

Des hologrammes bisontins : Voyage dans la troisième dimension

Baptiste Cottard

Chargé des collections scientifiques et techniques
Chercheur associé au LIR3S
Université de Bourgogne

Maxime Jacquot

Directeur du département optique
Professeur en Optique Physique à l'université de Franche-Comté
Institut FEMTO-ST, CNRS et Université de Bourgogne Franche-Comté

Gilbert Tribillon

Ingénieur de recherche retraité du Laboratoire d'Optique P.M. Duffieux
Co-inventeur des hologrammes

La Franche-Comté et plus précisément Besançon possède une histoire riche dans le domaine des sciences et des techniques. Outre l'horlogerie dont il est possible de voir les trésors au musée du temps, la ville a acquis une certaine réputation dans le domaine de la physique et de l'optique. En 1845, Besançon voit s'ouvrir à la fois la faculté des sciences et le laboratoire de physique générale. Les bâtiments placés au centre ville sont modestes et le nombre d'étudiants n'est alors pas très important. Considéré comme un lieu de passage, la faculté des sciences voit se multiplier les professeurs qui ne viennent travailler que pour de brefs séjours. Il faut attendre la fin de la seconde guerre mondiale dès 1945 pour qu'une nouvelle impulsion soit donnée à ce champs de recherche avec l'arrivée de Pierre-Michel Duffieux. A la tête de la chaire de physique, il réussit à faire de Besançon un centre de métrologie optique. En 1960, pour préparer le nouveau campus de La Bouloie, il conçoit un bâtiment isolé des vibrations mais aussi contrôlé en température et en pression. Le déménagement s'effectue en 1965. Toujours dans les années 1960, Jean-Charles Viénot reprend la succession du laboratoire pour continuer la dynamique et amplifier son rayonnement à l'international. Accompagné de quatre autres chercheur.e.s, d'une ingénieure et de deux techniciens, il réalise dès 1962 l'un des premiers lasers de France. En 1966, il travaille sur les hologrammes et les applications dans le domaine de l'Optique de Fourier et de l'interférométrie holographique.

Après la labellisation d'une première équipe de recherche par le CNRS, le laboratoire de physique générale deviendra le laboratoire d'optique P. M. Duffieux, rattaché au CNRS en tant qu'unité mixte de recherche. Ces différentes mutations amènent le laboratoire à devenir un des piliers fondateurs au sein de l'institut FEMTO-ST¹, reconnu aujourd'hui, pour l'intégrer en tant que département Optique.

Depuis sa création, le laboratoire de physique générale a connu de nombreux travaux révolutionnaires en matière d'optique. Nous pouvons citer à ce titre les recherches de Paul Joubin et Jules Chaudier sur la polarisation de la lumière au carrefour des XIXème et XXème siècles. S'ensuivent la création du premier microscope électronique de France en 1935 avec l'équipe de Jean-Jacques Trillat, l'étude et la réalisation des premiers lasers français par les équipes de Jean-Charles Viénot, les travaux en optique non linéaire de Claude Froehly ou encore les recherches dans le domaine de l'interférométrie dans les années 1960. Autant de jalons participant à l'histoire récente du département Optique de l'institut FEMTO-ST et à sa reconnaissance actuelle.

D'un point de vue patrimonial, l'institut conserve aujourd'hui un ensemble important de plus de 200 instruments de physique datant principalement du XIXème et de la première moitié du XXème siècle. Une cinquantaine d'autres instruments sont également conservés au musée de la Citadelle de Besançon suite à un don. Cet ensemble représente un support important pour retracer l'histoire de la physique dans la ville et la région.

¹ Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies, UMR 6174, placé sous la tutelle du CNRS et de l'université de Bourgogne Franche-Comté.

En 2016, la Mission Culture Scientifique dépendant du Pôle Culture de l'université de Bourgogne, a commencé un travail d'inventaire (étiquetage et rédaction des fiches techniques) sur ces objets. Chargée de mission PATSTEC pour toute la région Bourgogne Franche-Comté, les équipes de l'université sont venues à la demande de l'institut FEMTO-ST souhaitant alors créer un musée dans les locaux. C'est à cette occasion que les hologrammes bisontins, objets de cet article, ont retenu l'attention pour une protection au titre des monuments historiques. Longtemps présentés dans une pièce musée de l'ancien Laboratoire d'Optique P.M. Duffieux, ils sont désormais conservés dans une salle d'expérience de l'institut FEMTO-ST. Très peu montrés, ils ont fait l'objet d'une exposition² dans le cadre de l'année internationale de la lumière, proclamée par l'ONU, sous l'égide de l'UNESCO, en 2015. Cet événement présenté au Gymnase de Besançon laissait voir plusieurs dizaines de plaques holographiées illuminées par des lasers et des lampes en lumière blanche, certaines propriétés du laboratoire et d'autres provenant de collections privées. En novembre 2021, un hologramme de grande taille (1m x 1,5m²) a aussi été présenté dans le cadre de l'exposition *Prototype Objet Particulier* à l'université de Bourgogne, sur le campus de Dijon.

L'histoire des hologrammes bisontins remontent aux années 1960, décennie révolutionnaire dans l'histoire de l'holographie internationale. En effet, Dennis Gabor³, physicien hongrois, découvre ce principe physique dès 1948. Cependant, il faut attendre 1962 pour la création des tout premiers hologrammes en configuration hors-axes avec les travaux de Juris Upatnieks et Emmett Leith. Seulement un an plus tard, le laboratoire de physique de Besançon, travaillant sur l'application directe des recherches sur les lasers, s'intéresse à l'interférométrie et à l'holographie. En 1965, le laboratoire crée le premier hologramme français représentant alors deux figurines d'*Astérix et Obélix* sur une plaque de format 25 x 25 cm². Celui-ci, ainsi que les hologrammes créés par la suite, sont le résultat d'un travail collaboratif entre Gilbert Tribillon, Nicole Aebischer, Claudine Bainier et Jean-Marc Fournier.

Astérix et Obélix, premier hologramme de France © Rémi Meyer / Institut FEMTO-ST



Besançon et le laboratoire contribuent, par ces recherches, au développement à l'échelle internationale de l'holographie et de ses applications en métrologie optique. Cela marque par

² Exposition *L'Expérience holographique*, organisée dans le cadre du festival LUX! (<https://urlz.fr/jMZ6>)

³ Dennis Gabor obtient par ailleurs le prix Nobel de physique en 1958 pour cette découverte.

conséquent le tout premier facteur permettant de qualifier la collection de Besançon d'exceptionnelle. A cela s'ajoute des liens étroits avec des domaines tels que les arts visuels, la mode ou encore la publicité lors de la création de ces plaques. Tout ceci participe à faire de ces plaques holographiques un fond historique national et international comme nous le verrons par la suite.

Tout d'abord, il est important de préciser les principales configurations permettant de créer un hologramme. Le principe de base consiste à séparer un faisceau laser unique et lui faire suivre deux parcours, l'un pour éclairer l'objet à holographier, l'autre pour le faire devenir la référence du montage. Ces deux faisceaux sont ensuite de nouveau combinés sur une plaque photosensible pour réaliser l'interférence entre le faisceau objet diffracté et le faisceau de référence qui n'a pas « vu » l'objet. Il existe trois configurations principales pour enregistrer un hologramme sur une plaque :

- **Par transmission** : l'objet à holographier et le faisceau de référence sont placés du même côté de la plaque.
- **Par réflexion, aussi appelé du nom de son inventeur « hologramme de Denisyuk »** : l'objet et le faisceau sont placés de part et d'autre de la plaque
- **Hologramme en Arc-en-ciel ou *Rainbow holography*** : l'enregistrement est réalisé par une fente et permet de restituer l'image en 3D à l'aide d'une simple lumière blanche.

Les deux premières configurations nécessitent quant à elles l'utilisation d'un laser.

L'ensemble des hologrammes aujourd'hui conservé à l'institut FEMTO-ST ont été réalisés à partir de ces trois techniques, offrant ainsi un excellent témoignage des divers procédés mis en oeuvre dans l'optique moderne des années 1960 à 1985. Les techniques d'holographie constituent encore aujourd'hui des champs de recherche actifs au département Optique de FEMTO-ST. L'holographie est réalisée selon des approches numériques grâce à des caméras numériques ou à des modulateurs spatiaux de lumière à cristaux liquides. On trouve l'holographie numérique sur des thématiques très variées comme l'imagerie quantique, les procédés avancés d'usinage laser, les réseaux de neurones en photonique ou alors la micro vision par ordinateur pour la robotique. Ainsi, des années 1960 à nos jours, il existe une continuité logique, constante et vaste des sujets d'études s'inscrivant dans une histoire de l'optique moderne à Besançon mais aussi au niveau national et international dont P.M. Duffieux en est le père incontestable.

Si des recherches sur l'holographie apparaissent à Besançon dès les années 1960, il faut attendre la décennie suivante pour que les premières réalisations majeures voient le jour. En effet, des collaborations somme toute inhabituelles pour un laboratoire de physique vont se tisser entre les chercheur.e.s et des artistes. Ces collaborations donneront également lieu à des exploits techniques pour lesquels le laboratoire obtiendra les records mondiaux du plus grand hologramme et du plus gros volume holographié.

La toute première collaboration s'effectue en 1975 avec Ivo Krustlovich autour d'une collection de vêtements du créateur Franck Olivier. Afin de présenter la nouvelle collection, les artistes collaborent avec les chercheur.e.s de Besançon pour la création d'un ensemble de huit plaques de 50X75cm². Il s'agit à cette époque du plus grand format de plaque de verre proposé par le fabricant Agfa-Gevaert. Ces huit plaques illustrent sept mannequins de cire habillés de vêtements du créateur. La dernière plaque représente le logo du créateur. Disposées dans une boutique sur les Champs-Élysées à Paris, ces plaques étaient à l'origine insérées sur un tourniquet, permettant aux différents modèles de passer devant le faisceau du laser et d'être observés par les passants. L'un de ces motifs s'intitule *La Robe de Quiana*.

L'année d'après, en 1976, le laboratoire réalise un hologramme de la sculpture de *La Vouivre*, figure emblématique des légendes franc-comtoises. Cette sculpture est présente dans le musée des Beaux-arts de Besançon. La même année, la collaboration avec le monde des musées continue avec le musée du Louvre. Une des copies principales de la *Venus de Milo* est envoyée à Besançon pour être holographiée au laboratoire d'Optique. Deux hologrammes seront alors réalisés à l'échelle 1 de la sculpture. Cet hologramme constitue là l'époque un record mondial pour la taille des plaques holographiques utilisées avec une dimension de 1,50m x 1m². Les plaques avaient été réalisées spécialement pour cette opération inédite. Alors qu'il s'agit du même objet, les deux hologrammes de la Venus réalisés alors constituent deux oeuvres à part



entière. L'une est plus sombre et proche de la plaque, la seconde, plus lumineuse, s'observe avec une distance plus grande de la plaque. Cette dernière effectuera d'ailleurs un voyage au Japon pour être présentée lors d'une exposition universelle. Lors du voyage, la caisse de l'hologramme a chuté et la plaque montre depuis deux grandes fissures qui pour autant n'altèrent pas l'observation de l'image de la *Venus* en 3D.

La Venus de Milo reste à ce jour l'une des pièces les plus emblématiques de la collection par la représentation culturelle qu'elle incarne mais également pour l'exploit technique réalisé.

A la fin des années 1970, le laboratoire entame plusieurs collaborations avec des artistes tels que Jean Gilles ou Guy Desbailles, perpétuant les liens avec le milieu artistique.

En 1978, Nicole Aebischer met au point une nouvelle technique permettant de mettre les figures holographiées en mouvement. Pour cela, les lasers à gaz jusqu'ici utilisés pour créer les hologrammes sont remplacés par un laser pulsé. Le degré de stabilité demandé par l'enregistrement des interférences par laser à gaz est incompatible avec l'idée de mouvement. La courte durée de pulsation des lasers pulsés (seulement quelques nanosecondes) permet quant à elle l'enregistrement de portraits holographiques par suppression des instabilités mécaniques. Avec cette technique, le visage est enregistré à chaque étape du mouvement sur la même plaque grâce à un laser pulsé à rubis. C'est ensuite en modifiant l'angle d'incidence du faisceau lumineux ou par translation verticale que le mouvement du visage est reconstitué. La technique d'hologramme animé sera utilisée plus particulièrement à l'arrivée de Paula Dawson, artiste australienne, dans le laboratoire de physique en 1980. Attirée par cette technique, l'artiste travaille avec les chercheur.e.s à la création de l'oeuvre *Mime Tamia* sur trois plaques de 20X25 cm². Les



trois plaques représentent la tête et les deux mains du personnage. Chaque plaque contient une séquence de dix images⁴.

La collaboration avec Paula Dawson est riche et permet au laboratoire de réaliser un nouveau record avec le plus grand volume jamais holographié à l'époque. Le *Grand Salon* est l'enregistrement d'une pièce de 27m³ sur une plaque de dimensions similaires à celles de la *Venus de Milo*. Cette pièce a nécessité la reconstruction d'un salon entier dans le laboratoire avec des murs et un plafond faits en bois. Le mobilier a quant à lui été prêté par un magasin de meuble local. Afin d'éviter toute perturbation extérieure au maximum (vibration et poussière en suspension), l'équipe a travaillé de nuit.

Tout comme pour la *Venus*, deux exemplaires ont été réalisés. Seul un est resté dans la collection de l'institut FEMTO-ST, le second est parti avec l'artiste en Australie. Après cette oeuvre de grande taille, une autre série intitulée *Insomnie* sera réalisée avec l'artiste. Durant les années 1980, d'autres hologrammes seront réalisés notamment un ensemble de portraits des membres du laboratoire d'Optique.

Après cette brève présentation des pièces les plus fortes de la collection ainsi que des exploits techniques réalisés par le laboratoire à cette époque, il est intéressant de se poser la question suivante : en quoi ces hologrammes sont-ils pertinents pour une inscription au titre des Monuments Historiques ?

⁴ L'oeuvre est visible dans l'article suivant : « Holography and Art in Research Laboratory : A Retrospective » in *Leonardo (Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology)*, vol. 22 « Holography as an art medium », n°3 et 4, 1989, pp. 349-352



Au vue de la description faite jusqu'ici, il est possible de souligner l'ensemble des critères les plus pertinents et de les réunir sous trois notions distinctes : la cristallisation, l'incarnation et la légitimation.

- 1) **Cristallisation** : comme cela a été déjà expliqué en début d'article, les hologrammes de Besançon cristallisent les recherches sur l'holographie réalisées dans les années 1960 tant au niveau local, national qu'international. Alors que les premiers hologrammes tridimensionnels apparaissent entre 1962 et 1964 aux USA, les recherches sur ce domaine commencent à Besançon en 1963 avec l'interférométrie. Le laboratoire de physique franc-comtois réalise même le tout premier hologramme de France en 1965. Il est l'héritier direct des travaux sur les lasers à rubis, à Argon ou à Hélium Néon lancés sous l'impulsion des professeurs Pierre-Michel Duffieux puis Jean-Charles Viénot. En plus d'une cristallisation historique, les hologrammes cités ici cristallisent également les développements techniques pour l'innovation (technique de N. Aebischer notamment) et le dépassement des limites de l'holographie à travers diverses premières mondiales.
- 2) **Incarnation** : au-delà de l'innovation scientifique et technique que représentent ces plaques holographiques, elles incarnent une époque où se développent des collaborations avec le milieu artistique. Inattendus dans un travail de physicien, du moins dans les années 1970 et 1980, ces travaux participent à rendre la collection si singulière. Pour les liens étroits avec les artistes locaux et internationaux et les musées, les chercheur.e.s de Besançon ont participé par ces objets de grande qualité au domaine des arts. En effet, à la frontière entre art et sciences, ces pièces incarnent un tournant dans la communication visuelle et les arts graphiques.
- 3) **Légitimation** : au vue de l'histoire du Laboratoire d'Optique de Besançon et de ces nombreuses innovations, notamment dans le domaine de l'optique, cette collection apporte une légitimation à la réputation actuelle de l'Institut FEMTO-ST. Le département optique de l'institut continue à déployer des recherches s'appuyant sur le principe de l'holographie dans le cadre de projets de recherche financés par l'ANR ou l'Europe. Ces dernières permettent de tisser une logique scientifique locale par l'apparition d'une lignée technique. L'expérience acquise par le laboratoire grâce à l'holographie lui a permis d'avoir un positionnement au premier plan à l'international sur ce domaine, et plus généralement dans le développement de l'optique moderne encore valable aujourd'hui.

Sur plus d'une centaine d'hologrammes aujourd'hui conservés dans une salle d'expérience de l'institut, nous sommes en droit de nous demander si elles sont toutes pertinentes pour la demande d'une inscription au titre des Monuments Historiques. Faut-il alors se positionner en faveur d'une inscription de l'ensemble de la collection ou bien de sélectionner celles qui sont les plus représentatives de l'histoire du laboratoire et de la science en général ?

L'idée de faire une sélection parmi cet ensemble peut paraître surprenant. Dans un premier temps, parler de sélection ne signifie en aucun cas que les plaques non sélectionnées pour l'inscription soient abandonnées par le laboratoire. Il est certain que la collection sera conservée dans son ensemble. Cependant, comme nous allons le voir, il s'agit dans cette démarche de protection d'offrir un corpus cohérent et représentatif. C'est d'ailleurs ce qui est évoqué dans la démarche d'inscription ou de classement au titre des monuments historiques selon le Ministère de la Culture : « *L'intérêt patrimonial d'un objet mobilier est évalué en fonction notamment de sa qualité artistique ou technique, son authenticité, son intégrité, sa rareté, son exemplarité, sa représentativité par rapport à un corpus ou à un type* ».

Au-delà de la notion de corpus cohérent, l'inscription au titre des MH peut se montrer restrictive dans l'usage ou la présentation des pièces protégées. Dans le cadre d'une collection universitaire, qui par nature, est dédiée à la recherche et à l'enseignement, cette protection peut également constituer un frein sinon un obstacle. Il est donc important de ne pas inscrire l'ensemble de la collection. Ainsi, la sélection pour une inscription permettrait de dégager à la fois une collection à proprement parler « patrimoniale » et une autre dédiée à l'étude.

Avant même d'évoquer les cinq critères retenus à cette étape du travail, il est pertinent de souligner deux considérations préalables. La première concerne les trois configurations d'enregistrement d'un hologramme citées plus haut. Afin de constituer un ensemble le plus représentatif possible, il est nécessaire dans la sélection de présenter des hologrammes des trois procédés suivants : hologrammes par transmission, par réflexion et hologrammes en arc-en-ciel. La seconde concerne les doublons ou triplons présents dans la collection. Par leur nature, ceux-ci sont moins importants. Il est donc nécessaire de ne garder dans ce corpus que les motifs les plus aboutis, les plus contrastés. Il existe cependant une exception à ce cas, celui de la *Venus de Milo*. Les deux plaques présentent une orientation de la figure et un contraste lumineux différents l'une de l'autre. Elles constituent donc deux supports différents et sont à ce titre, la seule exception au cas des doublons.

Enfin, dans le cas particulier des hologrammes en image réelle, la technique consiste à réaliser lors d'une première étape un hologramme en image virtuelle sur une « plaque primaire ». Un second hologramme réalisé grâce à cette première plaque permet d'obtenir une image 3D réelle en avant de la plaque holographique à partir d'une « plaque secondaire ». Si les plaques primaires peuvent paraître inintéressantes ou bien similaires à des doublons de prime abord, elles constituent la première étape du procédé. En cela, elles incarnent l'élément sans lequel la plaque définitive n'aurait pu exister. Il est donc important, pour leur valeur additive, de les ajouter aux corpus.

Il est nécessaire de préciser que les critères de sélection présentés ici sont le fruit d'une réflexion alors naissante. Il est possible que la situation évolue après de multiples échanges avec les équipes du laboratoire.

Premier critère : La lisibilité et la qualité

Sont concernés par ce premier critère les plaques dont le contraste lumineux est assez important pour que les hologrammes puissent être observés. Ainsi tous les doublons / triplons dont les motifs sont trop sombres ou floutés lors de l'enregistrement ne peuvent pas intégrer le corpus. Pour des raisons évidentes, un objet dont l'intérêt premier est perdu ne représente pas d'importance capitale. Si pour des instruments scientifiques non fonctionnels ce critère n'est pas automatique, il l'est quand il s'agit d'une image qui n'est pas ou plus visible.

La qualité vise quant à elle particulièrement les pièces issues de collaborations avec des institutions muséales ou des artistes comme la *Venus de Milo*, la figure de *La Vouivre*, les modèles Franck Olivier ou bien encore les oeuvres de Paula Dawson.

Second critère : L'ensemble

Plusieurs des plaques holographiques fonctionnent en ensemble. Cela est particulièrement le cas des hologrammes réalisés avec les artistes Ivo Krustlovich (1975) et Paula Dawson (1980). Considérées comme ensembles ou séries, ces plaques ne peuvent être séparées dans la réalisation du corpus.

Troisième critère : Les dimensions

Ce critère concerne uniquement les deux hologrammes ayant battus des records mondiaux, à savoir la *Venus de Milo* et le *Grand Salon*. Ces deux pièces représentent des innovations notamment au niveau du support car les plaques de verre de telles dimensions ont été les premières réalisées, spécialement à cette occasion.

Quatrième critère : Historique

Cette notion englobe les plaques holographiques marquant les jalons historiques dans les travaux sur l'holographie au laboratoire de physique générale de Besançon. Ils incarnent à ce titre des moments-clés (le premier hologramme de France, les collaborations extérieures) ou bien des innovations techniques (*Mime Tamia*, Paula Dawson, hologramme animé).

La dimension historique s'entend également par la représentation de modèles du folklore local ou de l'histoire nationale : *Venus de Milo*, *Astérix et Obélix* ou bien encore *La Vouivre*.

Cinquième critère : Exemplarité

Ce dernier critère est interopérable aux autres. En effet, les précédents participent à faire des hologrammes décrits et sélectionnés des objets exemplaires, incarnant à eux seuls une part représentative des travaux de cette époque au laboratoire de physique bisontins. Ils possèdent tous alors un caractère exceptionnel pour lequel une inscription aux Monuments Historiques est plus que nécessaire. Ils constituent le noyau authentique dans lequel les critères de qualité artistique ou technique et de rareté s'incarnent tout particulièrement.

Chacune des plaques n'a pas de critère unique. Elles remplissent toutes une série de critères importants. C'est pourquoi elles semblent être les plus importantes pour la création d'un corpus en vue d'une protection MH. Au total, l'établissement de ces critères a permis de sélectionner 34 hologrammes originaux. Ce chiffre ne tient pas compte des plaques primaires.

La collection d'hologrammes de FEMTO-ST nous invite à un voyage dans la troisième dimension mais également dans le temps. Celui dans lequel les divers travaux des chercheurs en physique et plus particulièrement en optique ont fait de Besançon une ville reconnue au niveau international. Dignes héritiers d'une longue lignée de recherches, les hologrammes bisontins sont à leur tour les ancêtres de la recherche actuelle. Ils constituent à la fois un jalon et un outil de légitimation de l'Institut FEMTO-ST dans ces domaines de pointe.

Par leur nombre, leur qualité et leur état de conservation, les plaques holographiques constituent un fonds exceptionnel. Les supports numériques sur lesquels les chercheur.e.s travaillent aujourd'hui n'auront peut-être pas la même longévité. Ces hologrammes constituent une mémoire optique analogique avec une très grande richesse d'information sur des objets disparus ou difficilement visibles ailleurs que dans les collections d'un musée. Malgré tout, ces hologrammes sont des témoignages lumineux d'un lointain passé qui remonte à plusieurs décennies, alors que nous n'avons pas la même garantie sur les supports numériques utilisés de nos jours.

Le travail présenté ici n'est qu'au commencement. Il nécessite des ajustements et un travail important de documentation (interview des créateurs, articles de presse, documentation du laboratoire, prises de vues...). Nous voulions vous faire part, en tant que chercheurs et correspondant patrimoine, à la fois de cette collection et également de nos ambitions concernant son avenir, car après tout, la protection ne commence-t-elle pas par l'éviction de l'oubli ?