens étant désormais l'unique représentant de son genre, le seul moyen à notre portée pour étudier l'apparition de tels protodessins dans notre histoire évolutive est de l'étudier chez nos plus proches parents connus, les autres singes anthropoïdes. Les chimpanzés et les bonobos qui partagent environ 98,8 % de nos gènes⁶ démontrent une variété de comportements similaires aux nôtres. Plus encore que les découvertes sur l'utilisation et la production d'outils, les études portent désormais sur la production et les préférences musicales^{7,8} chez les grands singes. Dans ce volume, Dalila Bovet interroge justement par le biais de la musique la sensibilité esthétique et les productions artistiques chez tous les non-humains. Mais c'est également sans compter les manifestations de deuil ou de cérémonies rituelles qui s'accumulent chez les animaux déconstruisant encore un peu plus

⁴ Christopher S. Henshilwood *et al.*, « An Abstract Drawing From the 73,000-year-old Levels at Blombos Cave, South Africa », *Nature*, 562, 2018, p. 115.

⁵ Emma Dexter, « To Draw Is to Be Human » Dans *Vitamin D: New Perspectives in Drawing*, Londres-New York, Phaidon, 2005, p. 6-10.

⁶ The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium, « Initial Sequence of the Chimpanzee Genome and Comparison with the Human Genome », *Nature*, 437, 2005, p. 69-87.

⁷ Valérie Dufour *et al.*, « Chimpanzee Drumming: A Spontaneous Performance with Characteristics of Human Musical Drumming », *Scientific Reports*, 5, 2015, 11320.

⁸ Morgan E. Mingle *et al.*, « Chimpanzees Prefer African and Indian Music over Silence », *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 40/4, 2014, p. 502.

le concept du propre de l'être humain. Ainsi, des chimpanzés de communautés d'Afrique de l'Ouest ont été vus en train de lancer des pierres de façon répétitive, sur les mêmes arbres, entraînant ainsi leur accumulation aux pieds de ces derniers⁹. Ce comportement qui ne semble *a priori* pas apporter de bénéfices directs aux individus est similaire en plusieurs points aux pratiques rituelles humaines (comme l'importance du lieu) laissant songer à une possible origine commune de spiritualité. Il n'est alors pas dénué de sens d'examiner la question du dessin chez les grands singes puisque les premières productions humaines seraient potentiellement liées à l'expérience spirituelle de leurs auteurs.

Il existe donc un nombre certain d'observations plus ou moins anecdotiques chez nos cousins anthropoïdes de comportements de moins en moins spécifiques aux humains. Et le dessin ne fait pas exception. En 1928, Alexandre Sokolowsky rapporte avoir vu dessiner un chimpanzé nommé Tarzan II au zoo de Hambourg en Allemagne¹⁰. En 1933, Heinrich Klüver raconte le dessin d'un singe capucin avec un morceau de craie sur le sol¹¹. Ce fut la première tentative enregistrée d'un dessin par un singe. En 1942, Julian Huxley explique comment un jeune gorille du nom de Meng a tracé sa propre ombre sur le mur clair de sa cage : « D'un coup, voyant son ombre devant lui, il s'est arrêté, l'a regardée et a tracé son contour avec son index. » Meng n'a jamais répété ce comportement malgré les efforts répétés de Huxley¹². Après la publication de la note de Huxley dans la fameuse revue scientifique *Nature*, un certain Leonard Bowen lui fait part dans une courte lettre de ses observations lors d'un voyage en Inde : « (...) des singes tracent le contour de leur main, en utilisant une brindille tenue dans l'autre tel un crayon. D'autres individus ont inspecté ces traces avec intérêt, tournant nerveusement autour¹³. » Mais toutes les anecdotes sur le dessin non humain ne concernent pas que les primates. Au début des années 1980, une femelle éléphant d'Asie nommée Siri a été observée par son gardien marquant le sol avec des cailloux et des bâtons ; elle a par la suite été formée à l'utilisation du papier et des crayons¹⁴.

⁹ Hjalmar S. Kühl *et al.*, « Chimpanzee Accumulative Stone Throwing », *Scientific Reports*, 6, 2016, 22216.

¹⁰ Alexander Sokolowsky, *Erlebnisse mit wilden Tieren: Schilderungen aus meinem Berufsleben*, Leipzig, Verlag E. Haberland, 1928.

¹¹ Heinrich Klüver, *Behavior Mechanisms in Monkeys*, Chicago, Chicago University Press, 1933.

¹² Julian S. Huxley, « Origins of Human Graphic Art », *Nature*, 149, 1942, p. 637.

¹³ *Ibid.*, p. 733.

¹⁴ David Gucwa, James Ehmann, *To Whom It May Concern: an Investigation of the Art of Elephants*, New York, W. W. Norton & Co, 1985.

Ainsi, le dessin non humain spontané n'a jamais été observé que par le biais d'anecdotes, le plus souvent en milieu captif. Mais il est important de rappeler que la non-apparition d'un comportement chez les individus d'une espèce dans la nature ne signifie pas que les capacités cognitives qui lui sont sous-jacentes n'existent pas chez ces derniers. Si toutes les conditions nécessaires sont réunies, comme c'est souvent le cas en milieu contrôlé, il n'est pas rare que des animaux se montrent capables d'agissements encore jamais observés en milieu naturel. Dans son célèbre ouvrage *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations* (1776), l'économiste écossais Adam Smith écrivait : « On n'a jamais vu d'animal chercher à faire entendre à un autre par sa voix ou ses gestes : *Ceci est à moi, cela est à toi ; je te donnerai l'un pour l'autre.* » En 2009, des chercheurs ont pourtant démontré le contraire chez deux orangs-outangs du zoo de Leipzig, qui placés dans les conditions optimales pour cela, ont su mettre en place un échange d'objets réciproque, équilibré, et ce en vue de les échanger par la suite pour de la nourriture¹⁵. Mais une telle démarche n'est pas nouvelle, déjà Georges Cuvier menait des études sur le comportement, l'intelligence et le lien social des animaux de la ménagerie du Jardin des plantes de Paris en vue d'établir non pas « ce qui s'opère dans la nature, mais ce qui peut s'y opérer¹⁶. » Anecdotes de terrain et études en captivité (en laboratoire et en parc zoologique) apparaissent ainsi bel et bien complémentaires pour saisir toute la complexité du monde animal.

C'est ainsi qu'en milieu captif, bonobos, chimpanzés, gorilles et orangs-outangs, mais aussi macaques et babouins travaillent désormais sur des ordinateurs et dessinent ou peignent quand ils en ont la possibilité. Dessin et peinture sont dorénavant des activités récréatives proposées à certaines espèces d'animaux dans les zoos et les instituts de recherche. Bien sûr, il n'est pas question de forcer l'animal à reproduire un comportement, mais bel et bien à questionner ses capacités et non-capacités à marquer une surface voire à représenter. Le dessin se doit d'être libre sans quoi il s'agit d'une contrainte menant le plus souvent à une souffrance pour l'animal. Les éléphants-peintres mis en scène en Thaïlande en sont un exemple navrant : victimes de violences et de privations suivant la méthode du

¹⁵ Valérie Dufour *et al.*, « Calculated Reciprocity After All: Computation Behind Token Transfers in Orang-Utans », *Biology Letters*, 5/2, 2009, p. 172-175.

¹⁶ Éric Baratay, Élisabeth Hardouin-Fugier, *Zoos : histoire des jardins zoologiques en Occident (XVI^e-XX^e siècle)*, Paris, La Découverte, 2010.

Phajaan¹⁷, ces animaux sont forcés à reproduire devant des touristes ignorants des images figuratives que ces derniers s'empresseront d'acheter.

Mais comprendre le comportement d'un animal ne va pas de soi et nécessite de faire appel à des connaissances pluridisciplinaires. Concernant le dessin, il est certain que les échanges entre disciplines sont insuffisants, l'essence et le développement du dessin humain — de l'enfant notamment — restant le plus souvent cantonnés aux seuls domaines des Beaux-Arts et de la psychologie.

Ouvrir le cadre disciplinaire

Chez l'être humain, le comportement de dessin se développe au cours du temps et nécessite de multiples capacités tant motrices que sensorielles, notamment visuelles puisque son développement repose avant tout sur l'acquisition d'un vocabulaire graphique. En cela, le dessin peut être assimilé au langage¹⁸ défini comme un système de représentation utilisant des schémas (sons ou signes) afin d'exprimer un concept, une idée¹⁹. Au cours de l'enfance, ces schémas sont progressivement internalisés, mémorisés puis utilisés de façon infinie par les individus pour produire des phrases. Les éléments lexicaux verbaux varient en taille, comprenant les phonèmes individuels, les morphèmes, les mots, les idiomes, les constructions schématiques et éventuellement les phrases entières. Au même titre, les « éléments lexicaux graphiques » varient également. Le point, la ligne ou encore la courbe, constituant les éléments de base du langage graphique, donneront naissance par leur assemblage et leur disposition à des structures plus complexes servant la représentation. Similairement à la phase de babillage du langage verbal, les enfants commencent le dessin par une phase dite de gribouillage. Ils gagnent par la suite en fluidité à mesure qu'ils maîtrisent l'articulation grammaticale des informations schématiques qu'ils intègrent. Ainsi, tandis que le langage requiert l'acquisition du lexique et de la grammaire, le dessin nécessite l'internalisation et la

¹⁷ Il s'agit d'une méthode de dressage datant de plusieurs siècles et qui consiste à « briser l'esprit » de l'animal afin de le domestiquer. L'éléphanteau est séparé de sa mère vers l'âge de 4 ans et placé dans une cage à peine assez grande pour lui, dans laquelle il sera attaché puis battu par plusieurs hommes, poignardé à différents endroits de la tête et du corps, privé de nourriture et d'eau, exposé à des bruits, etc. Cette torture physique et psychologique vise à soumettre complètement l'animal à l'Homme.

¹⁸ Neil Cohn, « Explaining “I can't draw”: Parallels Between the Structure and Development of Language and Drawing », *Human Development*, 55, 2012, p. 167-192.

¹⁹ Ray Jackendoff, *Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution*, Oxford, Oxford University Press, 2002.

production de schémas graphiques²⁰. Cet apprentissage se fait notamment par l'imitation de l'univers graphique dans lequel l'enfant se construit et se trouve donc impacté par sa culture²¹.

Si le dessin peut être, par divers aspects, rapproché du langage verbal, que se passe-t-il si un individu n'acquiert pas de vocabulaire graphique pendant son enfance ? Dans un tel cas, l'individu disposerait d'un système de dessin appauvri, constitué d'éléments graphiques simples (des figures « bâtons », par exemple) comparables aux propriétés résilientes du langage²², autrement dit innées. Ainsi, même en l'absence de stimuli extérieurs, des capacités graphiques « primitives » se développent bel et bien. Ceci s'illustre par le fait que, bien que tous les enfants du monde reçoivent une instruction différente en matière de dessin, des similarités et étapes de développement communes sont constatées. Une part innée du comportement de dessin dans son développement est donc probable et la question de son origine évolutive chez des espèces non humaines envisageable.

Le dessin semble ainsi faire face aux mêmes problématiques que celles que le langage a rencontrées avant de devenir une science à part entière, la linguistique. Frédéric Landragin²³ résume parfaitement comment la diversité des langues s'est d'abord muée en vives contraintes notamment pour définir les unités de langage avant qu'une « linguistique scientifique » collective se mette en place. Cet essor de la linguistique se doit à son ouverture sur les mathématiques grâce notamment à Noam Chomsky qui en plus de définir une base de travail commune, a également permis de passer la barrière des espèces en prônant l'importance des études comparatives. Le paradigme de cette « mathématisation » de la langue (terme de Stanislas Lem²⁴) ne pourrait-il pas être étendu au dessin ? Et si à la place de lire un dessin, nous le déchiffrions ?

L'emploi des mathématiques pour appréhender le comportement d'un animal dans son milieu a déjà fait ses preuves, notamment par le biais d'outils mathématiques particuliers appelés fractales. La fractalité traduit l'invariance d'une structure ou d'un objet et ce, peu importe l'échelle considérée. Cette échelle peut être spatiale et par exemple, aider à

²⁰ Tara C. Callaghan, « Early Understanding and Production of Graphic Symbols », *Child Development*, 70, 1999, p. 1314–1324.

²¹ Neil Cohn, « Explaining “I can't draw” », art. cité, p. 167-192.

²² Susan Goldin-Meadow, *The Resilience of Language: What Gesture Creation in Deaf Children can Tell Us about How All Children Learn Language?*, New York, Psychology Press, 2003.

²³ Frédéric Landragin, *Comment parler à un alien ? Langage et linguistique dans la science-fiction*, Saint Mammès, Le Béalial', 2018.

²⁴ Stanislas Lem est un écrivain de science-fiction polonais. Il est notamment l'auteur du roman *Solaris* paru en 1961.

comprendre les stratégies de déplacement des animaux lors de leur recherche de nourriture. Mais elle peut également être temporelle et aider à la compréhension de comportements séquentiels (par exemple les comportements de fourragement et de locomotion) menant eux-mêmes à l'appréciation de l'état de santé de l'individu et donc à l'évaluation de son bien-être²⁵.

Appliquer des méthodes similaires à l'étude du dessin animal ne paraît pas vain, bien au contraire. Le dessin étant désormais une occupation habituelle des grands singes en milieu captif, l'étude de ce que Desmond Morris²⁶ a appelé les « démarches intermédiaires » dans la réalisation d'un dessin paraît être à porter de doigts grâce à l'emploi de tablettes ou d'écrans tactiles permettant d'enregistrer les coordonnées spatiales et temporelles de chaque point constituant le dessin. Grâce à de telles analyses mathématiques, nous pourrions, de la même façon que pour le langage, mettre au jour des unités de dessin qu'il resterait à définir et à nommer sur le même modèle que les phonèmes, les syllabes ou encore les phrases.

Dépasser l'entrave technique

Les productions graphiques humaines sont le plus souvent assignées à différentes dimensions : de simples marques (gribouillis chez le tout-petit), du dessin figuratif chez l'enfant et l'adulte, ou encore de l'art chez une minorité, certainement les plus vertueux à transmettre une émotion. Mais cette gradation est-elle simplement attribuable à l'humain ? Les termes de dessin et d'art sont-ils réservés aux seuls *sapiens* ? Doit-on accepter la simple construction de l'expression *dessin animal* voire *art animal* ? Longtemps, les créations non humaines n'ont été considérées que dans une démarche esthétique et artistique. On ne cherchait pas à comprendre le comportement de l'animal dessinateur car ce dernier était de suite considéré comme un artiste. Le meilleur exemple est sans doute celui de Congo, chimpanzé étudié dans les années 1950 par Desmond Morris et qui a produit plus de 400 peintures dans son enfance — arrivé à l'adolescence, Congo se montra moins intéressé par le dessin que par les femelles chimpanzés. Mais le « comportement artistique » ou bien les « aspects esthétiques » de telles réalisations simiesques ont été le point d'orgue de débats houleux et de discussions enflammées au sein d'un large panel de disciplines. Tout comme les

²⁵ Andrew J. J. MacInstosh *et al.*, « Fractal Analysis of Behaviour in a Wild Primate: Behavioural Complexity in Health and Disease », *Journal of Royal Society Interface*, 8, 2011, p. 1497–1509.

²⁶ Desmond Morris est zoologue, écrivain et peintre surréaliste. Il a notamment écrit *Biologie de l'art*, une étude de la création artistique des grands singes et de ses liens avec l'art humain.

notions de croyances, de jeu, de plaisir et même d'humour, les notions d'art et de dessin sont abstraites, leur(s) définition(s) menant rarement à un consensus chez *Homo sapiens*. Pour le psychologue évolutionniste Geoffrey Miller²⁷, l'art serait alimenté par la sélection sexuelle et ne serait que le coproduit²⁸ d'une parade nuptiale. Au contraire, pour Ellen Dissanayake²⁹, l'art serait un comportement « spécial » qui préciserait notre espèce comme *Homo aestheticus*. Mais ces deux exemples de définition ne sont que quelques-unes des pistes de réflexion proposées pour élucider la question de l'art. Après tout, comme l'explique l'artiste et architecte Olafur Eliasson³⁰ : « S'il n'y a personne dans la pièce, il n'y a pas d'art » ; l'art ne serait pas l'œuvre d'un créateur, mais bel et bien d'un spectateur. Ainsi le sens du « beau » ne se retrouverait que dans l'œil, l'oreille ou le cerveau de celui qui observe ou écoute³¹. Quant au dessin, il est considéré par certains auteurs comme la simple volonté de marquer, de produire des traces visibles³². Mais l'étymologie du mot même 'dessin' sous-tend quelque chose de plus complexe : un dessein, une destinée, un but, celui de représenter. Ce sens donné au mot reste bien prégnant sur l'activité de dessiner et l'on comprend qu'il apparaisse comme un premier obstacle à la compréhension de ce comportement chez l'animal. Les productions réalisées sans contraintes par les animaux sont systématiquement abstraites, sans figuration, ou du moins non interprétables par un observateur extérieur. En 1978, Gibson³³ s'interrogeait déjà sur la perception que nous avons des images : un dessin a-t-il uniquement du sens pour son créateur, pour la personne qui l'observe ou bien les deux ? Il posait cette question concernant les gribouillages des jeunes enfants, mais celle-ci pourrait être étendue aux primates non humains et plus largement aux autres espèces animales. Est-

²⁷ Geoffrey F. Miller, « How Mate Choice Shaped Human Nature: A Review of Sexual Selection and Human Evolution », dans Charles Crawford, Dennis L. Krebs (éd.), *Handbook of Evolutionary Psychology: Ideas, Issues, and Applications*, New York, Lawrence Erlbaum, 1998, p. 87-130.

²⁸ L'art serait une adaptation biologique qui aurait évolué au travers de la sélection sexuelle et qui, au même titre que tout autre signal comportemental complexe retrouvé dans la nature (chants, parade nuptiale...), jouerait un rôle dans la recherche et le choix des partenaires sexuels.

²⁹ Ellen Dissanayake, *Homo aestheticus : Where Art Comes From and Why*, Washington, University of Washington Press, 2001.

³⁰ Olafur Eliasson, documentaire de réalisateur, *Abstract : The Design of Art*, Netflix, 2019, consulté le 1 décembre 2019 (<https://www.netflix.com/watch/80237093?trackId=14277281&tctx=0%2C0%2Cfc2ed50c-73d3-4670-bfe8-af1a9d558d1d-85228732%2C%2C%2C>).

³¹ Michel Kreutzer, Verena Aebischer, « The Riddle of Attractiveness : Looking for an 'Aesthetic Sense' Within the Hedonic Mind of the Beholders », dans Thierry Hoquet (éd.), *Current Perspectives on Sexual Selection*, Berlin, Springer, 2015, p. 263-287.

³² Juliet MacDonald, « Alpha: the Figure in the Cage », *Relations: Beyond Anthropocentrism*, 2, 2014, p. 27-43.

³³ James J. Gibson, « The Ecological Approach to the Visual Perception of Pictures », *Leonardo*, 11/3, 1978, p. 227-235.

ce que le fait de marquer aurait un quelconque sens pour l'animal ? Pour répondre à cette question, il faudrait plus que de s'intéresser aux dessins finis, décomposer le processus de tracé en lui-même. De plus, la civilisation de l'image dans laquelle nous évoluons nous pousse à percevoir le dessin comme un véritable humanisme qui par son anthropisation élevée nécessite maintenant un important travail de (re)définition. Mais alors où trouver ce nouveau vocable pour parler des dessins réalisés par les non humains ? Contentons-nous de placer *animal* ou *non humain* à côté de chaque terme employé ? Ou bien (ré)inventons-nous un vocable universel qui cesserait de placer une barrière entre l'être humain et les autres animaux ? De nouveau, l'appui de disciplines telles que la zoolinguistique et surtout la zoosémiotique apparaît indispensable. Et nous pouvons compter sur les spécialistes de cette dernière. Comme nous pouvons le lire dans le présent ouvrage, Pauline Delahaye et Astrid Guillaume œuvrent d'ores et déjà à une nouvelle caractérisation sémiotique des émotions, intelligences et langages — autant de termes dits « sensibles » dès lors qu'il s'agit de désanthropiser l'humain pour mieux désigner les non humains.

Et qu'en est-il des dispositifs picturaux que nous utilisons ? Imaginez un enfant qui vous demande du matériel pour dessiner. Sans réfléchir, vous lui donnerez une feuille de papier blanc A4 et des crayons de couleur. Dans cet exemple, il existe deux dispositifs picturaux : le support (la feuille de papier) et l'instrument (les crayons de couleur). Lorsque la peinture est utilisée, elle peut être considérée comme un troisième dispositif pictural. Tout cet attirail apparaît naturel (notamment dans les pays occidentaux), mais cela ne l'est pas en réalité. Également, certains aspects techniques plus fragiles tels que l'ombrage n'ont été découverts et accumulés dans le bien commun qu'à la Renaissance et nécessitent, vu la complexité de leur réalisation, d'être appris à partir d'une source externe. Ainsi, l'utilisation de telles techniques, de tels outils, de tels supports mobiles, lisses, rectangulaires est en réalité une habitude relativement récente qui a évolué au cours des derniers siècles dans l'histoire de l'art³⁴.

Il en va de même avec les nouveaux outils électroniques comme les écrans ou les tablettes tactiles. Au contraire de secondaire, le matériel de dessin proposé au dessinateur notamment animal s'avère en réalité capital dans l'intérêt qu'il provoque chez lui. Les dispositifs picturaux, et tout particulièrement le support, influencent certainement la façon

³⁴ Thierry Lenain, *La peinture des singes : Histoire et esthétique*, Paris, Syros Alternatives, 1990.

dont l'animal appréhende, comprend et apprécie l'activité de dessin et doit donc être sérieusement pris en compte. En cela, si l'individu est amené à dessiner régulièrement, il faut tenir compte de ce à quoi il est accoutumé car l'apport d'un dispositif nouveau peut jouer sur l'intérêt qu'il portera à l'activité, et ce dans les deux sens. En effet, la nouveauté peut aussi bien être stimulante et entraîner la curiosité que s'avérer stressante ou « incompréhensible » pour l'animal. Il est également crucial d'adapter le protocole à l'espèce étudiée, pensons notamment aux animaux dépourvus de « main » à proprement parler, comme les oiseaux par exemple.

Enfin, objectivement comparer et analyser les dessins réalisés par d'autres espèces animales nécessite que les conditions de réalisation entre les différents groupes étudiés soient similaires. Or proposer à un enfant de dessiner ne se fait certainement pas de la même façon qu'avec un chimpanzé. Au Japon, le professeur Tetsuro Matsuzawa a développé une méthode appelée *observation participative* qui permet aux primatologues japonais de travailler en lien étroit avec des chimpanzés. Cette méthodologie requiert la mise en place sur plusieurs années d'une relation de confiance entre l'animal et le chercheur, permettant à ce dernier de prendre, comme il le ferait auprès d'un enfant, le rôle d'un démonstrateur voire d'un enseignant. Grâce à cette méthode, nous sommes désormais en mesure de sonder le dessin chez l'animal de façon similaire à ce qui est fait chez l'enfant ou l'adulte humain, à savoir un face-à-face entre un sujet apprenant et son expérimentateur enseignant. Il y a ainsi une continuité entre l'humain et le non humain et les études gagnent en objectivité dans les données obtenues.

Cependant, ce type d'approche comporte des limites et ne saurait être développé avec tous les individus, notamment les mâles chimpanzés une fois adultes comme Congo. Des dispositifs d'écrans en libre accès, comme il en existe dans certains laboratoires ou parcs zoologiques, avec un logiciel de dessin préalablement montré aux individus, pourraient être une alternative intéressante.

Mais finalement, est-ce souhaitable d'attendre d'un animal qu'il dessine comme le ferait un enfant ? Placés dans les mêmes conditions, l'expérience vécue est-elle réellement similaire entre les deux dessinateurs ? N'oublions pas que chaque individu est possesseur d'un *Umwelt*³⁵ qui lui est propre et que lui seul est en mesure de percevoir. Ses actions et réactions ne s'expliquent alors qu'au travers de la conception qu'il a de son environnement, conception

³⁵ Concept fondé par Jakob von Uexküll dans son ouvrage intitulé *Umwelt und Innenwelt der Tiere* paru en 1909.

qui est en cela unique. Or, standardiser la collecte des dessins en soumettant chaque humain ou animal au même dispositif cherche à limiter les biais, mais pourrait également en créer. Tous les dessinateurs n'ayant pas la même expérience avec le dessin et les différents supports proposés, il semble pertinent de cesser d'uniformiser pour permettre aux différentes individualités de s'exprimer.

S'intéresser au dessin chez l'animal n'est pas chose aisée car la nécessité de désanthropiser ce qui nous apparaît comme essentiellement humain est double. D'abord la possibilité. Oui, des primates autres que *sapiens* marquent, tracent, dessinent et peignent quand l'opportunité leur est donnée. Un deuxième niveau de désanthropisation est alors la nécessité de repenser et réévaluer la grille d'analyse de ces productions simiesques. La difficulté vient alors de savoir *comment* ? Occulter l'espèce et se focaliser sur l'individu ne serait-il pas un moyen pertinent pour arriver à cette seconde désanthropisation ? Comme le souligne Éric Baratay³⁶, il est désormais nécessaire de « penser les individus ». Le comportement de dessin n'a *a priori* pas de nécessité directe pour un animal si ce n'est la distraction que l'activité lui procure (nouveau, plaisir du geste, manipulation d'outils). Dans la plupart des cas où un primate non humain est amené à dessiner, c'est l'équipe de soigneurs ou de chercheurs qui lui montrent brièvement comment utiliser les outils à disposition. Et si l'individu se met à dessiner, s'agit-il alors d'une innovation comportementale, d'une preuve de créativité ou bien uniquement de l'imitation d'un nouveau comportement ? Dans tous les cas, si l'individu reproduit ce comportement, cela sous-tend de sa part un intérêt réel et un apport bénéfique de cette activité. Un tel attrait pourrait même amener l'individu à s'investir dans un apprentissage consenti du tracé par le biais des soigneurs ou des chercheurs.

Cependant, Juliet MacDonald³⁷ souligne à juste titre que les dessins non humains sont le plus souvent considérés comme un « phénomène homogène » ou *a minima* classés par espèce. Par exemple, il semble que les orangs-outangs ont tendance à aimer dessiner lorsqu'ils en ont l'occasion³⁸. Bien sûr, l'approche comparative humains/non humains (ou

³⁶ Éric Baratay, « **Penser les individus : retour sur *Biographies animales*** », dans Aurélie Choné *et al.* (éd.), *Les études animales sont-elles bonnes à penser ? Repenser les sciences, reconfigurer les disciplines*, Paris, L'Harmattan, 2020, p. 55-79.

³⁷ Juliet MacDonald, « Alpha », art. cité, p. 27-43.

³⁸ Marina Vancatova « Creativity and Innovative Behaviour in Primates on the Example of Picture-Making Activity of Apes », *Новосибирский государственный университет. Новосибирский государственный университет*, 2, 2008, p. 50-60.

interespèces) est classique dans les études explorant la cognition. Mais il semble maintenant crucial d'aller au-delà de telles comparaisons et d'examiner les capacités de dessiner des individus.

L'accent est ainsi à porter sur les personnalités animales qui se révèlent face au dessin. Déjà Desmond Morris écrivait³⁹ : « On est surpris de constater combien à mesure que s'allonge la liste des primates-artistes, les styles individuels se personnalisent : avec Sophie (gorille) ce sont des zigzags courts et serrés, avec Zippy, des horizontales fermement tracées, avec Alpha des marques disposées dans les angles de la feuille, avec Jonny de minuscules griffonnages et ainsi de suite. » Ainsi, Congo, Alpha⁴⁰, et d'autres ont semblé manifester un grand intérêt pour le dessin ou la peinture, et ce pendant plusieurs années pour certains tandis que d'autres semblaient être moins concentrés à la tâche, comme Sheba, chimpanzé de 2 ans et demi, qui paraissait « plus distrait » que ses deux autres compagnons Kermitt et Darrell⁴¹. Comme l'ont souligné de nombreux chercheurs, les différences individuelles sont importantes dans le dessin et la volonté de s'engager dans une activité particulière semble être une condition préalable à l'amélioration. Il est évident que quelqu'un qui n'aime pas cuisiner ne deviendra jamais un chef étoilé.

Sans oublier que l'envie de dessiner — au même titre que n'importe quelle autre activité — n'est certainement pas uniforme et constante au fil de la vie. Ce n'est que dans les dernières années de sa vie que la femelle orang-outang Molly du parc zoologique Tama de Tokyo au Japon s'est mise à dessiner et ce, de manière quotidienne et quasi addictive produisant en cinq ans plus de 1000 dessins⁴². Mais comment expliquer un engouement si soudain ? Aujourd'hui décédée, Molly se mit à dessiner à plus de cinquante ans, un âge très avancé pour un grand singe anthropoïde. Or, chez l'homme, certaines personnes âgées, parfois atteintes de maladies neurodégénératives, font preuve d'intérêt et d'aptitude soudains pour le dessin⁴³.

³⁹ Desmond Morris, *Biologie de l'art*, Paris, Stock, 1962.

⁴⁰ Peter H. Schiller, « Figural Preferences in the Drawings of a Chimpanzee » *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 44/2, 1951, p. 101-111.

⁴¹ Sarah T. Boysen *et al.*, « Simian Scribbles: A Reappraisal of Drawing in the Chimpanzee (*Pan troglodytes*) », *Journal of Comparative Psychology*, 101/1, 1987, p. 82-89.

⁴² Yuki Hanazuka *et al.*, « The Effects of the Environment on the Drawings of an Extraordinary Productive Orangutan (*Pongo pygmaeus*) Artist », *Frontiers in Psychology*, 10, 2019, p. 2050.

⁴³ Bruce L. Miller *et al.*, « Emergence of Artistic Talent in Frontotemporal Dementia », *Neurology*, 51, 1998, p. 978-982.

L'ensemble des observations et réflexions de ce chapitre nous poussent désormais à décloisonner le concept de dessin en ouvrant sa définition aux animaux. Penser du côté de ces derniers se fera ainsi au prix d'un travail pluridisciplinaire et donc d'une volonté d'ouverture de la part des sciences de la Nature comme des sciences de l'Homme. Il ne faudra donc plus se contenter de classer un dessin comme une production humaine versus non humaine, ni de le cataloguer uniquement comme le fruit d'une espèce, mais bel et bien de le considérer suivant la pléthore d'attributs de son auteur. Un tel changement de paradigme nous permettra à coup sûr de laisser notre marque dans notre relation avec les animaux.

3. Étude du comportement de dessin de sept femelles chimpanzés captives

Le travail réalisé pour l'écriture des articles 5 et 6 a permis de bâtir un socle solide de connaissances sur l'étude du dessin hors frontières du genre *Homo* et d'en percevoir les limites. La nécessité de prendre en compte l'aspect individuel lorsque l'on s'intéresse à des comportements non exprimés dans le milieu naturel de l'animal est alors apparue nécessaire. Dans ce cadre, les séances de dessins collectées avec les sept femelles chimpanzés ont été analysées afin de voir le rapport qu'elles entretiennent à l'activité. De là, il a fallu réfléchir aux données qui pouvaient être extraites des vidéos sachant que cette étude a été pensée a posteriori et que ces séances de dessin avaient pour but initial de collecter les productions réalisées par les femelles plus que d'étudier le comportement adopté lors de leurs réalisations.

Article 7: Tool assisted task on touchscreen: a new perspective to study drawing behaviour in chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Soumis le 26 juillet 2021 dans *Primates*, en révision

3.1 Synthèse de l'article 7

Les femelles chimpanzés avec lesquelles nous avons pu travailler proviennent de deux laboratoires différents et n'ont pas la même expérience avec le dessin. Les cinq femelles de KS n'ont que peu exploré ce type d'activité et montrent un intérêt limité lors des deux sessions de collecte en 2017 et 2019. La différence est flagrante avec les deux femelles du PRI. L'idée est alors apparue d'analyser leurs comportements grâce aux vidéos dont nous disposons pour comprendre ce qui les différenciait. Pour l'ensemble des sept femelles les mesures portent sur les dessins en eux-mêmes, le temps de regard à l'écran lorsque l'individu dessine et le temps passer à dessiner. Pour les deux femelles du PRI qui montrent un investissement plus important, l'investigation a davantage été poussée. Ces deux dernières, familières à l'utilisation de pinceaux et de crayons, nous ont conduits à leur proposer des outils (barre de métal et baguette de bois notamment) pour dessiner sur l'écran. Certaines mesures et observations comme l'utilisation des outils proposés, leur préhension, le nombre de changements de positions ainsi que le nombre de fois où elles souhaitent arrêter et rendre

l'outil ou le poser sont prises en compte. Cette étude montre que la seule analyse des productions terminées ne permet pas de conclure sur le rapport qu'entretient l'animal à l'activité et qu'observer le temps passé à dessiner n'est également pas un critère suffisant. Certaines femelles peuvent ainsi marquer l'écran pendant un laps de temps important sans pour autant porter regard à ce qu'elles sont en train de faire. Sans prôner une exhaustivité ou un protocole sans faille, il s'agit ici du premier travail documenté sur les différences interindividuelles à l'égard de l'activité de dessin chez les chimpanzés.

3.2 Article 7

Tool assisted task on touchscreen: a new perspective to study drawing behaviour in chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Martinet, L.^{1,*}, Sueur, C.^{1,2}, Matsuzawa, T.^{3,4}, Hirata, S.⁵, Morimura, N.⁵, Pelé, M.⁶.

¹Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France

²Institut Universitaire de France, Paris, France

³Chubu Gakuin University, Gifu, Japan

⁴Division of the Humanities and Social Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, USA

⁵Kumamoto Sanctuary, Wildlife Research Center, Kyoto University, Kumamoto, Japan

⁶ETHICS EA 7446, Lille Catholic University, Lille, Hauts-de-France, France

*Corresponding author: Lison Martinet

Email: lison.martinet@iphc.cnrs.fr; Phone number: +33 (0)3 88 10 69 30

Address: Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien

Département Écologie, Physiologie et Éthologie

23, rue Becquerel

67087 Strasbourg, FRANCE

Abstract

Observations of drawing behaviour in chimpanzees have often focused on the completed drawings. Here, we compared drawing behaviour using fingers or tools on a touch-sensitive monitor between five chimpanzees from the Kumamoto Sanctuary (KS) and two from the Primate Research Institute (PRI), both located at Kyoto University, Japan. Regarding drawing duration, both PRI females drew relatively longer than the other, with the exception of one KS female. However, a long drawing duration did not necessarily correspond with a decrease in the number of pauses, which can be interpreted as a lack of concentration or interest. Therefore, to better understand the involvement of individuals, we recorded the time spent looking at the touchscreen. Pan, one of the two PRI females, had the longest drawing periods and spent the most time looking at the screen. We compared her with Ai, the other PRI female, to better understand their individual marking techniques and behaviours. By adapting to each one's specific behaviour and previous experience with tool-assisted drawing on paper, we offered the females appropriate tools for making marks on the touchscreen. Our results indicate that electronic devices are not limiting in the expression of drawing behaviour. Pan and Ai did not have the same drawing technique and also showed different types of involvement, which could not have been detected by only studying the completed drawings. By focusing more on the components of the behaviour, rather than on the drawings themselves, we provide the first study on inter-individual differences in drawing behaviour of chimpanzees.

Keywords: drawing behaviour, inter-individual differences, task involvement, touch-sensitive monitor, chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Introduction

The study of drawing behaviour in great apes, especially chimpanzees, began with the advent of comparative psychological studies at the beginning of the 20th century. At this time, the primary idea was that infant chimpanzees, raised by – and like – humans, could learn to develop ‘better’ abilities and achieve more human-like behaviours (Furness, 1916; Kellogg & Kellogg, 1933; Kohts, 1935). Systematic research on non-human drawing first appeared in the 1950s, and progressively encouraged other scientists to deepen their investigations and develop new methodologies (for a review, see Martinet & Pelé, 2020). In these studies, the principal goal was to determine the extent to which a behavioural trait was shared between humans and great apes.

Although drawing behaviour has not been observed in great apes in the wild, it is a relatively common activity for captive individuals, without food reinforcements or training (Hanazuka et al. 2019; Morris 1962; Schiller 1951; Zeller 2007). Chimpanzee drawings are often stamped as random, but studies carried out over the decades have disproved this. For example, chimpanzees have demonstrated the ability to make choices about the use of colours (Zeller 2007) or the location of their marks on paper according to the presence or absence of stimuli (Boysen et al. 1987; Saito et al. 2014; Schiller 1951; Zeller 2007). At the individual level, researchers working with several chimpanzees simultaneously were also able to see differences between them, particularly in the variability of their responses to different stimuli (Boysen et al. 1987).

However, more than their drawing skills, differences in the interest that individuals show in drawing activities are important (Boysen et al. 1987; Hanazuka et al. 2019; Morris 1962; Zeller 2007). These differences are sometimes linked to the age of individuals, with infants seeming “to possess an intrinsic motivation to draw” p.250 (Tanaka et al. 2003).

Furthermore, Morris (1962) suggested a possible connection between the manner in which chimpanzees made marks, their interest in the activity, and their personality. Some individuals have shown great interest in drawing, such as Congo, who produced 384 drawings in two years and others, such as Audrey and Alpha (Morris 1962; Schiller 1951; Smith 1973). In contrast, Morris (1962) described how one of the chimpanzees he worked with, a 1-year-old male, never wanted to participate in drawing activities, possibly owing to his very young age (Tanaka et al. 2003). However, similar observations have also been recorded with older individuals such as Sheba, who appeared less focused than her companions (Boysen et al. 1987). These differences in interest have been observed, but have not been studied in depth. There is a lack of comparative studies between the interest of individuals in drawing activities, as well as inter-individual drawing patterns. Thus, there is a need for further studies to understand the reasons of observing so few chimpanzees drawing.

To better understand individual's drawing behaviour, we observed the behaviour of seven female chimpanzees during drawing experiments using a resistive touchscreen. Two of the chimpanzees (Ai and Pan) are from the Primate Research Institute (PRI) and five (Iroha, Natsuki, Mizuki, Misaki, and Hatsuka) from the Kumamoto Sanctuary (KS), Kyoto University, Japan. The females from the PRI have extensive experience with manipulating objects (Craut et al. 2009; Hayashi and Matsuzawa 2003) and in using markers or other materials to make free drawings on paper (https://langint.pri.kyoto-u.ac.jp/ai/en/album/drawings_by_apes.html; Saito et al. 2014), and both Ai and Pan have experimented with finger drawings on electronic devices. Ai took part in experiments in which she learned to draw straight lines and to reproduce parallel lines (Iversen and Matsuzawa 1996, 1997). Here, training progressed from pressing a series of aligned circles presented in different orientations with finger. Step by step, the circles were moved closer, and Ai

progressed from pressing individual circles to making a smooth connection of the circles in a single stroke (Iversen and Matsuzawa 1996). Finally, overlapping circles were replaced with a line, and then with just two dots representing the endpoints. For Ai, this first step of training was successful. Drawing a line parallel to another model line appeared more complicated, and an identical trace was drawn only when the two guide dots appeared on the screen (Iversen and Matsuzawa 1997). Ai failed to reproduce a parallel line by herself. Although Pan had less experience drawing on a touchscreen than Ai, both participated to a free finger-drawing test using a touchscreen. However, during this experiment, Ai did not touch the apparatus, while Pan engaged in very intense scribbling, primarily composed of short strokes (Tanaka et al. 2003). On the KS side, females had previous experience with paper drawing, primarily using paint, and were familiar with the use of touchscreens, although not for drawing-related activities.

To study the interest in drawing of these seven females, and the possible influence of previous experience, we selected and observed specific behaviours related to perception and use females had with the proposed device. This allowed us to evaluate the degree of involvement in the drawing task and compare individual's behaviour using video analyses. Thus, our study focused on the following questions: When the touchscreen was set up, did the individual spend her time touching it to produce a drawing, and did the female look and focus on the screen when she made marks? Within this context, our aim was to go beyond an analysis of the completed drawings to better understanding the manner in which each female made marks and to determine individual characteristics in drawing behaviour. Our results indicate the importance of considering inter-individual differences, especially when studying behaviours not commonly expressed in the wild.

Material and Methods

Individuals

We observed seven female chimpanzees aged between 9 and 43, residing in two different locations, five at the Kumamoto Sanctuary (KS, Kyoto University, Japan) and two at the Primate Research Institute (PRI, Kyoto University, Japan) (Table 1). Females from the KS belong to the same social group of six individuals (themselves and one male). Both females from the PRI also live in the same social group. All studied individuals live in enriched and wooded enclosures and received regular feeding, with *ad libitum* access to water, grasses, leaves of live plants, and daily enrichment provided (Matsuzawa 2020). Each chimpanzee was invited to draw in a specific room, and their participation in the drawing session was voluntary.

Drawing setup

The drawing experiments were conducted in two stages. First, in October 2017, drawings from the five females at the KS were collected. The 2nd additional data set was collected in the summer of 2019 (June to July), where the same five females participated in a drawing exercise, as well as the two females from the PRI. The primary goal of these experiments was to compare drawings made by chimpanzees and humans of different ages by using and developing a new spatial index (see Martinet et al. 2021). The inter-individual behavioural differences observed during the experiments led us to perform the analyses presented in this study. The experiment was set up as face-to-face using participant observations (Matsuzawa, 2017; Matsuzawa et al., 2006), in which each female was either alone or in a mother-daughter duo with the experimenter (SH for the KS and TM for the PRI) in the testing room. A resistive touchscreen (1947L 19-Inch Rear-Mount Touch monitor) was

connected to a computer controlled by a further researcher (MP in 2017 and LM in 2019) in the adjoining test room.

At the KS, the drawing sessions took place over two consecutive days in 2017 and over four consecutive days in 2019, both during feeding time in the late morning (we do not have the videos from the first day). At the PRI, six days of drawing took place over two consecutive weeks (four consecutive days during the first week and over two consecutive days the second week), in the morning, after the daily sessions related to other cognitive aspects such as working memory (Matsuzawa, 2021).

Based on previous studies with electronic devices (Iversen and Matsuzawa 1996, 1997; Tanaka et al. 2003), we first allowed the chimpanzees to draw with their fingers (Fig. 1a). Accustomed to clicking on the screens rather than keeping their fingers pressed, the chimpanzees showed some difficulties in drawing on the touchscreen, possibly owing to the low sensitivity of touch detection by the monitor. As the touch monitor required a certain amount of pressure for drawing marks to be made on the surface, we suggest this may be the reason chimpanzees struggled with the exercise. Results from the finger drawing tests of the two PRI females led us to introduce them to different tools (Day 1 for Pan, Day 2 for Ai; Fig. 1b and Online Resource Table 1). Generally, two pictorial elements are traditionally involved in drawing activities, the support (sheet of paper) and specific mark-making tools (pencils, markers, or brushes). For Ai and Pan, accustomed to drawing with both a device and a tool, offering them drawing tools to use on the touchscreen seemed logical. In 2019, the chimpanzees showed little interest in the choice of colours, and after a few sessions, a strip of thick black tape was placed on the screen at the location of the colour panel. The researcher LM was in charge of changing the colours, in agreement with TM and SH, to solicit the individual who was drawing. Finally, food rewards (primarily fruit) were given to individuals

when their interest in the activity began to wane, as assessed by the researcher's judgement. The drawing activities did not have a time limitation; TM and SH ended the sessions or experimental days based on the individual's motivation to continue. Each drawing session was videotaped and, in total, we collected 74 drawings, 32 from the KS, and 42 from the PRI (Table 1).

Table 1. Information about females, testing conditions, and the number of drawings collected.

Research centre	Name	Birth year	Age (in 2019)	Test conditions	Number of drawings	
					2017	2019
Kumamoto Sanctuary	Natsuki	2005	14	Tested alone	2	4
	Mizuki	1996	23	Tested with her daughter Iroha	3	5
	Hatsuka	2008	11	Tested with her mother Misaki	4	4
	Misaki	1999	20	Tested with her daughter Hatsuka	2	3
	Iroha	2008	11	Tested with her mother Mizuki	1	4
Primate Research Institute	Ai	1976 (estimated)	43	Tested alone	/	19
	Pan	1983	36	Tested alone	/	23

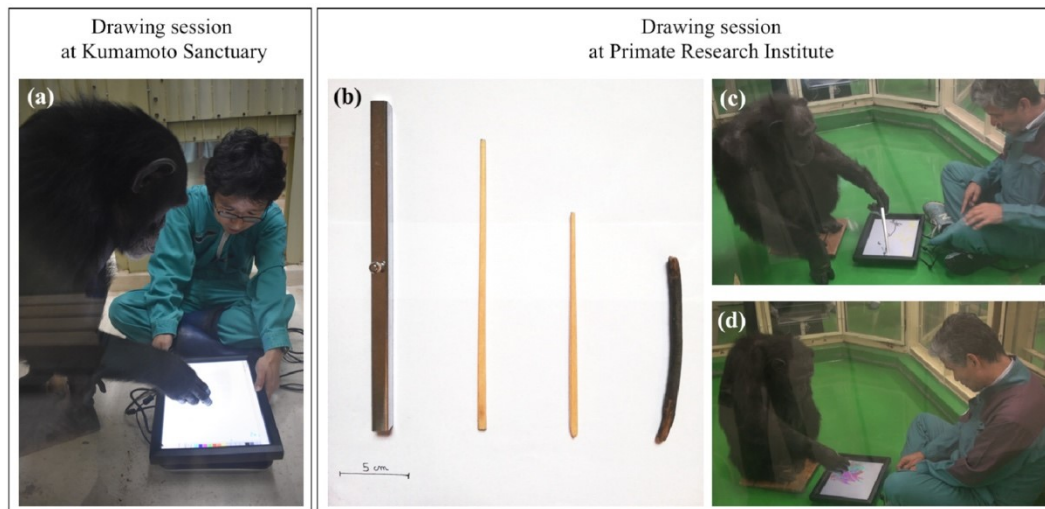


Fig. 1 Drawing session with (a) Hatsuka (Kumamoto Sanctuary) using the touchscreen with her finger under the guidance of SH. (b) The four tools used during the drawing sessions with the two females from the Primate Research Institute (Ai and Pan), from left to right, a metal bar, a longer chopstick, a shorter chopstick, and a short wooden stick. (c) Ai using the metal bar to draw on the touchscreen under the supervision of TM. (d) Pan drawing on the touchscreen with the longer chopstick. Photo credits: (a) Cédric Sueur, (c) and (d) Tetsuro Matsuzawa

Video analysis

Video recordings of the drawing sessions were analysed using the software Behavioural Observation Research Interactive Software (BORIS) for an in-depth study of the involvement and behaviour of each female (Table 2). This included recording the duration of drawing behaviour and the time spent looking at the screen. For the two females from the PRI, we also considered the average time before chimpanzees released or returned their tool to the researcher (Fig. 2). The frequency of events or behaviours, such as changes in hand manipulation or tool grips, was also recorded. Considering that individuals showed different levels of interest in the activity, the duration of the session, defined as the time during which

the drawing device was available to the individual for one drawing, was also calculated (this duration did not include feeding and technical problems with the screen).

Given the small number of drawings collected, nonparametric statistical tests were used (Kruskal-Wallis, Wilcoxon, and Spearman tests) with R software (version 3.6.2). For all tests, the conditions of application were verified, and the significance threshold was set to α 0.05. GraphPad software was used to create the statistical figures.

Table 2. Description of behaviours recorded and used to describe each individual chimpanzee’s experience of the drawing sessions.

Behaviour	Behaviour type	Description
Drawing	State	The individual touches the screen with her finger or a tool to make a mark.
Looking when drawing	State	The individual looks at the touchscreen while she is touching it.
Tool gripping	Event	The manner in which the individual grips the tool.
Tool manipulation	Event	The individual changes the manner in which the tool is gripped. She can change and return several times to a similar tool grip.
Returning the tool	Event	The individual tries to return the tool or to release it without necessarily stopping the drawing (the researcher does not necessarily accept the tool).

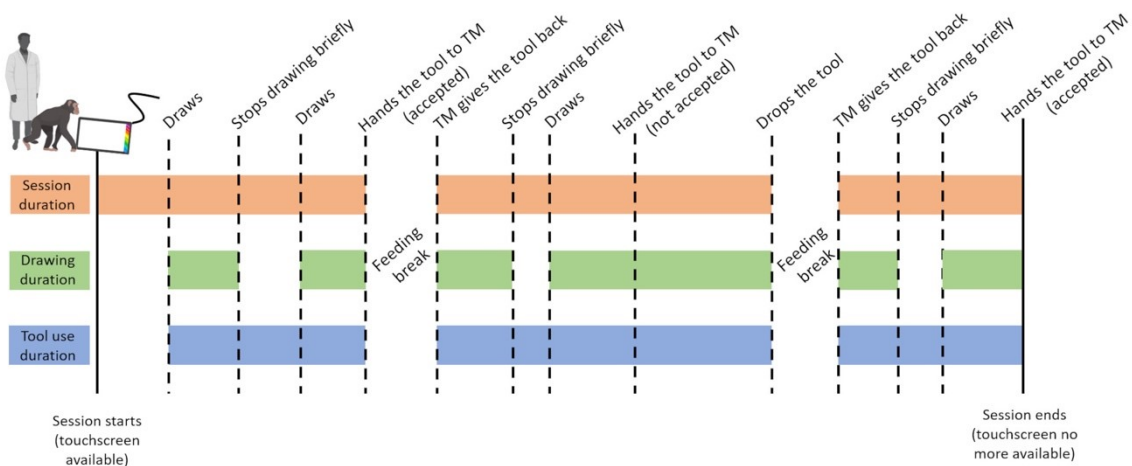


Fig. 2 Schematic description of the various activities recorded from the drawing sessions. Brief pauses occurred when the female interrupted her drawing activity but kept the tool in her hand

Results

A first step: finger drawing

Drawing patterns

Before focusing on the drawing process, we first observed the completed drawings and their components, providing an overview of the subjects' abilities. The marks left by females tested in the KS appeared shorter and simpler than those made by females from the PRI (Online Resource 1, Fig. 1). Two of the five females from the KS (Iroha and Natsuki) seemed completely indifferent to the task, and only made short presses or left their fingers on the screen for several seconds without much movement. Mizuki (also from the KS) interacted more with the screen but only clicked repeatedly and did not often keep her finger pressed down to draw. The remaining two chimpanzees from the KS, Misaki and Hatsuka, sometimes produced fan patterns (i.e. radiating lines), but only for very short periods. As all KS females did not seem very interested in the touchscreen in 2019, the experimenters tried to give them paper and pencils for drawing to see if their disinterest was related to the device more than the activity itself. However, the results were inconclusive with the chimpanzees drawing simple and short traces on paper (Online Resource 1, Fig. 1). In comparison, Ai and Pan, from the PRI were much more interested and involved in the drawing activity and made more marks (for further details, see Section "Motivation for drawing").

Drawing duration

Drawing duration is a good indicator of an individual's interest in the activity. As a first step, we studied the time spent marking in seconds for each drawing. By directly comparing drawing time, differences between the seven females could be observed (Kruskal-Wallis test,

chi² = 46.2, $p < 0.001$). Ai and Pan (PRI) drew for longer periods than the five females from the KS, with an average of 253.1 ± 124.7 s. The longest drawing duration was observed with Pan (514.6 s), who drew for significantly longer periods than Ai, who had a maximum drawing duration was of 273.5 s. The average time of drawing for the other females was somewhat lower (Hatsuka = 42.8 ± 21.7 s; Misaki = 73.1 ± 18.3 s; Mizuki = 51.7 ± 27.2 s; Iroha = 13.3 ± 14.1 s; Natsuki = 69.7 ± 29.5 s).

To determine whether females were interested in drawing when the touchscreen was available, we investigated the relative drawing duration of each individual by comparing the percentage of time that each female spent drawing during a session. Between feeding, the drawing activity seemed to be much more interesting to the two females at the PRI (Ai and Pan), than for the females at the KS, with statistical analyses highlighting these differences (Kruskal-Wallis test, chi² = 34.1, $p < 0.001$, Fig. 3). Ai and Pan, regardless of whether using their fingers or other tools, had a similar drawing percentage. However, they draw significantly more than all other females, with the exception of Misaki (for p-values see Online Resource 1, Table 2). During the drawing sessions, Misaki drew more than Iroha, who made less marks than the other females, with the exception of Natsuki. Natsuki drew less than Pan and Ai. Hatsuka spent less time drawing than Pan and Ai, but similar to Mizuki.

To better understand the drawing dynamics, we investigated possible differences in the average time spent drawing before pauses. The results showed significant differences between females (Kruskal-Wallis test, chi² = 39.8, $p < 0.001$; Online Resource 1, Table 3). Although Ai and Misaki had the same percentage drawing duration as Pan when the touchscreen was available, their drawings were more interrupted, with shorter drawing periods. Furthermore, although Hatsuka did not do much drawing during the sessions, she drew for longer periods than Iroha, Mizuki, and Natsuki.

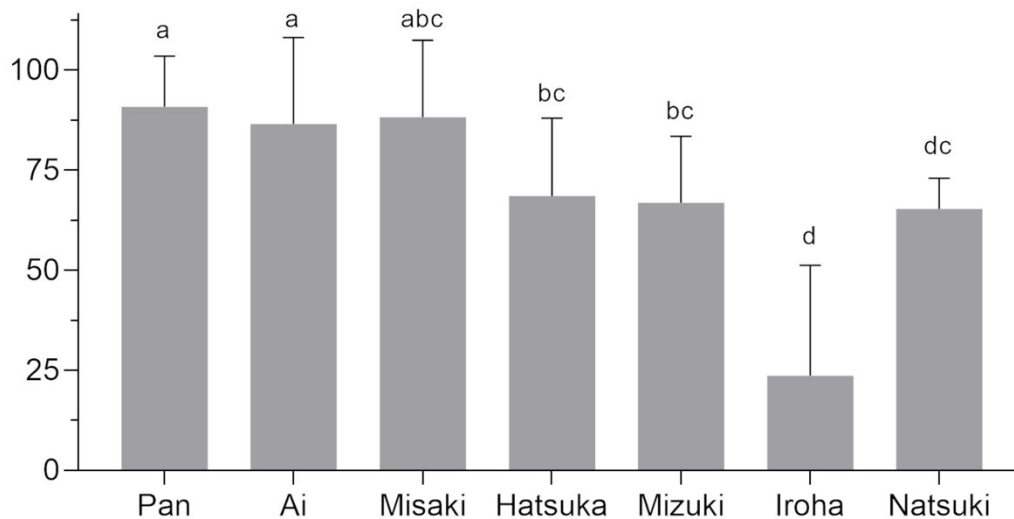


Fig. 3 Percentage time spent drawing by each female. Letters indicate similar values

Screen engagement

More than only touching the screen, the fact that an individual looks at it while drawing is a sign of attention (Kano and Tomonaga 2009). Within this context, we analysed the percentage of time spent looking at the screen during the drawing process. For the drawings of Ai and Pan, we considered all drawings made either with fingers or tools. As expected, their screen engagement times differed (Kruskal-Wallis test, $\chi^2 = 46.4$, $p < 0.001$, Online Resource 1, Fig. 2). While Pan looked at the screen significantly more than all the other females (for p-values see Online Resource 1, Table 4), Ai presented a higher percentage of screen engagement than Iroha, Misaki, and Natsuki, but similar to Hatsuka.

In-depth study of Ai and Pan's drawing behaviour

As initial results indicated that Ai and Pan, the two PRI females, showed a greater interest in the drawing activities, we decided to study their behaviour in more detail. Indeed,

these two females seemed to show greater interest in the touchscreen procedure than the other chimpanzees, drawing for longer periods and with more complexity.

Tool choice and preference

As with the other females, we first introduced Ai and Pan to drawing on the touchscreen with their fingers (Day 1). Although they were interested, the task appeared to be complicated as they were accustomed to clicking on the screen during other experiments, rather than keeping their fingers pressed down in order to draw. We attempted to make them understand that they could draw under similar conditions to those of paperboard and pens. We provided them with tools to interact with the touchscreen (Fig. 1b–d; Online Resource Table 1 and Video). Pan seemed to feel comfortable with the using the chopstick, as evidenced by the increase in drawing duration between the first two finger drawings and the next two using the chopstick (mean finger duration = 168.9 ± 37.2 s; mean chopstick duration = 302.6 ± 74.9 s). The metal bar that Ai used was offered to Pan on Day 6. On the same day, the researcher TM gave Pan the choice between two tools on six occasions: three times between the longer chopstick and the metal bar and three times between the shorter and the longer chopstick. Pan systematically chose the chopstick over the metal bar, but did not seem to have a preference between the shorter and longer chopsticks.

In comparison to Pan, Ai did not seem to feel comfortable with using the chopsticks, as she was accustomed to applying less pressure when drawing on paper. On Day 3, we introduced her to a metal bar, which was much heavier and facilitated her drawing activity. However, her average drawing duration on Day 3 with the metal bar (mean = 86 ± 40.9 s) was not higher than the duration of drawings made with fingers or chopsticks on Day 1 (mean = 116.3 ± 114.3 s) and Day 2 (mean = 104.1 ± 71.9 s), even though her marks were better

detected by the touchscreen (Online Resource Table 1). The average drawing duration considerably increased on Day 4 (mean = 245.5 ± 23 s) and did not drop back to that of Day 3 (Online Resource 1, Fig. 3).

Tool use

As the use of tools appeared important for Ai and Pan to draw, we were interested in the manner in which way they gripped and manipulated the tools. To do so, the number of different tool grips and changes were recorded relativized by the drawing duration for data to be comparable.

After Day 3, the number of manipulation changes made by Pan seemed to stabilise, except for the increase corresponding to the use of the metal bar on Day 6 (Online Resource 1, Fig. 4). Although the number of different tool grips did not seem to show any consistency, we recorded an increase on Day 6 for Pan. She had several ways of holding the drawing tool. Among the grip techniques she used the most, were the interdigital 2/3 brace grip followed by the interdigital 3/4 brace grip. Pan used a variation of these grip techniques with her thumb placed at the extremity of the chopstick for stability. The third main technique is a variant of the hook grip, which is less precise than the two previous ones, with the thumb at the extremity of the tool for stability (Lesnik et al. 2015) (Fig. 4).

The manipulation of tools by Ai was mostly related to changing hands. During each drawing, the number of tool grips ranged from one to three, with a maximum of three being observed only with the chopstick on Day 2. She primarily used the pad-to-side which was sometimes modified with the tool further back to the palm of the hand (Fig. 4a). The prehension of the tool seemed to stabilise over time, both regarding the number of tool grips used and the number of manipulation changes made.

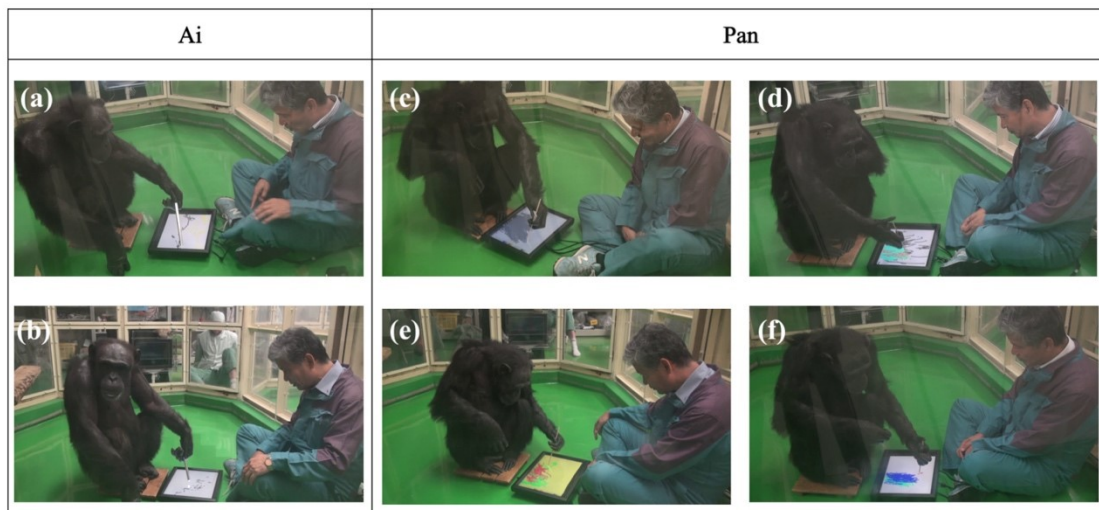


Fig. 4 Grip techniques used by Ai and Pan including (a) pad-to-side grip, (b) variant of the pad-to-side grip with the tool held further back in the palm of the hand, (c) interdigital 2/3 brace grip, (d) variation of the interdigital 2/3 brace grip with the thumb placed at the extremity of the tool, (e) interdigital 3/4 brace grip, and (f) variation of the hook grip with the thumb at the extremity of the tool

Motivation for drawing

We first used the individual's propensity to return the tool as a proxy of their level of interest in the activity. Notably, the number of times the individual wanted to release or return the tool was not correlated with the drawing duration ($S = 4212.1$, $p = 0.21$). When there was a problem with the screen or when the female, in spite of the tape, pressed on an icon underneath the tape, the researcher asked her to return the tool, an action that was not voluntarily chosen by the female. During the tests, these non-voluntary pauses occurred 23 times for Ai, who wanted to end the drawing 90 times. Pan wanted to stop the drawing activity on 123 occasions, with involuntary pauses occurred on nine occasions. Considering these involuntary pauses in the calculations of the average time before the female wanted to drop

or return the tool did not change the results, with no significant difference found between the two females ($W = 81, p = 0.14$). On Day 1, Pan drew for more than one minute before returning the chopstick. Her average maximum duration was reached on Day 2, followed by a steady decrease in duration, with the minimum recorded on the last day, Day 6 (mean = 19.1 ± 12.2 s). Notably, during the first three days, Pan tended to keep the tool for a long time, while this was not recorded for Ai. On the first day of using the metal bar, Day 3, Ai did not keep it in her hand for a long time (mean = 10.4 ± 2.8 s), which then steadily increased over the course of the study (Fig. 5).

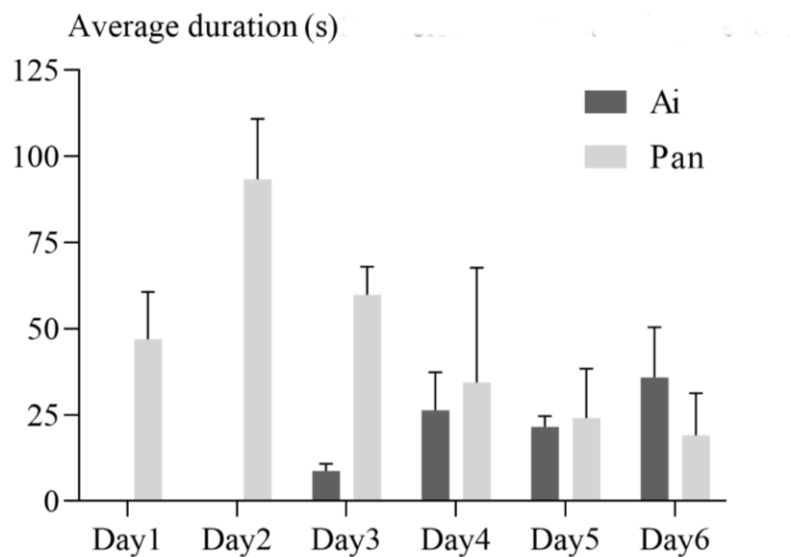


Fig. 5 Average duration (seconds) before releasing or returning the metal bar or chopstick used for drawing. Ai did not produce drawings with the metal bar during the first two days of the test

Although both females showed a similar percentage of drawing time when the touchscreen was available, Pan drew for longer periods than Ai. Same results were found when we focused on the drawings made with the preferred tools - the metal bar for Ai, and

the longer chopstick for Pan ($W = 99, p = 0.01$). Pan looked at the screen during drawing more than Ai, and this difference is persistent if we only look at drawings produced with the selected tools ($W = 247, p < 0.001$; Pan: mean = $87.2 \pm 10.1\%$ of the drawing duration; Ai: mean = $53.7 \pm 14\%$ of the drawing duration). For both females, the time spent drawing and looking at the screen varied according to the day and between sessions of the same day, but were positively correlated with each other (Ai: $S = 132, p = 0.006$; Pan: $S = 12, p < 0.001$). The maximum drawing duration was recorded on the second day of using drawing tools for Pan and then decreased (Online Resource 1, Fig. 3). Ai showed an increase in drawing duration between the first and second day of using the metal bar (Day 3 and 4). This was not the case for time spent looking at the screen, which remained relatively low. However, the last five drawings made by Ai stand out: drawing duration was similar to that on Day 4 (second day using the metal bar), but the time spent looking at the screen seem more important (Online Resource 1, Fig. 3).

Drawing styles

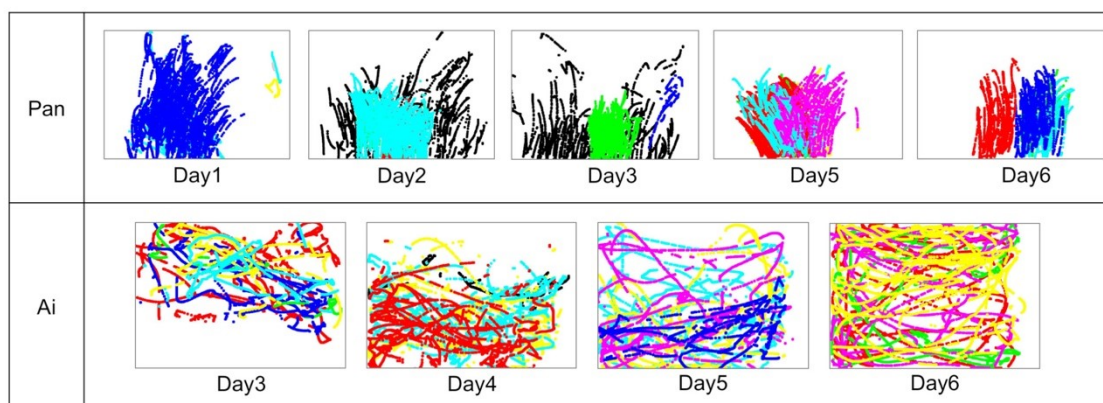


Fig. 6 Examples of drawings made by Ai and Pan on the touchscreen with their preferred tools.

Ai did not produce drawings with the metal bar during the first two days of the test. The

vertical white space visible on the right of Ai's drawings corresponds to the location of the tape used to hide the available colour palette

The difference between Pan and Ai's drawing styles can be seen by looking at their completed drawings (Fig. 6, Online Resource Table 1). Their individual drawing styles are related to, in part, their grip and the use of the tool, but not to the specific tool used on the touchscreen. The difference is also visible in the paper drawings made with pencils. In summary, Pan and Ai's drawing styles were consistency, regardless of the medium.

Pan made repetitive strokes on the lower part of the screen, closest to her. In most instances, she lifted the tool before drawing the next line from the top to the bottom of the screen, producing little or no vertical fan pattern (Fig. 6, Online Resource Table 1). She made marks on the same section, with the different colour strokes overlapping at least partially. On the other hand, Ai produced softer patterns with continuous curved lines that occupied all the available space.

Discussion

This study provides important results on inter-individual differences of chimpanzees in the drawing process, including drawing behaviour and completed results. Chimpanzees seemed to show similar drawing behaviour with using a touchscreen as with using paper, which is promising for future studies.

Drawing behaviour in non-human primates has been investigated through multiple experimental variations, from free drawing to drawing tasks with stimuli, both using either tools or fingers (Martinet and Pelé 2020). However, these studies have often focused more on the final drawings or products, rather than on the components of the drawing behaviour.

Primarily focused on the motor and cognitive abilities of the individuals, researchers rarely consider individual characteristic, especially concerning the involvement of apes in the proposed tasks. Within this context, we compared drawing behaviour on electronic devices between seven females of two groups (KS and PRI). All individuals had previous drawing experience and had been involved in systematic studies using both paper and touchscreens. Individuals in both groups were given the opportunity to draw on paper multiple times. Notably, both with paper or through touchscreens, individuals from the KS seem to draw to a lesser extent than those at the PRI. The reasons for this need further investigation, considering the life histories of these individuals, as well as the factors that affect both their motivation levels and abilities. Based on our preliminary results, we studied the drawing behaviour of Ai and Pan (from the PRI) in more detail, as they showed a greater involvement as well as more complex drawing behaviour in terms of drawing duration.

To accurately compare the drawing behaviour of these two individuals, we focused on the behavioural parameters of the drawing process and not only on the final products. We used drawing duration as an indicator of the individual's involvement in the drawing task. Although the duration of the drawing session was controlled by the researcher, decisions were based on the apparent interest of the individuals in the screen. The less interest the female showed, the shorter the drawing session. Pan showed the longest drawing duration, with the longest periods of drawing, interspersed with brief pauses. Relative to the duration of the session, both Ai and Pan showed similar drawing durations that were longer than those of the other females, with the exception of Misaki. When the screen was available for drawing, Ai and Pan spent most of their time using it. Variations in drawing duration were present among the five other females, but did not show significant differences in terms of interest. Some of the females only touched the screen a little, others clicked on it, or left their fingers pressed

on the touchscreen without really moving them. It is interesting to note that the female that seemed the most curious about the task, Hatsuka, did not touch the screen more than other females, with the exception of Iroha. However, when Hatsuka did touch the screen, she drew for longer periods than the others, indicating an interest in the activity. In addition, Hatsuka spent more time drawing in 2017 than in 2019, because the device was initially new and more intriguing.

Drawing duration should be placed in parallel with the time spent looking at the touchscreen as a direct representation of the individual's involvement in the task (Kano and Tomonaga 2009). Pan looked at the screen significantly more when she drew than the females, including Ai, indicating that Pan had an interest in the task or a greater level of concentration. In relation to drawing duration, Ai, Hatsuka, and Mizuki looked at the touchscreen for a similar duration and for longer than Natsuki, Iroha, and Misaki. This confirms our results that a longer drawing duration does not necessarily correlate with an increased period of looking at the touchscreen, as was the case for Misaki. Whether using their fingers on the touchscreen or markers on paper, the drawings produced by the five females from the KS were relatively similar, with few marks. Some of these drawings, especially from 2019, did not contain enough points to allow for further quantitative analyses. The females' motivation levels appeared to decrease as soon as the novelty of new objects had worn off. Despite their previous experience with using paint to draw on paper, the low interest of the KS females in using markers on paper, lead us to focus on the use of tools on the touchscreen with Ai and Pan, who were accustomed to drawing with pencils and brushes. Nevertheless, we plan to include the five females from the KS in future experiments with drawing on touchscreens.

As previously stated, both Ai and Pan had previous experience of drawing on a touchscreen with their fingers a few years ago, but were much more accustomed to drawing

on paper (Iversen and Matsuzawa 1996; Tanaka et al. 2003). Within this context, we carefully selected and adapted the tools to suit their behaviour and habits to encourage them to draw. This was based on the premise that the perception animals have of an interface or an object may condition their use of the object. In their first drawing session, both Pan and Ai seemed intrigued by the device, but primarily used short finger presses as previously used in matching-to-sample tasks. Managing this by providing Ai and Pan with tools for drawing was somewhat challenging, as they did not use the tools in the same way, and Ai pressed down with much less force than Pan. Ai mostly held the tool between her thumb and index finger (i.e. pad-to-side grip), which did not allow for the exertion of force. Thus, for her, the chopstick was too light as the traces she was trying to leave were not detected by the touchscreen. However, marks made with a metal bar were detected by the touchscreen and therefore visible, allowing for visual feedback which possibly plays a role in motivation levels (Tanaka et al. 2003). Ai had a tendency to change the hand holding the tool and did not keep the metal bar for long periods because of its weight, which can make its handling complicated and limit different gripping techniques. The incorporation of the metal bar did not happen immediately, as evidenced by the short duration to return or release it and the low average drawing duration on the first day of use. However, this quickly increases on Day 4. This indicates that the duration of drawing increased with time as Ai progressively felt more comfortable with using the tool. Furthermore, the number of tool grips and manipulation changes stabilised during the last two days of the experiment.

For Pan, the manner in which she held the tool allowed her to exert enough force to leave a mark on the screen and therefore, the chopstick was suitable for her. The interdigital 2/3 brace grip that she made the most use of was also described in another chimpanzee, Congo, to held a brush (for details about grip techniques see Bardo et al. 2018; Napier 1960;

Tbnooka and Matsuzawa 1995). Morris (1962) referred to this behaviour as an “advanced human-style grip” which is a variant of the pencil grip known in humans. Pan’s tendency to systematically mark the bottom of the screen has also been observed in other chimpanzee drawings (Boysen et al. 1987). Concerning tool preferences, our results indicated no significant differences between using the wooden stick or the smaller chopstick, which she selected one out of three times when offered the choice. Pan was also able to use the metal bar successfully, although the manner in which she drew seemed to be less suited to the weight of the tool. However, three times, when given the choice, Pan chose the chopstick over the metal bar. For her, there was no visible stabilisation with time regarding the number of tool positions and gripping changes. On the contrary, she regularly changed the manner in which she held the tool, although sometimes using the same grip for several minutes.

Results from the detailed drawing experiments of Ai and Pan indicate that Ai spent significantly less time looking at the screen than Pan. In addition, the time Ai spent looking at the screen was less constant over the sessions than for Pan. This result indicates that Pan had a greater interest in or a greater concentration span than Ai. However, for both females, drawing time and the time spent looking at the screen were correlated, showing a direct link between these two behaviours. For the first three days of using a chopstick to draw on the touchscreen, Pan had a longer drawing duration (before releasing the tool) than Ai during her first three days with her selected tool. This indicated a different level of interest in the task. In addition, Pan had the maximum drawing duration, which was almost double that of Ai. However, for Pan, who began to draw with a suitable tool on Day 1, the drawing duration seemed to decline after the maximum duration on Day 3. This decrease could indicate a decrease in her involvement. The presence of food rewards to encourage individuals to draw more can interfere with their intrinsic interest in the task (Morris 1962). Given that Pan

showed little interest in food rewards at the beginning of the experiment, postulate that she became bored with the drawing activity after a few. Even if this is not the case for her, food rewards can influence results if drawing sessions continue over several days, as individuals may end up producing any type of stroke only to receive a reward. This applies especially for sessions that occur during feeding time, as was the case with the KS females. Within this context, we suggest that it may be more appropriate to offer captive individuals the opportunity to draw if and when they wish. For this, vertically fixed screens could be placed in their enclosures with a camera to film the interactions between the individuals and the device.

Moreover, although results were contrasted between Ai and Pan, both were more experienced and more comfortable with the device than the females from the KS. This highlights the importance of prior training, as both Ai and Pan had previous experience drawing on electronic devices. The difference in observed interest between individuals may also be related to the personality and preference of each individual. Notably, our results demonstrate the importance of adapting the experimental protocol to the response of each individual when studying the expression of drawing behaviour.

Regarding the completed drawings, neither Ai nor Pan produced fan patterns, typically found in primates' drawings and recorded on rare occasions in the KS females. This pattern consists of a set of lines drawn back and forth, generally in the centre of the page and is considered a basic drawing form (Kellogg, 1969; Morris, 1962; Seghers, 2014).

We observed that the use of electronic device could be disturbing for individuals accustomed to clicking on it during experiments rather than keeping their finger down and moving it. Furthermore, the finger press needed to be significant enough pressure to be detected and provide visual feedback, which influences the motivation levels of the individual

(Tanaka et al. 2003). However, when we adapted the protocol and offered different tools, Ai and Pan retained their drawing techniques used with paper, even though the medium was different. As already shown in previous studies on primates (Brewster and Siegel 1976; Morris 1962), Ai and Pan each have very different, characteristic drawing styles, clearly visible from the drawings made on the touchscreen. The marks made by the two females on the touchscreen were similar to those made on paper (Online Resource 1, Fig. 1). Specifically, Pan seemed to make straight lines while Ai drew curved lines, which was not the case with finger drawings. The complexity of the lines increased with the use of a tool for Ai and Pan, who are both accustomed to and enjoy drawing activities with brushes or pencils.

By adapting a task to an individual animal's understanding, for example, by developing a tool-assisted way of drawing, we obtained coherent results between the drawing behaviours related to drawing on paper and the behaviour related to drawing on a touchscreen. Thus, the use of a touchscreen is not an obstacle to studying drawing activity. This is an important observation, as the use of an electronic device allows access to more data than from paper drawing, such as the spatial and time coordinates of every point (Martinet et al., 2021) and thus, allows for different analyses (Iversen & Matsuzawa, 1996, 1997; Tanaka et al., 2003). This collection of data, constructed as an observational journal, combines various types of observations to deepen our understanding of drawing behaviour in chimpanzees and possible differences related to the degree of experience, motivation, or other behavioural traits of each individual. To look at a behaviour not found in the natural behavioural repertoire of a species, it is necessary to consider the perception, understanding, willingness, and response of each individual to the device and the ability and flexibility of the researchers to adapt it to the individual. A better understanding of each individual's reaction to the proposed activity allows for the experiment to be adapted for the collection of data in a more relevant manner. Our

results highlight the importance of individual studies and the need to record further drawing sessions with different chimpanzees.

Declarations

Acknowledgments Chimpanzee data collection was financially supported by the Japan Society for Promotion of Science (26245069, 16H06283, 18H05524, Core-to-core CCSN, GAIN, PWS-U04), and by a CNRS grant (PICS4455). We also received financial support from the CNRS through the MITI interdisciplinary programs. Our thanks are also due to the staff from the Primate Research Institute and the Kumamoto Sanctuary Wildlife Research Center for taking care of the chimpanzees, as well as to Jie Gao, who helped us to record the experimental sessions at the PRI. We thank Editage for English language editing.

Author contributions: The concept and design were initiated by C.S., M.P., and L.M., with valuable ideas and advice from T.M. and S.H. The access and possibility to work with chimpanzees was possible thanks to the contributions of T.M. and S.H. The collection of chimpanzee drawings was performed by T.M., S.H., M.P., C.S., N.M., and L.M. Interpretation and analysis of data were primarily carried out by L.M., C.S., and M.P. Writing was primarily performed by L.M., C.S., and M. P., but all authors contributed to comments and to the improvement of the manuscript.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflicts of interest.

Ethical approval: Our experimental protocol was approved by Kyoto University (WRC-2017KS009A, PRI-2019-135). The animal husbandry and research methods complied with international standards (Weatherall report ‘The use of non-human primates in research’).

References

- Bardo A, Vigouroux L, Kivell TL, Pouydebat E (2018) The impact of hand proportions on tool grip abilities in humans, great apes and fossil hominins: A biomechanical analysis using musculoskeletal simulation. *J Hum Evol* 125:106–121. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2018.10.001>
- Boysen ST, Berntson GG, Prentice J (1987) Simian scribbles: A reappraisal of drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *J Comp Psychol* 101:82–89. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.101.1.82>
- Brewster JM, Siegel RK (1976) Reinforced drawing in *Macaca mulatta*. *J Hum Evol* 5:345–347. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(76\)90039-7](https://doi.org/10.1016/0047-2484(76)90039-7)
- Crast J, Fragaszy D, Hayashi M, Matsuzawa T (2009) Dynamic in-hand movements in adult and young juvenile chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Am J Phys Anthropol* 138:274–285. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20925>
- Furness W H (1916) Observations on the Mentality of Chimpanzees and Orang-Utans on JSTOR.
- Hanazuka Y, Kurotori H, Shimizu M, Midorikawa A (2019) The Effects of the Environment on the Drawings of an Extraordinarily Productive Orangutan (*Pongo pygmaeus*) Artist. *Front Psychol* 10:2050. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02050>
- Hayashi M, Matsuzawa T (2003) Cognitive development in object manipulation by infant chimpanzees. *Anim Cogn* 6:225–233. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0185-8>

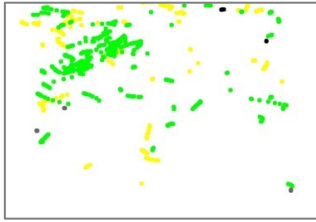



- Iversen IH, Matsuzawa T (1996) Visually guided drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*)
¹. Jpn Psychol Res 38:126–135. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.1996.tb00017.x>
- Iversen IH, Matsuzawa T (1997) Model-guided Line Drawing in the Chimpanzee (*Pan troglodytes*). Jpn Psychol Res 39:154–181. <https://doi.org/10.1111/1468-5884.00051>
- Kano F, Tomonaga M (2009) How chimpanzees look at pictures: a comparative eye-tracking study. Proc R Soc B Biol Sci 276:1949–1955. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1811>
- Kellogg R (1969) Analyzing children's art. National Press Books, Palo Alto, Calif.
- Kellogg WN, Kellogg LA (1933) The ape and the child: a study of environmental influence upon early behavior. Whittlesey House
- Kohts N (1935) Infant ape and human child (instincts, emotions, play, habits).
- Lesnik JJ, Sanz CM, Morgan DB (2015) The Interdigital Brace and Other Grips for Termite Nest Perforation by Chimpanzees of the Goulougo Triangle, Republic of Congo: GRIPS FOR TERMITE NEST PERFORATION. Am J Phys Anthropol 157:252–259. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22706>
- Martinet L, Pelé M (2020) Drawing in nonhuman primates: What we know and what remains to be investigated. J Comp Psychol. <https://doi.org/10.1037/com0000251>
- Martinet L, Sueur C, Hirata S, et al (2021) New indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*). Sci Rep 11:3860. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83043-0>
- Matsuzawa T (2017) The 40th anniversary of the Ai Project: the commemorative gift is a silk scarf painted by Ai the chimpanzee. Primates 58:261-265. <https://doi.org/10.1007/s10329-017-0604-0>
- Matsuzawa T (2020) WISH cages: constructing multiple habitats for captive chimpanzees. Primates 61:139-148. <https://doi.org/10.1007/s10329-020-00806-5>


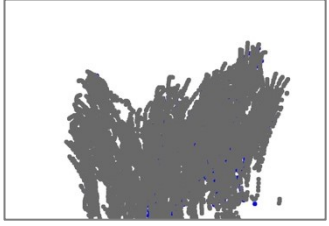
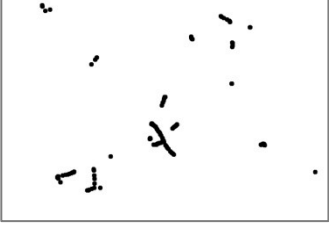
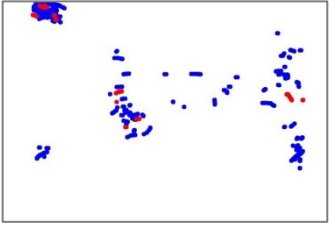

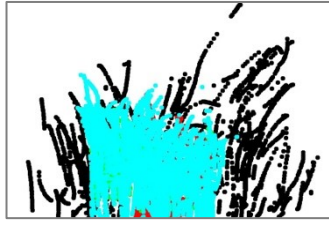
- Matsuzawa T, Tomonaga M, Tanaka M (2006) Cognitive development in chimpanzees. Springer
- Morris D (1962) The biology of art: A study of the picture-making behaviour of the great apes and its relationship to human art. Taylor & Francis
- Napier JR (1960) Studies of the hands of living primates. In: Proceedings of the Zoological Society of London. Wiley Online Library, pp 647–657
- Saito A, Hayashi M, Takeshita H, Matsuzawa T (2014) The Origin of Representational Drawing: A Comparison of Human Children and Chimpanzees. *Child Dev* 85:2232–46. <https://doi.org/10.1111/cdev.12319>
- Schiller PH (1951) Figural preferences in the drawings of a chimpanzee. *J Comp Physiol Psychol* 44:101–111. <https://doi.org/10.1037/h0053604>
- Seghers E (2014) Cross-Species Comparison in the Evolutionary Study of Art: A Cognitive Approach to the Ape Art Debate. *Rev Gen Psychol* 18:263–272. <https://doi.org/10.1037/gpr0000015>
- Smith DA (1973) Systematic study of chimpanzee drawing. *J Comp Physiol Psychol* 82:406–414. <https://doi.org/10.1037/h0034135>
- Tanaka M, Tomonaga M, Matsuzawa T (2003) Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Anim Cogn* 6:245–251. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0198-3>
- Tbnooka R, Matsuzawa T (1995) Hand preferences of captive chimpanzees (*Pan troglodytes*) in simple reaching for food. *Int J Primatol* 16:17–35
- Zeller A (2007) ‘What’s in a picture?’ A comparison of drawings by apes and children. *Semiotica*, pp 181–214. <https://doi.org/10.1515/SEM.2007.056>


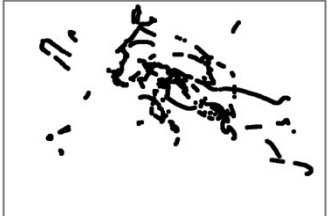
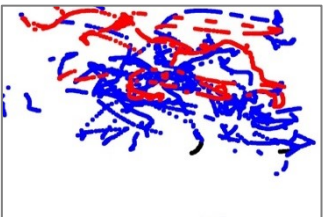
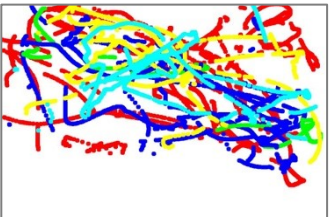

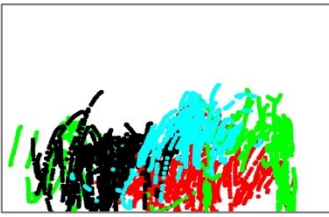
Supplementary materials for the article “Tool assisted task on touchscreen: a new perspective to study drawing behaviour in chimpanzees (*Pan troglodytes*)”

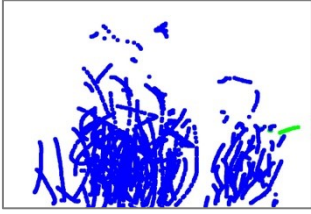
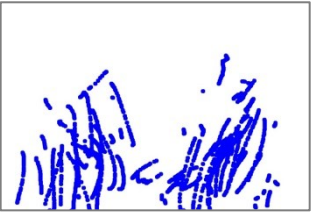


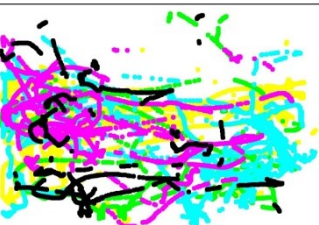

Martinet, L.¹, Sueur, C.^{1,2}, Matsuzawa, T.^{3,4}, Hirata, S.⁵, Morimura, N.⁵, Pelé, M.⁶.


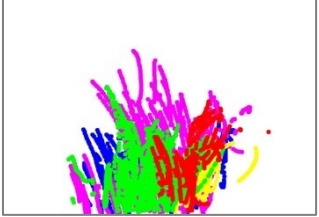

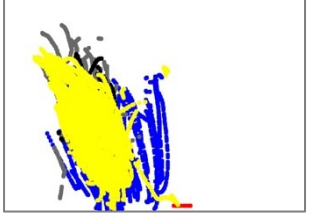


Table 1. Drawings, duration and tools used by the two PRI females according to the test sessions. (F) the finger, (LC) the longest chopstick, (SC) the shortest chopstick, W (the stick of wood) and (MB) the metallic bar. For some drawings different tools were used



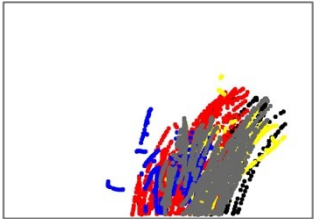

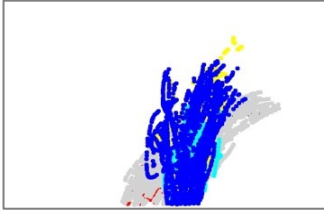
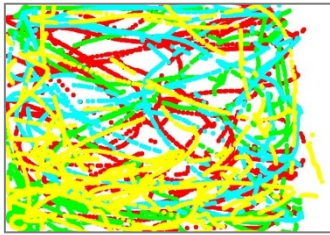
Days	Individuals	Drawings	Drawing tools	Drawing duration (seconds)
Day 1	Ai		FINGER	197,1
			FINGER	35,4
	Pan		FINGER	139,5
			FINGER	67,5



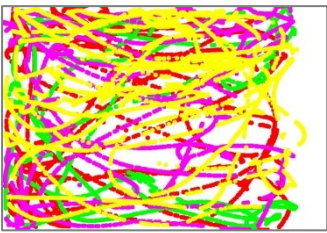

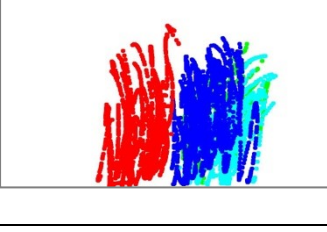

			LONGER CHOPSTICK	226,5
			LONGER CHOPSTICK	335
Day 2	Ai		LONGER CHOPSTICK	40,4
			FINGER	182
			LONGER CHOPSTICK	89,9
	Pan		LONGER CHOPSTICK	514,6

			LONGER CHOPSTICK	479,7
Day 3	Ai		METAL BAR	47,2
			METAL BAR	82
			METAL BAR	128,9
	Pan		WOODEN STICK - LONGER CHOPSTICK	47,1 - 248,5
			LONGER CHOPSTICK	356,9

			LONGER CHOPSTICK	134,4
			SHORTER CHOPSTICK	73,5
			WOODEN STICK	318,2
Day 4	Ai		METAL BAR	220
			METAL BAR	269,2
			METAL BAR	230,4

	Pan		LONGER CHOPSTICK	361,3
			WOODEN STICK	316,6
			LONGER CHOPSTICK	212
			WOODEN STICK	240,3
Day 5	Ai	Drawing not available	METAL BAR	124,1
			METAL BAR	156,7
			METAL BAR	111,8

			METAL BAR	171,9
	Pan		LONGER CHOPSTICK	202,1
			LONGER CHOPSTICK	229,2
			LONGER CHOPSTICK	220,5
			LONGER CHOPSTICK	271,9
Day 6		Ai		METAL BAR

			METAL BAR	273,5
			METAL BAR	221,7
			METAL BAR	153,1
	Pan		LONGER CHOPSTICK	132,3
			SHORTER CHOPSTICK	119
			METAL BAR - LONGER CHOPSTICK	96 – 85,2

			LONGER CHOPSTICK – SHORTER CHOPSTICK – LONGER CHOPSTICK	24,8 – 93,6 – 36,5
--	--	---	---	-----------------------

Video 1. Short sequences of drawing sessions of Pan and Ai

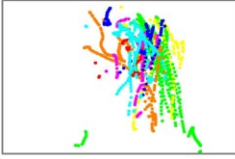
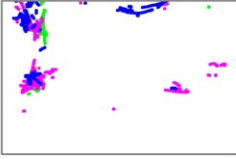
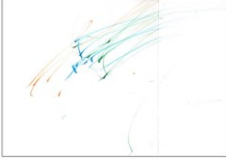

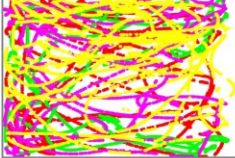



	Drawings made on touchscreen		Drawings made on paper	
KS females	 Misaki	 Mizuki	 Misaki	 Mizuki
PRI females	 Ai	 Pan	 Ai	 Pan

Fig.1 Examples of drawings made with pencils on paper and others on touchscreen by **KS and PRI females**. Drawings made on paper by Ai were provided by the University of Kyoto and those made by Pan with markers were provided by Tetsuro Matsuzawa

Table 2. Pairwise comparisons of the percentage of time spent drawing between females made after the Kruskal-Wallis test (chi-squared = 34.1, df = 6, p-value < 0.0001). The grayed out boxes are those of significant results

	Ai	Hatsuka	Iroha	Misaki	Mizuki	Natsuki
Hatsuka	p = 0.0356	-	-	-	-	-
Iroha	p = 0.0074	p = 0.0356	-	-	-	-
Misaki	p = 1.0000	p = 0.0728	p = 0.0356	-	-	-
Mizuki	p = 0.0256	p = 1.0000	p = 0.0356	p = 0.0728	-	-
Natsuki	p = 0.0356	p = 0.644	p = 0.1234	p = 0.1758	p = 0.9415	-
Pan	p = 0.8194	p = 0.0055	p = 0.0055	p = 0.9415	p = 0.0055	p = 0.0062

Table 3. Pairwise comparisons of the average time spent drawing (i.e. the duration of a stroke) between females made after the Kruskal-Wallis test (chi-squared = 39.8, df = 6, p-value < 0.0001). The grayed out boxes are those of significant results

	Ai	Hatsuka	Iroha	Misaki	Mizuki	Natsuki
Hatsuka	p = 0.1246	-	-	-	-	-
Iroha	p = 0.0291	p = 0.0193	-	-	-	-
Misaki	p = 0.2259	p = 0.7546	p = 0.0513	-	-	-
Mizuki	p = 0.0193	p = 0.0193	p = 0.7252	p = 0.0676	-	-
Natsuki	p = 0.0364	p = 0.0266	p = 0.7321	p = 0.0727	p = 0.7546	-
Pan	p = 0.0193	p = 0.0004	p = 0.0008	p = 0.0030	p < 0.0001	p = 0.0002

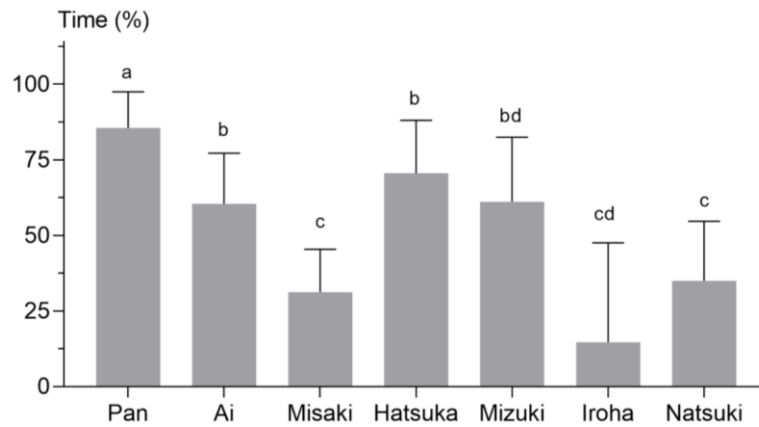


Fig.2 Percentages of time spent looking at the screen while drawing for each female.

Same letter indicates similar values

Table 4. Pairwise comparisons of the percentage of time spent looking at the screen between females made after the Kruskal-Wallis test (chi-squared = 46.4, df = 6, p-value < 0.0001). The grayed out boxes are those of significant results

	Ai	Hatsuka	Iroha	Misaki	Mizuki	Natsuki
Hatsuka	p = 0.1300	-	-	-	-	-
Iroha	p = 0.0319	p = 0.0340	-	-	-	-
Misaki	p = 0.0144	p = 0.0262	p = 0.1533	-	-	-
Mizuki	p = 1.0000	p = 0.0862	p = 0.0862	p = 0.0333	-	-
Natsuki	p = 0.0262	p = 0.0319	p = 0.2357	p = 0.5636	p = 0.0440	-
Pan	p < 0.0001	p = 0.0262	p = 0.0067	p = 0.0043	p = 0.0144	p = 0.0022

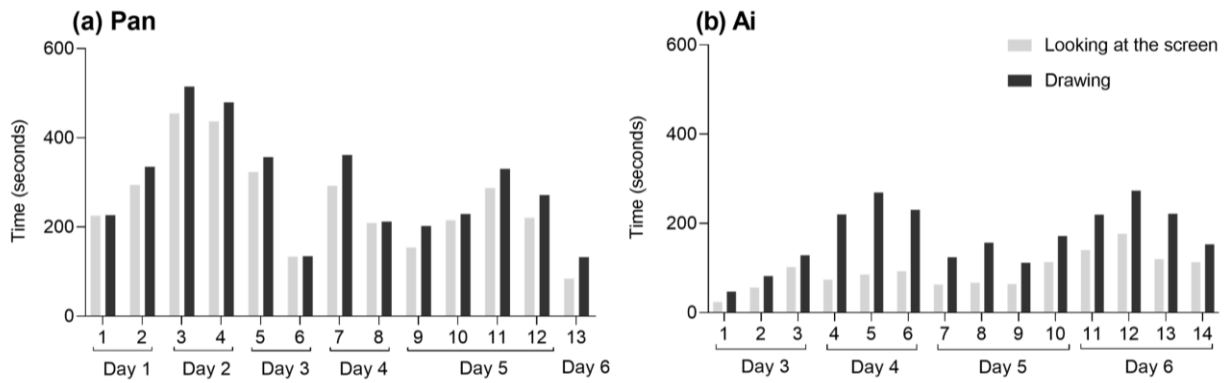


Fig.3 Times spent drawing and looking at the screen in seconds each day, for each drawing made entirely with the selected tool. (a) The data concern Pan who started to draw with the long chopstick from the Day1. (b) The data concern Ai who started using the metallic bar only on the Day3 of the experiment

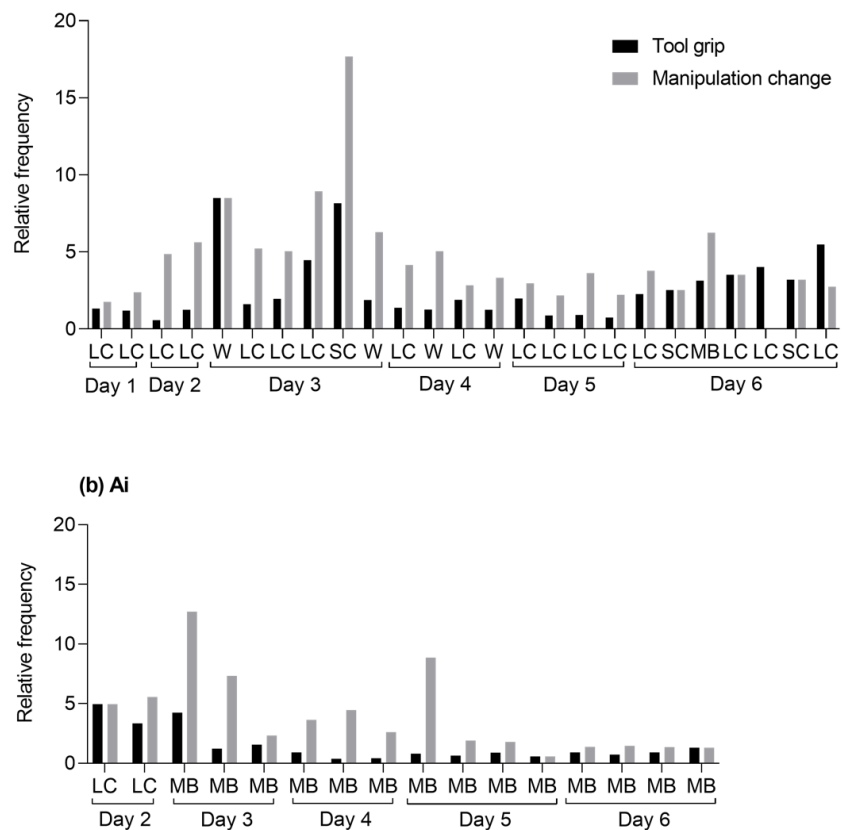


Fig.4 Number of tool grips and tool manipulations relative to the drawing duration for all drawings made with tools for (a) Pan and (b) Ai who started drawing with tools on Day2

CHAPITRE VI

DISCUSSION GÉNÉRALE



1. Résumé

En prenant toute la mesure des limites qu'il comporte, ce projet de recherche, dont les premiers résultats sont présentés dans cette thèse, aborde l'analyse du comportement de dessin sous un angle innovant.

Dans un premier temps, le comportement de dessin a été décomposé et ramené à son produit fini (le tracé) afin de pouvoir, dans un second temps, questionner son caractère pensé et réfléchi (le processus). Un dessin est un tracé, réalisé sur une surface dans un laps de temps défini. En l'assimilant à une trajectoire, nous avons pu étudier ses composantes spatiales et temporelles comme pour tout type de déplacement en écologie du mouvement. En gardant toujours à l'esprit que dessiner est un comportement complexe, contraint par de multiples facteurs, nous avons veillé à systématiquement coupler les indices que nous développons avec d'autres, d'ores et déjà attestés dans ce champ d'études. Avec pour objectif global de développer de nouvelles mesures, objectives et complémentaires, nous avons toujours cherché à cerner davantage la notion de représentativité que le comportement de dessin soulève. Double, interne et externe, elle conditionne en effet la lecture que nous faisons d'un dessin. Une production non déchiffrable, abstraite, est-elle dénuée d'intention pour autant ? Difficile de penser ainsi pour les dessins d'adultes, mais qu'en est-il pour ceux de jeunes enfants ou d'autres espèces animales ? Pour répondre à cette question, nous avons notamment fait face aux différents types d'intentionnalité qui se dégagent dans l'activité de dessin (Figure Annexe). En cela nous pouvons faire écho au continuum des thérapies expressives développé dans le cadre de l'art-thérapie (Kagin & Lusebrink 1978; Lusebrink 2010). Cette déconstruction du processus créatif donne une idée du niveau d'engagement de l'individu dans l'activité artistique, quelle qu'elle soit (peinture, dessin, sculpture, etc.). Elle permet aux arts thérapeutes d'identifier les médias de création bénéfiques à leurs patients et d'identifier de possibles pathologies (Lusebrink 1990). Ce type d'observations peut être transposé hors cadre thérapeutique. Quatre niveaux peuvent ainsi être identifiés. Le niveau sensoriel et kinesthésique constitue la première forme d'interaction : l'aspect moteur y est dominant et les sens particulièrement sollicités (dans le cadre du dessin nous pouvons penser au *gribouillage*). La seconde forme d'interaction est le niveau perceptif et affectif dans lequel les lignes et les couleurs sont utilisées pour véhiculer des émotions et où des formes peuvent être reconnues dans les tracés. La troisième, le niveau cognitif et symbolique dans lequel

l'individu cherche à faire sens, maîtrise la représentation symbolique et pour lequel des processus cognitifs plus complexes tels que la planification ou l'anticipation sont à l'œuvre. Le dernier niveau représente la dimension créative qui n'est autre que l'intégration de l'ensemble des trois autres niveaux. Cet aspect multidimensionnel du comportement de dessin s'est retrouvé entre les sujets de notre étude pour qui le but, entre plaisir, exercice et maîtrise n'était pas tout à fait le même. Ces différents types d'interaction sont en lien avec des intentionnalités différentes mais qui ne sont pas hiérarchisables.

En identifiant et combinant différentes métriques au comportement de dessin, nous avons pu nous distancer de la production finale et porter notre attention sur son processus de réalisation. Chaque indice constitue une pièce du puzzle et permet de mieux définir et comprendre les limites de tous les autres. Seuls, ils ne sont que peu informatifs, mais le deviennent davantage lorsqu'on les confronte à d'autres du même ordre (contenus ou non dans la même dimension – efficacité, diversité ou séquentialité). Nous avons pu alors comprendre que les dessins des chimpanzés du Kumamoto Sanctuary (Université de Kyoto, Japon) collectés en 2017 qui de prime abord semblent similaires à ceux de jeunes enfants de trois ans, montrent en réalité une optimisation moindre et se rapprochent davantage d'un tracé aléatoire sans pour autant l'atteindre. Les jeunes enfants produisent en général des dessins plus rapides et moins étoffés. Le tracé devient davantage orienté et efficace avec l'âge puis diminue chez l'adulte pour qui la séquentialité du comportement (dessine/ne dessine pas) devient plus complexe avec un nombre de séquences plus important lié à l'ajout de détails. Au même titre que les observations faites entre les productions des femelles chimpanzés de KS et les plus jeunes enfants, les analyses réalisées entre leurs gribouillages et ceux des adultes attestent de la limite que la seule observation des dessins entraîne. Certaines différences ne peuvent être attestées qu'en déconstruisant leur réalisation. Bien qu'a priori similaire, les gribouillages produits par les adultes ont montré des différences pour les trois dimensions et donc tant sur leur aspect visuel que leurs constructions spatiale et temporelle.

Au cours de nos recherches, nous avons pu confirmer certains résultats déjà constatés, notamment sur la couleur et le rôle joué par les consignes, deux composantes fortement liées comme nous avons pu le voir. Quant aux différences selon le genre, elles ont pu se révéler sur l'utilisation de la couleur dans l'article 1, mais sans que ce résultat ne ressorte dans l'article 4 méthodologique. Il s'agit d'un facteur dont l'effet est discuté et qui ne se retrouve pas

systématiquement dans les études s’y intéressant, étant bien entendu là encore directement lié à la consigne de dessin (Wright & Black 2013).

2. Limites et perspectives

Comprendre et intégrer les différents degrés d’intentionnalité paraît nécessaire lorsque l’on s’intéresse au comportement de dessin. Dans la continuité de ce nous évoquons dans le Chapitre V, cela permettra de mettre davantage de côté notre anthropomorphisme et de nous concentrer sur le rapport réel entretenu entre le sujet -animal ou enfant- et l’activité. Le travail que nous avons réalisé dans ce projet de recherche est une première avancée. Cependant, au vu des observations que nous avons réalisées, nous pouvons pousser plus loin la réflexion, pointer du doigt certaines limites et entrevoir d’ores et déjà plusieurs perspectives.

2.1 La question du matériel

Dans un premier temps : l’outil. Dans le but d’avoir accès à certains paramètres non disponibles avec la collecte de dessin papier, nous avons fait le choix de faire dessiner les participants sur tablette ou écran tactiles. L’utilisation du doigt plutôt que d’un stylet avait pour but d’inclure les très jeunes enfants qui ne disposent pas encore d’une motricité fine (McManis & Gunnewig 2012) ainsi que les chimpanzés.

2.1.1 L’écran, bénéfiques et contraintes

Chez l’être humain, le médium utilisé joue un rôle prépondérant dans l’expression du comportement de dessin. Concernant les enfants, et quand bien même notre échantillon inclue les enfants d’une même école, tous ne font pas expérience des outils technologiques de la même manière dans le cercle familial. Les bénéfices de leur utilisation lors de l’apprentissage de la lecture et de l’écriture sont aujourd’hui montrés dans différents travaux (Neumann & Neumann 2014; Patchan & Puranik 2016). Concernant l’utilisation de la tablette tactile pour dessiner les résultats sont plus contrastés. Le dessin au doigt sur tablette serait attractif notamment pour les plus jeunes (Kirkorian et coll. 2019) et activerait davantage le système d’afférences et d’efférences tactilo-kinesthésiques favorisant l’essor de gestes nouveaux et donc de formes nouvelles chez les enfants entre 5 et 8 ans (Bitu et coll. 2019;

Price et coll. 2015). Le dessin au doigt sur tablette favoriserait également le développement de la mobilité (Couse & Chen 2010) et de la coordination œil-main (Bétrancourt 2012). Dans leur étude qui consistait à demander à des enfants de dessiner « le meilleur dessin de maison possible » sur feuille et sur tablette au doigt, Picard et collaborateurs (2014) ont obtenu des résultats plus contrastés, avec des productions sur tablette qui étaient plus riches que sur papier. Cependant, la qualité des productions sur tablette était généralement inférieure probablement due à l'implication plus importante des articulations proximales (coude et épaule) par rapport aux distales (poignet et main). Des résultats similaires ont été rapportés par Kirkorian et collaborateurs (2019), l'utilisation du doigt sur tablette augmente l'habilité des enfants à produire des dessins, mais la qualité de ces derniers n'est pas meilleure que sur papier. Concernant les adultes, dessiner au doigt sur écran semble affecter la qualité des dessins qu'ils produisent (Kirkorian et coll. 2019). Nous pouvons imaginer que cela s'estompera au fil des années, les adultes de demain étant les jeunes connectés d'aujourd'hui. Chez les plus jeunes, l'utilisation de leur doigt et d'une tablette n'est pour autant pas intuitive et nécessite d'être guidée. Dans leur étude sur l'utilisation de la tablette tactile par des enfants de grande section de maternelle, Mélot et collaborateurs (2017) sont arrivés au constat que 77 % des enfants positionnent correctement leur doigt, de façon horizontale et de sorte que la pulpe de leur index touche l'écran. En revanche, le reste des enfants a plus de mal, en plaçant verticalement leur doigt et en appuyant donc sur l'écran avec l'ongle. L'utilisation d'outils numériques et tactiles n'est a priori pas un problème en soi, mais se doit d'être bien accompagnée. Afin de statuer sur l'absence de différences notables de capacité entre dessin papier-crayon et tablette-doigt, il pourrait être judicieux de collecter un dessin papier auprès de chaque participant et d'analyser le rapport qu'il entretient avec les deux types de supports (temps passé à dessiner, position du doigt, difficultés exprimées verbalement, préférence). Nous pourrions imaginer utiliser des technologies comme Jansen et Sklar (2021) qui ont développé des modèles de réseaux neuronaux convolutifs pour prédire l'activité de dessin d'un individu (dessine/ne dessine pas) ainsi que pour anticiper la position du stylo sur la feuille. Par le biais de caméras multiples filmant le processus de dessin, les réseaux sont entraînés grâce aux images qu'ils reçoivent. Ce type d'analyse pourrait mettre au jour les différences qu'il pourrait exister entre les processus de dessin sur papier et sur tablette, avec stylet ou au doigt.

L'utilisation d'écrans tactiles pourra en revanche s'avérer plus contraignante dans la collecte de dessins d'individus de cultures différentes et peu familiers avec ce type de médium. Il faudra alors veiller à proposer des périodes d'habituation suffisamment longues avec de vraies démonstrations.

Discutée dans les articles 1, 5, 6 et 7, la question du support se pose également chez les chimpanzés. Bien qu'il s'agisse d'individus captifs ayant tous une expérience, plus ou moins grande, avec les écrans tactiles, ils ne sont pas quotidiennement ou souvent amenés à garder leur doigt en appui et à le déplacer. De plus et bien que ne pouvant être tenu pour seul responsable de la différence de capacité relevée, le dessin ne constitue pas une activité prédominante dans la vie des femelles chimpanzés testées contrairement aux enfants pour qui ce comportement fait l'objet d'un apprentissage. Leur utilisation de l'écran reste cantonnée aux tâches cognitives qu'elles effectuent presque quotidiennement. Iversen et Matsuzawa (1996, 1997) ont montré que le comportement d'appui prolongé peut être enseigné aux chimpanzés, mais n'ayant pas par la suite à utiliser ce type de comportement régulièrement, les individus ne le conservent pas vraiment. Pour des femelles plus habituées à dessiner sur papier, comme Ai et Pan, l'action de tracer semble être directement liée à l'outil. Ce dernier rappelle le crayon ou le feutre qui sont directement reliés à l'activité de dessin. L'individu lorsqu'il se place devant un écran, avec sa main pour seul moyen d'interaction reste dans la même configuration que les tâches cognitives qu'il effectue chaque jour et sera enclin à appuyer plus qu'à tracer.

La question de l'apprentissage peut alors être abordée plus concrètement. La différence d'expression du comportement de dessin de notre espèce par rapport aux chimpanzés pourrait-elle venir d'une différence d'apprentissage et d'exposition aux éléments graphiques ? Du moins dans les sociétés occidentales, du temps est consacré à ce type d'activité et différents supports sont proposés aux enfants afin qu'ils découvrent et s'en approprient les différentes facettes. Peut-on envisager qu'une exposition plus importante des chimpanzés à l'activité graphique engendrerait un essor de leur intérêt et potentiellement de leurs capacités ? Le fait qu'ils reconnaissent le type d'activité qu'on leur propose semble en effet jouer sur l'attention qu'ils y portent en y étant de nouveau confrontés, comme semble en témoigner l'attitude de Ai et Pan. Les jeunes chimpanzés montrant une propension pour ce type d'activité (Tanaka et coll. 2003) ou y étant du moins curieux, il faudrait envisager de leur proposer d'y avoir accès à différents moments de leur vie et de différentes manières. Il

s'agira là de la meilleure façon d'attester de leurs capacités et implications à dessiner. En effet, nous l'avons vu avec les observations réalisées avec Ai et Pan, à niveau d'exposition similaire à l'activité, les individus ne produisent pas le même type de dessin ni a priori la même attention, à comprendre si cela relève que d'une différence de motivation ou de cognition.

2.1.2 De l'importance de la motivation à dessiner

Bien qu'elles ne soient pas contraintes, les femelles chimpanzés sont invitées à dessiner sur certains créneaux horaires et ne sont donc pas libres d'interférer avec l'écran lorsqu'elles le souhaitent. Comme évoqué en discussion de l'article 7, il pourrait être envisagé de leur donner libre accès à des écrans tactiles disposés dans leurs enclos. Ce type d'installation est mis en place au Primate Research Institute (Université de Kyoto, Japon). Avec un dispositif de reconnaissance faciale, les individus participent quand ils le souhaitent à des tests cognitifs en échange de récompenses alimentaires (Matsuzawa 2020). Les faire dessiner dans un lieu différent des salles d'expérimentation dans lesquelles elles sont habituées à cliquer sur un écran pourrait aider à ce qu'elles différencient mieux les deux types d'activité. Leur permettre d'interagir en autonomie avec l'écran permettrait de se détacher de la seule observation participative et d'augmenter ainsi le nombre d'individus qui pourraient prendre part à ce type de collecte. De la même manière et, sans pour autant mettre les enfants en enclos, il pourrait être envisagé de proposer, en accord avec les écoles et pour des classes d'âge suffisamment autonomes, des tablettes en libre accès au fond de la classe sur les temps d'enseignements créatifs.

Plus largement, et cela reste valable pour tout type de participant, humain et non-humain, et quand bien même chacun participe volontairement à l'activité que nous lui proposons, son rapport à celle-ci est contraint par le médium que nous lui proposons, ses possibilités, la consigne donnée et le moment que nous, expérimentateurs, choisissons pour qu'il exprime son comportement. Nous pouvons pousser plus loin la réflexion. En effet, comme l'amène justement Lenain (1995) dans son écrit, l'activité de dessin prend-elle sens de l'individu qui dessine, du médium qui lui est proposé ou bien des deux ? Un individu qui saisit de lui-même un crayon pour tracer sur une feuille, ou une craie pour marquer le sol, balaye les doutes sur son intention première de dessiner plus aisément que s'il était seulement invité à le faire. Plus concrètement, chaque participant était ici passif dans le choix

du médium proposé. Chacun, humain ou non-humain, était invité à dessiner avec les outils que nous souhaitions qu'il utilise et pendant des moments que nous planifions. Nous pouvons alors questionner la volonté de l'individu et l'absence d'une démarche de choix active du support, des outils de dessin ainsi que du moment choisi pour dessiner. Il s'agit là d'une réflexion à garder en mémoire pour de futures recherches.

2.2 Collecter davantage et diversifier pour mieux cerner

Ce travail de doctorat constitue la première pierre d'un travail de recherche qu'il faudra à l'avenir élargir en incluant un plus grand nombre de données et une plus grande diversité. Nous avons en effet ici collecté les dessins d'enfants d'une même école, dont les familles présentent un niveau socio-économique semblable sans que de grandes disparités culturelles puissent être relevées. Comme discuté dans le Chapitre I, la culture joue un rôle prépondérant dans l'expression du comportement de dessin et il serait intéressant d'y confronter nos indices ainsi que tout type de future métrique qui sera développée dans le cadre de ce projet. Produire un dessin pouvant être déchiffré par un tiers, c'est comprendre sa fonction de communication. Parvenir à cerner les similitudes et les différences entre un symbole et son référent dépend de la culture dans laquelle l'enfant se développe et de l'importance que celle-ci accorde à l'art graphique (Callaghan 2005). Une personne qui n'a pas été exposée au dessin ou n'y a pas été introduite conserve des propriétés résilientes et sera en capacité de produire des dessins très simples et déchiffrables (Cohn 2012, 2014). Nous pouvons cependant nous demander si l'organisation des tracés y sera alors organisée, optimisée ou non, quelle sera la proportion de temps passé à dessiner ou encore si le nombre de traits sera plus faible. Après plusieurs essais, son comportement montrera-t-il une complexité croissante à mesure que de possibles détails seront ajoutés ou présentera-t-il au contraire une dynamique stéréotypée ? Certaines mesures, peu informatives lorsqu'appliquées à nos jeux de données pourront certainement s'avérer plus pertinentes dans l'étude de dessin de cultures différentes. Les enfants ayant tendance notamment à se dessiner plus ou moins grands selon leur culture d'appartenance, nous pouvons imaginer une variation du polygone convexe minimum. Mais l'étude des différences culturelles serait tout aussi intéressante chez un public plus âgé. En effet, la période d'oppression au cours de laquelle l'individu se désintéresse du dessin et qui est visible à l'entrée en puberté chez les

Occidentaux n'est pas toujours décelable dans d'autres cultures (Cohn 2012). Aux États-Unis comme au Japon, la culture visuelle est riche, mais fondamentalement différente. Au Japon les représentations graphiques sont très conventionnelles avec un style majoritaire de représentations emprunté aux mangas ce qui facilite grandement l'intégration d'un vocabulaire graphique (Cohn 2012, 2014). Se superpose à cela une place plus importante accordée aux activités de dessin ainsi qu'un personnel enseignant ayant une véritable expertise en la matière (Toku 2001). Dans ce pays, l'imitation est encouragée et pousse les enfants à adopter le langage graphique conventionnellement utilisé. Ce type d'apprentissage est globalement rejeté en occident où il est perçu comme limitant à la construction d'un style propre à l'individu. Ne disposant pas de repères fixes et singuliers, l'individu apprend moins facilement et finit par se désintéresser de l'activité (Cohn 2014). Il serait alors intéressant de déterminer si la faible proportion de temps de dessin que nous trouvons chez les adultes novices se retrouve ou non chez des adultes japonais qui ne pratiqueraient pas le dessin et plus largement comprendre si d'autres différences pourraient être relevées.

Concernant les autres grands singes, nous expliquons notamment dans l'article 4 que le chimpanzé n'est pas la seule espèce dont les individus captifs peuvent montrer un intérêt pour le dessin. En cela il faudrait inclure d'autres espèces de grands singes, mais ce type d'expérimentation peut s'avérer compliqué à mettre en place et le dispositif tactile se devra d'être particulièrement protégé selon les cas. De plus l'article 7 met en lumière ce qui a priori pourrait se révéler être une limite : certains individus ne sont pas à l'aise ou pas enclins à dessiner au doigt et montrent un enthousiasme plus grand quand des outils leur sont proposés. En effet, en considérant ce type d'information il peut paraître compliqué de parvenir à une prise de données standardisée. Mais alors, que choisissons-nous ? Mettre de côté ce type d'expérimentation ou bien accepter le fait que les individus puissent dessiner de différentes manières ?

2.3 Disposer de nouvelles clés

Au même titre que certaines mesures prises en compte en parallèle de l'élaboration de nos indices (questions aux enfants, utilisation de la couleur), il nous faut rester ouverts aux apports d'autres disciplines ou méthodologies développées et utilisées dans des contextes d'étude différents.

2.3.1 Regarder voir

L'utilisation de dispositifs d'oculométrie (*eye-tracking*) pour mieux comprendre le rôle du regard dans l'activité de dessin date du début du siècle, mais son recours y est bien moins étendu que pour l'étude de la lecture par exemple (Hessel et coll. 2021; Schroeder et coll. 2015). Son apport serait ici multiple. Force est de constater qu'il nous est impossible de penser à la place de nos pairs, donc s'immiscer dans la tête d'un chimpanzé encore moins. Ainsi, comprendre où l'individu pose son regard au cours de l'activité constituerait une porte d'accès supplémentaire au rapport qu'il entretient avec elle.

Des études ont déjà pu tirer certaines conclusions. Selon le type de dessin, le regard ne sera pas porté de la même façon et le couplage entre les yeux et la main ne sera pas le même. Lorsque les individus sont amenés à décalquer une forme déjà dessinée, le couplage entre ces deux éléments est important, car cela exige une comparaison constante entre la ligne à recopier et celle effectuée à l'instant. L'information visuelle est donc constamment véhiculée vers le système de mouvement de la main (Gowen & Miall 2006). Pour un dessin libre, la précision du retour visuel est moins déterminante que des facteurs internes tels que la mémoire de mouvement notamment. Cependant, pour une activité aussi diversifiée que peut l'être le dessin, d'autres paramètres comme la familiarité de la forme recopiée ou dessinée, le type de consigne, le niveau d'expertise peuvent entrer en jeu et influencer la dynamique de mouvement des yeux (Gowen & Miall 2006; Solso 2001; Tchalenko 2007).

Le mouvement des yeux entre balayages du regard et fixations est, entre autres, un marqueur de l'attention et de l'anticipation (Kano & Hirata 2015; Smith et coll. 2004). Dans notre cas, ce type de mesures pourrait être révélateur du niveau d'intention de l'individu qui dessine. Dans quelle mesure son regard est-il porté sur le bout de son doigt, sur le futur point à atteindre ou sur le tracé déjà réalisé ? Nous pourrions également nous pencher sur les mouvements des yeux de l'individu lorsqu'il regarde une personne qui dessine. Anticipe-t-il le tracé dans le cadre d'une forme simple comme un carré par exemple ? Si c'est le cas, l'individu est alors en capacité de se représenter mentalement ce qui est ou va être dessiné. L'étude du regard constituerait notamment une aide précieuse pour comprendre le comportement de dessin des plus jeunes enfants et des grands singes. Cependant, dans le cadre de notre projet, l'individu n'est pas seulement amené à regarder le dispositif, mais doit également interagir avec l'écran pour marquer. Or, les outils d'oculométrie jusqu'alors développés ne sont pas

directement intégrés dans les écrans. Il s'agit de dispositifs que l'on peut accoler sous l'écran ou disposer à côté et qui émettent une lumière infrarouge en direction de l'œil. Les reflets sont enregistrés afin de calculer en temps réel la position du regard. Avec notre protocole actuel, deux types de limites : le fait que l'écran doive être placé verticalement quand il est pour le moment placé à plat et la nécessité de protéger le dispositif notamment lors de sessions avec les chimpanzés. Faire dessiner des individus de façon verticale peut rendre la tâche plus complexe particulièrement pour les enfants. Pour les humains, des lunettes oculométriques¹ existent et permettraient de conserver le dispositif tactile à l'horizontal, mais elles ne pourraient pas être utilisées avec d'autres espèces animales et rajouteraient donc une difficulté supplémentaire pour de futures analyses comparatives.

Nous pourrions également ajouter à cette analyse du regard du dessinateur, une meilleure observation de ses expressions faciales lorsqu'il dessine. Ces dernières pourraient nous renseigner davantage sur le niveau d'implication de l'individu. Pour les enfants, nous avons constaté que plusieurs d'entre eux tiraient la langue lorsqu'ils dessinaient. Ce type de mimiques est fréquent chez le jeune sujet lorsqu'il fait face à des tâches qui lui demandent de se concentrer (Forrester & Rodriguez 2015). Nous avons pu observer l'expression de syncinésies² oro-chirales similaires de la part de Pan (mouvements inconscients de la bouche) lors de longues périodes de dessin, sans demande de récompense alimentaire.

2.3.2 L'activité cérébrale, un possible révélateur additionnel

Dessiner requiert différentes capacités cognitives. Dans le cas d'un comportement qui serait planifié, menant ou non à un dessin figuratif, des décisions d'ordre complexes sont sans cesse prises. Des processus décisionnels, perceptuels, moteurs et visuels, tous en lien les uns avec les autres, sont à l'œuvre. Contrairement à la musique qui a fait l'objet de nombreuses études (Bangert et coll. 2006; Gaser & Schlaug 2003; Zatorre 2003), l'observation de l'activité cérébrale au cours du dessin a connu un intérêt plus tardif. Celle-ci s'est révélée intéressante notamment lorsqu'il fut constaté que certains individus lésés pour l'un ou l'autre des deux hémisphères présentaient des difficultés pour ce type d'activité (Chatterjee 2004). Certains

¹ Lunettes oculométriques développées par la marque Tobii : <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/> consulté le 21 septembre 2021

² Syncinésie : Contraction involontaire d'un groupe de muscles apparaissant quand le sujet effectue un mouvement, que celui-ci soit réflexe ou volontaire, mettant en jeu un autre groupe de muscles. *Larousse*. Consulté le 21 septembre en ligne.

patients développaient alors une apraxie et voyaient leurs capacités de dessins parfois fortement atteintes (Makuuchi et coll. 2003). La multiplicité des façons de dessiner : abstraite, figurative, en observant l'objet, en copiant un modèle ou de mémoire, sous consigne ou non, rend difficile une complète identification des aires cérébrales impliquées. Ainsi les régions pariétales, permettant notamment l'identification faciale, sont par exemple davantage actives lors de la réalisation d'un portrait que lors de la réalisation de figures géométriques (Solso 2001). Lorsqu'il s'agit de réaliser un dessin de mémoire, l'aire motrice supplémentaire du cortex moteur et les ganglions de la base seront plus actifs et favoriseront une coordination et une exécution des mouvements en permettant un couplage optimal entre action et mémoire (Gowen & Miall 2007). La réalisation d'un dessin figuratif de mémoire active le cortex préfrontal impliqué dans la prise de décision et l'attention ainsi que le cortex cingulaire ayant lui un rôle dans la résolution de problèmes (Griffith & Bingman 2020). Le cervelet coordonnant les mouvements et le contrôle moteur ainsi que les régions occipitales intégrant les signaux visuels se joignent à la longue liste des zones cérébrales pouvant être actives au moment de dessiner (Gowen & Miall 2007). S'ajoutent à la difficulté de leur identification, le fait que ces zones cérébrales peuvent montrer des différences d'activité selon le niveau d'expertise du dessinateur et le type de dessin exécuté (Chamberlain et coll. 2014; De Pisapia et coll. 2016; Solso 2001).

L'idée n'est pas de s'improviser neurobiologistes, mais de travailler en collaboration avec ces derniers pour comparer l'activité cérébrale de nos différents sujets. Sans fondamentalement chercher à comprendre les zones qui définissent et encadrent l'activité de dessin, il s'agirait de mettre en lumière les différences entre chimpanzés, jeunes enfants et adultes notamment. Comprendre les bases neuronales de l'expression du comportement de dessin (plaisir moteur, abstraction, ou processus plus intentionnels) permettrait de statuer avec plus de justesse sur le rapport que chaque individu entretient avec l'activité.

3. Conclusion générale

Prémices d'un projet de recherche plus vaste, cette étude constitue tout autant un travail bibliographique, conceptuel que méthodologique. En cherchant à mettre au point une analyse plus objective du dessin, nous avons été conduits à développer et transposer de nouvelles mesures au tracé et plus largement au comportement dans son ensemble. Ainsi les

dynamiques spatiales et temporelles ont pu être abordées avec un angle nouveau. Nous avons pu appréhender certaines composantes du dessin qui n'étaient jusqu'alors que peu considérées ou peu développées. La représentativité, dans sa dimension interne et externe, a pu être questionnée plus en profondeur. Nos résultats amorcent une lecture de ce qui n'est pas visible. Pour n'en rappeler que certains, les tracés produits par les chimpanzés sont alors moins déterminés que ceux des très jeunes enfants, sans être pour autant aléatoires et l'expression de ce comportement varie selon les individus. Les enfants plus âgés s'avèrent souvent plus efficaces que les adultes lorsqu'ils dessinent et la temporalité d'exécution du tracé est davantage stéréotypée chez les plus jeunes.

Prenons du recul et osons projeter ce travail dans une hypothétique application plus concrète. Pouvons-nous alors imaginer, grâce à l'essor des outils de numérisation de l'art rupestre et au fascinant travail de reproduction réalisé par des artistes, que nos indices puissent aider à la compréhension du comportement de dessin de nos ancêtres ?

Riche de par son ouverture à d'autres disciplines et bien que ne pouvant répondre à toutes les questions qu'il soulève, le présent travail apporte une vision innovante pouvant constituer l'esquisse d'un plus grand tableau.

RÉFÉRENCES

- Adi-Japha, E., Levin, I., & Solomon, S. (1998). Emergence of representation in drawing: The relation between kinematic and referential aspects. *Cognitive Development*, 13(1), 25–51. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(98\)90019-3](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(98)90019-3)
- Andersson, I., & Andersson, S. B. (2009). Aesthetic representations among Himba people in Namibia. *International Art in Early Childhood Research Journal*, 1(1), 1–14.
- Arnheim, R. (1954). *Art and visual perception: A psychology of the creative eye*. Univ of California Press.
- Arnheim, R. (1969). *Visual thinking*. University of California Press.
- Aubert, M., Brumm, A., & Huntley, J. (2018). Early dates for ‘Neanderthal cave art’ may be wrong. *Journal of Human Evolution*, 125, 215–217. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2018.08.004>
- Aubert, M., Brumm, A., Ramli, M., Sutikna, T., Saptomo, E. W., Hakim, B., Morwood, M. J., van den Bergh, G. D., Kinsley, L., & Dosseto, A. (2014). Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia. *Nature*, 514(7521), 223–227. <https://doi.org/10.1038/nature13422>
- Baldy, R. (2002). *Dessine-moi un bonhomme: Dessins d’enfants et développement cognitif*. Ed. In Press.
- Baldy, R. (2005). Dessin et développement cognitif. *Enfance*, 57(1), 34–44.
- Baldy, R. (2011). *Fais-moi un beau dessin: Regarder le dessin de l’enfant, comprendre son évolution*. In Press.
- Bangert, M., Peschel, T., Schlaug, G., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., Heinze, H.-J., & Altenmüller, E. (2006). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *Neuroimage*, 30(3), 917–926. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.10.044>
- Berlyne, D. E. (1969). The reward value of light increment under supranormal and subnormal arousal. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 23(1), 11. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0082789>

- Bétrancourt, M. (2012). Du bon usage des tablettes. *Flash informatique D*, 49-51. [En ligne] <http://flashinformatique.epfl.ch/IMG/pdf/sp-12-page49.pdf>
- Bhattacharya, M., & Narayan*, P. K. (2005). Testing for the random walk hypothesis in the case of visitor arrivals: Evidence from Indian tourism. *Applied Economics*, 37(13), 1485–1490. <https://doi.org/10.1080/00036840500109332>
- Bird, C. D., & Emery, N. J. (2009). Insightful problem solving and creative tool modification by captive nontool-using rooks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10370–10375. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901008106>
- Bitu, F., Jouen, F., & Molina, M. (2019). Les apports de l’interface tactile numérique dans l’expression créative graphique: Une étude exploratoire chez des enfants d’âge scolaire. *Enfance*, N° 3(3), 357–373. https://doi.org/10.3917/enf2.193.0357#xd_co_f=MGNjYTE2YWEtZiQxZS00YTM3LWEONTYtMTA2YWQ0Mjk3N2M4~
- Bonoti, F., & Metallidou, P. (2010). Children’s Judgments and Feelings about Their Own Drawings. *Psychology*, 01(05), 329–336. <https://doi.org/10.4236/psych.2010.15042>
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., & Prentice, J. (1987). Simian scribbles: A reappraisal of drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 101(1), 82–89. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.101.1.82>
- Brooks, M. (2009). Drawing, visualization and young children’s exploration of “Big Ideas”. *International Journal of Science Education*, 31(3), 319-341. <https://doi.org/10.1080/09500690802595771>
- Brumm, A., Oktaviana, A. A., Burhan, B., Hakim, B., Lebe, R., Zhao, J., Sulistyarto, P. H., Ririmasse, M., Adhityatama, S., & Sumantri, I. (2021). Oldest cave art found in Sulawesi. *Science Advances*, 7(3), eabd4648. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4648>
- Bshary, R., Wickler, W., & Fricke, H. (2002). Fish cognition: A primate’s eye view. *Animal Cognition*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10071-001-0116-5>
- Burgin, V. (1986). *The end of art theory*. Macmillan International Higher Education.
- Burkart, J. M., Strasser, A., & Foglia, M. (2009). Trade-offs between social learning and individual innovativeness in common marmosets, *Callithrix jacchus*. *Animal Behaviour*, 77(5), 1291–1301. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.02.006>

- Call, J., & Tomasello, M. (1995). Use of social information in the problem solving of orangutans (*Pongo pygmaeus*) and human children (*Homo sapiens*). *Journal of Comparative Psychology*, *109*(3), 308–320. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.109.3.308>
- Callaghan, T. C. (1999). Early Understanding and Production of Graphic Symbols. *Child Development*, *70*(6), 1314–1324. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00096>
- Callaghan, T. C. (2005). Developing an intention to communicate through drawing. *Enfance*, *Vol. 57*(1), 45–56.
- Cannon, M. J., Percival, D. B., Caccia, D. C., Raymond, G. M., & Bassingthwaite, J. B. (1997). Evaluating scaled windowed variance methods for estimating the Hurst coefficient of time series. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *241*(3–4), 606–626. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(97\)00252-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(97)00252-5)
- Capitanio, J. P., & Mason, W. A. (2000). Cognitive style: Problem solving by rhesus macaques (*Macaca mulatta*) reared with living or inanimate substitute mothers. *Journal of Comparative Psychology (Washington, D.C.: 1983)*, *114*(2), 115–125. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.114.2.115>
- Cavoto, K. K., & Cook, R. G. (2001). Cognitive precedence for local information in hierarchical stimulus processing by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *27*(1), 3. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0097-7403.27.1.3>
- Chamberlain, R., McManus, I. C., Brunswick, N., Rankin, Q., Riley, H., & Kanai, R. (2014). Drawing on the right side of the brain: A voxel-based morphometry analysis of observational drawing. *NeuroImage*, *96*, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.03.062>
- Chatterjee, A. (2004). The neuropsychology of visual artistic production. *Neuropsychologia*, *42*(11), 1568–1583. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.03.011>
- Cherney, I. D., Seiwert, C. S., Dickey, T. M., & Flichtbeil, J. D. (2006). Children's Drawings: A mirror to their minds. *Educational Psychology*, *26*(1), 127–142. <https://doi.org/10.1080/01443410500344167>
- Clark, A. B. (1897). *The child's attitude towards perspective problems*. Studies in Education. 283-294
- Clottes, J. (2003). De « l'art pour l'art » au chamanisme: L'interprétation de l'art préhistorique. *La revue pour l'histoire du CNRS*, *8*, Article 8. <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.553>

- Clutton-Brock, T., & McAuliffe, K. (2009). Female Mate Choice in Mammals. *The Quarterly Review of Biology*, 84(1), 3–27. <https://doi.org/10.1086/596461>
- Cohn, N. (2012). Explaining ‘I can’t draw’: Parallels between the structure and development of language and drawing. *Human Development*, 55(4), 167–192. <https://doi.org/10.1159/000341842>
- Cohn, N. (2014). Framing “I can’t draw”: The influence of cultural frames on the development of drawing. *Culture & Psychology*, 20(1), 102–117. <https://doi.org/10.1177%2F1354067X13515936>
- Costall, A. (1995). *The myth of the sensory core: The traditional versus the ecological approach to children’s drawings*. In C. Lange-Küttner & G. V. Thomas (Eds.), *Drawing and looking: Theoretical approaches to pictorial representation in children* (pp. 16–26). Harvester Wheatsheaf.
- Court, E. (1982). The dual vision: Factors affecting the drawing characteristics of selected Kenyan children. Paper presented at the National Art Education Association Conference.
- Couse, L. J., & Chen, D. W. (2010). A tablet computer for young children? Exploring its viability for early childhood education. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(1), 75–96. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782562>
- Cox, M. (1992). *Children’s Drawings* (First Edition). Penguin Books.
- Cox, M. V., Koyasu, M., Hiranuma, H., & Perara, J. (2001). Children’s human figure drawings in the UK and Japan: The effects of age, sex and culture. *British Journal of Developmental Psychology*, 19(2), 275–292. <https://doi.org/10.1348/026151001166074>
- Cox, S. (2005). Intention and Meaning in Young Children’s Drawing. *International Journal of Art & Design Education*, 24(2), 115–125. <https://doi.org/10.1111/j.1476-8070.2005.00432.x>
- d’Errico, F. (2003). The invisible frontier. A multiple species model for the origin of behavioural modernity. *Evolutionary Anthropology* 12: 182–202. <https://doi.org/10.1002/evan.10113>
- d’Errico, F., & Stringer, C. B. (2011). Evolution, revolution or saltation scenario for the emergence of modern cultures? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1567), 1060–1069. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0340>
- Darwin, C. (1871). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London: Murray.

- Darwin, C. (1877). A biographical sketch of an infant. *Mind*, 2(7), 285–294.
- David, B., & Lefrère, J.-J. (2014). *The Oldest Enigma of Humanity: The Key to the Mystery of the Paleolithic Cave Paintings*. Skyhorse.
- Davies, S. (2019). Behavioral modernity in retrospect. *Topoi*, 1–12.
- De Pisapia, N., Bacci, F., Parrott, D., & Melcher, D. (2016). Brain networks for visual creativity: A functional connectivity study of planning a visual artwork. *Scientific Reports*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep39185>
- Delignières, D., & Torre, K. (2012). Les fractales: Un regard nouveau sur la complexité. *Les Sciences Du Sport En Mouvement. Innovations et Traditions Théoriques En STAPS*. Paris: L'Harmattan.
- Delignières, D., Torre, K., & Lemoine, L. (2005). Methodological issues in the application of monofractal analyses in psychological and behavioral research. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 9(4), 435–461.
- DeLoache, J. S. (1991). *Symbolic Functioning in Very Young Children: Understanding of Pictures and Models*. 18.
- DeLoache, J. S. (2004). Becoming symbol-minded. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.004>
- DeLoache, J. S., & Burns, N. M. (1994). Early understanding of the representational function of pictures. *Cognition*, 52(2), 83–110. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90063-9)
- Dennis, W. (1960). The human figure drawings of Bedouins. *The Journal of Social Psychology*, 52(2), 209–219.
- Edwards, A. M. (2008). Using likelihood to test for Lévy flight search patterns and for general power-law distributions in nature. *Journal of Animal Ecology*, 77(6), 1212–1222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01428.x>
- Ellis, L., & Ficek, C. (2001). Color preferences according to gender and sexual orientation. *Personality and Individual Differences*, 31(8), 1375–1379. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00231-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00231-2)
- Endler, J. A., & Basolo, A. L. (1998). Sensory ecology, receiver biases and sexual selection. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(10), 415–420. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01471-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01471-2)
- Fineberg, J. D. (1997). *The innocent eye: Children's art and the modern artist*. Princeton University Press Princeton, NJ.

- Forrester, G. S., & Rodriguez, A. (2015). Slip of the tongue: Implications for evolution and language development. *Cognition*, *141*, 103–111. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01471-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01471-2)
- Freeman, N. H. (1980). *Strategies of representation in young children: Analysis of spatial skills and drawing processes*. Academic Press.
- Freeman, N. H. (1993). *Drawing: Public instruments of representation*.
- Fujita, K., Sato, Y., & Kuroshima, H. (2011). Learning and generalization of tool use by tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*) in tasks involving three factors: Reward, tool, and hindrance. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *37*(1), 10–19. <https://doi.org/10.1037/a0020274>
- Fujita, K., & Watanabe, K. (1995). Visual preference for closely related species by Sulawesi macaques. *American Journal of Primatology*, *37*(3), 253–261. <https://doi.org/10.1002/ajp.1350370307>
- Funk, M. (2002). Problem solving skills in young yellow-crowned parakeets (*Cyanoramphus auriceps*). *Animal Cognition*, *5*(3), 167–176. <https://doi.org/10.1007/s10071-002-0149-4>
- García-Diez, M., & Ochoa, B. (2020). Art origins: The emergence of graphic symbolism. *Encyclopedia of Global Archaeology*. Springer, Switzerland, 1–19. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51726-1_2819-1
- Gardner, H. (1973). *The Arts and Human Development a Psychological Study of the Artistic Process*. Basic Books.
- Gardner, H. (1980). Artful Scribbles: The Significance of Children's Drawings. *American Journal of Psychiatry*, *137*(11), 1480–1480.
- Garnier, C. & Sauvé, L. (1999). Apport de la théorie des représentations sociales à l'éducation relative à l'environnement-Conditions pour un design de recherche, Éducative relative à l'environnement- regards, recherches, réflexions, Arlon, FUL, 65-77.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non musicians. *Journal of Neuroscience*, *23*(27), 9240–9245. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003>
- Goldin-Meadow, S. (2005). *The Resilience of Language: What Gesture Creation in Deaf Children Can Tell Us about how All Children Learn Language*. Psychology Press.
- Golomb, C. (1974). *Young Children's Sculpture and Drawing*, Cambridge: Harvard U. P.

- Golomb, C. (1992). *The Child's Creation of a Pictorial World*. University of California Press.
- Golomb, C. (2002). *Child art in context: A cultural and comparative perspective*. American Psychological Association.
- Gombrich, E. H. (1960). *Art and Illusion (London: Phaidon)*.
- Gowen, E., & Miall, R. C. (2006). Eye–hand interactions in tracing and drawing tasks. *Human Movement Science*, 25(4), 568–585. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.06.005>
- Gowen, E., & Miall, R. C. (2007). Differentiation between external and internal cuing: An fMRI study comparing tracing with drawing. *Neuroimage*, 36(2), 396–410. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.005>
- Griffith, F. J., & Bingman, V. P. (2020). Drawing on the brain: An ALE meta-analysis of functional brain activation during drawing. *The Arts in Psychotherapy*, 71, 101690. <https://doi.org/10.1016/j.aip.2020.101690>
- Guy, E. (2017). *Ce que l'art préhistorique dit de nos origines*. Flammarion.
- Hall, E. (2009). Mixed messages: The role and value of drawing in early education. *International Journal of Early Years Education*, 17(3), 179–190. <https://doi.org/10.1080/09669760903424507>
- Hanazuka, Y., Kurotori, H., Shimizu, M., & Midorikawa, A. (2019). The Effects of the Environment on the Drawings of an Extraordinarily Productive Orangutan (*Pongo pygmaeus*) Artist. *Frontiers in Psychology*, 10, 2050. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02050>
- He, W., Zhang, Y., Zhu, J., Xu, Y., Yu, W., Chen, W., Liu, Y., & Wang, W. (2011). Could sex difference in color preference and its personality correlates fit into social theories? Let Chinese university students tell you. *Personality and Individual Differences*, 51(2), 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.03.035>
- Heinrich, B., & Bugnyar, T. (2005). Testing Problem Solving in Ravens: String-Pulling to Reach Food. *Ethology*, 111(10), 962–976. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2005.01133.x>
- Henshilwood, C.S. & Marean, C. W. (2003). The origin of modern human behavior. Critique of the models and their test implications. *Current anthropology*, 44(5), 627-651.
- Henshilwood, C. S., & d'Errico, F. (2011). *Henshilwood, C. & d'Errico, F. (editors). 2011. Homo symbolicus: The dawn of language, imagination and spirituality*. Amsterdam, Benjamins.

- Henshilwood, C. S. (2018). An abstract drawing from the 73,000-year-old levels at Blombos Cave, South Africa. *Nature*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0514-3>
- Henshilwood, C. S., d'Errico, F., & Watts, I. (2009). Engraved ochres from the Middle Stone Age levels at Blombos Cave, South Africa. *Journal of Human Evolution*, 57(1), 27–47. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2009.01.005>
- Herman, L. M. (2002). *Vocal, social, and self-imitation by bottlenosed dolphins*. In K. Dautenhahn & C. L. Nehaniv (Eds.), *Imitation in animals and artifacts* (63–108). Boston Review.
- Hessel, A. K., Nation, K., & Murphy, V. A. (2021). Comprehension monitoring during reading: An eye-tracking study with children learning English as an additional language. *Scientific Studies of Reading*, 25(2), 159–178. <https://doi.org/10.1080/10888438.2020.1740227>
- Hille, P., Dehnhardt, G., & Mauck, B. (2006). An analysis of visual oddity concept learning in a California sea lion (*Zalophus californianus*). *Learning & Behavior*, 34(2), 144–153. <https://doi.org/10.3758/BF03193190>
- Hoffmann, D. L., Standish, C. D., García-Diez, M., Pettitt, P. B., Milton, J. A., Zilhão, J., Alcolea-González, J. J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G.-Ch., & Pike, A. W. G. (2018). U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art. *Science*, 359(6378), 912–915. <https://doi.org/10.1126/science.aap7778>
- Hope, G. (2008). *Thinking and learning through drawing: In primary classrooms*. Sage.
- Hublin, J.J., Ben-Ncer, A., Bailey, S. E. and Freidline, S. E., Neubauer, S., Skinner, M. M., Bergmann, I., Le Cabec, A., Benazzi, S., Harvati, K. & Gunz, P. (2017). New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of Homo sapiens. *Nature*, 546(7657), 289-292. <https://doi.org/10.1038/nature22336>
- Hurlbert, A. C., & Ling, Y. (2007). Biological components of sex differences in color preference. *Current Biology: CB*, 17(16), R623-625. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.022>
- Iijima, M., Arisaka, O., Minamoto, F., & Arai, Y. (2001). Sex differences in children's free drawings: A study on girls with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 40(2), 99–104. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2001.1670>

- Ikkatai, Y., & Watanabe, S. (2011). Discriminative and reinforcing properties of paintings in Java sparrows (*Padda oryzivora*). *Animal Cognition*, *14*(2), 227–234. [10.1007/s10071-010-0356-3](https://doi.org/10.1007/s10071-010-0356-3)
- Jackendoff, R. (2002). *Foundations of language: Brain, meaning, grammar, evolution*. Oxford University Press, USA.
- Jansen, C. & Sklar, E. (2021). Predicting artist drawing activity via multi-camera inputs for co-creative drawing. *Proceedings of the 22nd Towards Autonomous Robotic Systems (TAROS) Conference*.
- Jolley, R. (2009). *The Development of Representational Drawings*. Wiley Blackwell.
- Jolley, R. P., Knox, E. L., & Foster, S. G. (2000). The relationship between children's production and comprehension of realism in drawing. *British Journal of Developmental Psychology*, *18*(4), 557–582. <https://doi.org/10.1348/026151000165850>
- Joordens, J. C., d'Errico, F., Wesselingh, F. P., Munro, S., de Vos, J., Wallinga, J., Ankjærgaard, C., Reimann, T., Wijbrans, J. R., & Kuiper, K. F. (2015). Homo erectus at Trinil on Java used shells for tool production and engraving. *Nature*, *518*(7538), 228–231. <https://doi.org/10.1038/nature13962>
- Jucquois, G. (2006). Langage et communication chez les Hominidés. *Diogene*, *2*, 71–94. https://doi.org/10.3917/dio.214.0071#xd_co_f=MGNjYTE2YWetZiQxZS00YTM3LWE0NTYtMTA2YWQ0Mjk3N2M4~
- Kagin, S. L., & Lusebrink, V. B. (1978). The expressive therapies continuum. *Art Psychotherapy*, *5*(4), 171–180. [https://doi.org/10.1016/0090-9092\(78\)90031-5](https://doi.org/10.1016/0090-9092(78)90031-5)
- Kano, F., & Hirata, S. (2015). Great Apes Make Anticipatory Looks Based on Long-Term Memory of Single Events. *Current Biology*, *25*(19), 2513–2517. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.08.004>
- Karmiloff-Smith, A. (1990). Constraints on representational change: Evidence from children's drawing. *Cognition*, *34*(1), 57–83. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90031-E](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90031-E)
- Kellman, P. J., & Spelke, E. S. (1983). Perception of partly occluded objects in infancy. *Cognitive Psychology*, *15*(4), 483–524. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(83\)90017-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(83)90017-8)
- Kellogg, R. (1969). *Analyzing children's art*. National Press Books. <http://books.google.com/books?id=GtMDAQAAIAAJ>
- Kennedy, J. M. (1993). *Drawing & the blind: Pictures to touch*. Yale University Press.
- Kerschensteiner, G. (1905). *Die entwicklung der zeichnerischen begabung*. Рипол Классик.

- Kirkorian, H. L., Travers, B. G., Jiang, M. J., Choi, K., Rosengren, K. S., Pavalko, P., & Tolkin, E. (2019). Drawing across media: A cross-sectional experiment on preschoolers' drawings produced using traditional versus electronic mediums. *Developmental Psychology*, 56(1), 28–39. <https://doi.org/10.1037/dev0000825>
- Klein, R. G. (2009) *The human career: human biological and cultural origins*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Kohts, N. (1935). *Infant ape and human child (instincts, emotions, play, habits)*. Unknown Publisher.
- Koller, V. (2008). Not just a colour': Pink as a gender and sexuality marker in visual communication. *Visual Communication*, 7(4), 395–423. <https://doi.org/10.1177%2F1470357208096209>
- Kuhlwilm, M., Gronau, I., Hubisz, M. J., de Filippo, C., Prado-Martinez, J., Kircher, M., Fu, Q., Burbano, H. A., Lalueza-Fox, C., de la Rasilla, M., Rosas, A., Rudan, P., Brajkovic, D., Kucan, Ž., Gušić, I., Marques-Bonet, T., Andrés, A. M., Viola, B., Pääbo, S., ... Castellano, S. (2016). Ancient gene flow from early modern humans into Eastern Neanderthals. *Nature*, 530(7591), 429–433. <https://doi.org/10.1038/nature16544>
- Le Quellec, J.-L. (2015). Peut-on retrouver les mythes préhistoriques? L'exemple des récits anthropogoniques. *Comptes Rendus Des Séances de l'Académie Des Inscriptions et Belles-Lettres*, 159(1), 235–266.
- Leder, D., Hermann, R., Hüls, M., Russo, G., Hoelzmann, P., Nielbock, R., Böhner, U., Lehmann, J., Meier, M., & Schwalb, A. (2021). A 51,000-year-old engraved bone reveals Neanderthals' capacity for symbolic behaviour. *Nature Ecology & Evolution*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01487-z>
- LeDoux, J. (2012). Rethinking the Emotional Brain. *Neuron*, 73(4), 653–676. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.02.004>
- Legge, E. L., Spetch, M. L., & Batty, E. R. (2009). Pigeons'(Columba livia) hierarchical organization of local and global cues in touch screen tasks. *Behavioural Processes*, 80(2), 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2008.10.011>
- Leroi-Gourhan, A. (1968). L'expérience ethnologique. *Ethnologie Générale*. Paris: Gallimard, *Encyclopédie de La Pléiade*, 1816–1825.
- Levy, B. A. (1992). Psychoaesthetics dolphin project. *Art Therapy*, 9(4), 193–197. <https://doi.org/10.1080/07421656.1992.10758961>

- Lewis-Williams, D. J., & Clottes, J. (1998). The mind in the cave—The cave in the mind: Altered consciousness in the Upper Paleolithic. *Anthropology of Consciousness*, 9(1), 13–21. <https://doi.org/10.1525/ac.1998.9.1.13>
- Longobardi, C., Quaglia, R., & Lotti, N. O. (2015). Reconsidering the scribbling stage of drawing: A new perspective on toddlers' representational processes. *Frontiers in Psychology*, 6, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01227>
- Luquet, G.-H. (1927). *Le dessin enfantin. (Bibliothèque de psychologie de l'enfant et de pédagogie.)*.
- Lusebrink, V. B. (1990). Depicting and Integrating Images. In V. B. Lusebrink (Ed.), *Imagery and Visual Expression in Therapy* (pp. 67–89). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0444-0_4
- Lusebrink, V. B. (2010). Assessment and Therapeutic Application of the Expressive Therapies Continuum: Implications for Brain Structures and Functions. *Art Therapy*, 27(4), 168–177. <https://doi.org/10.1080/07421656.2010.10129380>
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., Knickmeyer, R., & Manning, J. T. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, 77(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.12.002>
- MacDonald, J. (2014). Alpha: The Figure in the Cage. *Relations*, 2.2, 27–43. <https://doi.org/10.7358/rela-2014-002-macd>
- MacIntosh. (2014). *The Fractal Primate: Interdisciplinary Science and the Math behind the Monkey*. *Primate Research*, 30, 95–119. <https://doi.org/10.2354/psi.30.011>
- Mak, B. S. K., & Vera, A. H. (1999). The role of motion in children's categorization of objects. *Cognition*, 71(1), B11–B21. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00019-0)
- Makuuchi, M., Kaminaga, T., & Sugishita, M. (2003). Both parietal lobes are involved in drawing: A functional MRI study and implications for constructional apraxia. *Cognitive Brain Research*, 16(3), 338–347. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00302-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00302-6)
- Mania, D., & Mania, U. (1988). Deliberate engravings on bone artefacts of. *Homo Erectus*. *Rock Art Research*, 5(2), 91–107.
- Mann, J., Sargeant, B. L., Watson-Capps, J. J., Gibson, Q. A., Heithaus, M. R., Connor, R. C., & Patterson, E. (2008). Why Do Dolphins Carry Sponges? *PLOS ONE*, 3(12), e3868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003868>

- Markus, H. R., & Kitayama, S. (1991). Culture and the self: Implications for cognition, emotion, and motivation. *Psychological Review*, 98, 224-253.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.98.2.224>
- Marr, D. (1982). Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information, Henry Holt and Co. Inc., New York, NY, 2(4.2).
- Matsuzawa, T. (2017). The 40th anniversary of the Ai Project: The commemorative gift is a silk scarf painted by Ai the chimpanzee. *Primates*, 58(2), 261–265.
<https://doi.org/10.1007/s10329-017-0604-0>
- Matsuzawa, T. (2020). WISH cages: Constructing multiple habitats for captive chimpanzees. *Primates*, 61, 139-148. <https://doi.org/10.1007/s10329-020-00806-5>
- Matthews, J. (1984). Children drawing: Are young children really scribbling? *Early child development and care*, 18, 1-39. <https://doi.org/10.1080/0300443840180101>
- Matthews, J. (1999). *The art of childhood and adolescence: The construction of meaning*. Taylor & Francis.
- Matthews, J. (2003). *Drawing and painting: Children and visual representation*. Sage.
- McBrearty, S., & Brooks, A. S. (2000). The revolution that wasn't: A new interpretation of the origin of modern human behavior. *Journal of Human Evolution*, 39(5), 453–563.
<https://doi.org/10.1006/jhev.2000.0435>
- McManis, L. D., & Gunnewig, S. B. (2012). Finding the education in educational technology with early learners. *Young Children*, 67(3), 14–24.
- Mellars, P. (2006). Why did modern human populations disperse from Africa ca. 60,000 years ago? A new model. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 9381–9386.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0510792103>
- Mélot, L., Strebelle, A., Mattens, J. & Depover, C. (2017). Dessiner un bonhomme en maternelle : analyse comparative des dessins réalisés avec des outils traditionnels et avec une tablette tactile. *frantice.net*, 14(1)
- Meyer, X., MacIntosh, A. J. J., Kato, A., Chiaradia, A., & Ropert-Coudert, Y. (2015). Hydrodynamic handicaps and organizational complexity in the foraging behavior of two free-ranging penguin species. *Animal Biotelemetry*, 3(1), 25.
<https://doi.org/10.1186/s40317-015-0061-8>
- Millar, S. (1975). Visual experience or translation rules? Drawing the human figure by blind and sighted children. *Perception*, 4(4), 363–371. <https://doi.org/10.1068%2Fp040363>

- Miller, G. F. (1998). A review of sexual selection and human evolution: How mate choice shaped human nature. *Handbook of Evolutionary Psychology: Ideas, Issues, and Applications*. Lawrence Erlbaum: New Jersey, 87–130.
- Milne, L. C., & Greenway, P. (1999). Color in children's drawings: The influence of age and gender. *The Arts in Psychotherapy*, 26(4), 261–263. [https://doi.org/10.1016/S0197-4556\(98\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0197-4556(98)00075-6)
- Mofakham, A. A., & Ahmadi, G. (2019). Particles dispersion and deposition in inhomogeneous turbulent flows using continuous random walk models. *Physics of Fluids*, 31(8), 083301. <https://doi.org/10.1063/1.5095629>
- Møller, A. P. (1993). Female preference for apparently symmetrical male sexual ornaments in the barn swallow *Hirundo rustica*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 32(6), 371–376. <https://doi.org/10.1007/BF00168820>
- Morris, D. (1962). *The biology of art: A study of the picture-making behaviour of the great apes and its relationship to human art*. Taylor & Francis.
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014). Touch screen tablets and emergent literacy. *Early Childhood Education Journal*, 42(4), 231–239. <https://doi.org/10.1007/s10643-013-0608-3>
- Nichols, S., & Stich, S. (2000). A cognitive theory of pretense. *Cognition*, 74(2), 115–147. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00070-0)
- Oğuz, V. (2010). The factors influencing childrens' drawings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3003–3007. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.455>
- Olson, D. R. (2009). The history of writing. *The Sage Handbook of Writing Development*, 6–16.
- Papandreou, M. (2014). Communicating and thinking through drawing activity in early childhood. *Journal of Research in Childhood Education*, 28(1), 85–100. <https://doi.org/10.1080/02568543.2013.851131>
- Patchan, M. M., & Puranik, C. S. (2016). Using tablet computers to teach preschool children to write letters: Exploring the impact of extrinsic and intrinsic feedback. *Computers & Education*, 102, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.07.007>
- Pearce, D. G., & Bonneau, A. (2018). Trouble on the dating scene. *Nature Ecology & Evolution*, 2(6), 925–926. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0540-4>

- Pepperberg, I. M. (2004). "Insightful" string-pulling in Grey parrots (*Psittacus erithacus*) is affected by vocal competence. *Animal Cognition*, 7(4), 263–266. <https://doi.org/10.1007/s10071-004-0218-y>
- Petzinger, G. von. (2017). *The First Signs: Unlocking the Mysteries of the World's Oldest Symbols*. Simon and Schuster.
- Picard, D., & Boulhais, M. (2011). Sex differences in expressive drawing. *Personality and Individual Differences*, 51(7), 850–855. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.07.017>
- Picard, D., & Gauthier, C. (2012). The development of expressive drawing abilities during childhood and into adolescence. *Child Development Research*, 2012.
- Picard, D., & Vinter, A. (2005). Activités de dessin et flexibilité représentationnelle. *Enfance*, 57(1), 24–33. doi:10.1155/2012/925063
- Picard, D., & Zarhbouch, B. (2014). Le dessin comme langage graphique. *Approches, Revue Des Sciences Humaines*, 14, 28–40.
- Picard, D., Martin, P. & Tsao, R. (2014). iPads at school? A quantitative comparison of elementary schoolchildren's pen-on-paper versus finger-on-screen drawing skills. *Journal of Educationnal computing Research*, 50(2), 203-212. <https://doi.org/10.2190%2FEC.50.2.c>
- Porte, G., Maurer, D., & Gujer, B. (2012). *Portrait–Selfportrait. Digital edition of the picture archive of gilles porte. Part 2: Picture archive*.
- Price, S., Jewitt, C., & Crescenzi, L. (2015). The role of iPads in pre-school children's mark making development. *Computers & Education*, 87, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.04.003>
- Prum, R. O. (2017). *The evolution of beauty: How Darwin's forgotten theory of mate choice shapes the animal world-and us*. Anchor.
- Quaglia, R., Longobardi, C., Iotti, N. O., & Prino, L. E. (2015). A new theory on children's drawings: Analyzing the role of emotion and movement in graphical development. *Infant Behavior and Development*, 39, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2015.02.009>
- Quentel, J.-C. (1992). Le dessin chez l'enfant. *Tétralogiques*, 7, 81–97.
- Quiles, A., Valladas, H., Bocherens, H., Delqué-Količ, E., Kaltnecker, E., van der Plicht, J., Delannoy, J.-J., Feruglio, V., Fritz, C., Monney, J., Philippe, M., Tosello, G., Clottes, J., & Geneste, J.-M. (2016). A high-precision chronological model for the decorated Upper

- Paleolithic cave of Chauvet-Pont d'Arc, Ardèche, France. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(17), 4670–4675. <https://doi.org/10.1073/pnas.1523158113>
- Ramos-Fernández, G., Mateos, J. L., Miramontes, O., Cocho, G., Larralde, H., & Ayala-Orozco, B. (2004). Lévy walk patterns in the foraging movements of spider monkeys (*Ateles geoffroyi*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55(3), 223–230. <https://doi.org/10.1007/s00265-003-0700-6>
- Reader, S. M., & Laland, K. N. (2000). Diffusion of foraging innovations in the guppy. *Animal Behaviour*, 60(2), 175–180. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1450>
- Reith, E. (1997). Quand les psychologues étudient le dessin. *Médiation et Information*, n7, 130–151.
- Rensch, B. (1958). Die Wirksamkeit ästhetischer Faktoren bei Wirbeltieren. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 15(4), 447–461. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1958.tb00575.x>
- Richter, H.-G. (2001). *Kinderzeichnungen interkulturell [Children's drawings across cultures]*. Münster, Germany: Lit Verlag.
- Ricci, C. (1887). *L'arte dei bambini*. Bologna, Nicola Zanichelli
- Ring, K. (2006). Supporting young children drawing: Developing a role. *International Journal of Education through Art*, 2(3), 195–209. https://doi.org/10.1386/etar.2.3.195_1
- Rodríguez-Vidal, J., d'Errico, F., Pacheco, F. G., Blasco, R., Rosell, J., Jennings, R. P., Queffelec, A., Finlayson, G., Fa, D. A., & López, J. M. G. (2014). A rock engraving made by Neanderthals in Gibraltar. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(37), 13301–13306. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411529111>
- Rose, S. E., Jolley, R. P., & Burkitt, E. (2006). A review of children's, teachers' and parents' influences on children's drawing experience. *International Journal of Art & Design Education*, 25(3), 341–349. <https://doi.org/10.1111/j.1476-8070.2006.00500.x>
- Royer, J. (1995). *Que nous disent les dessins d'enfants ? Hommes et perspectives*.
- Rübeling, H., Keller, H., Yovsi, R. D., Lenk, M., Schwarzer, S., & Kühne, N. (2011). Children's drawings of the self as an expression of cultural conceptions of the self. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(3), 406–424. <https://doi.org/10.1177/0022022110363475>
- Rutherford, K. M. D., Haskell, M. J., Glasbey, C., Jones, R. B., & Lawrence, A. B. (2003). Detrended fluctuation analysis of behavioural responses to mild acute stressors in

- domestic hens. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(2), 125–139. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00115-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00115-1)
- Ryan, M. J. (1998). Sexual selection, receiver biases, and the evolution of sex differences. *Science*, 281(5385), 1999–2003. <https://doi.org/10.1126/science.281.5385.1999>
- Schiller, P. H. (1951). Figural preferences in the drawings of a chimpanzee. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 44(2), 101–111. <https://doi.org/10.1037/h0053604>
- Schlüter, A., Parzefall, J., & Schlupp, I. (1998). Female preference for symmetrical vertical bars in male sailfin mollies. *Animal Behaviour*, 56(1), 147–153. <https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0762>
- Scholtyssek, C., Kelber, A., Hanke, F. D., & Dehnhardt, G. (2013). A harbor seal can transfer the same/different concept to new stimulus dimensions. *Animal Cognition*, 16(6), 915–925. <https://doi.org/10.1007/s10071-013-0624-0>
- Schreier, A. L., & Grove, M. (2010). Ranging patterns of hamadryas baboons: Random walk analyses. *Animal Behaviour*, 80(1), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.04.002>
- Schroeder, S., Hyönä, J., & Liversedge, S. P. (2015). Developmental eye-tracking research in reading: Introduction to the special issue. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(5), 500–510. <https://doi.org/10.1080/20445911.2015.1046877>
- Sims, D. W., Humphries, N. E., Bradford, R. W., & Bruce, B. D. (2012). Lévy flight and Brownian search patterns of a free-ranging predator reflect different prey field characteristics. *Journal of Animal Ecology*, 81(2), 432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01914.x>
- Skov, M. (2020). *Animal preferences: Implications of sexual selection research for empirical aesthetics*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/8ycdt>
- Smith, D. A. (1973). Systematic study of chimpanzee drawing. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 82(3), 406–414. <https://doi.org/10.1037/h0034135>
- Smith, D. T., Rorden, C., & Jackson, S. R. (2004). Exogenous orienting of attention depends upon the ability to execute eye movements. *Current Biology*, 14(9), 792–795. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.04.035>
- Solso, R. L. (2001). Brain activities in a skilled versus a novice artist: An fMRI study. *Leonardo*, 34(1), 31–34. <https://doi.org/10.1162/002409401300052479>

- Stroe-Kunold, E., Stadnytska, T., Werner, J., & Braun, S. (2009). *Estimating long-range dependence in time series: An evaluation of estimators implemented in R*. *Behavior Research Methods*, 41, 909-923. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.3.909>
- Sueur, C., Briard, L., & Petit, O. (2011). Individual Analyses of Lévy Walk in Semi-Free Ranging Tonkean Macaques (*Macaca tonkeana*). *PLoS ONE*, 6(10), e26788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026788>
- Sully, J. (1896). *Studies of childhood*. Longmans, Green.
- Supsakova, B. (2021). CHILDREN'S DRAWING AS AN ART SCHEME FOR MODERN ART. *Proceedings of INTCESS, 2021(8th)*.
- Tanaka, M. (2007). Development of the visual preference of chimpanzees (*Pan troglodytes*) for photographs of primates: Effect of social experience. *Primates*, 48(4), 303–309. <https://doi.org/10.1007/s10329-007-0044-3>
- Tanaka, M., Tomonaga, M., & Matsuzawa, T. (2003). Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Animal Cognition*, 6(4), 245–251. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0198-3>
- Taylor, A. H., Elliffe, D., Hunt, G. R., & Gray, R. D. (2010). Complex cognition and behavioural innovation in New Caledonian crows. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1694), 2637–2643. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0285>
- Tchalenko, J. (2007). Eye movements in drawing simple lines. *Perception*, 36(8), 1152–1167. <https://doi.org/10.1068%2Fp5544>
- Tokimoto, N., & Okanoya, K. (2004). Spontaneous construction of “Chinese boxes” by *Degus* (*Octodon degu*): A rudiment of recursive intelligence?1. *Japanese Psychological Research*, 46(3), 255–261. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5584.2004.00257.x>
- Toku, M. (2001). Cross-cultural analysis of artistic development: Drawing by Japanese and US children. *Visual Arts Research*, 27(1), 46–59.
- Turgeon, S. M. (2008). Sex differences in children's free drawings and their relationship to 2D:4D ratio. *Personality and Individual Differences*, 6, 527-532. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2008.06.006>
- Vidal, F. (2011). La neuroesthétique, un esthétisme scientiste. *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, n° 25(2), 239–264.

- Viswanathan, G. M., Afanasyev, V., Buldyrev, S. V., Murphy, E. J., Prince, P. A., & Stanley, H. E. (1996). Lévy flight search patterns of wandering albatrosses. *Nature*, *381*(6581), 413–415. <https://doi.org/10.1038/381413a0>
- Waite, C., & Little, A. C. (2006). Preferences for Symmetry in Conspecific Facial Shape Among *Macaca mulatta*. *International Journal of Primatology*, *27*(1), 133–145. <https://doi.org/10.1007/s10764-005-9015-y>
- Wass, C., Denman-Brice, A., Rios, C., Light, K. R., Kolata, S., Smith, A. M., & Matzel, L. D. (2012). Covariation of learning and “reasoning” abilities in mice: Evolutionary conservation of the operations of intelligence. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *38*(2), 109–124. <https://doi.org/10.1037/a0027355>
- Watanabe, S. (2001). Van Gogh, Chagall and pigeons: Picture discrimination in pigeons and humans. *Animal Cognition*, *4*(3–4), 147–151. [10.1007/s100710100112](https://doi.org/10.1007/s100710100112)
- Watanabe, S. (2011). Discrimination of painting style and quality: Pigeons use different strategies for different tasks. *Animal Cognition*, *14*(6), 797–808. <https://doi.org/10.1007/s10071-011-0412-7>
- Watanabe, S. (2012). Animal aesthetics from the perspective of comparative cognition. In *Emotions of animals and humans* (pp. 129–162). Springer.
- Watanabe, S. (2017). Paintings discrimination by mice: Different strategies for different paintings. *Behavioural Processes*, *142*, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.07.001>
- Waterson, R. H., Lander, E. S., Wilson, R. K., & The Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature*, *437*(7055), 69–87. <https://doi.org/10.1038/nature04072>
- Webster, S., & Lefebvre, L. (2001). Problem solving and neophobia in a columbiform–passeriform assemblage in Barbados. *Animal Behaviour*. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1725>
- Wendt, W. E. (1976). ‘Art Mobilier’ from the Apollo 11 Cave, South West Africa: Africa’s Oldest Dated Works of Art. *The South African Archaeological Bulletin*, 5–11. <https://doi.org/10.2307/3888265>
- White, T. D., Asfaw, B., DeGusta, D., Gilbert, H., Richards, G. D., Suwa, G., & Howell, F. C. (2003). Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia. *Nature*, *423*, 742–747. <https://doi.org/10.1038/nature01669>.

- Willats, J. (1997). *Art and representation: New principles in the analysis of pictures*. Princeton University Press.
- Willats, J. (2005). *Making sense of children's drawings*. Psychology Press.
- Wilson, B. (1985). The artistic tower of Babel: Inextricable links between culture and graphic development. *Visual Arts Research*, 11(1), 90–104.
- Wimpenny, J. H., Weir, A. A. S., Clayton, L., Rutz, C., & Kacelnik, A. (2009). Cognitive Processes Associated with Sequential Tool Use in New Caledonian Crows. *PLOS ONE*, 4(8), e6471. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006471>
- Wolf, D., & Perry, M. D. (1988). From Endpoints to Repertoires: Some New Conclusions about Drawing Development. *Journal of Aesthetic Education*, 22(1), 17. <https://doi.org/10.2307/3332961>
- Wright, L., & Black, F. (2013). Monochrome Males and Colorful Females: Do Gender and Age Influence the Color and Content of Drawings? *SAGE Open*, 3(4), 215824401350925. <https://doi.org/10.1177/2158244013509254>
- Wright, S. (2007a). Graphic-Narrative Play: Young Children's Authoring through Drawing and Telling. *International Journal of Education & the Arts*, 8(8), 1–28.
- Wright, S. (2007b). Young Children's Meaning-Making through Drawing and 'Telling' Analogies to Filmic Textual Features. *Australasian Journal of Early Childhood*, 32(4), 37–48. <https://doi.org/10.1177%2F183693910703200408>
- Yamagata, K. (2001). Emergence of representational activity during the early drawing stage: Process analysis. *Japanese Psychological Research*, 43(3), 130–140. <https://doi.org/10.1111/1468-5884.00169>
- Yamagata, K., & Shimizu, M. (1997). Development of constructive activity in early drawing. *Japanese Journal of Educational Psychology*, 45(1), 22–30.
- Zatorre, R. J. (2003). Music and the brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 4–14.
- Zeller, A. (2007). 'What's in a picture?' A comparison of drawings by apes and children. *Semiotica*, 2007(166). <https://doi.org/10.1515/SEM.2007.056>
- Zilhão, J. (2018). Modernity, behavioral. *The International Encyclopedia of Anthropology*, 1–9. <https://doi.org/10.1002/9781118924396.wbiea1787>

ANNEXES

1. Notes d'information et consentements

1.1 Parents

Note d'information

Madame, Monsieur,

L'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, rattaché au CNRS et à l'université de Strasbourg lance une étude sur le dessin et plus particulièrement sur la réalisation de ces derniers. L'analyse et la comparaison de productions réalisées sur tablette tactile par des enfants, par des adultes novices et des adultes expérimentés en art est l'une des facettes de cette étude. Le but recherché, par le biais de l'analyse du tracé, est de mettre en lumière de nouveaux indices de caractérisation de dessin qui soient plus précis et plus objectifs.

Pour cela la participation d'enfants âgés de 3 à 10 ans est requise, entre janvier et mai 2019. Il leur sera demandé de réaliser deux dessins sur deux jours différents. Une session de dessin sur tablette tactile dure environ 15 minutes et votre enfant peut décider d'arrêter dès qu'il le souhaite. Les dessins réalisés seront anonymes, non traités de façon individuelle et ne rentreront en rien dans la notation de votre enfant. Les productions réalisées seront utilisées dans le cadre strict de cette étude. Les résultats globaux vous seront communiqués par le biais d'une petite conférence organisée dans l'enceinte de l'école en fin d'année scolaire.

Si vous le souhaitez, nous pouvons aussi échanger plus directement avec vous, afin de vous expliquer l'objectif précis de ce projet. N'hésitez pas à nous contacter à l'une des trois adresses mails figurants à la fin de ce communiqué.

Les informations recueillies le sont uniquement pour les besoins de cette recherche. Elles seront traitées par les responsables de la recherche (Lison Martinet, Dr. Cédric Sueur et Dr. Marie Pelé). Elles seront confidentielles et conservées 10 ans. Vous disposez de droits d'accès et de rectification sur vos données.

Vous pouvez également contacter la déléguée à la protection des données de l'université de Strasbourg à l'adresse suivante : dpo@unistra.fr

Si vous acceptez que votre enfant prenne part à l'étude, nous le ferons dessiner, s'il le souhaite, pendant le temps scolaire, en accord avec sa maitresse.

Si vous êtes d'accord pour qu'il/elle participe, merci de remplir le papier « consentement du parent pour l'enfant ».

Vous et votre enfant avez la possibilité de retirer votre consentement à tout moment sans avoir à vous justifier.

En espérant une réponse positive de votre part, nous vous remercions de l'attention que vous porterez à notre demande.

Lison MARTINET, doctorante IPHC, DEPE, Strasbourg lison.martinet@iphc.cnrs.fr

Accompagnée de Cédric SUEUR cedric.sueur@iphc.cnrs.fr
et Marie PELE marie.pele@iphc.cnrs.fr

Consentement

Accord pour que l'enfant participe à l'étude

Je confirme que j'accepte que mon enfant participe au projet de recherche sur le dessin.

J'ai compris qu'il pourrait arrêter à tout moment sans justification et que je pourrai prendre connaissance des résultats lorsque l'étude sera terminée.

Je donne mon accord pour que les données soient utilisées à des fins scientifiques et pédagogiques, étant entendu que les données resteront anonymes et qu'aucune information ne sera donnée sur l'identité de mon enfant.

Oui, j'accepte. Voici mon adresse électronique :

Non, je refuse

Fait le/..../..... Nom et prénom :

1.2 Participants adultes experts et novices

Note d'information

Madame, Monsieur,

L'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, rattaché au CNRS et à l'université de Strasbourg lance une étude sur le dessin et plus particulièrement sur la réalisation de ces derniers. L'analyse et la comparaison de productions réalisées sur tablette tactile par des enfants, par des adultes novices et des adultes expérimentés en art est l'une des facettes de cette étude. Le but recherché, par le biais de l'analyse du tracé, est de mettre en lumière de nouveaux indices de caractérisation de dessin qui soient plus précis et plus objectifs.

Pour cela, la participation de plusieurs personnes au talent de dessinateur avéré et d'autres ne sachant pas dessiner, n'ayant jamais pris de cours de dessin et ne pratiquant pas le dessin en hobby est requise. Concrètement, une séance individuelle de dessin sur tablette tactile ne dure pas plus de 30 minutes (entre le mois de janvier et le mois de mai 2019). Votre participation à cette étude sera anonyme et les données recueillies (dessin, vidéo de votre main réalisant le dessin, nom et prénom) seront confidentielles et utilisées dans le cadre strict de cette étude.

Les informations recueillies le sont uniquement pour les besoins de cette recherche. Elles seront traitées par les responsables de la recherche (Lison Martinet, Dr. Cédric Sueur et Dr. Marie Pelé. Elles seront confidentielles et conservées 10 ans. Vous disposez de droits d'accès et de rectification sur vos données.

Vous pouvez également contacter la déléguée à la protection des données de l'université de Strasbourg à l'adresse suivante : dpo@unistra.fr

Sur simple demande à l'une de nos trois adresses mail, les résultats globaux de cette étude pourront vous être transmis.

Si vous le souhaitez, nous pouvons aussi échanger plus directement avec vous, afin de vous expliquer l'objectif précis de ce projet. N'hésitez pas à nous contacter pour toute information supplémentaire à l'une de ces adresses mail.

Si vous acceptez de participer à cette étude, un chercheur de notre équipe viendra vous rencontrer à la Haute École des Arts du Rhin si vous êtes étudiants experts en dessin et au Département Écologie, Physiologie et Éthologie pour les autres.

Si vous êtes d'accord pour participer, merci de remplir le formulaire de consentement en pièce jointe.

Vous avez la possibilité de retirer votre consentement à tout moment sans avoir à vous justifier.

En espérant une réponse positive de votre part, nous vous remercions de l'attention que vous porterez à notre demande.

Pour toutes informations relatives à ce projet, vous pouvez nous contacter sur l'une de nos trois adresses mail.

Lison MARTINET, doctorante IPHC, DEPE, Strasbourg lison.martinet@iphc.cnrs.fr

Accompagnée de Cédric SUEUR cedric.sueur@iphc.cnrs.fr

et Marie PELE marie.pele@iphc.cnrs.fr

Consentement

Mr/Mme (rayez la mention inutile)

Nom de naissance :

Prénom :

Date et lieu de naissance :

Adresse :

Tel :

Il m'a été proposé de participer à une étude portant sur l'analyse du comportement de dessin. Les investigateurs Marie Pelé, Cédric Sueur et Lison Martinet m'ont précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser.

Afin d'éclairer ma décision, j'ai reçu et compris les informations suivantes :

- 1) Je pourrai à tout moment interrompre ma participation si je le désire, sans avoir à me justifier.
- 2) Je pourrai prendre connaissance des résultats de l'étude dans sa globalité lorsqu'elle sera achevée.
- 3) Les données recueillies demeureront strictement confidentielles.
- 4) Si je suis étudiant, le refus de participation à l'étude ou le retrait de mon consentement est sans conséquence pour les résultats aux examens.

Compte tenu des informations qui m'ont été transmises :

J'accepte librement et volontairement de participer à cette recherche :

Cocher la case appropriée en fonction de votre volonté :

OUI

NON

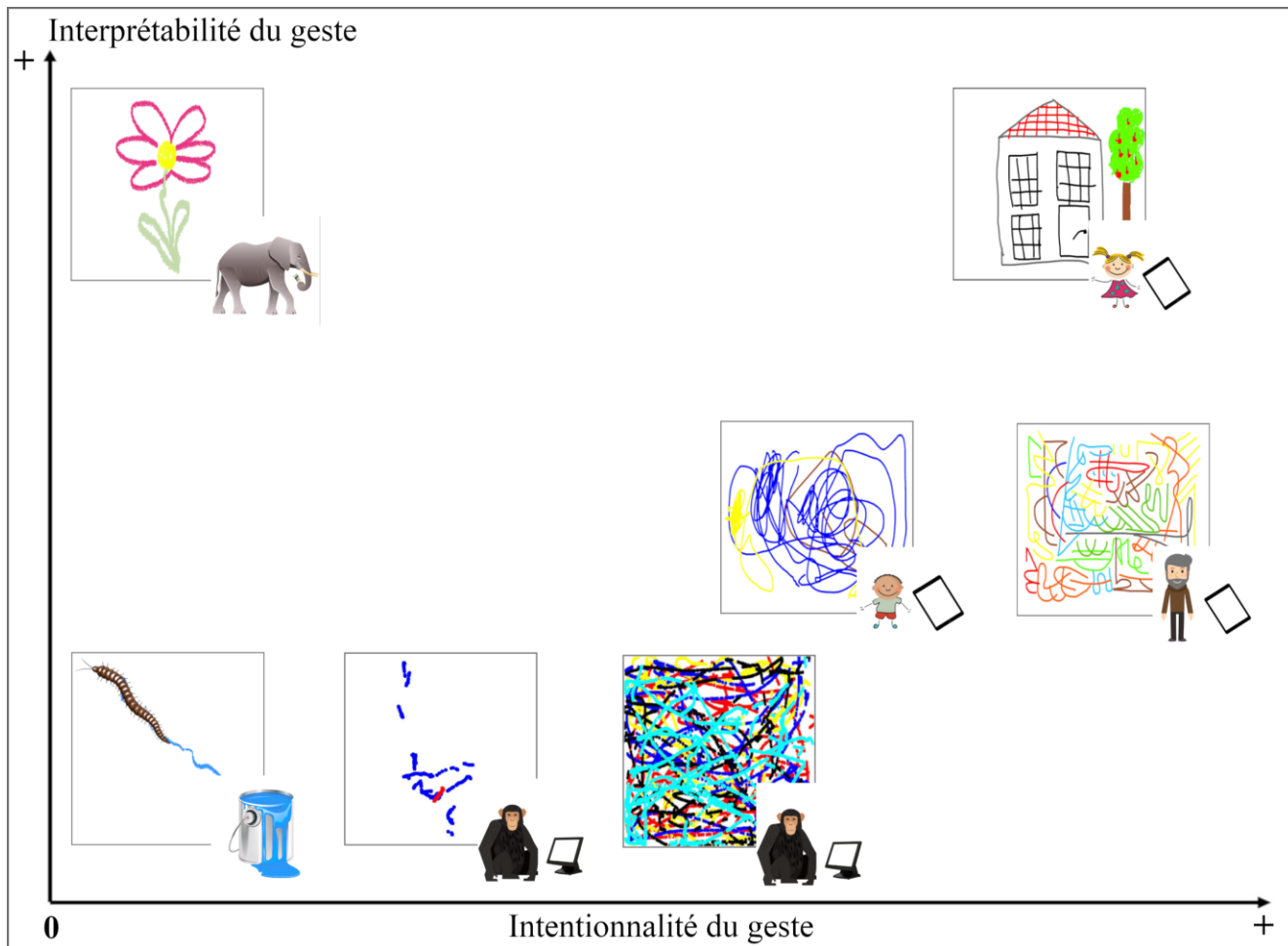
Date :

Signature du participant :

Date :

Signature de l'investigateur

2. Figure : Les différentes formes d'intentionnalité dans le dessin



3. Poster colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives (Mars 2021)

Phylogénie et ontogénie du comportement de dessin chez les Hominidés

Martinet L.¹, Pelé M.², Hirata S.³, Hosselet J.¹, Matsuzawa T.⁴, MacIntosh, A.⁴, Sueur C.¹

1. Université de Strasbourg, CNRS, IPHC UMR 7178, Strasbourg, France / 2. ETHICS EA 7446, Université Catholique de Lille, Hauts-de-France, France
3. Kumamoto Sanctuary, Wildlife Research Center, Université de Kyoto, Kumamoto, Japon / 4. Primate Research Institute, Université de Kyoto, Japon

Méthodes

Dessin au doigt : 138 enfants de la petite section au CM2 (sauf CP) / 20 enfants par classe (sauf 18 Ce2)

Temps illimité : « dessine toi » / « dessine ce que tu veux »

Deux dessins, deux consignes : *Autoportrait* / *Libre*

Sessions enregistrées : Pour chaque point de chaque dessin : Coordonnées x, y Temps Couleur

322.0	935.5	14:25:57.645 grey
322.0	931.0	14:25:57.676 grey

40 adultes / 20 novices, 20 experts

5 femelles chimpanzés / 12 dessins collectés / Sans consigne

Fractales spatiales, témoins de l'efficacité de tracé

Aléatoire : Distribution exponentielle $y = a \cdot e^{-x \cdot \lambda}$

Mouvement Brownien

Optimisé : Distribution puissance $y = a \cdot x^\mu$

Mouvement de Lévy

Mais alors quelle distribution pour les dessins ?

Réduction du nombre de points → **Change point test**

Calcul des trajectoires → densité des longueurs de pas

Distribution puissance : Enfants / Adultes / Chimpanzés

Aucun dessin aléatoire. Etude de l'exposant de la fonction puissance : μ^{MLE}

Indice spatial μ^{MLE} → Degré d'efficacité du tracé

Plus efficace / Moins efficace

chimpanzés 3 ans 4 ans 5 ans 7 ans 8 ans 9 ans 10 ans novices experts

L'indice est **plus bas chez les chimpanzés** par rapport aux humains. Chez les enfants, il est **plus faible chez les 3 ans** puis augmente et atteint son maximum entre 5 et 10 ans. A cet âge, la représentation va droit au but, la volonté première étant d'être compris. L'efficacité **diminue chez les adultes** chez qui l'ajout de détails complique la lecture.

Introduction

> **Contexte** : Beaucoup d'études sur le dessin, notamment en psychologie. Origine évolutive questionnée, observations de ce comportement chez d'autres grands singes

> **Limite** : bien qu'informatifs, des outils souvent subjectifs. Analyse difficile des dessins non figuratifs de jeunes enfants ou de chimpanzés incapables de s'exprimer sur leurs productions → Souvent directement assimilés à de l'aléatoire

> **Objectif** : Compléter notre compréhension de ce comportement en développant des indices objectifs pour caractériser un dessin

Enfant ou chimpanzé ?

Fractales temporelles, témoins de la complexité

1. L'état comportemental à un temps t est influencé par celui qui le précède en t-1 mais peut également l'être par nombre d'états antérieurs

2. Découpe binaire du comportement de dessin par milliseconde :

Dessine → 1 / Ne dessine pas → -1

3. Estimation de H pour chaque dessin, par 4 méthodes d'analyse

Résultats d'une ici →

4. Analyse en Composante Principale avec les 4 estimateurs

5. Utilisation des valeurs de la dimension de l'ACP en variable réponse d'un GLM → La variable « groupe » est explicative

3 ans > adultes novices et experts

Plus H est bas plus la séquence comportementale est complexe

Le coefficient de Hurst H est une mesure de l'intensité et de la nature de cette dépendance à long terme

La dimension de l'ACP reflétant le coefficient de Hurst, **les plus jeunes** tendent donc à montrer un comportement de dessin **plus stéréotypé** que les adultes qui présentent, eux, une séquence comportementale plus complexe dans l'organisation des périodes de dessin et de non-dessin.

Conclusion

Ces indices sont un premier pas vers une compréhension améliorée du dessin, phylogénétiquement et ontogénétiquement parlant. Ils nous amènent à mieux appréhender les capacités cognitives propres à ce comportement ainsi que leurs évolutions. Complétés par des mesures plus classiques non développées ici, ces résultats montrent la pertinence de poursuivre le développement d'indices graphiques objectifs pour cerner dans sa globalité ce qu'est dessiner.

Université de Strasbourg | IPHC | CNRS | Primate Research Institute | KUMAMOTO SANCTUARY | KYOTO UNIVERSITY | Beltzung, B., Martinet, L., MacIntosh, A., Meyer, X., Hosselet, J., Pelé, M., Sueur, C. To draw or not to draw: understand the temporality of drawing behaviour using fractal analyses. 2021, in prep. | Martinet, L. & Pelé, M. Drawing in non-human primates: what we know and what remains to be investigated. J. Comp. Psychol., 2020.

4. Article de vulgarisation publié dans The Conversation en Février 2021

Déchiffrer le dessin pour mieux comprendre l'évolution de la représentation chez les Hominidés

Le dessin, étudié chez l'enfant ou dans sa dimension évolutive passionne et interroge. Sa forme enfantine nous émerveille et son histoire... ou plutôt sa préhistoire, nous conduit à requestionner le développement de notre lignée.

À ce jour le plus ancien dessin représentatif découvert provient de la grotte de Lubang Jeriji Saleh sur l'île de Bornéo en Indonésie. Il s'agirait d'un bœuf sauvage local dessiné à l'ocre il y a 40 000 ans environ. Puisqu'il n'est toujours pas possible de déterminer l'espèce à l'origine de ces œuvres, les découvertes de traces anciennes, figuratives ou non, remettent sans cesse en perspective l'évolution de la lignée Homo. Quant à leur interprétation, aucun consensus n'est trouvé à ce jour rendant le mystère d'autant plus grand. Une chose est certaine, *Homo sapiens* n'a depuis jamais cessé de dessiner et de peindre.

L'être humain dessine en commençant par des gribouillages aux alentours de sa première année, pour évoluer vers des représentations concrètes, interprétables par un tiers vers l'âge de trois ou quatre ans. Les chercheurs ont longtemps suggéré que ces premières phases de dessin étaient le reflet d'une simple activité locomotrice, non planifiée visuellement et déterminée par les systèmes moteurs du bras, du poignet et de la main. Ainsi, les très jeunes enfants ne tireraient pas satisfaction de leurs dessins finis, mais uniquement lors de leur réalisation par simple plaisir moteur. Progressivement, l'enfant développe des capacités visuelles, graphiques et motrices le conduisant à la production de formes reconnaissables, compréhensibles par les autres.

Mais que se passe-t-il avant que l'enfant ne soit en capacité de représenter concrètement ce qu'il a en tête ? N'a-t-il pas pour autant déjà l'intention de le faire ? Le fait de ne pas réussir à déceler d'intentionnalité dans les gribouillages de jeunes enfants pourrait être dû à la limitation de la perception qu'ont les adultes plus qu'à l'absence de celle-ci. La présence d'activités préreprésentatives a été questionnée et à plusieurs reprises attestée par la communauté scientifique. Le gribouillage que nous percevons comme aléatoire pourrait en réalité être animé d'intention bien plus tôt que nous le pensons.

Le dessin, un comportement typiquement humain ?

Pour appréhender l'évolution du dessin chez l'Homme, il faut également en questionner l'émergence. Le dessin est-il un comportement typiquement humain ou trouve-t-il son origine chez des espèces ancêtres ? Pour répondre à cette question, il est possible d'étudier l'évolution du dessin d'un point de vue phylogénétique, en s'intéressant aux espèces génétiquement proches de l'Homme à savoir les grands singes, notamment les panidés (chimpanzés, *Pan troglodytes* ; bonobos, *Pan paniscus*) avec qui nous partageons 98,8 % de nos gènes. Dans la nature, aucun comportement spontané de dessins n'est reporté chez eux à ce jour, mais il est commun pour des individus captifs de manipuler crayons et pinceaux sur des feuilles de papier voire de dessiner au doigt sur tablettes tactiles. Plusieurs études montrent que les chimpanzés conservent leur activité graphique sans récompense alimentaire ce qui témoigne de leur intérêt bien qu'ils délaissent leurs productions une fois celles-ci terminées.

Malgré différentes études menées depuis les années 50 et montrant l'existence de choix graphiques chez les primates non humains (couleurs, marques, occupation de l'espace), aucune ne fait état de figuration ce qui conduit donc bien souvent à comparer leurs réalisations aux gribouillages des jeunes enfants.

L'apport d'une objectivité d'analyse

L'étude du dessin se fait bien souvent par l'analyse de la production terminée et quant à la présence ou non d'une intention dans les marques tracées, la façon la plus commune de l'attester est de questionner le dessinateur : « Qu'as-tu souhaité dessiner ? ». Mais, que conclure pour de jeunes enfants ou des chimpanzés incapables de s'exprimer sur leurs productions ? Malgré de nombreuses études sur le dessin, il est encore impossible d'exclure la présence d'un comportement orienté et donc non aléatoire chez des très jeunes enfants et des chimpanzés. Ainsi, et bien que composant le socle des connaissances dont nous disposons à ce jour sur le comportement de dessin, les études réalisées en psychologie de l'enfant et beaucoup d'observations faites en primatologie demeurent subjectives.

L'écologie du mouvement au service du dessin

Le projet développé par notre équipe vise à mettre au point des indices objectifs pour mieux comprendre le comportement de dessin. L'idée étant de ne plus seulement lire un dessin, mais de le déchiffrer. Pluridisciplinaire, notre étude se nourrit des savoirs de domaines variés comme les mathématiques et l'écologie pour les appliquer à l'étude du dessin.

Un indice mathématique donnant accès à l'efficacité du tracé a été mis au point. Pour cela des dessins réalisés au doigt sur écran tactile par des enfants de trois à dix ans, des adultes novices ou experts et des chimpanzés ont été collectés. Le recours à cette technologie a permis d'enregistrer les coordonnées de l'ensemble des points de chaque dessin ainsi que les couleurs utilisées. Le tracé a été traité de manière similaire à la trajectoire d'un animal dans son environnement, reprenant ce qui est fait en écologie du mouvement par le biais de l'analyse fractale spatiale. Autrement dit, l'ensemble des trajectoires du tracé (c.-à-d. droite entre deux points consécutifs) a été étudié afin de savoir si elles étaient aléatoires ou non. Il s'est avéré qu'aucun de nos groupes, enfants de différents âges, adultes et chimpanzés ne dessinait de façon aléatoire. L'efficacité de leurs tracés a pu être plus amplement comparée, l'indice spatial fractal découlant des analyses étant plus faible lorsque le tracé tend vers l'aléatoire, et plus élevé lorsque celui-ci est orienté. Son application a permis de mettre en évidence une différence entre les marques produites par les chimpanzés et celles réalisées par l'ensemble des humains y compris les plus jeunes de l'étude, les enfants de trois ans. Les différents chimpanzés testés produisent des dessins similaires, très anguleux, sans figuration. Les marques de ces derniers se sont montrées moins orientées sans pour autant être aléatoires ce qui signifie que leurs mouvements sont contraints par des aspects cognitifs et/ou locomoteurs. Mais la présence d'une intention ne peut donc pas être complètement éliminée. Chez l'Homme, des différences entre les classes d'âge ont été constatées. Ainsi, en grandissant, les enfants semblent gagner en efficacité de représentation, leurs réalisations allant droit au but, sans ajout d'éléments superflus, l'objectif majeur étant d'être compris. En revanche, les adultes, et ce peu importe leur expertise en dessin, présentent un indice plus faible et donc une efficacité diminuée de par l'addition de détails nombreux et non utiles à la compréhension du dessin. Ces derniers tenteraient d'atteindre un idéal de représentation liée à des normes graphiques que n'auraient pas encore intériorisées les enfants.



Exemples de dessins d'un enfant, d'un adulte et d'un chimpanzé avec photographies lors du déroulement d'une session d'expérience.

Des résultats prometteurs... à compléter

Un indice spatial d'efficacité provenant d'autres disciplines a pu être transposé au tracé d'un dessin ouvrant ainsi un nouveau champ d'exploration de ce comportement qui nous fascine tant. Préliminaire, cette avancée se doit d'être nourrie d'autres indices qui étayeront notre connaissance quant à l'ensemble des aspects d'un dessin. Notre équipe travaille d'ores et déjà sur l'étude de l'aspect temporel par l'application, là encore, de méthodes utilisées en écologie et en éthologie. L'alternance et l'organisation des phases « dessin » / « arrêt dessin » mènent-elles à un comportement complexe ? Si présente, cette complexité varie-t-elle selon divers paramètres tels que l'âge, le genre ou la culture ?

Les premiers résultats de ce projet montrent déjà la pertinence de poursuivre les recherches sur de nouveaux indices graphiques. Combinés, ces derniers pourraient permettre de mieux cerner ce comportement tant dans le cours de son développement chez un enfant que dans son histoire évolutive.

Vidéo : <https://youtu.be/rEQqu0bA52U>

Article

Martinet L, Sueur C, Hirata S, Hosselet J, Matsuzawa T, Pelé M. News indices to characterize drawing behavior in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Scientific Reports*, **11**, 2021. <http://www.nature.com/articles/s41598-021-83043-0>

Lison Martinet

Dessine-moi un mouton : de nouvelles méthodes pour caractériser les dessins chez l'être humain (*Homo sapiens*) et le chimpanzé (*Pan troglodytes*)

Résumé

Chez l'être humain, dessiner émerge sous forme de gribouillages puis évolue vers des représentations concrètes ; ce comportement est aussi décrit chez des grands singes en captivité. Les méthodes d'analyses utilisées peuvent manquer d'objectivité ou être limitantes face aux productions abstraites de sujets incapables de s'exprimer. Cette thèse a eu pour but de développer des outils d'analyse novateurs du dessin. 421 dessins d'enfants et d'adultes ainsi que 44 dessins de chimpanzés, tous sur écran tactile au doigt ont été collectés. L'application d'analyses fractales spatiales et temporelles montre des différences entre chimpanzés et humains et entre groupes d'êtres humains. Spatialement, les plus jeunes et les adultes ont un tracé moins efficace que les enfants plus âgés mais supérieur aux chimpanzés. Temporellement, les enfants de 3 ans dessinent de façon plus prévisible et stéréotypée que les adultes. Complétés d'observations comportementales, de travaux bibliographiques et conceptuels, ce projet montre la pertinence de poursuivre le développement de nouvelles méthodologies et les perspectives pour la recherche comparative pouvant en découler.

Mots clés : être humain (*Homo sapiens*), chimpanzés (*Pan troglodytes*), comportement de dessin, analyses fractales, psychologie comparée, ontogénie, évolution

Draw me a sheep: new methods to characterize drawings in humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*)

Abstract

In humans, drawing emerges in the form of scribbles and then evolves into concrete representations; this behavior has also been described in captive great apes. The analysis methods used may lack objectivity or be limiting when faced with the abstract productions of subjects unable to express themselves. This thesis aimed to develop innovative tools for the analysis of drawing. 421 drawings of children and adults as well as 44 drawings of chimpanzees, all on touch screens with finger were collected. The application of spatial and temporal fractal analyses shows differences between chimpanzees and humans and between groups of humans. Spatially, younger children and adults have a less efficient drawing layout than older children but superior to chimpanzees. Temporally, 3-year-olds draw more predictably and stereotypically than adults. Complemented by behavioral observations, bibliographic and conceptual work, this project shows the relevance of pursuing the development of new methodologies and the perspectives for comparative research that may result from it.

Key words: human (*Homo sapiens*), chimpanzee (*Pan troglodytes*), drawing behavior, fractal analysis, comparative psychology, ontogeny, evolution