

Formes & perception

This manuscript ([permalink](#)) was automatically generated from laurentperrinet/2023-01-31_formes-et-perception@6022b12 on 2023-01-30.

Authors

- Laurent U Perrinet

 [0000-0002-9536-010X](#) ·  [laurentperrinet](#) ·  @laurentperrinet@neuromatch.social

Institut de Neurosciences de la Timone, CNRS / Aix-Marseille Université · Funded by This research was funded by the European Union ERA-NET CHIST-ERA 2018 research and innovation program under grant number ANR-19-CHR3-0008-03 "APROVIS3D", ANR grant number ANR-20-CE23-0021 "AgileNeuroBot", as well as from Initiative d'Excellence d'Aix-Marseille Université-A*MIDEX grant number AMX-21-RID-025 "Polychronies".

Résumé

Observer une œuvre d'art permet de révéler la relation intime entre la réalité et notre façon de la percevoir. Grâce aux avancées récentes en neurosciences, nous pouvons en découvrir plus sur cette question fondamentale de la philosophie.

Matière à voir, la neuroscience de la vision

Commençons par imaginer que nous portons notre regard sur un portrait. Notre système nerveux est responsable de notre capacité de voir le monde lumineux qui en résulte. Les photons présents dans la gamme de fréquence visible sont alors concentrés par nos yeux pour former une image du portrait sur la rétine, cette fine surface qui tapisse le fond de l'œil et qui contient un réseau compact de neurones photosensibles. La rétine transforme cette image en un signal électro-chimique qui entraîne une cascade de processus qui permet de séparer différents caractéristiques de la lumière, comme notamment le contraste, la dynamique ou la couleur, pour finalement former une représentation neurale qui est transmise au reste du cerveau grâce au nerf optique.

Il est remarquable de constater que cette représentation est contrainte par l'anatomie de l'œil et de la rétine. Ainsi, la densité de neurones est bien plus élevée autour du centre de l'axe de vue, où environ la moitié de notre acuité visuelle est concentrée sur une zone équivalente à celle de l'ongle du pouce vu le bras étendu. Cette zone, appelée fovea, est principalement composée de photorécepteurs sensibles aux couleurs. En revanche, les photorécepteurs en périphérie de cette zone sont principalement insensibles aux couleurs, mais ont la capacité de répondre rapidement aux variations de luminosité mais aussi de s'adapter à des conditions d'éclairage changeantes. Cette contrainte physiologique explique pourquoi les objets peuvent apparaître monochromatiques sous un clair de lune ou pourquoi nous pouvons plus facilement détecter une étoile si on fixe légèrement à côté de celle-ci.

Cette représentation de l'image est ensuite relayée au reste du cerveau, notamment sur les aires visuelles situées sur sa surface, le cortex. Cela se produit grâce à une série de processus qui affinent progressivement les caractéristiques visuelles. En premier, l'information de nos deux yeux converge pour former une représentation binoculaire qui va permettre l'extraction de caractéristiques locales basiques : orientation locale des contours, disparité entre les deux yeux, contrastes de couleur, ... Depuis cette représentation, des aires spécialisées vont extraire des conjonctions entre ces caractéristiques pour enfin obtenir des indices de plus haut niveau, comme identifier les parties qui constituent le portrait et ensuite déchiffrer l'expression sur l'image du visage.

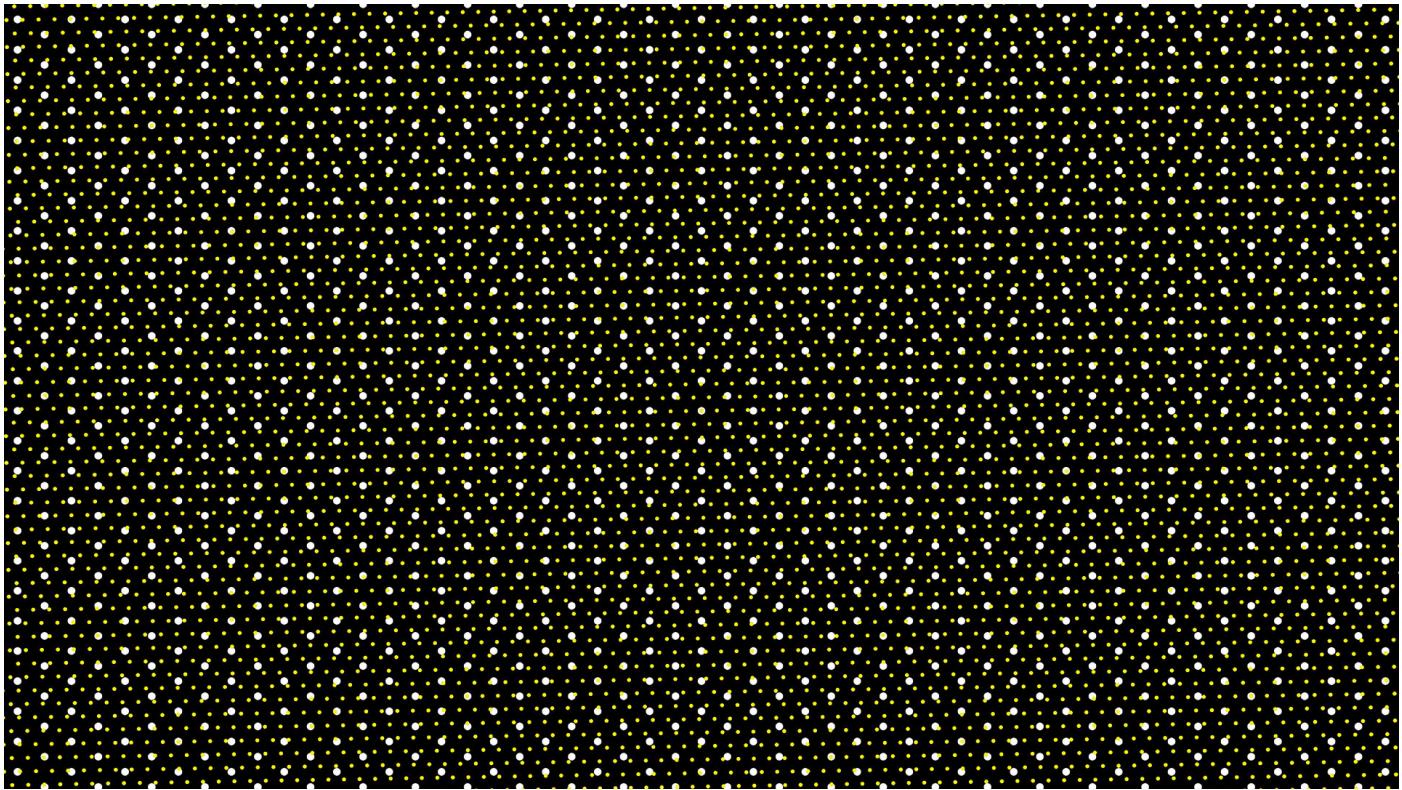


Figure 1: Trames ([Etienne Rey, 2018](#)). Le projet est basé sur des principes d'occultations partielles en couches associées à des trames qui font émerger une dimension immatérielle et instable.

En connaissant ces principes anatomiques de formation de l'image rétinienne, il est possible de les intégrer pour les mettre en évidence. Dans «Interférence», Etienne Rey dispose sur une grille hexagonale rythmique et reserrée des motifs élémentaires. Une seconde grille est superposée en profondeur et crée un effet de Moiré dont l'oscillation est plus lente. Ces deux échelles rentrent en conflit avec l'arrangement des photorécepteurs de la rétine et créent une impression d'instabilité. Les points semblent s'organiser suivant de longs alignements, suggérant une organisation en profondeur, mais dès qu'on "attrape" cette perception, elle s'évanouit et appelle à sauter sur une autre position. Cette oeuvre est finement calibrée pour rentrer en résonance avec les limites induites par l'anatomie de la rétine.

De ce résumé, on pourrait déduire que les processus visuels sont similaires à ceux d'une caméra vidéo: Une lentille focalise l'image sur des senseurs, puis cette information est traitée par d'autres mécanismes, par exemple pour extraire les objets, mesurer leur vitesse ou les identifier. Mais la réalité est bien plus complexe car comme nous l'avons vu l'image est fortmetn déformée sur la rétine, et d'autre part le traitement de cette information n'est pas simplement séquentiel. Ainsi, les aires corticales communiquent dans les deux sens, de telle sorte qu'un objet d'intérêt, par exemple le visage du portrait que nous observons, puisse être rendu plus saillant dans les aires de bas niveau. De plus, des phénomènes attentifs peuvent par exemple conduire à être plus alerte pour certaines caractéristiques a priori, comme une couleur ou une zone de l'espace visuel. Ces mécanismes sont largement inconscients. Brutalement, ils se retrouvent très éloignés de la stabilité apparente de notre perception.

Des formes à la perception

L'acte de voir n'est pas simplement un processus passif, mais un dialogue entre la sensation des objets visuels et leur représentation interne via la perception. Ce processus permet de regrouper des éléments de la scène visuelle en se basant sur le principe que le tout est plus que la somme des parties. Ainsi, les formes qui sont organisées en se basant sur ce qui peut être observé dans la nature, notamment les régularités des éléments qui y sont présents, comme les objets auto-similaires

(comme les arbres ou les fractales) ainsi les répétitions et rythmes visuels (comme les arrangements de graines d'un tournesol). La perception se caractérise également par la prévalence de symétries, notamment car celles-ci sont très présentes dans les formes naturelles, comme la symétrie gauche/droite du corps humain. La perception peut-être consciente, mais de nombreux mécanismes restent inconscients. Elle se caractérise par une unicité de l'expérience : si une interprétation peut varier, elle est unique à un moment donné. Pour deux interprétations possibles, alors la plus simple est souvent choisie. Les artistes cherchent souvent à utiliser cet aspect pour exprimer une certaine harmonie dans leur composition. La perception est donc ce processus qui, en se basant sur la connaissance des régularités observées dans la nature, permet de former une représentation stable du monde qui nous entoure.

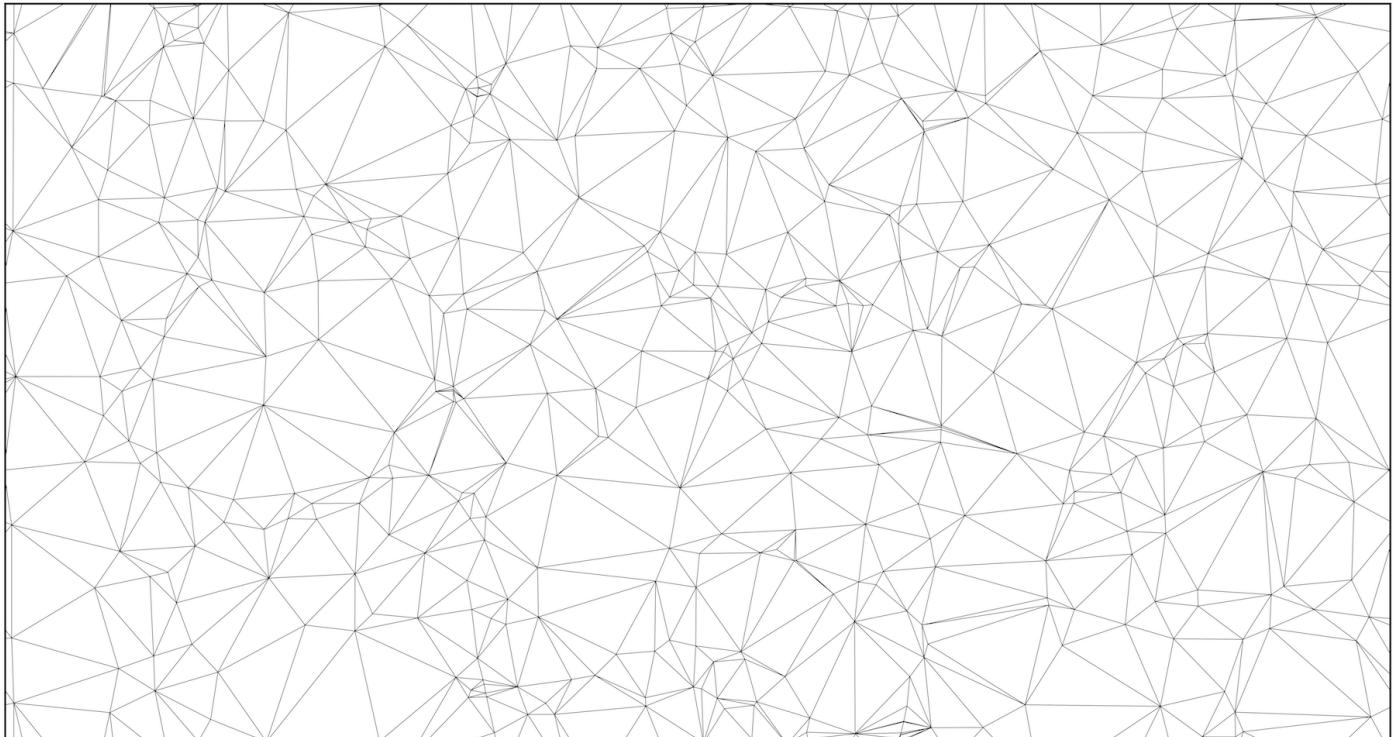


Figure 2: Instabilité (Etienne Rey, 2018) Le projet est basé sur des principes d'occultations partielles en couches associées à des trames qui font émerger une dimension immatérielle et instable.

La perception est la façon dont nous interprétons les informations que nous recevons à travers nos sens. Cela peut parfois entraîner des pareidolies, c'est-à-dire de la perception d'un objet là où il n'y en a pas, par exemple voir un visage dans l'occurrence des formes texturées d'un rocher. Ce phénomène a été utilisé dans l'œuvre "Instabilité" (présentée en 2019 à Andémone, Avignon ; voir Figure), qui consistait en une triangulation de points disposés au hasard sur un carré. La densité des triangles et leur arrangement aléatoire invitaient les observateurs à imaginer des formes imaginaires comme des voiles, des perspectives ou des visages. Dans une autre œuvre, "Trame", présentée en 2016 dans le cadre de l'hommage triptyque à Victor Vasarely, à la Fondation Vasarely d'Aix-en-Provence, cette expérience était poussée plus loin: 25 monolithes de 2m 50 de haut et de 40 cm de largeur étaient placés sur un socle rectiligne de 3m étaient chacun mis en mouvement indépendamment par rapport à l'angle par rapport l'axe vertical. Suivant une chorégraphie prédéfinie, la combinaison des angles provoquait des zones de calme cristallin qui se transformaient rapidement en instants de chaos. Ce procédé permettait de projeter son propre reflet tout en le fragmentant dans l'environnement de l'œuvre, notamment les rithmes colorés de Vasarely, afin de produire un va-et-vient entre les mondes réels et perçus. Il était alors nécessaire pour les observateurs de changer de perspective pour résoudre cette incertitude, illustrant le lien intime entre monde réel et perçu.



Figure 3: **Trame Élasticité** ([Etienne Rey, 2016](#)), dans le cadre de l'hommage triptyque à Victor Vasarely, à la Fondation Vasarely d'Aix-en-Provence du 2 juin au 2 octobre 2016.

Il est encore difficile de comprendre exactement comment nous percevons le monde visuel, mais il semble que, par rapport à la représentation analogique produite par la rétine, la perception manipule un monde numérique d'objets visuels. En effet, à l'image de l'alphabet plastique de Viktor Vasarely, nous manipulons des symboles auquel on peut attribuer des numéros. Par exemple, les contours d'un objet avec un certains nombre d'orientations peuvent suffire à le reconnaître, même s'il s'agit seulement d'une esquisse de traits. Un caractère essentiel de cette organisation perceptive est appelée la "Gestalt", c'est-à-dire, la mise en forme des éléments pour former un tout. L'ensemble de ces règles permettent à notre cerveau de relier les contours en fonction de leur proximité spatiale, leur similarité (par exemple de couleur) ou leur continuité, et d'autres qui permettent de séparer les objets de leur fond. Ces règles forment une sorte de grammaire qui guide notre perception des choses.

La perception nous permet ainsi de relier notre monde intérieur à l'environnement extérieur réel. Selon cette approche phénoménologique, le monde visuel extérieur est une source importante d'inspiration qui alimente notre monde intérieur. La performance artistique, qui est considérée encore comme étant un domaine réservé aux humains, joue un rôle important dans notre vie mentale car elle nourrit la construction de notre perception. L'observation et la création artistique nous permettent de remettre en question et d'enrichir notre compréhension de l'environnement. Un exemple de cette approche est l'œuvre "Les voyageurs" d'Holbein, dans lequel un *memento mori* est seulement perceptible suivant une perspective d'un point de vue excentré? Cette œuvre montre comment un changement de perspective peut donner un sens nouveau à une scène visuelle. Ce lien intime et créatif entre l'œuvre d'art et sa compréhension contribue au plaisir, aux émotions et à l'expérience artistique en général.

La perçaction: voir en agissant sur le monde

Dans notre analyse de la perception visuelle, nous n'avons pas encore pris en compte le facteur temps. En réalité, même si une image atteint notre rétine en quelques millisecondes, il faut du temps pour que notre système visuel puisse la traiter et la représenter sur notre cortex. Il faut environ une

dixième de seconde pour évoquer une activité neurale sur notre cortex et une durée similaire pour produire un mouvement oculaire tel qu'une saccade. La notion de présent est tout relative dans le cerveau. Cela signifie que ce que nous percevons peut en réalité être différent de ce qui est devant nos yeux. Cette complexité rend la perception encore plus difficile et souligne la nécessité d'utiliser des théories avancées, telles que les mathématiques, pour mieux comprendre et reproduire ces mécanismes.

Une avancée importante dans ce domaine est de considérer les formes en prenant en compte les différentes hypothèses de perception que peut générer le cerveau. Par exemple, en plus de mesurer les caractéristiques d'une forme, comme l'orientation verticale d'une ligne, on peut considérer que le cerveau représente toutes les orientations possibles d'une ligne. Pour comprendre ce que peut nous apporter cette approche, différentes méthodes peuvent être utilisées. La grammaire de l'organisation perceptive peut être définie en utilisant les règles de la Gestalt pour comprendre comment les formes sont associées pour produire une perception. De manière complémentaire, la perception peut être comprise en termes d'évolution des espèces, comme un mécanisme qui a émergé pour permettre aux systèmes vivants d'optimiser leur chance de survie.

L'évolution favorise la capacité d'adaptabilité, ce qui signifie que nous pouvons faire face à des changements pour y répondre efficacement. L'organisation rétinotopique que nous avons décrite précédemment en est la parfaite illustration : La fovea permet en effet de mieux distinguer un objet qui est dans l'axe de vue dans toutes ses couleurs, un avantage évolutif pour les prédateurs que nous sommes. Des animaux comme les lapins, qui sont des proies, en sont dépourvus. Toutefois, une fovea serait inutile sans la capacité à pouvoir bouger les yeux et donc le regard. Nous avons la capacité à produire une large gamme de ces mouvements, pour stabiliser l'image, mais aussi pour sauter sur la position d'un objet et ensuite suivre son mouvement. Cette nouvelle perspective change radicalement la compréhension de la perception. Celle-ci peut donc être considérée comme un mécanisme qui intègre une sensation déformée et retardée avec des mouvements oculaires pour créer un monde visuel interne stable et unique. Cette théorie aide à mieux comprendre la perception comme un atout dans l'évolution de notre espèce.

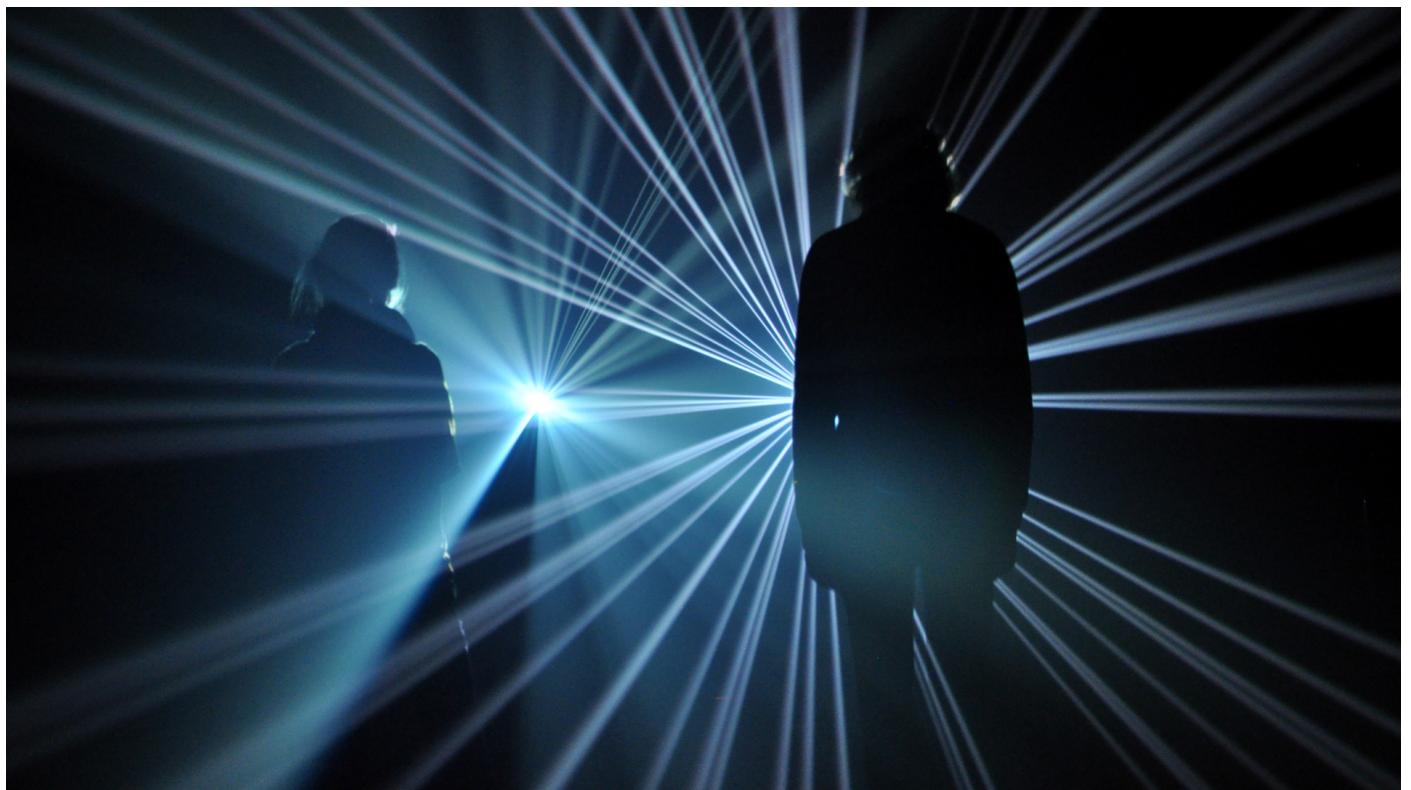


Figure 4: Tropique ([Etienne Rey, 2013](#)) Capture de deux personnes plongées dans la sculpture formée par la projection de segments dynamique dans l'espace de l'installation.

"Tropique" est une installation artistique créée par Etienne Rey en collaboration avec Wilfried Wendling pour la sonorité et sous mon expertise scientifique. Elle a été produite pour l'Année européenne de la culture d'Aix-Marseille et présentée en 2013 à la fondation Vasarely. Cette installation immersive consiste en une sculpture le lumière incluse dans un espace fermé de 20 mètres de longueur sur 15 mètres de large placée. La salle est remplie de minuscules billes d'eau transparentes en suspension qui produisent une diffraction visible lorsqu'elles sont illuminées par les vidéoprojecteurs qui sont placés aux bords opposés de la salle. Les sources de lumière projettent des segments qui composent l'alphabet de la sculpture. Chaque segment est caractérisé par sa position, sa longueur et son orientation et chacun crée une lame de lumière dans l'espace de la salle. Une fois les segments combinés, ils forment un monde propre à la sculpture et isolé du monde habituel. Nous avons alors créé une grammaire qui régissait les mouvements des différents segments, inspirés des forces d'attractions et de répulsions qui sont observés aux tailles microscopiques des cellules et macroscopique des galaxies. Cette population de segments évoluait alors comme un système autonome, sans scénario pré-écrit ou enregistré et complété par une synchronisation des différentes sources de lumière ainsi que du système de génération aptiale du son. Un point crucial de l'installation était d'introduire une interaction intime entre ce système et chaque observateur. Un système discret de capteurs de mouvement permettait alors de localiser la présence des différents observateurs et de modifier la configuration de la sculpture en fonction de leurs mouvements. Le système évoluait ainsi de façon autonome d'une sculpture de lumière que l'on pouvait observer et toucher à une configuration dans laquelle le spectateur était plongé dans un monde propre, intime. Dans cet état, les segments alignés autour de l'observateur formaient une "aura" où tout repère de perspective était perdu. Ce dispositif, en manipulant visible et invisible, levait alors le voile sur des mécanismes cachés de la perception.

En manipulant formes et perceptions, l'importance de la créativité est mise en avant par ce genre d'initiative artistique. Alors que les intelligences artificielles entraînées sur de larges bases de données sensorielles et de renforcement peuvent maintenant converser de manière naturelle ou générer du son, des images ou des vidéos, ceux-ci sont encore facilement trompés. Notre jugement critique est toujours essentiel pour distinguer ce qui est créatif. Un aspect essentiel qui manque à ces agents artificiels est notamment cette capacité à nous engager corporellement dans le monde visuel. Cet aspect était essentiel dans "Tropique". Les spectateurs questionnaient spontanément le monde de la sculpture en se déplaçant corps et âme dans l'espace de telle sorte à apprivoiser ce monde nouveau, mais étrangement familier. Rapidement, ils pouvaient en comprendre les règles et résonner avec les émotions liées aux dynamiques tantôt rapides tantôt contemplatives et générées de façon autonome par l'installation.

Voir a t-il un sens ?

Pour conclure, nous levons un voile sur le sens de la vision, sur sa fonction comme synergie entre formes sensorielles et perception. Cette synergie définit notre "cinéma interne" qui, à l'analogue de notre voix interne, définit pour une large part notre identité. Art et sciences questionnent ce rapport avec des outils différents mais complémentaires et permettent de redéfinir notre rapport au monde en tant qu'individus et en tant qu'espèce.

This manuscript is a template (aka "rootstock") for [Manubot](#), a tool for writing scholarly manuscripts. Use this template as a starting point for your manuscript.

The rest of this document is a full list of formatting elements/features supported by Manubot. Compare the input (`.md` files in the `/content` directory) to the output you see below.

Basic formatting

Bold text

Semi-bold text

Centered text

Right-aligned text

Italic text

Combined *italics* and **bold**

~~Strikethrough~~

1. Ordered list item
 2. Ordered list item
 - a. Sub-item
 - b. Sub-item
 - i. Sub-sub-item
 3. Ordered list item
 - a. Sub-item
- List item
 - List item
 - List item

subscript: H₂O is a liquid

superscript: 2¹⁰ is 1024.

[unicode superscripts](#)⁰¹²³⁴⁵⁶⁷⁸⁹

[unicode subscripts](#)₀₁₂₃₄₅₆₇₈₉

A long paragraph of text. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Putting each sentence on its own line has numerous benefits with regard to [editing](#) and [version control](#).

Line break without starting a new paragraph by putting two spaces at end of line.

Document organization

Document section headings:

Heading 1

Heading 2

Heading 3

Heading 4

Heading 5

Heading 6

A heading centered on its own printed page

Horizontal rule:

Heading 1's are recommended to be reserved for the title of the manuscript.

Heading 2's are recommended for broad sections such as *Abstract*, *Methods*, *Conclusion*, etc.

Heading 3's and Heading 4's are recommended for sub-sections.

Links

Bare URL link: <https://manubot.org>

[Long link with lots of words and stuff and junk and bleep and blah and stuff and other stuff and more stuff yeah](#)

[Link with text](#)

[Link with hover text](#)

[Link by reference](#)

Citations

Citation by DOI [1].

Citation by PubMed Central ID [2].

Citation by PubMed ID [3].

Citation by Wikidata ID [4].

Citation by ISBN [5].

Citation by URL [6].

Citation by alias [7].

Multiple citations can be put inside the same set of brackets [1,5,7]. Manubot plugins provide easier, more convenient visualization of and navigation between citations [2,3,7,8].

Citation tags (i.e. aliases) can be defined in their own paragraphs using Markdown's reference link syntax:

Referencing figures, tables, equations

Figure 5

Figure 6

[Figure 7](#)

[Figure 8](#)

[Table 1](#)

[Equation 1](#)

[Equation 2](#)

Quotes and code

Quoted text

Quoted block of text

Two roads diverged in a wood, and I—
I took the one less traveled by,
And that has made all the difference.

Code `in the middle` of normal text, aka `inline code`.

Code block with Python syntax highlighting:

```
from manubot.cite.doi import expand_short_doi

def test_expand_short_doi():
    doi = expand_short_doi("10/c3bp")
    # a string too long to fit within page:
    assert doi == "10.25313/2524-2695-2018-3-vliyanie-enhansera-copia-i-
        insulyatora-gypsy-na-sintez-ernk-modifikatsii-hromatina-i-
        svyazyvanie-insulyatornyh-belkov-vtransfetsirovannyh-geneticheskikh-
        konstruktsiyah"
```

Code block with no syntax highlighting:

```
Exporting HTML manuscript
Exporting DOCX manuscript
Exporting PDF manuscript
```

Figures

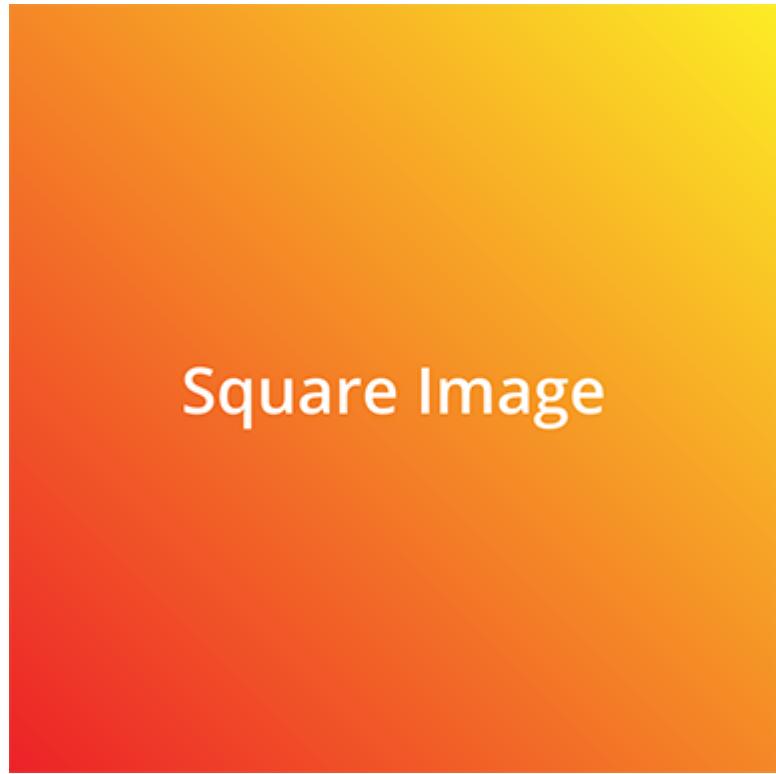


Figure 5: A square image at actual size and with a bottom caption. Loaded from the latest version of image on GitHub.

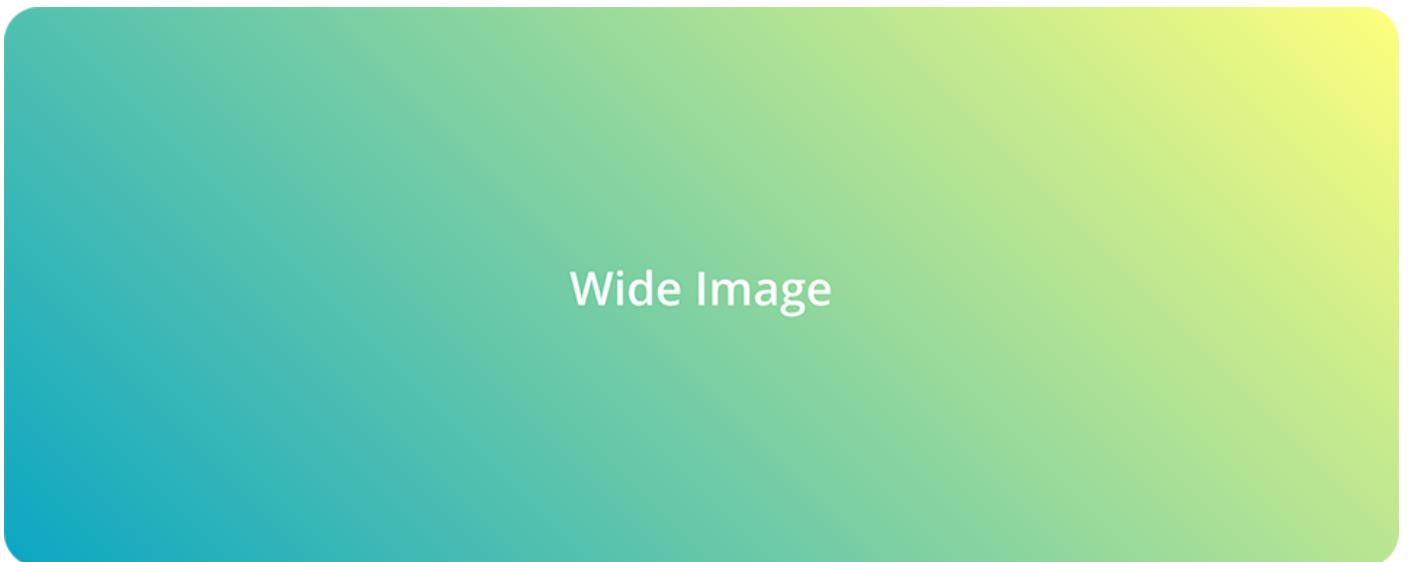


Figure 6: An image too wide to fit within page at full size. Loaded from a specific (hashed) version of the image on GitHub.

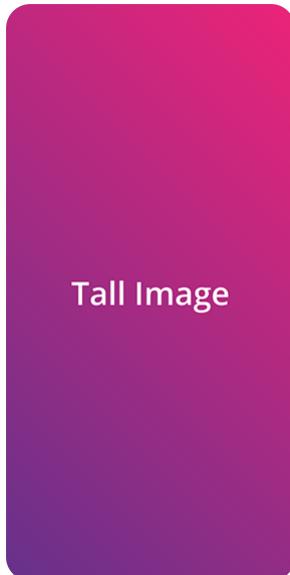


Figure 7: A tall image with a specified height. Loaded from a specific (hashed) version of the image on GitHub.

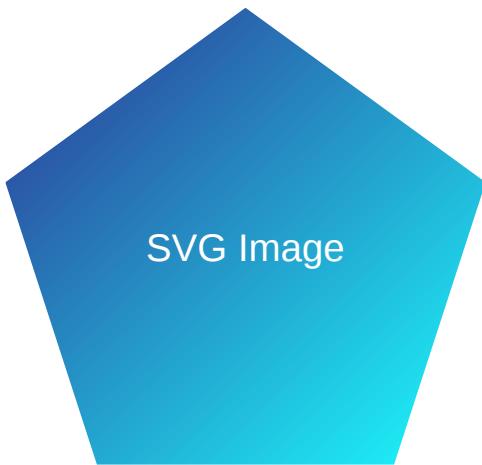


Figure 8: A vector .svg image loaded from GitHub. The parameter `sanitize=true` is necessary to properly load SVGs hosted via GitHub URLs. White background specified to serve as a backdrop for transparent sections of the image.

Tables

Table 1: A table with a top caption and specified relative column widths.

Bowling Scores	Jane	John	Alice	Bob
Game 1	150	187	210	105
Game 2	98	202	197	102
Game 3	123	180	238	134

Table 2: A table too wide to fit within page.

	Digits 1-33	Digits 34-66	Digits 67-99	Ref.
pi	3.14159265358979323 846264338327950	28841971693993751 0582097494459230	78164062862089986 2803482534211706	piday.org
e	2.71828182845904523 536028747135266	24977572470936999 5957496696762772	40766303535475945 7138217852516642	nasa.gov

Table 3: A table with merged cells using the `attributes` plugin.

	Colors	
Size	Text Color	Background Color
big	blue	orange
small	black	white

Equations

A LaTeX equation:

$$\int_0^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (1)$$

An equation too long to fit within page:

$$x = a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + p + q + r + s + t + u + v + w + x + y + z + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 \quad (2)$$

Special

⚠ WARNING The following features are only supported and intended for `.html` and `.pdf` exports. Journals are not likely to support them, and they may not display correctly when converted to other formats such as `.docx`.

LINK STYLED AS A BUTTON

Adding arbitrary HTML attributes to an element using Pandoc's attribute syntax:

Manubot Manubot Manubot Manubot Manubot. Manubot Manubot Manubot Manubot.
Manubot Manubot Manubot. Manubot Manubot. Manubot.

Adding arbitrary HTML attributes to an element with the Manubot `attributes` plugin (more flexible than Pandoc's method in terms of which elements you can add attributes to):

Manubot Manubot Manubot Manubot Manubot. Manubot Manubot Manubot Manubot.
Manubot Manubot Manubot. Manubot Manubot. Manubot.

Available background colors for text, images, code, banners, etc:

white lightgrey grey darkgrey black lightred lightyellow lightgreen
lightblue lightpurple red orange yellow green blue purple

Using the [Font Awesome](#) icon set:

✓ ? ★ 🔍 ✖ ...

 **Light Grey Banner**

useful for *general information* - manubot.org

 **Blue Banner**

useful for *important information* - manubot.org

 **Light Red Banner**

useful for *warnings* - manubot.org

References

1. **Sci-Hub provides access to nearly all scholarly literature**
Daniel S Himmelstein, Ariel Rodriguez Romero, Jacob G Levernier, Thomas Anthony Munro, Stephen Reid McLaughlin, Bastian Greshake Tzovaras, Casey S Greene
eLife (2018-03-01) <https://doi.org/ckcj>
DOI: [10.7554/elife.32822](https://doi.org/10.7554/elife.32822) · PMID: [29424689](#) · PMCID: [PMC5832410](#)
2. **Reproducibility of computational workflows is automated using continuous analysis**
Brett K Beaulieu-Jones, Casey S Greene
Nature biotechnology (2017-04) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6103790/>
DOI: [10.1038/nbt.3780](https://doi.org/10.1038/nbt.3780) · PMID: [28288103](#) · PMCID: [PMC6103790](#)
3. **Bitcoin for the biological literature.**
Douglas Heaven
Nature (2019-02) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30718888>
DOI: [10.1038/d41586-019-00447-9](https://doi.org/10.1038/d41586-019-00447-9) · PMID: [30718888](#)
4. **Plan S: Accelerating the transition to full and immediate Open Access to scientific publications**
cOAlition S
(2018-09-04) <https://www.wikidata.org/wiki/Q56458321>
5. **Open access**
Peter Suber
MIT Press (2012)
ISBN: 9780262517638
6. **Open collaborative writing with Manubot**
Daniel S Himmelstein, Vincent Rubinetti, David R Slochower, Dongbo Hu, Venkat S Malladi, Casey S Greene, Anthony Gitter
Manubot (2020-05-25) <https://greenelab.github.io/meta-review/>
7. **Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine**
Travers Ching, Daniel S Himmelstein, Brett K Beaulieu-Jones, Alexandr A Kalinin, Brian T Do, Gregory P Way, Enrico Ferrero, Paul-Michael Agapow, Michael Zietz, Michael M Hoffman, ...
Casey S Greene
Journal of The Royal Society Interface (2018-04) <https://doi.org/gddkhn>
DOI: [10.1098/rsif.2017.0387](https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0387) · PMID: [29618526](#) · PMCID: [PMC5938574](#)
8. **Open collaborative writing with Manubot**
Daniel S Himmelstein, Vincent Rubinetti, David R Slochower, Dongbo Hu, Venkat S Malladi, Casey S Greene, Anthony Gitter
PLOS Computational Biology (2019-06-24) <https://doi.org/c7np>
DOI: [10.1371/journal.pcbi.1007128](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007128) · PMID: [31233491](#) · PMCID: [PMC6611653](#)