

« *Le Rayon Extraordinaire* »... quand la polarisation inspire l'art

Fred MURIE¹, Flavien THÉRY¹, Julien FADE^{2,3,*}

¹ Collectif Spéculaire, F-35000 Rennes, France

² Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, F-35000 Rennes, France

³ Aix-Marseille Univ, École Centrale Méditerranée, CNRS, Institut Fresnel – UMR 7249, F-13000 Marseille, France

*julien.fade@fresnel.fr

© G. Julien / Service Culture / Univ. Rennes



Le projet de création Art & Sciences et l'exposition « *Le Rayon Extraordinaire* » visent à croiser des recherches artistiques et scientifiques autour du phénomène de polarisation de la lumière. À l'issue d'une résidence d'artistes de deux ans à l'Institut Foton (Univ. Rennes), une vingtaine d'œuvres originales proposent une expérience sensible d'une réalité d'ordinaire imperceptible à nos yeux, explorant aussi bien ses aspects fondamentaux que ses liens avec nos technologies du quotidien ou encore le vivant...

<https://doi.org/10.1051/photon/202312026>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Visiter « *Le Rayon Extraordinaire* », c'est vivre une expérience sensorielle complète, à la rencontre d'une réalité physique « invisible » à nos yeux : la polarisation de la lumière. En pénétrant dans l'exposition, le spectateur se retrouve immergé dans une atmosphère obscure de laboratoire d'optique où brillent des œuvres lumineuses aux formats divers, associant principes optiques et technologies numériques, dans une esthétique de science fiction. La bande originale de l'exposition, composée pour l'occasion par le musicien Thomas Poli et diffusée dans la salle, contribue à installer un climat propice à l'immersion et à la contemplation des œuvres pour inviter les visiteurs à explorer cette dimension cachée, révélant une porosité entre les mondes réel et virtuel, naturel et artificiel. Durant sa présentation aux

Champs Libres à Rennes, de novembre 2022 à mars 2023, l'exposition « *Le Rayon Extraordinaire* » a touché un large public de près de 30 000 personnes, témoignant de l'équilibre trouvé entre une démarche artistique exigeante sur un sujet scientifique – pouvant paraître aride de prime abord – et une proposition accessible au plus grand nombre.

Ce projet est né en 2015 de la rencontre du duo d'artistes rennais Flavien Théry & Fred Murie [1] avec le chercheur Julien Fade de l'Institut Foton (Univ Rennes/CNRS) à l'occasion de l'année internationale de la lumière. Mais c'est en 2020 qu'il prend corps sous l'impulsion des Champs Libres et du Service Culturel de l'Université de Rennes à travers la coproduction d'une exposition et la mise en place d'une résidence d'artistes au sein de l'Institut Foton entre

septembre 2020 et août 2022. Pendant deux ans, les artistes se sont immergés dans le quotidien d'un laboratoire d'optique. Ils ont partagé leurs interrogations et leurs expériences avec les personnels de l'équipe de recherche dans un véritable dialogue Art & Science – conduisant même certaines pièces artistiques à être cosignées entre artistes et chercheur – sans rien concéder à une forme de « rigueur » scientifique du propos artistique. La résidence de création a pu également bénéficier des moyens techniques de l'université (électronique, mécanique, FabLab...) et profiter des richesses des collections universitaires (collections de zoologie, minéralogie et instruments scientifiques anciens) mises à leur disposition par le Service Culturel pour la conception de plusieurs pièces artistiques.

Le résultat de ce travail est une exposition d'une vingtaine d'œuvres présentées sur 400 m² et mêlant une diversité de formats plus ou moins « contemporains » : du crayonné au fusain au casque à réalité virtuelle, de la peinture à l'huile au cinéma 3D, de la sculpture en plâtre aux dispositifs numériques à double écrans à cristaux liquides... Ces derniers, conçus à partir de téléviseurs LCD modifiés, sont utilisés depuis longtemps dans les créations de Flavien Théry car ils permettent de créer l'illusion de formes animées se déployant en profondeur dans l'espace vide entre deux trames vidéos complémentaires et astucieusement affichées sur les écrans en avant et arrière plan.

Le parcours de l'exposition présente une logique à la fois chronologique et esthétique : les premières œuvres s'inspirent des concepts fondamentaux de la polarimétrie (rayons ordinaires/extraordinaires, surface des indices de Fresnel, biréfringence,...) tandis que la seconde partie de l'exposition aborde les notions de perception de cette information « cachée », liées à l'imagerie polarimétrique et la vision polarimétrique dans le règne animal. La charnière entre ces deux parties s'opère au niveau de la pièce « *Tu contemples ton âme* », où une



Figure 1. Vue d'ensemble de l'exposition « Le Rayon Extraordinaire » en salle Anita Conti des Champs Libres à Rennes, du 15 novembre 2022 au 5 mars 2023. Une vingtaine d'œuvres ou de séries ont pu être présentées à un public de près de 30 000 personnes. (© G. Julien/Service Culture/Univ Rennes)

image uniformément blanche diffusée par un écran de télévision modifié se révèle être une surface océanique mouvante et graphique, en noir et blanc, dans le reflet d'une glace noire, hommage aux polariseurs ancestraux utilisés par les opticiens des siècles passés. Servies par une scénographie d'exposition judicieuse, plusieurs œuvres se font écho l'une à l'autre,

offrant ainsi un parcours cohérent au spectateur malgré la grande diversité de formes. S'il n'est malheureusement pas possible ici de traduire fidèlement cette expérience sensorielle, ni d'explicitier l'ensemble des œuvres, nous proposons dans la suite de cet article de détailler quelques clés de lecture scientifiques et artistiques de certaines pièces de l'exposition.

**LA FLEXIBILITÉ ET L'EXPERTISE
AU SERVICE DE L'INNOVATION**

LEDs UV

LED / MODULES LED / SOLUTIONS DÉDIÉES
SERVICE SUR MESURE / POUR PETITES À GRANDES SÉRIES

CARACTÉRISTIQUES
De 255nm à 405nm - Boîtier CMS ou traversant - Longue durée de vie - Large choix d'angles de distribution optique - Fortes puissances optiques - Lentilles verre/UV ou Silicon.

EXCLUSIVITÉ
Modules UVC/275nm (jusque 1000mW optiques) avec LED WICOP, forte densité mW/mm², chip compact (960x600µm), sans bonding.

Pour compléter cette technologie HTDS fournit également une gamme de photodiodes UV pour vos besoins de mesure UV.

APPLICATIONS
Décontamination - Stérilisation surfaces, fluides et air - Analyse de gaz - Spectroscopie - Curing - Fluorescence - Effets spéciaux - Forensic - Détection de contrefaçon...



Figure 2. L'installation « Le Rayon extraordinaire » (a) donne l'illusion qu'un cristal de calcite colore un faisceau laser blanc incident pour former deux rayons aux couleurs complémentaires qui évoluent avec la rotation du cristal (b). Un effet de sélection polarimétrique est en réalité à l'œuvre dans ce phénomène en choisissant judicieusement les polarisations des trois lasers (RVB) combinés dans le faisceau blanc (c). (© G. Julien/Service Culture & J. Fade/Univ Rennes)

La première œuvre présentée à l'entrée de l'exposition prend la forme d'une véritable manipulation de laboratoire (Fig. 2.a). Pièce éponyme de l'exposition, elle utilise un cristal naturel massif de calcite poli pour donner à voir le phénomène de double réfraction – qui a mené à la découverte des effets de polarisation au XVI^e siècle – sous une forme originale. Le défi créatif de cette pièce a été d'exploiter ce phénomène extrêmement connu et documenté en enseignement et vulgarisation pour l'exploiter esthétiquement de façon inédite. Dans « *Le Rayon Extraordinaire* », un laser « blanc » est séparé en deux rayons aux couleurs distinctes et changeantes au gré de la rotation du minéral de calcite (Fig. 2.b). Un dispositif fumigène permet de révéler les faisceaux laser à travers un brouillard léger et fantomatique, augmentant l'impression d'étrangeté et de surnaturel de cette œuvre interactive, qui s'allume et se met en mouvement en présence de visiteurs. Le choix des matières et le soin apporté à sa réalisation rappelle le haut niveau de finition et d'esthétique des instruments scientifiques anciens, source d'inspiration pour les artistes.

La coloration des rayons à travers le cristal repose en réalité sur une « illusion » polarimétrique. Le rayon blanc incident résulte de la superposition de trois faisceaux rouge, vert et bleu, dont les polarisations linéaires sont ajustées à 120° l'une de l'autre (Fig. 2.c). En pénétrant la calcite, chacune de ces trois polarisations se retrouve projetée sur les axes propres de propagation du cristal anisotrope, avec plus ou moins d'efficacité selon l'angle entre l'axe de polarisation

incident et l'orientation des axes propres du cristal. En sortie, les deux rayons ordinaires et extraordinaires séparés lors de la propagation dans le matériau anisotrope présentent alors des couleurs complémentaires et changeantes au fur et à mesure de la rotation. En effet, il est intéressant de noter que le choix de disposer les polarisations du faisceau blanc (RVB) incident selon une symétrie d'ordre 3 implique que les colorations des faisceaux de sortie sont nécessairement complémentaires, c'est-à-dire opposées sur le cercle chromatique, sur lequel les couleurs primaires rouge, verte et bleue sont disposées à 120° les unes des autres... En revisitant une expérience plus que classique, cette œuvre d'art – ou devrait-on dire ici cette manip ? – permet de relier polarisation et colorimétrie au travers d'un phénomène visuel, saisissant et esthétique.

Le lien étroit entre polarisation et vivant fut une autre grande source d'inspiration de ce travail de résidence. En particulier, la question de la « sensibilité » polarimétrique qui sous-tend une grande part de l'exposition, et l'idée que la polarisation pouvait véhiculer un sens « caché » indiscernable aux yeux non initiés se retrouvaient naturellement dans une des plus fascinantes espèces sous-marines : la seiche, céphalopode aux propriétés optiques hors du commun. Les céphalopodes font en effet partie des animaux qui ont développé une vision sensible à ces propriétés ondulatoires de la lumière (avec certains insectes, poissons...). Si l'on sait que les abeilles exploitent les contrastes de polarisation du ciel pour s'orienter, l'utilisation de la polarisation

par les seiches est encore plus fascinante : elles s'en serviraient pour distinguer une proie (ou un prédateur) de son image réfléchi à la surface de l'eau – le miroir d'eau ayant tendance à polariser la lumière qui s'y reflète. Mais les recherches récentes sur le comportement de ces animaux fantastiques suggèrent une hypothèse encore plus incroyable : les seiches, championnes incontestées du camouflage et du mimétisme adaptatif sous-marin, pourraient avoir développé une communication intra-espèce basée sur l'émission de motifs polarisés sur leur épiderme [2]. Des cellules appelées iridophores sont à l'origine de cette polarisation par réflexion sur certains organes de la seiche (le long des bras-tentacules) tandis que les cellules chromatiques de l'épiderme (chromatophores), qui assurent l'essentiel du travail de camouflage, ne possèdent pas cette propriété.

Ce sont précisément ces signatures polarisées, rarement observées jusqu'ici, que nous nous sommes mis au défi de capter et de sublimer dans les pièces « *Les discrètes* » et « *Le secret* » de l'exposition. Accueillis au Marinarium de la station marine de Concarneau (Museum National d'Histoire Naturelle) durant une semaine de mars 2021, nous avons pu exploiter une caméra polarimétrique de dernière génération (intégrant un capteur muni d'une grille de micropolariseurs) [3] pour filmer un spécimen de seiche élevé en captivité et déceler ces motifs polarisés qui s'expriment fugacement, au gré de l'humeur de l'animal. Loin d'un travail rigoureux d'éthologie, ces captations contribuent néanmoins

à confirmer la réalité de ces signatures en lumière polarisée exprimées sur les bras de la seiche !

La restitution sous forme artistique de ce travail de collecte a longuement mûri, passant de l'idée d'un « aquarium vidéo » à une diffusion des signaux polarisés en fausses couleurs sur un dispositif à double-écrans, le second écran affichant l'image brute en niveau de gris du capteur polarimétrique (« *Les discrètes* »). Mais c'est justement la basse résolution et la trame toute particulière de ce détecteur polarimétrique à division de plan focal qui ont inspiré aux artistes le choix audacieux de restituer une image statique mais monumentale de la seiche sous la forme d'une tapisserie numérique au point d'Aubusson (Fig. 3.a), parfaitement adaptée à la granularité de l'image brute du capteur. Ce procédé nous a permis de faire effectuer le tissage au moyen de 3 fils colorés (noir, blanc, gris) auquel s'adjoint un fil métallisé doré qui vient tisser les signatures polarimétriques sur l'épiderme de la seiche (Fig. 3.b). En illuminant la tapisserie « *Le secret* » en lumière polarisée linéairement, et en exploitant la préservation de la polarisation sur une réflexion métallique (contrairement aux autres fils), le signal polarimétrique est alors révélé au spectateur lorsqu'il observe l'œuvre à travers un petit dispositif polarisant à cristaux liquides qui permet de faire « battre » ce message secret de la seiche. Ainsi, ce médium de la tapisserie s'est imposé

comme « incarnation » idéale de l'image, lui donnant une vraie présence matérielle et un certain caractère organique. Si la technique est résolument contemporaine, la référence au champ de la tapisserie inscrit le sujet dans une temporalité autre, lui conférant une dimension quasi mythologique...

Au-delà de la manifestation ou de la captation de l'information polarimétrique, la recherche Art & Science s'est également orientée vers la question de la représentation et de la visualisation de cette « dimension cachée », qui intéressait les partenaires aussi bien artistes que scientifiques. Il s'agit dans un cas comme dans l'autre de permettre de « rendre visible », ou plus facilement appréhendable, quantifiable, des phénomènes ou des notions qui restent sinon trop évanescents, théoriques ou abstraits pour pouvoir s'en faire une représentation mentale. Cette démarche exploratoire sur la représentation sensorielle et mentale de l'information polarimétrique rejoint à la fois des problématiques scientifiques réelles [4] et des champs de recherche artistiques et poétiques.

En effet, même quand l'information polarimétrique se retrouve résumée à un seul paramètre numérique scalaire – comme souvent dans beaucoup d'applications concrètes –, l'artiste ou le chercheur est à court de moyens pour la représenter, sur une image couleur, de façon sensible et quantitative à nos sens visuels limités. Parmi les solutions exploitées ●●●

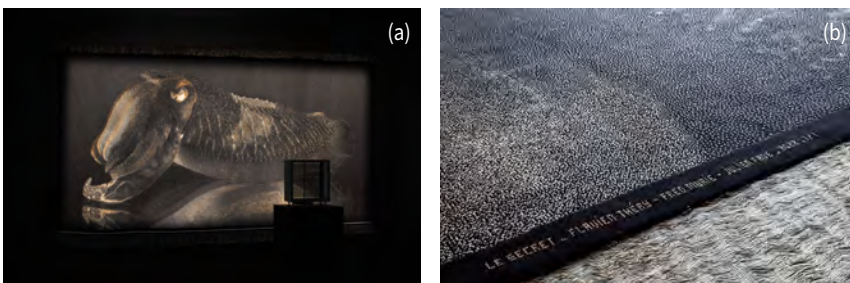


Figure 3. (a) La tapisserie numérique au point d'Aubusson « *Le secret* » présentait en très grand format le signal polarimétrique émis sur les bras de la seiche filmée au moyen d'un capteur polarimétrique. (b) Grâce au tissage (vue de détail sur la figure) réalisé en quadrichromie incluant un fil métallisé doré et à l'illumination de la tapisserie en lumière polarisée, le public pouvait observer ce signal battre à travers un dispositif polarisant à cristaux liquides placé devant l'œuvre. (© Spéculaire) ●●●

INNOVATIONS EN SPECTROMÉTRIE
COMPACTÉ | PERFORMANCES | COÛT

SPECTROMÈTRE RAMAN ULTRA COMPACT

- ▲ Gamme spectrale : 400-4500 cm^{-1}
- ▲ Résolution 7-15 cm^{-1}

NEW !



Prix de lancement 10 K€

SPECTROMÈTRE ULTRA HAUTE RÉOLUTION

- ▲ Gamme spectrale : 450-1030 nm
- ▲ Pouvoir de résolution : ~15 000
- ▲ Poids : 650 g

NEW !



Prix de lancement 12,5 K€

MINI MICROSCOPE RAMAN

- ▲ Excitation laser : 405-785 nm
- ▲ Gamme spectrale : 50-4500 cm^{-1}
- ▲ Résolution : 2-15 cm^{-1}

NEW !



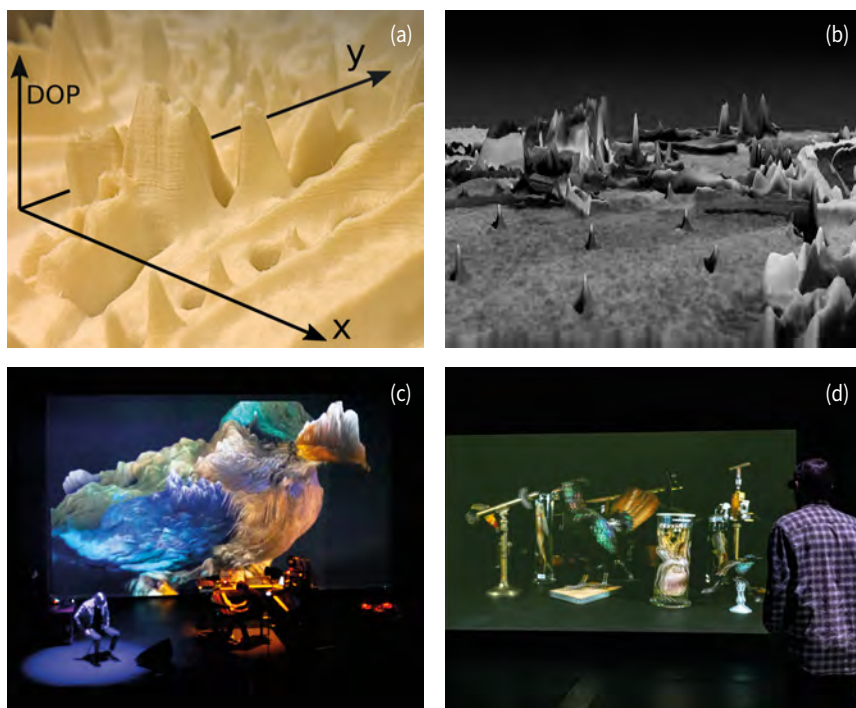


Figure 4. Plusieurs pièces de l'exposition reposent sur l'utilisation de la 3^e dimension de l'espace pour encoder une information polarimétrique scalaire (degré de polarisation, DOP) (a) : cet artifice permet de « donner à voir » cette information cachée, et révéler des paysages fantastiques, comme si l'on basculait dans une réalité alternative (b). Divers formats exploitent cette approche originale dans l'exposition : impression 3D (a), tirage photographique (b), réalité virtuelle (c) ou projection monumentale 3D à lunettes polarisantes (d). (© J. Fade/Univ Rennes, Spéculaire, G. Julien/Service Culture/Univ Rennes)

pour donner à voir le contraste de degré de polarisation (qui quantifie la façon dont l'objet imagé dépolariise – « désordonne » – plus ou moins l'état polarimétrique d'éclairement [4]), nous avons proposé d'utiliser la troisième dimension spatiale, l'« altitude » venant encoder directement le degré de polarisation (Fig. 4.a).

Cet artifice permet de révéler cette information cachée, mais offre surtout un potentiel de création et d'imagination extraordinaire, chaque image à deux dimensions se transfigurant alors sous la forme d'un « paysage » façonné par les propriétés polarimétriques des objets imagés, et dans lequel le spectateur peut s'immerger. Ces paysages polarimétriques ont été exploités dans plusieurs pièces de l'exposition, sous des formes plastiques différentes : impression 3D (Fig. 4.a), tirages photographiques (Fig. 4.b), restitution vidéo, réalité virtuelle

(Fig. 4.c) ou encore projection murale tridimensionnelle à lunettes polarisantes (Fig. 4.d). Cette dernière installation emporte le spectateur dans une mise en abyme circulaire : on donne à voir la polarisation par l'artefact d'une profondeur artificielle... elle-même rendue visible à l'œil par un dispositif technologique reposant sur... la polarisation de la lumière !

Pour conclure, si nos sens ne nous donnent accès qu'à une infime part de la réalité, les sciences, tout comme les arts, n'ont de cesse de dépasser cet environnement tangible et observable. L'exposition « *Le rayon extraordinaire* » entendait ainsi s'aventurer au-delà de notre perception pour nous dévoiler un monde qui suscite l'émerveillement et impose le respect. Au vu de la fréquentation et des retours sur l'exposition et sur les événements annexes (conférence scientifique grand public, débat art & science, performance/concert), les acteurs du projet ont le sentiment d'avoir réussi ce pari à travers une aventure humaine d'une extraordinaire richesse, au croisement de deux disciplines si différentes mais dont les démarches sont finalement si semblables. ●

Pour en savoir plus

- Site web de l'exposition <https://www.leschampslibres.fr/expositions/expositions-passees/le-rayon-extraordinaire/>
- Thomas Poli, vinyle *Le Rayon Extraordinaire*, <https://impersonalfreedom.bandcamp.com/>
- « Fred Murie & Flavien Théry, artistes spéculaires », P. Dorval, https://www.leschampslibres.fr/fileadmin/Champs_Libres/Documents/Photos/Expos/2022/Le_rayon_extraordinaire/rayonextra-articleartistesspeculaires-philipedorval.pdf
- « Regard scientifique sur *Le Rayon Extraordinaire* », J. Fade, https://www.leschampslibres.fr/fileadmin/Champs_Libres/Documents/Photos/Expos/2022/Le_rayon_extraordinaire/rayonextra-article-regardscientifiquepolarisation-julienfade.pdf
- Conférence grand public à l'Espace des Sciences de Rennes, 29/11/2022, <https://www.espace-sciences.org/conferences/la-polarisation-de-la-lumiere-du-rayon-extraordinaire-aux-applications-modernes>

RÉFÉRENCES

- [1] <https://www.speculaire.fr>
- [2] N. Shashar *et al.*, *J. of Exp. Bio.* **199**, 2077 (1996)
- [3] J. Fade *et al.*, *Photoniques* **109**, 57 (2021)
- [4] A. W. Kruse *et al.*, *Opt. Eng.* **58**, 082414 (2019)