

Apprendre à déchiffrer les tableaux illusionnistes que la seiche, maîtresse dans l'art du camouflage, arbore sur sa peau.

Sophie Cohen-Bodénès  
Peter Neri

N° 01 | juin 2020



La seiche *Sepia officinalis* est un céphalopode fascinant capable de transformer la couleur, la texture et les motifs de sa peau pour se camoufler dans son environnement. Elle peut combiner une quarantaine d'éléments géométriques (rayures, points, carrés) composant ainsi une toile abstraite à la manière d'un artiste. Ces motifs lui permettent de se fondre dans le décor, d'attirer un partenaire et même d'exprimer ses émotions. Pour la prédation, elle ruse d'une illusion visuelle exploitant le principe de la *gestalt* « figure-fond », en exhibant sur sa peau des carrés et des bandes en contraste noir et blanc.

Nous cherchons à savoir si la seiche peut percevoir l'illusion de Cornsweet. La preuve sera directement visible sur sa peau, les cellules pigmentaires la composant étant directement liées au système nerveux. En « lisant dans ses pensées » par la dynamique activation-inhibition des chromatophores, comme sur un EEG, nous aurons un accès à l'univers de ses représentations mentales si mystérieuses.

# Apprendre à déchiffrer les tableaux illusionnistes que la seiche, maîtresse dans l'art du camouflage, arbore sur sa peau.

Sophie Cohen-Bodénès

Peter Neri

## Les auteurs

**Sophie Cohen-Bodénès** est doctorante au Laboratoire des systèmes perceptifs (LSP) de l'Ecole Normale Supérieure (ENS - PSL) dans le cadre d'un contrat doctoral financé par la Chaire Beauté(s) PSL-L'Oréal de l'Université PSL. Elle est diplômée du « Cogmaster », Master recherche en Sciences Cognitives (ENS-EHESS-Université Paris Descartes) et d'un Master recherche en Histoire de l'Art (Université Paris I-Panthéon Sorbonne).

L'objectif de sa thèse est de proposer une explication sur l'origine cognitive de la perception esthétique dans une perspective en psychologie évolutionniste. Elle étudie la vision des motifs et des couleurs chez les animaux (céphalopodes et poissons) grâce à des expériences comportementales. Par la suite elle réalisera un modèle plus global comparatif entre l'homme et l'animal en intégrant des outils de vision artificielle et des expériences en perception visuelle avec enregistrement du signal neuronal EEG.

**Peter Neri** est diplômé de l'Ecole Normale Supérieure (Scuola Normale Superiore) à Pise. Il s'est ensuite formé entre la Grande-Bretagne et la Californie, en commençant par un doctorat à Oxford suivi de trois post-doctorats à Stanford, Cambridge et UC Berkeley. Il a ensuite obtenu une University Research Fellowship de la Royal Society of London et est actuellement Directeur de recherche au CNRS.

Son intérêt principal est de comprendre comment les signaux sensoriels sont traités par les dispositifs neuronaux pour conduire et contrôler le comportement des animaux. Une caractéristique clé de son travail est l'intégration étroite entre la caractérisation expérimentale et la modélisation informatique. Il a étudié divers phénomènes sensoriels, allant du traitement du mouvement dans les neurones de la mouche à la compréhension des images naturelles chez l'homme.

## Citer ce document

Cohen-Bodénès Sophie, Neri Peter, *Apprendre à déchiffrer les tableaux illusionnistes que la seiche, maîtresse dans l'art du camouflage, arbore sur sa peau*, Université PSL, Chaire Beauté(s) PSL-L'Oréal, juin 2020.

## Sommaire

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction                                                                                                                                                               | 4  |
| La seiche compose sa toile à la manière de Kandinsky : « point, ligne, plan ».                                                                                             | 5  |
| Des illusions visuelles qui nous trompent et des motifs qui nous ravissent : comment la seiche peut-elle peindre, aux yeux de l'homme, à la manière d'Escher et Vasarely ? | 8  |
| Un attirail attractif aussi beau pour les seiches que pour les humains.                                                                                                    | 11 |
| Actualité de la recherche : expériences comportementales sur la vision des illusions visuelles par la seiche <i>Sepia officinalis</i> .                                    | 11 |
| Bibliographie                                                                                                                                                              | 15 |

## Introduction

Les animaux, à la manière des artistes, peuvent métaphoriquement composer sur leur peau une toile en deux dimensions, dont le fond, composé par la trame colorée des cellules pigmentaires, est séparé des figures bien délimitées par des contours. Ces formes sont des motifs abstraits géométriques : points, rayures, lignes, cercles, carrés, réticulations, à la structure parfois fractale ou en diagramme de Voronoï.

Papillons, poissons, céphalopodes, oiseaux, reptiles, rusent d'illusions visuelles qui exploitent les principes de la psychologie de la perception pour se camoufler, mais également pour attirer l'attention d'un partenaire, s'accoupler et parfois même repousser et effrayer. Ces motifs ont également une fonction de signalement et de communication inter et intra-espèces.

Ainsi, le peintre et naturaliste Thayer, avait suggéré en 1909 que l'étude des couleurs et des formes exhibées par les animaux était du « domaine de l'art pictural » et devait être interprétée à la manière des peintres (Kelley 2013). Mais si cet appareil de formes et de couleurs est destiné aux membres de leur espèce, comment se fait-il que l'humain soit si réceptif au ravissement esthétique provoqué par ces motifs, et pourquoi certains animaux peuvent-ils même tromper le spectateur humain avec des illusions visuelles aussi riches d'effets que les pavages d'Escher ou les carrés imbriqués de Vasarely ?

Plongeons au cœur des océans pour découvrir les pouvoirs du « caméléon des mers », la seiche, ce « céphalopode-artiste » capable de transformer la couleur de sa peau et d'ajuster son contraste afin de se fondre dans le paysage rocheux, de se camoufler dans le sable, ou encore d'exhiber des rayures zébrées pour attirer ses partenaires. Cet animal invertébré a des capacités visuelles et cognitives très développées qui en font un animal modèle particulièrement intéressant pour mener à bien des expériences en neurosciences et biologie expérimentale, dont les premières lignes de notre recherche seront ici présentées.

La seiche *Sepia officinalis*<sup>1</sup> a une méthode bien à elle d'organiser sa composition picturale en trois couches distinctes : le fond ou arrière-plan n'est pas le canevas ou la toile du peintre, mais pour elle le substrat de son environnement naturel (souvent du sable ou des petits tas de roches). Le plan du milieu est la couleur de fond de sa peau, tandis que les figures de l'avant-plan sont les différents motifs (rayures, points, bandes, et même carrés) qu'elle est capable de faire apparaître ou disparaître à son gré, selon la façon dont elle souhaite être perçue. La sélection naturelle l'a ainsi dotée de ce phénotype bien spécifique lui permettant de contrôler la façon dont un potentiel prédateur, une proie, ou un futur partenaire pourrait la voir (ou non).

À l'origine, la fonction de ces motifs était de pouvoir se camoufler dans l'environnement puis, au cours de l'évolution, ces formes et ses couleurs ont pu acquérir une seconde fonction de signalement écologique : expression des émotions et des humeurs (la seiche devient toute noire de mécontentement et de peur), exhibition de rayures zébrées élégantes pour attirer des partenaires, ondulations de vagues en alternance de contrastes noirs et blancs pour hypnotiser une proie, entre autres. Lorsque la seiche cherche à repousser ou effrayer elle envoie le message « ne m'approche pas » en faisant apparaître deux petits points noirs symétriquement de chaque côté de son manteau. Ces signaux visuels constituent ainsi l'alphabet de son langage propre lui permettant de communiquer, non seulement avec les autres céphalopodes de son espèce, mais aussi avec les êtres humains (Langridge 2007, 2009). Certaines études émettent enfin l'hypothèse que la seiche utiliserait un langage secret par polarisation de la lumière (Shashar 1996). Pour savoir quel attirail de formes déployer, son système visuel complexe lui permet d'extraire les statistiques

---

1. *Sepia officinalis* est la seiche commune de l'Océan Atlantique, mais il existe de très nombreuses espèces de seiches : certaines naines, d'autres géantes. *Sepia bandensis*, la seiche trappue a des épines lui permettant d'imiter les textures des roches et vit dans les eaux chaudes. La seiche flamboyante *Metasepia pfefferi* peut même marcher sur le sol tandis que la seiche géante *Sepia apama* vit dans les récifs coralliens et communique avec des signaux multicolores.

de l'environnement (textures, contrastes, tailles, contours des objets). Ces informations sont envoyées à son système nerveux central situé dans le lobe optique.

Celui-ci forme un circuit de communication avec les neurones moteurs ou motoneurones qui, à leur tour, renvoient un signal aux cellules pigmentaires de la peau. Ces chromatophores, véritables tubes de peintures noirs, jaunes ou blancs, peuvent être activés ou inhibés, selon le signal qu'ils reçoivent des motoneurones. Un signal d'activation étire les chromatophores qui libèrent leurs pigments colorés, tandis qu'un signal d'inhibition les contracte. C'est par ce réseau d'interaction excitation-inhibition que les différentes couleurs peuvent être ainsi combinées.

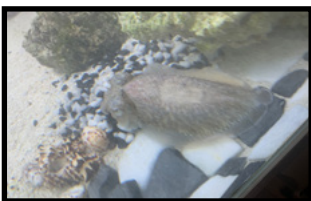
La seiche est enfin dotée d'un pouvoir qui fait d'elle une artiste hors-pair : celui d'émettre sa propre lumière. La seiche, tout comme de nombreux céphalopodes et poissons comme le calamar, ou même des insectes comme la luciole, est bioluminescente. Elle possède également une couche de cellules, les iridophores, qui réfléchissent la lumière, lui offrant un aspect brillant métallisé d'une beauté aussi pure que la structure cristalline de cette autre couche de cellules pigmentaires. La seiche offre ainsi un ballet visuel hypnotique alternant entre composition graphique achromatique exploitant parfaitement

les biais du système visuel du spectateur lorsqu'il s'agit de se camoufler, illumination brillante aux reflets verdoyants grâce à ses iridophores et volutes de zébrures pour conquérir ses partenaires et les attirer. Cette plasticité et cette flexibilité phénotypiques alternant entre camouflage, répulsion, et attraction avec lesquelles elle jongle d'une seconde à l'autre, la dotent d'une gamme de composition totale pour subjuguier tant un observateur de la même espèce, une proie, un prédateur qu'un être humain.

## I. La seiche compose sa toile à la manière de Kandinsky : « point, ligne, plan ».

De nombreuses expériences en biologie expérimentale et sciences de la vision ont été menées afin de mieux comprendre quels sont les différents motifs dont dispose la seiche, comment elle les combine entre eux, et quelle est la gamme de sa palette de tons. (Hanlon & Messenger 1988, Chiao & Hanlon 2001 a-b, Chiao 2005, Hanlon 2007, Hanlon 2011, Guibet 2011, 2013, Poirier 2005, Kelman 2007, Kelman 2008, Mäthger 2006, 2007, Alvez 2007, Joset-Alvez 2012a-b, Barbosa 2007, 2008, Stevens 2009, Troscianko 2009, Zylinski 2009a, 2009b, Zylinsky 2012, Lee 2012, Cartron 2012, 2013 a-b-c, Darmaillacq 2008, 2017, Ulmer 2013).

### La seiche *Sepia officinalis* sous quatre de ses différents tableaux



La seiche exhibe son motif disruptif : un carré blanc central sur fond de pattern marbré clair pour « matcher » avec le fond en damier.



La seiche en rayures zébrées.



Mécontente, la seiche le fait savoir en devenant toute noire.



La seiche se camoufle dans le sable avec un pattern uniforme clair.

Cinq grands motifs ont ainsi été identifiés chez la seiche *Sepia officinalis* : uniforme, clair, pointillé, marbré-clair, marbré-foncé, disruptif (Hanlon 1988). Grâce à cette étendue de motifs et de chroma, elle peut utiliser plusieurs techniques sophistiquées et plus ou moins optimales de camouflage : le 'background matching' ou crypsis, qui consiste à se fondre dans la couleur du décor, en l'occurrence lorsque les chromatophores blancs de la seiche sont les plus activés afin de se fondre avec le sable, ou le camouflage disruptif ou coloration adaptative. Pour composer ses différentes toiles, elle utilise environ quarante différents composants élémentaires, comme les différentes briques d'une sémiotique visuelle : carrés, bandes, points. Elle peut les agrémenter de différentes textures, se muant en une artiste pointilliste.

Les nombreux chercheurs qui ont permis de réaliser cette encyclopédie visuelle de la seiche *Sepia officinalis* ont eu méthodologiquement recours à un paradigme très astucieux. Ils ont créé des fonds artificiels (mais parfois aussi naturels avec du sable et des roches), souvent en forme d'échiquiers noirs et blancs (de différentes tailles, avec différents contrastes, parfois différentes textures). La seiche extrait les statistiques visuelles des fonds sur lesquels elle se pose, et, conformément à l'information contenue dans ces dernières va éliciter l'un ou l'autre de ces *patterns*. C'est alors que la magie opère : la peau de la seiche devient la projection de l'image mentale qu'elle se fait de son environnement. De nombreux chercheurs utilisent dans leurs expériences cette propriété qu'elle a de porter sur son manteau un véritable « tableau de pixels » (Laurent 2018). Chaque chromatophore activé ou inhibé par un neurone moteur, lui-même recevant ses commandes du système visuel, nous permet de 'lire dans ses pensées' (Reiter & Laurent, 2018), de voir s'activer et onduler des potentiels d'action neuronaux colorés. L'information visuelle extraite du monde, projette ainsi une image sur la rétine de la seiche, elle-même retranscrite tel un électro-encéphalogramme analogique et visuel sur la peau de ce « caméléon des mers » (Boettinger 2009).

Plusieurs variantes de « tableaux disruptifs » ont ainsi été mis en évidence. Ils exploitent le principe bien connu des psychologues de la perception gestaltistes et des artistes, notamment d'Escher, celui de la séparation de la figure et du fond et également de l'intégration des contours (Kelley 2013).

Lorsque nous percevons le monde en trois dimensions, nous recevons sur la rétine une image projetée de celui-ci en deux dimensions, avec des informations sur la forme, la taille, la texture, le mouvement, la couleur, le contraste des objets. Le système nerveux doit les réintégrer afin de recomposer cette « réalité » du monde extérieur déconstruite en petits fragments élémentaires. Les cellules du système visuel de bas niveau encodent ces petits bouts de formes, des lignes dans différentes orientations, et par connexion en réseaux de neurones, recréent leurs contours. De couches corticales plus profondes en couches plus profondes, l'image est recomposée en complexité et en richesse de détails et de couleurs. Le cerveau crée au final une représentation mentale de l'environnement extérieur identifiable et reconnaissable. La psychologie gestaltiste a historiquement, dans les années 1930, décrit des règles selon lesquelles ce groupement perceptuel s'opère et ces mêmes principes révèlent certains secrets à l'origine des plus fameuses illusions visuelles comme le *Vase de Rubin* ou la *Femme jeune-âgée*. Parmi ces règles, le principe de séparation figure-fond est celui exploité par la « seiche-artiste » lorsqu'elle exhibe son *pattern* disruptif. Il consiste à donner l'impression que la forme générale du corps est décomposée en plusieurs éléments géométriques : carrés et bandes blanches, éléments noirs, ayant un fort contraste entre eux, donnant alors l'illusion qu'il existe entre eux des contours trompeurs, plus voyants que les contours réels de la forme générale de l'animal et ne faisant plus partie d'un tout. Le prédateur a la forte probabilité de ne plus pouvoir distinguer les parties de l'animal du fond (comme une roche grisâtre). Plus spécifiquement, les seiches jouent sur l'effet d'« intégration de contours » (Stevens 2009, Stevens 2013, Kelley 2013) et ciblent les mécanismes de détection de contours. Quel



## Les animaux rusent d'illusions visuelles figure-fond par le camouflage disruptif



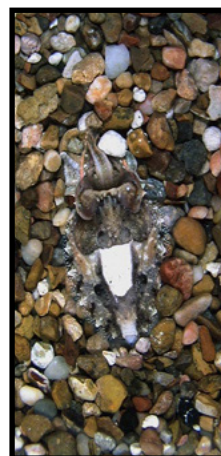
*Le Vase de Rubin*

[source](#)



*Une jeune femme ou une dame âgée ?*

[source](#)



*La seiche disruptive exhibe son carré blanc imitant les roches du fond.*

© R. Hanlon

[source](#)



*La seiche, la grenouille et le poisson « Picasso » rusent de la même illusion ou camouflage disruptif exploitant le principe perceptuel de la séparation de la figure et du fond.*

Sources visuelles :

[Poisson](#)

[Grenouilles](#)

signal indique à la seiche qu'elle doit se montrer sous sa robe disruptive ? L'information des contours de l'environnement eux-mêmes.

Et la boucle est bouclée comme l'ont mis en évidence les travaux expérimentaux de Zylinski montrant que la seiche élicite son *pattern* disruptif même si on lui présente des fragments de contours d'une forme circulaire, comme si elle complétait les contours illusoires du cercle de Kanizsa (Zylinski 2009, Kelley 2013).

C'est ainsi que Neri dans ses études sur la combinaison des composantes visuelles chez le poisson-zèbre et le poisson - combattant se demande « Qui a besoin d'un cortex ? » (Neri 2012, Neri

2019). En effet, les principes de la *gestalt* décrivant les règles de l'organisation perceptuelle sont considérés comme des processus de haut niveau s'opérant au sein du cortex cérébral humain. Mais l'utilisation du camouflage disruptif par les seiches, et partagée au sein du royaume animal, pose la question de savoir si les animaux n'ont-ils pas aussi une *gestalt* qui ne requiert pas un cerveau avec la même architecture néocorticale. Nos systèmes visuels, bien qu'ayant été séparés sur le plan évolutif il y a plus de 200 millions d'années avec les céphalopodes auraient beaucoup plus en commun qu'il n'y paraîtrait, offrant aux scientifiques de nombreuses pistes d'exploration et de futures découvertes (Osorio 2014).

## 2. Des illusions visuelles qui nous trompent et des motifs qui nous ravissent : comment la seiche peut-elle peindre, aux yeux de l'homme, à la manière d'Escher et Vasarely ?

Les fonctions de l'œuvre picturale sont de communiquer un message, d'être perçue, parfois contemplée pour son esthétique formelle propre. Les tableaux exhibés sur le manteau des seiches ne dérogent pas à ce principe. La première question à nous poser est donc : à qui sont destinés ces signaux visuels ?

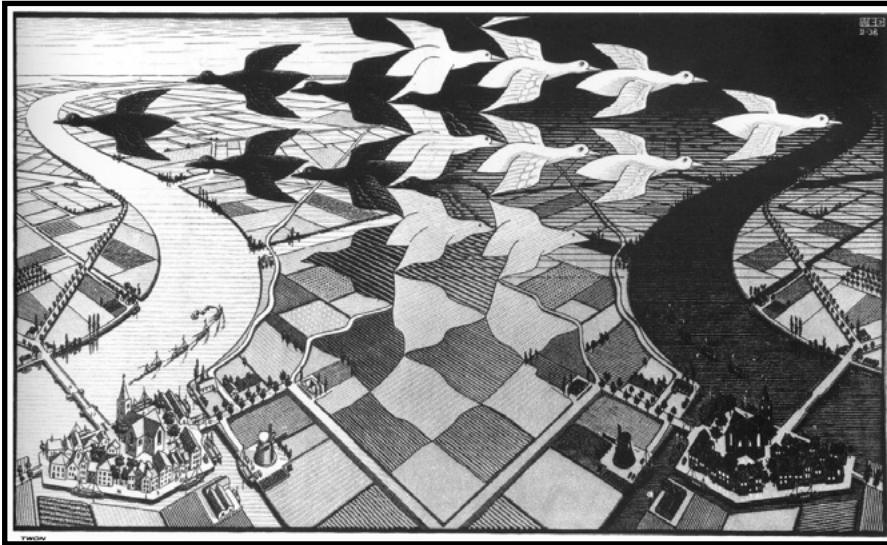
Tout d'abord, la seiche souhaite se protéger, et assurer sa survie. Il ne faudrait pas qu'un potentiel prédateur puisse la reconnaître. C'est le but de la crypsis et de la coloration disruptive. Les plus gros poissons, (les céphalopodes aussi, car les seiches sont cannibales !) et bien sûr l'homme sont de potentiels prédateurs dont les motifs de la seiche visent à biaiser la perception en recourant à des principes de *gestalt* séparation figure-fond, comme nous l'avons vu. N'est-il pas paradoxal qu'un camouflage parfaitement réussi puisse être considéré comme beau ? Si l'on considère le camouflage disruptif sous l'angle d'une illusion visuelle parfaitement composée pour flouer l'observateur, l'antithèse s'édulcore de nuances. Pour le comprendre, faisons un détour didactique en observant deux œuvres d'art reposant sur des illusions visuelles : la gravure *Jour et Nuit* d'Escher de 1938 et la série des carrés emboîtés dont *Utem* de Vasarely de 1981. Et demandons-nous : pourquoi ces illusions sont-elles, en définitive, tout simplement belles ?

Escher est un artiste à la frontière des arts et des sciences connu comme le maître de l'illusion. Son œuvre *Jour & Nuit* est emblématique de son style hypnotique, qui joue sur les contrastes noir/blanc, la répétition des formes géométriques et la symétrie, l'illustration artistique et visuelle de la Théorie de la Complexité. Du fond de ses gravures émergent des formes de vie organiques complexes (ici des oiseaux, mais il existe des œuvres aussi avec des poissons) à partir de matière inanimée atomistique à la régularité géométrique

élémentaire (ici symbolisée par l'échiquier noir et blanc en carrés). L'adoption d'une perspective et d'un point de fuite original et ambigu fait plonger directement le spectateur dans un univers à la fois profondément mathématique, abstrait, régulier, presque binaire et informatisé - et fantasmagorique, imaginaire, sorti tout droit d'un rêve éveillé. Le principe perceptuel illusionniste est le même que celui employé par la seiche : le principe de séparation figure-fond. Par analogie métaphorique, nous retrouvons nos trois plans de composition : le substrat damier-échiquier composé de carrés noirs et blancs, dans lesquels se fondent (se camouflent ?) des formes organico-géométriques. Par la suite, l'animal-oiseau avec ses contours bien délimités apparaît progressivement avec une forme pleine et se détache du fond (blanc sur noir ou noir sur blanc avec le dessin des plumes bien apparent et détaillé). Tentons donc de comprendre en quoi l'illusion visuelle participe de l'expérience de beauté dans cette œuvre.

Dans son livre *Gödel, Escher et Bach*, Hofstadter résume très bien la complémentarité entre la figure (celle qui intéresse le plus l'artiste) et son cadre, le fond, forcément complémentaire, essentialisée à une relation positif-négatif (Hofstadter 1979). Le jeu visuel devient intrigant quand il n'est plus possible de distinguer la figure du fond (dans le célèbre vase du *Rubin*, votre perception alterne-t-elle bien entre la vision de deux visages noirs et d'un vase blanc ?). Biaiser la capacité du système visuel à segmenter, décomposer les différentes couches projetées sur l'image rétinienne est un challenge réussi par les artistes comme par les seiches. Cela requiert une dose de dextérité et d'élégance formelle à l'origine d'une expérience esthétique. Selon l'étude expérimentale menée par Stevanov (Stevanov 2010) sur l'aspect esthétique des illusions visuelles, ces dernières opèrent à différents niveaux de la cognition, tout d'abord par leur simplicité formelle, leur régularité, leur harmonie, l'équilibre des formes entre elles. L'expérience esthétique proviendrait alors, conformément à la théorie de la fluence, d'un traitement plus optimal et efficient de la forme esthétique (Reber 2004, Stevanov 2010).

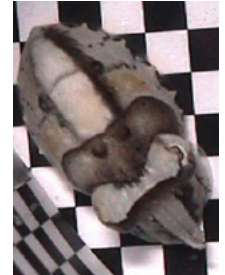




Escher, *Jour et Nuit*, gravure sur bois de fil, 1938.

[Source](#)

Une seiche avec le pattern disruptif : carré blanc, bandes noires et blanches, points noirs, élicité par le fond en échiquier.



[Source](#)

La corrélation entre simplicité formelle, plaisir esthétique, et théorie de la fluence, semble s'affirmer avec les derniers résultats en sciences cognitives, notamment ceux de Renoult (Renoult 2016, Renoult 2019). En effet, les travaux de ce dernier s'accordent avec l'hypothèse du « codage efficient », soutenue par les travaux d'Olshausen, selon laquelle le traitement de l'information par les neurones du système visuel est réalisé de façon optimale, et a été façonné par l'évolution pour être ainsi le plus efficient possible (rapide, économique) par l'extraction de statistiques de l'environnement, la redondance dans le signal informationnel ayant été enlevée. En effet, le système nerveux est contraint anatomiquement. Notamment, un nombre relativement restreint d'axones est disponible dans le nerf optique. Cela explique pourquoi l'information répétitive, non essentielle, doit être réduite sans toutefois perdre de l'information utile. Les formes esthétiques sont des signaux optimaux qui ont été façonnés par l'évolution pour être traités de façon optimale, fluente, et efficiente, ce qui explique leur simplicité formelle. Une autre interprétation possible, et compatible, du succès et de l'attractivité des formes abstraites et universelles que l'on trouve, par exemple dans les carrés de Vasarely, est selon Ramachandran, liée au fait, que par exemple, un carré, un cercle peut être dessiné

(l'artiste possède les intuitions d'un « neuroscientifique » selon la formule de Cavanagh (Cavanagh 2005)) de façon à correspondre parfaitement au champ récepteur d'un neurone du système visuel primaire (Ramachandran 1999).

L'esthétique de la simplicité formelle avec un effet d'illusion d'optique est parfaitement illustrée dans certaines œuvres de l'artiste contemporain de l'OP Art, Vasarely. Sa série des Carrés imbriqués de 1981 se rapproche d'illusions visuelles qui prennent naissance dans la rétine même et permettent d'appréhender comment les coins, les courbes, les angles et les lignes (et particulièrement la discontinuité des contours) jouent un rôle dans la vision des formes et de la luminosité (Martinez-Conde 2017). En 1981, une explication au niveau des cellules ON-OFF de la rétine a été donné par Hurvich (Hurvich 1981).

De la même façon, les Bandes de Mach, la grille d'Hermann et l'illusion de Cornsweet sont des illusions connues, qui résultent de processus, dont l'origine est encore débattue, mais dont l'explication la plus courante est l'inhibition latérale qui se produit au niveau des champs récepteurs des cellules ganglionnaires rétiniennes.

L'inhibition latérale est la capacité d'un neurone d'inhiber, du fait de son excitation, l'activité d'un

ou de plusieurs neurones voisins dans la direction latérale. Cela a pour effet de créer un contraste d'activité entre les neurones activés et inhibés et une perception accrue de certains stimuli. L'illusion de Cornsweet procède notamment de cet effet. De part et d'autre d'un contour au centre de l'image, alors que deux patches de gris ont la même luminosité, la perception foncée de l'un apparaît illusoirement d'autant plus foncée et la perception plus claire de l'autre d'autant plus claire. L'hypothèse du 'codage efficient' peut une nouvelle fois expliquer l'esthétique des Carrés emboîtés de Vasarely car elle est également invoquée pour expliquer pourquoi le système visuel de bas niveau est particulièrement performant pour extraire les contours des objets. En effet, ils sont composés de formes géométriques simples réduites à leurs contours élémentaires et étant imbriquées les unes dans les autres. Ces formes exploitent le mécanisme d'inhibition latérale. Elles constituent un véritable stimulus optimal d'un point de vue du traitement efficient de l'information visuelle et de la fluence perceptuelle. Enfin, les illusions visuelles opèrent à tous les niveaux de la cognition. Elles sont le résultat de l'in-

trication entre de l'information provenant de bas niveau (*bottom-up*) et des processus corticaux plus complexes (*top-down*), qui sont à l'origine de l'émergence de nos représentations mentales du monde. Ces boucles permettent de faire des inférences sur les stimuli qui existent à l'extérieur de nos sens, et d'émettre des probabilités sur la provenance d'une source d'illumination en fonction de connaissances « naïves » sur la physique de la lumière, par exemple. Nous semblons ainsi savoir naturellement, c'est à dire sans apprentissage, qu'un objet est illuminé par le haut et non le bas. Notre perception du monde nous semble celle d'une réalité extérieure objective et, lorsque cette vision en apparence stable est soudainement remise en question par l'ambiguïté puissante d'images trompeuses, cela provoque un sentiment de surprise et de sublimation. L'expérience esthétique ne provient pas uniquement d'une délectation des sens, et n'est pas juste un simple sous-produit de l'évolution. Lors de la perception d'une illusion visuelle, des fonctions exécutives plus complexes sont activées et cela nous amène à remettre en question littéralement notre vision du monde. C'est l'ouverture spiri-

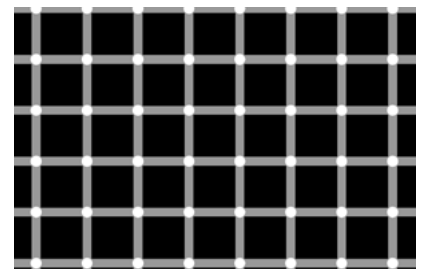
### Les illusions visuelles de luminosité illustrées dans les carrés de Vasarely



Vasarely, *Utem*, Huile sur toile, 1981  
© Fondation Vasarely  
[Source](#)

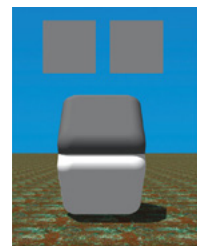
La grille scintillante d'Hermann est expliquée par le phénomène d'inhibition latérale au niveau des cellules rétinienne.

[Source](#)



L'illusion de Cornsweet donne l'impression de voir en haut un polygone gris foncé, en bas un polygone blanc-gris clair, alors que les deux patches ont la même luminosité.

[Source](#)



tuelle d'une compréhension plus abstraite et universelle de la réalité (ou de l'illusion de la réalité ?) qui est source de délectation intellectuelle. Ou comme le disait Poincaré : « Le scientifique n'étudie pas la nature parce qu'elle est utile. Il l'étudie pour le délice que cela lui procure, et il se délecte en elle car elle est belle. Bien sûr, je ne parle pas de la beauté qui plait aux sens, non que je la dévalue, mais elle n'a rien à voir avec les sciences. J'entends par profonde beauté, celle qui vient de l'ordre harmonieux des parties, et qu'une intelligence pure peut saisir ».

### 3. Un attirail attractif aussi beau pour les seiches que pour les humains.

Il n'est pas étonnant que des motifs exhibés par les animaux pour attirer leurs partenaires suscitent, du moins un sentiment de plaisir, au moins une attirance de leur attention visuelle, et soient un signal écologique valide au sein de leurs espèces respectives. L'exemple caractéristique est celui de la queue du paon aux couleurs chatoyantes et vibrantes et agrémentée d'ocelles hypnotiques qui constituent un super-stimulus. En effet, certaines formes et couleurs parce qu'elles suractivent certains neurones du système visuel provoquent une perception accrue et deviennent un signal attractif. Mais un super-stimulus destiné à un paon ou à un mollusque, l'est-il autant pour l'homme ? Les dernières études en neurosciences cognitives tendraient à répondre positivement à ce questionnement. Nous partagerions inter et intra espèces, du fait de l'évolution biologique, certains biais visuels en commun, qui seraient à l'origine des universaux esthétiques, comme par exemple une préférence pour la symétrie. L'attractivité pour les formes symétriques s'explique du fait qu'elles signalent une bonne qualité développementale. Mais selon la thèse d'Enquist et Arak ce biais serait en fait un sous-produit de l'évolution. En effet, cette préférence s'expliquerait par des contraintes anatomiques impliquées dans la reconnaissance des objets. Le biais visuel qu'ils invoquent est ainsi l'invariance à la position et l'orientation dans le champ visuel

(Enquist 1994). Les motifs des ailes des papillons, les plumes d'oiseaux, les couleurs des poissons tropicaux, attirent alors notre attention et suscitent un sentiment de plaisir esthétique parce qu'ils activent des aires cérébrales ayant évolué chez l'homme pour être réceptives à ce type d'informations sensorielles dans l'environnement ancestral. Lorsqu'un artiste compose une œuvre d'art, ce sont certaines de ces mêmes régions cérébrales qui sont activées dans le choix des couleurs ou l'agencement des formes. Du processus de création résultent alors une certaine régularité et universalité formelle entre les motifs naturels et les motifs artistiques. Si les patterns exhibés par la seiche activent précisément ces aires cérébrales, et correspondent donc aux biais visuels liés au plaisir esthétique chez l'homme, les tableaux qu'elles exposent nous ravissent alors par leur beauté.

### 4. Actualité de la recherche : expériences comportementales sur la vision des illusions visuelles par la seiche *Sepia officinalis*.

Actuellement notre recherche consiste à se demander si les seiches elles-mêmes sont en mesure de percevoir des illusions visuelles. Si tel est le cas, peut-on lire sur leur peau la preuve qu'elles les perçoivent en quantifiant l'intensité lumineuse et le contraste de leurs chromatophores en le comparant à celui des fonds, eux-mêmes composés à partir d'illusions, sur lesquels elles se camouflent ? Dans notre première étude, nous sommes en train d'entraîner une seiche *Sepia officinalis* à adopter un comportement précis : se placer sur un fond artificiel. Cette plaque imprimée et imperméabilisée constitue le stimulus visuel de ce protocole expérimental qui a fait ses preuves dans tous les travaux réalisés précédemment par les chercheurs du domaine. Il est composé de blocs (dont la taille, le contraste, l'arrangement sont des variables) assemblés en échiquier. Ils ont été créés en reprenant des illustrations de l'illusion de Cornsweet que nous avons choisies pour leur similarité formelle avec des pierres naturelles.

Grâce à un logiciel de retouche photographique, ces images ont été disposées sur une photographie de substrat de sable (jaune clair) ou de substrat rocheux (gris foncé).

Afin d'inviter naturellement et sans contrainte la seiche à se poser sur le fond artificiel, plutôt que sur le sable dans l'aquarium autour, nous avons déposé une petite boîte en plexiglas munie d'aérations et d'une ouverture circulaire. À travers l'opercule la seiche peut [attraper avec ses tentacules une crevette vivante](#) (nourriture d'excellence pour elle, qui est habituellement nourrie avec des éperlans crus morts). Pour ce faire elle doit nécessairement se poser sur la plaque sous le bon angle pour pouvoir ajuster correctement le déploiement de ses tentacules.

Ce protocole expérimental comportemental non invasif et sans douleur pour l'animal, lui laissant la possibilité d'exercer ses talents de chasseresse, permettra d'obtenir, si l'hypothèse de recherche

est confirmée, la preuve qu'elle voit l'illusion de Cornsweet. La preuve devrait être directement visible sur sa peau. Elle devrait en effet reproduire sur celle-ci des carrés blancs et noirs grâce à la combinaison de ses éléments en contractant et étirant ses chromatophores, ou du moins adopter un pattern disruptif ou ajuster son contraste pour *matcher* avec le fond. Une série d'une centaine d'essais (ou plus si cela s'avère nécessaire) est prévue afin de collecter des données (photographies et vidéos) de plusieurs seiches réalisant cette tâche comportementale. Les seiches ont été élevées avec soin, dans le respect des pratiques vétérinaires, par des biologistes spécialisés et expérimentés dans l'élevage des *Sepia Officinalis*, à partir d'œufs prélevés en mer,

### Premiers tests expérimentaux réalisés sur une seiche *Sepia officinalis*



La seiche est entraînée à se poser et ajuster son contraste sur un fond de blocs façonnés par une illusion de Cornsweet.



La tâche comportementale consiste à ajuster sa position pour pouvoir attraper avec ses tentacules une crevette vivante à travers un opercule.



À l'aide des outils de traitement d'image, nous analyserons si les couleurs et le contraste du manteau de la seiche s'ajustent avec les fonds artificiels de son environnement.



à l'Aquarium de La Rochelle<sup>2</sup>. Pour collecter ces données, des algorithmes de vision artificielle (détection de mouvements et d'objets) sont en cours d'implémentation utilisant la technique de 'soustraction du fond' (McIvor 2000) déjà utilisés dans les travaux de Neri sur les poissons-zèbres et les poissons-combattants. (Neri 2012, 2019, Spiliotti & Neri 2016). Ces programmes informatiques permettront de suivre, cadre après cadre, les animaux, centrer et segmenter les images de seiches du fond afin de les isoler. Nous extrairons les pixels du masque de segmentation ainsi obtenu (c'est-à-dire une image binaire en pixels noirs et blancs de la forme de la seiche essentialisée à ses contours). Des analyses statistiques pourront alors être réalisées. Nous pourrions notamment mesurer de façon fiable et automatisée informatiquement, sur une grande quantité de données, la valeur de l'intensité des pixels (quantifier les contrastes, les niveaux de gris, avec des histogrammes de traitement d'image également). Un algorithme de détection de contours (type « Canny Edge », Canny 1986) sera également utilisé pour visualiser les illusions créées par les seiches sur les contours et la séparation de la figure et du fond.

Les contours et les rayures exhibées par les seiches seront un deuxième angle d'attaque dans notre étude. Nous projetons ainsi de réaliser des expériences en Psychophysique sur des êtres humains, dans le cadre d'une étude comparative céphalopodes-humains, afin de tester l'hypothèse selon laquelle les super-stimuli 'rayures zébrées' des seiches sont également des super-stimuli pour l'observateur humain et provoquent en lui une expérience esthétique.

Ainsi, en suivant les résultats obtenus par Boettiger, nous émettrons l'hypothèse que les rayures zébrées exhibées par la seiche sont, si ce n'est des « Pattern de Turing », du moins des formes qui ont émergé de processus développementaux pouvant être modélisés selon les travaux

de Boettiger et Ermentrout. Ces deux chercheurs ont développé des simulations pour comprendre l'émergence et le développement de la structure des patterns chez les mollusques qui reposent sur le modèle « LALI » ('Local excitation with Lateral Inhibition') (Boettiger 2009). « LALI » décrit également les illusions des bandes de Mach, de Cornsweet, et d'autres illusions de luminosité rétinienne vues précédemment.

Dans la lignée de leur étude, nous réaliserons des simulations et des modélisations informatiques permettant de recréer artificiellement ces patterns de « rayures zébrées » pour obtenir des stimuli qui seront présentés lors d'expériences de perception visuelle à des sujets humains. Le signal EEG sera monitoré afin de quantifier l'intensité de l'activité neuronale provoquée par la vision de ces motifs et de mesurer à quel seuil il correspond. Cela permettra notamment d'obtenir une valeur permettant de les qualifier de super-stimuli et d'identifier les zones cérébrales qu'ils sur-activent, si tel est le cas.

L'objectif de notre première étude sera ainsi de développer un modèle complet allant de la formation des patterns par les processus développementaux (par réaction-diffusion et inhibition latérale entre les chromatophores) à l'extraction par « codage efficient » des statistiques visuelles de l'environnement par les seiches. L'analyse de leurs capacités de créer des illusions visuelles et, hypothétiquement, d'en percevoir elles-mêmes, sera explorée et visualisée par l'observation de la dynamique contraction-étirement des chromatophores, lui permettant de passer en quelques secondes du motif de rayures zébrées attractives au camouflage disruptif illusionniste. Nous tâcherons de comprendre si l'illusion chez une seiche est élicitée par des processus rétinien de très bas niveau ou bien si elle ne serait pas équipée d'une *gestalt* proche de celle des humains.

Notre objectif ultime sera de découvrir si des processus en apparence déconnectés les uns des autres, comme les gravures en deux dimensions d'Escher, la représentation perceptuelle et l'organisation neuronale humaine, en passant par le camouflage de la seiche, ne forment pas en fin

---

<sup>2</sup> Des seiches *Sepia officinalis* sont, en plus d'être élevées et conservées, directement observables pour le grand public à l'Aquarium de La Rochelle. Voir les « artistes en scène ».



de compte un tout, une même idée. L'essence de cette idée est simple et universelle : c'est peut-être, la vraie raison d'être en soi de tout ce qui nous entoure dans ce monde, la Beauté elle-même.

## Documents audiovisuels et articles de vulgarisation

1. Richard Hammond, Les miracles de la Nature, chaîne youtube de la BBC : '[Can Cuttlefish camouflage in a living room?](#)'.
2. Le Cerveau à tous les niveaux, site de vulgarisation sur les Neurosciences de l'Université McGill : '[La perception visuelle dévoilée par les illusions d'optique](#)'.
3. Reardon, Sara. « Cuttlefish Wear Their Thoughts on Their Skin ». Nature, 17 octobre 2018. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07023-7>.
4. Hofstadter, Gödel, Escher et Bach, Les brins d'une guirlande éternelle, Dunod, 1970
5. [Beauté et vérité, Conférence de Julien Renoult](#) sur la théorie de la fluence et la perception esthétique.

## Bibliographie

1. Alves C., Chichery R., Boal J. G., Dickel L. (2007). Orientation in the cuttlefish *Sepia officinalis*: response vs. place learning. Anim. Cogn. 10, 29-36. 10.1007/s10071-006-0027-6
2. A. Barbosa, L.M. Mäthger, K.C. Buresch, J. Kelly, C.Chubb, C.-C. Chiao, et al.Cuttlefish camouflage: The effects of substrate contrast and size in evoking uniform, mottle or disruptive body patterns, Vision Research, 48 (2008), pp. 1242-1253
3. Barbosa A., Mäthger L. M., Chubb C., Florio C., Chiao C. C., Hanlon R. T. (2007). Disruptive coloration in cuttlefish: a visual perception mechanism that regulates ontogenetic adjustment of skin patterning. J. Exp. Biol. 210, 1139-1147.
4. Boettiger, Alistair, Bard Ermentrout, et George Oster. « The Neural Origins of Shell Structure and Pattern in Aquatic Mollusks ». Proceedings of the National Academy of Sciences 106, no 16 (21 avril 2009): 6837-42.
5. Cavanagh, Patrick. « The Artist as Neuroscientist ». Nature 434, no 7031 (mars 2005): 301-7.
6. Canny, John. « A computational approach to edge detection ». IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986.
7. C.-C. Chiao, C. Chubb, K. Buresch, L. Siemann, R.T.HanlonThe scaling effects of substrate texture on camouflage patterning in cuttlefish Vision Research, 49 (2009), pp. 1647-1656
8. C.-C. Chiao, C. Chubb, R.T. HanlonInteractive effects of size, contrast, intensity and configuration of background objects in evoking disruptive camouflage in cuttlefish. Vision Research, 47 (2007), pp. 2223-2235
9. C.-C. Chiao, R.T. HanlonCuttlefish camouflage: Visual perception of size, contrast and number of white squares on artificial checkerboard substrata initiates disruptive coloration Journal of Experimental Biology, 204 (2001), pp. 2119-2125
10. C.-C. Chiao, R.T. HanlonCuttlefish cue visually on area - not shape or aspect ratio - of light objects in the substrate to produce disruptive body patterns for camouflage. Biological Bulletin, 201 (2001), pp. 269-270
11. C.-C. Chiao, E.J. Kelman, R.T. HanlonDisruptive body patterning of cuttlefish (*Sepia officinalis*) requires visual information regarding edges and contrast of objects in natural substrate backgrounds Biological Bulletin, 208 (2005), pp. 7-11
12. Cartron L., Darmaillacq A.-S., Jozet-Alves C., Shashar N., Dickel L. (2012). Cuttlefish rely on both polarized light and landmarks for orientation. Anim. Cogn. 15, 591-596. 10.1007/s10071-012-0487-9
13. Cartron L., Dickel L., Shashar N., Darmaillacq A.-S. (2013a). Maturation of polarization and luminance contrast sensitivities in cuttlefish (*Sepia officinalis*). J. Exp. Biol. 216, 2039-2045. 10.1242/jeb.08039

14. Cartron L., Dickel L., Shashar N., Darmaillacq A.-S. (2013b). Effects of stimuli shape and polarization in evoking deimatic patterns in the European cuttlefish, *Sepia officinalis*, under varying turbidity conditions. *Invert. Neurosci.* 13, 19-26. 10.1007/s10158-013-0148-y
15. Cartron L., Josef N., Lerner A., McCusker S. D., Darmaillacq A.-S., Dickel L., et al. (2013c). Polarization vision can improve object detection in turbid waters by cuttlefish. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 447, 80-85
16. Darmaillacq A.-S., Lesimple C., Dickel L. (2008). Embryonic visual learning in the cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Anim. Behav.* 76, 131-134. 10.1016/j.anbehav.2008.02.006
17. Darmaillacq, A. S., Mezrai, N., O'Brien, C. E., & Dickel, L. (2017). Visual Ecology and the Development of Visually Guided Behavior in the Cuttlefish. *Frontiers in physiology*, 8, 402. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00402>
18. Enquist, Magnus, et Anthony Arak. « Symmetry, Beauty and Evolution ». *Nature* 372, no 6502 (novembre 1994): 169-72.
19. Guibé M., Dickel L. (2011). Embryonic visual experience influences posthatching shelter preference in cuttlefish. *Life Environ.* 61, 243-246.
20. Guibé M., Poirel N., Houdé O., Dickel L. (2012). Food imprinting and visual generalization in embryos and newly hatched cuttlefish (*Sepia officinalis*). *Anim. Behav.* 84, 213-217. 10.1016/j.anbehav.2012.04.035
21. R.H. Hanlon Cephalopod dynamic camouflage, *Current Biology*, 17 (2007), pp. R400-404
22. R.T. Hanlon, C.-C. Chiao, L.M. Mäthger, K.C. Buresch, A.Barbosa, J.J. Allen, et al. Rapid adaptive camouflage in cephalopods in M. Stevens, S. Merilaita (Eds.), *Animal camouflage: Mechanisms and functions*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. (2011)
23. R.T. Hanlon, J.B. Messenger, Adaptive coloration in young cuttlefish (*Sepia officinalis* L.): The morphology and development of body patterns and their relation to behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 320(1988), pp. 437-438
24. Hanlon R. T. (2007). Cephalopod dynamic camouflage. *Curr. Biol.* 17, 400-404. 10.1016/j.cub.2007.03.034
25. Hanlon R. T., Chiao C.-C., Mäthger L. M., Barbosa A., Buresch K. C., Chubb C. (2009). Cephalopod dynamic camouflage: bridging the continuum between background matching and disruptive coloration. *Philos. Trans. R. Soc. B* 364, 429-437. 10.1098/rstb.2008.0270
26. Hanlon R. T., Messenger J. B. (1988). Adaptive coloration in young cuttlefish (*Sepia officinalis* L.): the morphology and development of body patterns and their relation to behaviour. *Philos. Trans. R. Soc. B* 320, 437-487. 10.1098/rstb.1988.0087
27. Hanlon R. T., Messenger J. B. (1996). *Cephalopod Behaviour*. Cambridge: Cambridge University Press.
28. Jozet-Alves C., Romagny S., Bellanger C., Dickel L. (2012a). Cerebral correlates of visual lateralization in *Sepia*. *Behav. Brain Res.* 234, 20-25. 10.1016/j.bbr.2012.05.042
29. Jozet-Alves C., Viblanc V., Romagny S., Dacher M., Healy S. D., Dickel L. (2012b). Visual lateralization is task- and age-dependent in cuttlefish (*Sepia officinalis*). *Anim. Behav.* 83, 1313-1318. 10.1016/j.anbehav.2012.02.023
30. Langridge K. V. (2009). Cuttlefish use startle displays, but not against large predators. *Anim. Behav.* 77, 847-856. 10.1016/j.anbehav.2008.11.023]
31. Langridge K. V., Broom M., Osorio D. (2007). Selective signalling by cuttlefish to predators. *Curr. Biol.* 17, R1044-R1045. 10.1016/j.cub.2007.10.028

32. Lee Y. H., Yan H. Y., Chiao C. C. (2012). Effects of early visual experience on the background preference in juvenile cuttlefish *Sepia pharaonis*. *Biol. Lett.* 8, 740-743. 10.1098/rsbl.2012.0398
33. Martinez-Conde, Vasarely's Nested Squares and the Alternating Brightness Star Illusion, Stephen L. Macknik, Todorovic (ed.) *Oxford Compendium of Visual Illusion*, Oxford University Press, 2017
34. Mäthger L. M., Barbosa A., Miner S., Hanlon R. T. (2006). Color blindness and contrast perception in cuttlefish (*Sepia officinalis*) determined by a visual sensorimotor assay. *Vis. Res.* 46, 1746-1753. 10.1016/j.visres.2005.09.035
35. A. McIvor Background subtraction techniques *Proceedings of Image and Movie Computing*, 6 (2000), pp. 147-153
36. L.M. Mäthger, C.-C. Chiao, A. Barbosa, K.C. Buresch, S.Kaye, R.T. Hanlon Disruptive coloration elicited on controlled natural substrates in cuttlefish, *Sepia officinalis* *Journal of Experimental Biology*, 210 (2007), pp. 2657-2666
37. Olshausen, B. A., et D. J. Field. « Emergence of Simple-Cell Receptive Field Properties by Learning a Sparse Code for Natural Images ». *Nature* 381, no 6583 (13 juin 1996): 607 9.
38. Osorio, Daniel, et Innes C. Cuthill. *Camouflage and Perceptual Organization in the Animal Kingdom*. Édité par Johan Wagemans. Oxford University Press, 2014.
39. Neri, Peter. « Feature Binding in Zebrafish ». *Animal Behaviour* 84, no 2 (1 août 2012): 485 93.
40. Neri, Peter. « Complex Visual Analysis of Ecologically Relevant Signals in Siamese Fighting Fish ». *Animal Cognition* 23, no 1 (janvier 2020): 41 53.
41. Poirier R., Chichery R., Dickel L. (2005). Early experience and postembryonic maturation of body patterns in cuttlefish (*Sepia officinalis*). *J. Comp. Psychol.* 119, 230-237. 10.1037/0735-7036.119.2.230
42. Kelley, Kelley, « Animal visual illusion and confusion: the importance of a perceptual perspective | *Behavioral Ecology* | Oxford Academic ». Consulté le 28 mai 2020.
43. E.J. Kelman, R.J. Baddeley, A.J. Shohet, D. Osorio Perception of visual texture and the expression of disruptive camouflage by the cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Proceedings of the Biological Sciences*, 274 (2007), pp. 1369-1375
44. E.J. Kelman, D. Osorio, R.J. Baddeley, A review of cuttlefish camouflage and object recognition and evidence for depth perception, *Journal of Experimental Biology*, 211 (2008), pp. 1757-1763
45. Ramachandran, Vilayanur, et William Hirstein. « The Science of Art: A Neurological Theory of Aesthetic Experience ». *Journal of Consciousness Studies* 6 (1 janvier 1999): 15 51
46. Reber, Rolf, Norbert Schwarz, et Piotr Winkielman. « Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? » *Personality and Social Psychology Review* 8, no 4 (1 novembre 2004): 364 82.
47. Reiter, Sam, Philipp Hülsdunk, Theodosia Woo, Marcel A. Lauterbach, Jessica S. Eberle, Leyla Anne Akay, Amber Longo, et al. « Elucidating the Control and Development of Skin Patterning in Cuttlefish ». *Nature* 562, no 7727 (2018): 361 66.
48. Shashar N., Rutledge P. S., Cronin T. W. (1996). Polarization vision in cuttlefish, a concealed communication channel? *J. Exp. Biol.* 199, 2077-2084.
49. Spilioti, Melissa, Neil Vargesson, et Peter Neri. « Quantitative Assessment of Intrinsic Noise for Visually Guided Behaviour in Zebrafish ». *Vision Research* 127 (1 octobre 2016): 104 14.
50. Stevanov, Jasmina, Slobodan Marković, et Akiyoshi Kitaoka. « Aesthetic valence of visual illusions ». *i-Perception* 3, no 2 (29 février 2012): 112 40.

51. M. Stevens, S. Merilaita, Defining disruptive coloration and distinguishing its functions, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 364(2009), pp. 481-488
52. T. Troscianko, C.P. Benton, P.G. Lovell, D.J. Tolhurst, Z. Pizlo Camouflage and visual perception, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 364(2009), pp. 449-461
53. Ulmer K. M., Buresch K. C., Kossodo M. M., Mäthger L. M., Siemann L. A., Hanlon R. T. (2013). Vertical visual features have a strong influence on cuttlefish camouflage. *Biol. Bull.* 224, 110-118. 10.1086/BBL-v224n2p110
54. S. Zylinski, A.S. Darmaillacq, N. Shashar Visual interpolation for contour completion by the European cuttlefish (*Sepia officinalis*) and its use in dynamic camouflage, *Proceedings of the Biological Sciences*, 279 (2012), pp. 2386-239
55. S. Zylinski, D. Osorio, A.J. Shohet Edge detection and texture classification by cuttlefish *Journal of Vision*, 9 (2009), pp. 1-10
56. S. Zylinski, D. Osorio, A.J. Shohet Perception of edges and visual texture in the camouflage of the common cuttlefish, *Sepia officinalis*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 364(2009), pp. 439-448.





Les Working Papers de la Chaire Beauté(s) portée par l'Université PSL sont une série de publications scientifiques liées à des recherches en cours.

Sans restriction en termes de discipline ou de méthodologie, ces publications visent à engager un débat d'actualité avec d'autres chercheurs. Leur contenu n'engage que ses auteurs.

Plus d'informations sur la Chaire Beauté(s) PSL-L'Oréal :

<https://www.psl.eu/recherche/chaire-beautes-psl-loreal>

-

Graphisme et coordination éditoriale · Justin Jaricot  
Photographies · Sophie Cohen-Bodénès

**PSL**  AVEC LE SOUTIEN DE L'ORÉAL  
UNIVERSITÉ PARIS