

FOCUS

Optiques freeforms

EXPÉRIENCE

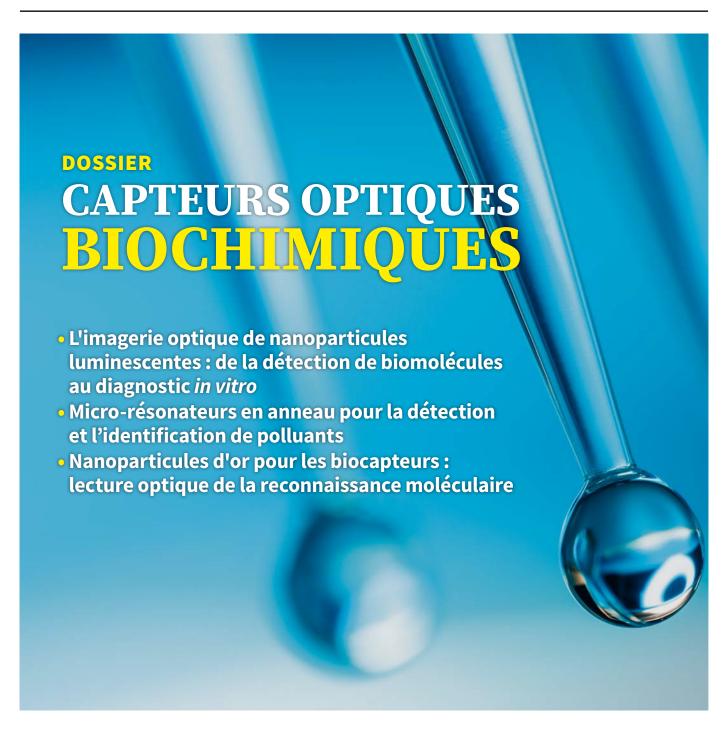
Fizeau

COMPRENDRE

« Mesurer » les couleurs

ACHETER

Des LEDs UV





Photoniques est éditée par la Société Française de Physique, association loi 1901 reconnue d'utilité publique par décret du 15 janvier 1881 et déclarée en préfecture de Paris.

https://www.sfpnet.fr/

Siège social: 33 rue Croulebarbe, 75013 Paris, France Tél.: +33(0)1 44 08 67 10 CPPAP: 0124 W 93286

ISSN: 1629-4475, e-ISSN: 2269-8418

www.photoniques.com



Le contenu rédactionnel de Photoniques est élaboré sous la direction scientifique

de la Société française d'optique 2 avenue Augustin Fresnel 91127 Palaiseau Cedex, France mariam.mellot@institutoptique.fr Tél.: +33 (0)1 64 53 31 82

Directeur de publication

Jean-Paul Duraud, secrétaire général de la Société Française de Physique

Rédaction

Rédacteur en chef Nicolas Bonod nicolas.bonod@edpsciences.org

Journal Manager Florence Anglézio florence.anglezio@edpsciences.org

Secrétariat et mise en page Studio wake up! https://studiowakeup.com

Comité de rédaction

Pierre Baudoz (Observatoire de Paris). Azzedine Boudrioua (Institut Galilée, Paris 13), Émilie Colin (Lumibird), Céline Fiorini-Debuisschert (CEA) Riad Haidar (Onera), Wolfgang Knapp (Club laser et procédés), Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques), Christian Merry (Laser Components), François Piuzzi (Société Française de Physique), Marie-Claire Schanne-Klein (École polytechnique), Christophe Simon-Boisson (Thales LAS France), Costel Subran (F2S Fédération des Sociétés Scientifiques). Ivan Testart (Photonics France).

Publicité

Annie Keller Mobile: +33 (0)6 74 89 11 47 Tél./Fax: +33 (0)1 69 28 33 69 annie.keller@edpsciences.org

International Advertising Bernadette Dufour Cell phone + 33 7 87 57 07 59 bernadette.dufour@edpsciences.org

Photoniques est réalisé par **EDP Sciences** 17 avenue du Hoggar, P.A. de Courtaboeuf, 91944 Les Ulis Cedex A, France RCS: EVRY B 308 392 687

Gestion des abonnements

abonnements@edpsciences.org

Impression

Fabrègue imprimeur B P 10 87500 Saint-Yrieix la Perche Dépôt légal : février 2021 Routage: STAMP (95)



Éditorial



NICOLAS BONOD Rédacteur en chef

Les Défis de la Photonique

ette épidémie nous montre combien des micro-organismes, aussi petits soient-ils, peuvent bousculer nos modes de vie et impacter nos sociétés. La mise au point de capteurs permettant un diagnostic rapide revêt dans ce contexte une importance capitale. Pour répondre à ces enjeux majeurs, les capteurs optiques offrent plusieurs avantages dont une sensibilité élevée, une lecture simple du diagnostic, une faible consommation et une bonne intégration... La combinaison de ces propriétés permet aujourd'hui le développement de véritables laboratoires d'analyse miniatures et portatifs. Zoom dans ce numéro sur quelques-unes des dernières avancées dans le domaine des capteurs optiques biochimiques...

Outre la détection et le diagnostic, la photonique permet aussi la décontamination des surfaces. L'impact de la lumière énergétique sur les organismes vivants est connu depuis plus d'un siècle, notamment depuis les travaux de Niels Ryberg Finsen en photothérapie. L'ADN et l'ARN présentent un maximum d'absorption dans l'UV-C, ce qui confère à ce domaine spectral ses propriétés stérilisantes. L'article Acheter dresse un panorama des nouvelles LEDs UV disponibles sur le marché. Ces nouvelles sources UV mettent aujourd'hui au défi notre imagination tant sont nombreuses les possibilités

d'intégration de ces sources dans notre quotidien pour lutter contre les organismes pathogènes.

Autre domaine d'utilisation bien connu des sources UV, les instruments de photolithographie intègrent désormais des optiques free-forms. Focus dans ce numéro sur ce domaine en plein essor qui bouscule le domaine de la conception optique. Ce focus est écrit par des membres de FO-RS, association créée en 2019 afin de réunir les forces et les compétences d'équipes académiques et industrielles dans le domaine des optiques free-forms.

La couleur résulte d'un processus sensitif individuel propre mais également des propriétés physiques de la lumière perçue. Comment dès lors représenter les couleurs? Cette question est au cœur de la rubrique Comprendre de ce numéro. Dans un article haut en couleurs, l'auteur active notre matière grise pour nous permettre d'appréhender les nombreuses subtilités de la colorimétrie...

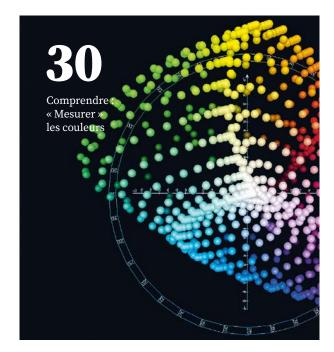
Photoniques fête en cette année 2021 son vingtième anniversaire! Pour le célébrer, nous lançons une série d'entretiens sur les grands thèmes et défis de la photonique. Nous donnons dans ce numéro la parole au président de la SFO, Philippe Adam, sur le thème « La photonique: la science et les technologies du XXIe siècle ».

Je vous souhaite une bonne lecture!



17

FOCUS Optiques freeforms : défis et perspectives



50 Comprendre, Choisir et Acheter des LEDs UV



Sommaire

www.photoniques.com

N° 106

ACTUALITÉS

03 Éditorial et actualités de la SFO

04 Informations partenaires

TÉMOIGNAGES

13 Au Canada avec Mathieu Juan

14 Entretien avec Philippe Adam

16 Témoignage d'entrepreneur

FOCUS

17 Optiques freeforms : défis et perspectives

BIOGRAPHIE

22 Octave Léon Petitdidier

EXPÉRIENCE MARQUANTE

25 Fizeau et l'entraînement partiel de l'éther

DOSSIER: CAPTEURS OPTIQUES BIOCHIMIQUES

30 L'imagerie optique de nanoparticules luminescentes : de la détection de biomolécules au diagnostic *in vitro*

34 Micro-résonateurs en anneau pour la détection et l'identification de polluants

39 Nanoparticules d'or pour les biocapteurs : lecture optique de la reconnaissance moléculaire

COMPRENDRE

44 « Mesurer » les couleurs

ACHETER

48 Comprendre, choisir et acheter des LEDs UV

PRODUITS

53 Nouveautés

Annonceurs

Ardop	19
Comsol	41
EPIC II	e C

HTDS	49
IDIL fibres optiques	27
Imagine Optic	37
Laser Components	51
Opton Lasers International IV	re C

Santec	03
Scientec	29
Spectrogon	31
Spectros	45
Toptica	15

Trioptics	21
Zurich Instruments	05
Crédit photo (couverture) :	

L'édito de la SFO



PHILIPPE ADAM

Président de la SFO

Bonjour à toutes et tous!

année 2021 débute sous les mêmes auspices que 2020! La situation sanitaire n'a pas franchement évolué, ce qui nous contraint à... continuer sur notre lancée et organisation des mois précédents : on a maintenant l'habitude et surtout le moral qui va avec.

Toutes nos énergies sont tournées vers la tenue et la réussite d'OPTIQUE 2021. L'organisation se poursuit de façon nominale : les inscriptions vont bon train, individuelles et pour l'exposition. La campagne des tarifs « Super EarlyBird » a été un succès : en comparaison, la situation actuelle des inscriptions est meilleure qu'à la même époque lors d'une année « normale ».

Notre congrès est désormais à l'affiche en ligne sur le site du Palais des Congrès de Dijon. En parallèle, les évolutions prévisibles de la situation sanitaire nous confortent favorablement dans la pertinence de notre ligne actuelle, au demeurant consolidée par les perspectives annoncées par d'autres grands évènements de la communauté, d'une organisation en présentiel (CLEO, CHAOS ...).

Les prix scientifiques de la SFO continuent également leur déroulement. Après le prix Fabry - de Gramont, c'est au tour désormais du Grand Prix Léon Brillouin, pour lequel le jury est actuellement à l'œuvre. Les dossiers parvenus sont de qualité et la parité H/F est complète. La sélection interviendra ces prochaines semaines ; la cérémonie de remise est prévue lors du congrès OPTIQUE Dijon 2021.

Dans la vie de notre société, on notera une concertation très productive entre les parties prenantes dans l'édition de la revue PHOTONIQUES, SFO, SFP et EDP afin d'optimiser encore la qualité et la diffusion de notre revue. La première amélioration visible pour nos adhérents réside dans la possibilité de consulter et de télécharger tous les numéros actuellement numérisés. Cette offre va encore s'étoffer dans les prochains mois.

La SFO répond également cette année à une demande récurrente de nos adhérents en proposant dorénavant une offre de cotisation pluriannuelle. Vous aurez maintenant la possibilité d'adhérer sur 10 ans et soutenir ainsi les actions SFO sur du long terme. C'est une évolution importante dans la vie et l'organisation de notre société. Cette offre s'affinera encore grâce à vos retours d'expérience et s'étendra aux laboratoires et entreprises.

On souhaite tous que la situation revienne à la normale le plus rapidement possible. Néanmoins, je crois que la SFO est actuellement bien gréée pour supporter les coups de vent et pour assurer l'ensemble des prestations qu'elle est prête à fournir pour le bénéfice de notre communauté.

> Optiquement vôtre Philippe ADAM



Laser **Accordable**



TSL-770

Précis Rapide Stable

Optiques de pointe **Télécommunication**

Balayage de 1480 à 1640 nm Largeur de raie < 60 kHz

Vitesse de balayage: 200 nm/s

Puissance > + 13 dBm

Précision λ: 0,3 pm

www.santec.com

santec-emea@santec.com



AGENDA



OPTIQUE Dijon 2021, 05 au 09 juillet 2021 Palais des congrès de Dijon Bénéficiez du Tarif Early Bird jusqu'au mois de Mars Réservation des stands L'appel à soumission est ouvert Vous pouvez dès maintenant soumettre votre proposition de communication sur la plateforme du congrès.

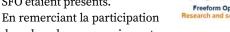
■ École thématique 2021 Les Houches, 25-30 avril 2021 All-optical interrogation of neuronal networks in vivo Campagne de soumission ouverte

L'école thématique aura lieu en présentiel avec 29 places si les conditions sanitaires le permettent. Elle sera aussi accessible en distanciel. Deux modes de tarification seront ainsi appliqués.

Tous les évènements de l'agenda SFO: www.sfoptique.org/agenda/

La SFO a organisé pour la communauté de l'Optique-Photonique une conférence sur les « systèmes optiques freeform » qui s'est tenue en distanciel sur eCampus le jeudi 19 novembre après-midi

et évènement est un grand succès, nous avons enregistré 167 participants avec une grande richesse des profils. Tous les clubs de la SFO étaient présents.



19 novembre 2020 - Institut d'Optique Pa





des chercheurs-enseignants de l'IOGS et des chercheurs-industriels de l'Association française des optiques freeform, FO-RS.

Roland Geyl (SAFRAN), Luis Castro (ESSILOR), François Houbre (SAVIMEX), Yan Cornil (LIGHT Tec).

Vous pouvez visualiser certaines vidéos dans l'espace adhérent de la SFO.

Adhérez à la SFO et rejoignez la communauté de l'Optique-Photonique

- Bénéficiez de l'expertise des commissions et clubs de la SFO qui couvrent un spectre très large dans le domaine de l'Optique-Photonique.
- Bénéficiez des tarifs préférentiels pour l'inscription aux congrès, colloques et toutes les manifestations organisées par la SFO.
- · Bénéficiez de la revue Photoniques, un accès à la version numérisée de tous les numéros est disponible dans l'espace des adhérents SFO.
- · Accès au réseau de l'Optique-Photonique de la SFO. Un réseau d'experts et d'expertises.
- · Accès à la documentation en ligne de nos 20 clubs et commissions.

Vous pouvez dès maintenant souscrire à l'adhésion pluriannuelle de 10 ans et soutenir les actions de la SFO à long terme.

https://www.sfoptique.org



PAR LITHOGRAPHIE OPTIQUE LA SFO VOUS SOUHAITE UNE TRÈS BONNE ANNÉE 2021

A l'aide d'une technique dite de photopolymérisation à deux photons. Un système d'imagerie de fluorescence des nanoparticules. La structure totale est dans un carré de 100 micromètres, à peine l'épaisseur d'un cheveu. Les images et les travaux sont réalisées sous la direction de Christophe Couteau, par Ali Issa et William d'Orsonnens (L2n/UTT/CNRS).



Interview de Philippe Adam

Photoniques s'entretient avec Philippe Adam, président de la Société Française d'Optique, sur le thème « La photonique : la science et les technologies du xxı^e siècle ».

Quelles sont les grandes actions à mener par la SFO pour promouvoir l'optique?

La Société Française d'Optique se trouve au cœur de la communauté française de l'Optique et interagit avec l'ensemble de cette communauté, depuis les activités de recherche fondamentale dans les laboratoires, jusqu'au secteur industriel en passant par le tissu des PME/PMI. La SFO essaie donc de fédérer et animer ce réseau à très large spectre. La SFO tient à son positionnement de société savante comme point de contact privilégié avec la communauté académique, légitimité qui lui est d'ailleurs largement reconnue et qu'elle souhaite bien sûr conserver, voire encore amplifier.

Quels sont les atouts du secteur de l'Optique-Photonique en France?

D'abord et avant tout l'existence et la pérennité d'une communauté scientifique et académique au top niveau international: compétences scientifiques et techniques, esprit d'innovation ... C'est un héritage historique, tant les opticiens français ont largement contribué par le passé au développement de cette science. Le tissu des PMI/PME dans lesquelles j'inclus les startups, montre à la fois la créativité et la réactivité de ces structures pour transformer rapidement et efficacement les avancées scientifiques en applications. En tant qu'ancien du secteur public, je crois pouvoir dire que la France est très bien placée internationalement pour la mise en place d'outils de soutien à la création de « jeunes pousses » pour assurer leur croissance.

Notre base industrielle me semble également être un atout majeur : elle est solide et s'appuie sur des groupes puissants, reconnus à l'international, disposant d'une capacité d'intégration de très haut niveau et d'une excellente crédibilité à l'export.

Pouvez-vous citer un domaine de recherche dont l'essor vous a particulièrement marqué ces dernières années ?

L'Optique-Photonique est une activité extrêmement riche, avec des axes de recherches et développements très nombreux. Il est difficile d'être exhaustif en termes de recensement; je vous donne ma vision personnelle.

L'optique quantique a fait des avancées extraordinaires. En à peine 25 ans, on a vu les idées de physiques fondamentales (refroidissement, intrication, ...) alimenter extrêmement rapidement des projets applicatifs aux retombées sociétales importantes: capteurs, calcul quantique, cryptographie ... A l'échelle d'une activité professionnelle, il est assez rare de voir des recherches fondamentales déboucher aussi rapidement. Forte de la notoriété de sa communauté nationale, la France ne s'y est pas trompée et a lancé plusieurs initiatives dans ce domaine. Notons également les soutiens de l'Europe dans le cadre du Quantum Flagship. La nanophotonique est également un domaine à croissance impressionnante. Au risque de choquer quelques lecteurs, je crois qu'on a fait là plus fort que la Nature: on a su conférer à des matériaux entièrement artificiels, des propriétés auxquelles dame Nature elle-même n'avait pas pensé!

Quels secteurs applicatifs à fort impact sociétal voyez-vous émerger dans les prochaines années ?

Outre les technologies mentionnées ci-dessus, le développement des fibres, à la fois pour les télécommunications, la visionique ainsi que dans les lasers, y compris de puissance me semble avoir un potentiel élevé pour de nombreuses applications à impact sociétal fort :

communication (5G/6G), médical (diagnostic, télé-opération), défense, science fondamentale (astronomie)...

Enfin, je voudrais également citer le développement des « Optiques Freeforms ». C'est un vrai changement de paradigme qui survient sous nos yeux : on ne fera jamais plus de l'optique instrumentale de la même manière! La technologie et les moyens de calcul permettent de concevoir des composants aux formes impensables il y a encore quelques dizaines d'années. Ils permettent de concevoir des systèmes très compacts, légers et d'investiguer les possibilités du mimétisme animal (revanche de dame Nature!)

Comment accélérer le développement et le déploiement de nouvelles technologies optiques ?

Je crois sincèrement que le relai de l'innovation n'est pas optimal : beaucoup de pépites existent, qui résultent des recherches de laboratoires et des activités de R&D dans le secteur industriel. En version « bottom-up », les porteurs ne trouvent pas les canaux pour « faire savoir » et intéresser les utilisateurs potentiels; en version « top-down », les expressions de besoins peuvent être difficiles à appréhender du côté des « développeurs ». Certes des outils ont été mis en place pour essayer de combler ces lacunes (« montée en TRL », ANR, DGE, SATT, ...) et faire mûrir ces pépites. Reste que les règles de fonctionnement au quotidien des outils sous-jacents sont parfois difficiles à prendre en compte dans une R&D très innovante, donc difficile à prévoir, techniquement et financièrement. Dans cette perspective, il apparaît clairement que les outils de soutien, par projet et récurrent, ont logiquement leur place dans le paysage.

Optiques freeforms : défis et perspectives

Les optiques freeforms sont les optiques de demain. Elles inondent déjà notre quotidien dans de nombreux domaines et répondent à une attente profonde du marché. La révolution des optiques freeforms est en marche, une opportunité pour qui saura concevoir ces objets, les fabriquer, les mesurer et les intégrer.

https://doi.org/10.1051/photon/202110617



Roland GEYL^{1,6}, François HOUBRE^{2,6}, Yan CORNIL^{3,6}, Thierry LEPINE^{4,6}, Yvan SORTAIS^{5,6,*}

- ¹ Safran Reosc 91280 Saint-Pierre-du-Perray, France
- ² Savimex SAS 06130 Grasse, France
- ³ Light Tec 83400 Hyères, France
- Université Paris-Saclay, Institut d'Optique Graduate School,
 CNRS, Laboratoire Hubert Curien 42000 Saint-Etienne, France
- ⁵ Université Paris-Saclay, Institut d'Optique Graduate School, CNRS, Laboratoire Charles Fabry – 91127 Palaiseau, France
- ⁶ Association Freeform Optics Recherche & Solutions 91127 Palaiseau, France
- *yvan.sortais@institutoptique.fr

Les freeforms, qu'est-ce que c'est?

La fabrication traditionnelle de surfaces optiques se fait par rodage mutuel de la pièce optique que l'on souhaite réaliser avec un outil et des abrasifs de plus en plus fins. Cette méthode converge vers la sphère et les artisans opticiens ont su maîtriser cet art jusqu'à des précisions nanométriques. Puis, par perturbation du procédé, des surfaces asphériques de révolution ont pu être produites. Enfin on extrait parfois des segments hors axe après polissage de la pièce mère.

Mais le besoin en degrés de liberté pour gagner en performance demeure insuffisamment satisfait. Une surface asphérique hors-axe garde la trace de la surface optique mère dont elle a été extraite par une relation entre les diverses composantes de son profil. Si on se limite aux aberrations du 3° ordre le segment off-axis que l'on extraira présentera des déformations en asphère, coma et astigmatisme, mais qui resteront liées entre elles (Fig. 1). Passer aux freeforms c'est se libérer de cette contrainte, laisser varier librement et indépendamment ces diverses composantes et définir un profil radial et des variations angulaires arbitraires.

Les pionniers des optiques freeforms

Le plus célèbre pionnier des freeforms est incontestablement Bernard Maitenaz qui inventa le verre VARILUX en 1953 avec la technologie de réalisation de ces verres à l'échelle industrielle. Aujourd'hui ESSILOR en est à sa 7^e génération de verres et est un groupe de plus de 67 000 personnes générant plus de 7,5 Md€ de CA. En 1967, Luis Alvarez inventa un dispositif astucieux de deux lentilles à profil cubique qui, par translation relative, génèrent une focalisation variable. En 1972, la société Polaroid mit sur le marché son fameux SX70, un appareil photo à développement instantané dont le design optique replié comprenait deux composants optiques freeforms.

FO-RS est une association créée en 2019 à but de recherche collaborative entre acteurs industriels et académiques. Pour toute demande de renseignements s'adresser à son président actuel, Roland Geyl (roland.geyl@safrangroup.com).

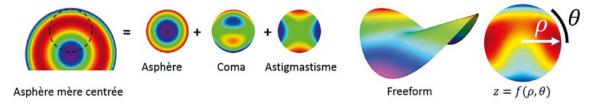


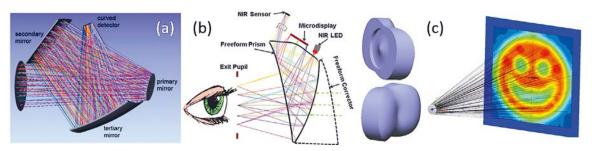
Figure 1. À gauche : les composantes d'une asphère hors-axe. À droite : liberté totale des freeforms.

Une révolution en conception optique

Avec les freeforms les instruments de précision peuvent gagner en compacité, en performance ... ou bien sur les deux aspects. Mais optimiser avec plus de degrés de liberté devient plus complexe. Le temps est révolu où, afin de calculer les optiques de ses zooms, Pierre Angénieux faisait calculer la propagation de rayons par son équipe de comptables, à la règle à calcul... La puissance des ordinateurs augmentant, on est passé des cartes perforées, à des logiciels faisant tourner des algorithmes très complexes sur des machines ultra-rapides : de quelques minutes pour calculer la propagation d'un rayon en 1944, on est passé à plusieurs millions de rayons par seconde aujourd'hui. Mais tout ne se résume pas à un problème de puissance de calcul. Les méthodes de calcul elles-mêmes évoluent, selon les applications envisagées (médicale, automobile, affichage, imagerie, éclairage), et conduisent à une panoplie de logiciels, « petits » (mais résolvant des cas particuliers) ou « gros » (CodeV, LightTools et LucidShape de Synopsys, OpticStudio de Zemax, SPEOS de Ansys), intégrant des améliorations régulièrement. Historiquement, ce sont les applications d'imagerie qui ont permis aux méthodes de calcul d'évoluer, en optimisant des formes décrites par des solutions analytiques (coniques, polynômes) de plus en plus complexes. Tous les logiciels maîtrisent maintenant bien ces techniques avec différents moteurs : méthodes de moindres carrés, optimisations locales ou globales. Les résultats et les fonctions de mérite (spot diagrammes, MTF...) sont présentés à l'utilisateur de plusieurs façons permettant d'appréhender le comportement de la solution retenue. Parmi celles-ci, les aberrations nodales, qui permettent de mieux décrire les optiques inclinées, décentrées et, de façon générale les surfaces freeforms; et d'augmenter considérablement les performances des systèmes optiques tout en les miniaturisant : objectifs des téléphones portables, télescopes à 3 ou 4 miroirs des nouveaux micro-satellites (CubeSat, Fig. 2a), etc. Ces mêmes logiciels permettent aussi de concevoir des combinaisons plus complexes : afficheurs tête haute (HUD), systèmes de réalité augmentée (Fig. 2b), etc.

Les applications d'éclairage, quant à elles, posent des défis logiciels différents, mélangeant l'utilisation de sources étendues avec des besoins de distribution de lumière uniforme ou non, et des contraintes sur la luminance (éclairage de rue) ou l'intensité (phare de voiture), sur la dispersion chromatique (éclairage médical) ou sur le rendement énergétique. Chacun de ces problèmes a été résolu par des méthodes de calcul différentes selon la complexité des surfaces (telles les optiques « Macro Focal » des phares automobiles), et des distributions lumineuses. Les récentes techniques de « tayloring » permettent de calculer des freeforms produisant des distributions d'éclairement arbitrairement complexes (projection de logos, Fig. 2c). Aujourd'hui, les capacités de calcul des ordinateurs permettent d'envisager des logiciels calculant des optiques freeforms de plus en plus efficaces, intégrant de nouvelles techniques d'optimisation basées sur des algorithmes génétiques ou sur l'Intelligence Artificielle. Associées aux technologies émergentes comme les méta-lentilles, très complexes à calculer, ces nouvelles techniques de calcul pourraient révolutionner les optiques du futur.

Figure 2. Conceptions freeforms : (a) un télescope replié (crédit : CNRS, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), (b) un prisme de réalité augmentée (crédit: University of Arizona), (c) une lentille permettant la projection d'un logo de forme arbitraire (crédit: Light Tec).



Les progrès des techniques de fabrication : la seconde révolution

Si les freeforms ont pu arriver dans notre quotidien, c'est aussi grâce aux progrès accomplis dans les techniques de fabrication optique, et notamment grâce à des contrôles numériques de plus en plus sophistiqués et précis. L'usinage diamant est la technologie de choix pour la réalisation de surfaces freeforms de précision (Fig. 3a). Né au début des années 1980, il a fait un bond au début des années 2000 avec l'essor des moteurs linéaires et les capacités de pilotage numérique des axes des machines, permettant de générer des formes non axisymétriques durant la rotation de la pièce. Ces progrès ont également bénéficié aux techniques de polissage des verres ophtalmiques (Fig. 3b). Autre avantage de l'usinage diamant : le référencement mécanique est connu avec la même précision que celle de l'usinage.



Figure 3.

Deux techniques de fabrication : l'usinage diamant est la technique de choix pour la production de pièces en grande série. Il permet de générer (a) des préformes polymères ophtalmiques qui seront ensuite polies (b) (crédit : Satisloh, filiale d'Essilor), ou bien (c) des moules métalliques qui serviront à répliquer des freeforms par injection de polymères (crédit : Gaggione) ; le polissage robotisé (d) est quant à lui réservé aux petites séries pour les applications de pointe (crédit : Safran Reosc).

Couplées à l'usinage diamant, les technologies de réplication par moulage et injection plastique rendent les freeforms accessibles au plus grand nombre (Fig. 3c). Les systèmes d'éclairage à LED, les lunettes de réalité virtuelle, les phares de nos voitures sont tous équipés d'optiques freeforms polymères. Le moulage par injection associe des processus complexes de mécanique des fluides et des changements de phase de la matière (plastification, solidification). Une communauté d'experts a progressivement acquis l'expérience qui permet de maîtriser les phénomènes physiques de retreint, et d'accéder aujourd'hui à des niveaux de précision sub-micronique de façon répétable et à moindre coût.



VOTRE PARTENAIRE: Photométrie Radiométrie & Colorimétrie

Radiomètres UV-C

Désinfection Contrôle de source UV (LED UV, Excimer & Mercure basse pression) Polymérisation



Colorimètres & Vidéocolorimètres

Mesures de l'uniformité en couleur ou luminance de vos sources ou displays



Nouveau Spectroradiomètre IR

Technologie BiTec : détecteur à matrice InGaAs + diode InGaAs Refroidissement thermoélectrique Plage spectrale 950-2150nm



www.ardop.com sales@ardop.cpm +33 5 40 25 05 36

