

DU SERVICE DES TRAVAUX PRATIQUES AU LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT EXPÉRIMENTAL (LEnsE)

(Texte paru dans l'ouvrage édité à l'occasion du Centenaire de l'Institut d'Optique « De l'optique à la photonique »)

Un peu d'histoire...



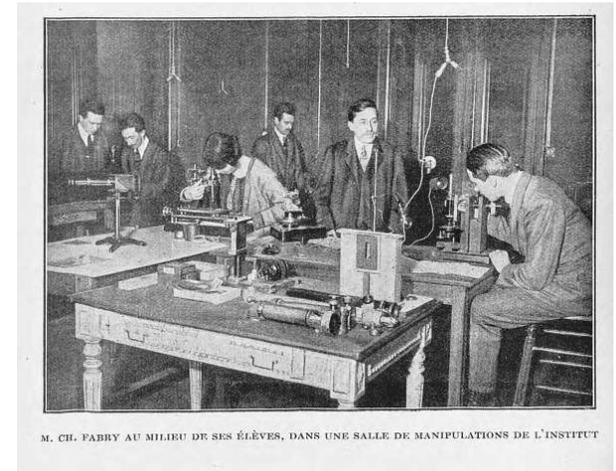
Une salle de travaux pratiques à Paris en 1960 environ. © Institut d'Optique

SCIENCE ET PÉDAGOGIE PAR LA PRATIQUE

Pour former des ingénieurs en photonique, l'Institut d'Optique a depuis sa création mis l'accent sur les travaux pratiques. Le « Service des TP » a toujours constitué une structure très importante de l'école d'ingénieur.e.s et une spécificité par rapport aux autres grandes Écoles. C'est une structure remarquable par les moyens matériels et humains qu'elle met à la disposition des élèves, et spécifique par la formation dispensée qui contribue à donner aux jeunes diplômé.e.s la réputation méritée d'être d'excellents expérimentateurs et expérimentatrices.

Depuis la création de l'Institut d'Optique, cette structure unique d'apprentissage scientifique par la pratique s'est communément appelée « Service des TP ». À partir de 2013, il prend le nom de LE_{nsE}, acronyme de Laboratoire d'Enseignement Expérimental, pour mettre en avant cette structure orientée vers la transmission des savoirs et savoir-faire scientifiques et techniques.

Le LE_{nsE} dispose à ce jour d'environ 150 postes d'expérimentations scientifiques, permettant de mettre en oeuvre une riche et stimulante pédagogie par l'expérimentation. Les diplômé.e.s de l'Institut d'Optique acquièrent à la fois une culture technique et scientifique qui leur permet d'être opérationnels très rapidement



M. CH. FABRY AU MILIEU DE SES ÉLÈVES, DANS UNE SALLE DE MANIPULATIONS DE L'INSTITUT

et s'enrichissent de la confrontation de la physique expérimentale aux modèles théoriques avancés.

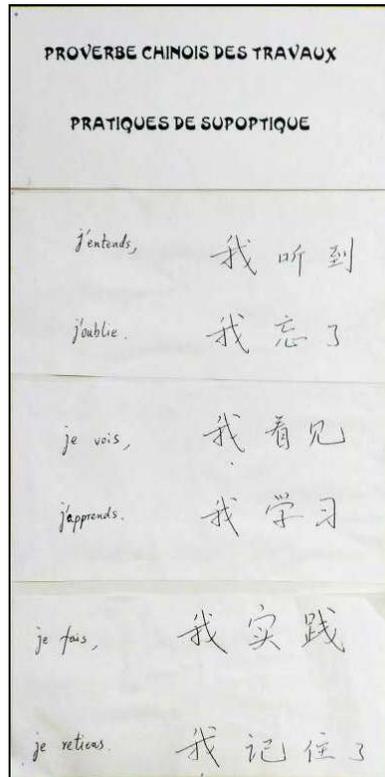
Les travaux pratiques et les projets sont des moments privilégiés pour analyser les phénomènes physiques en profondeur. Il faut alors puiser dans différents concepts de la physique afin de construire des raisonnements, suivre une démarche scientifique et enfin répondre au « pourquoi et comment ça marche ? ». Cet apport de la pratique est résumé par le « proverbe chinois des travaux pratiques » (J'entends, j'oublie. Je vois, j'apprends. Je fais, je retiens) attribué à Confucius et longtemps affiché au bâtiment 503.

Les domaines abordés ainsi par la pratique recouvrent tous les aspects de la photonique,

**M. Ch. Fabry
au milieu de
ses élèves,
dans une
salle de
manipulation
de l'Institut.
© Institut
d'Optique**

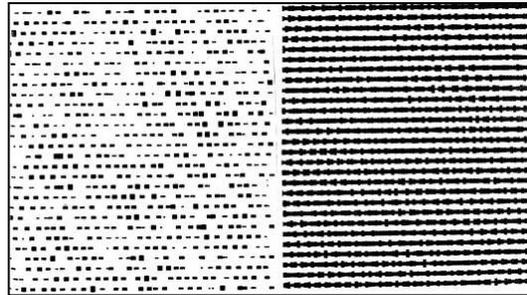


Expérience d'oscillateur paramétrique optique à Palaiseau en 2012
© Institut d'Optique



Proverbe chinois des travaux pratiques

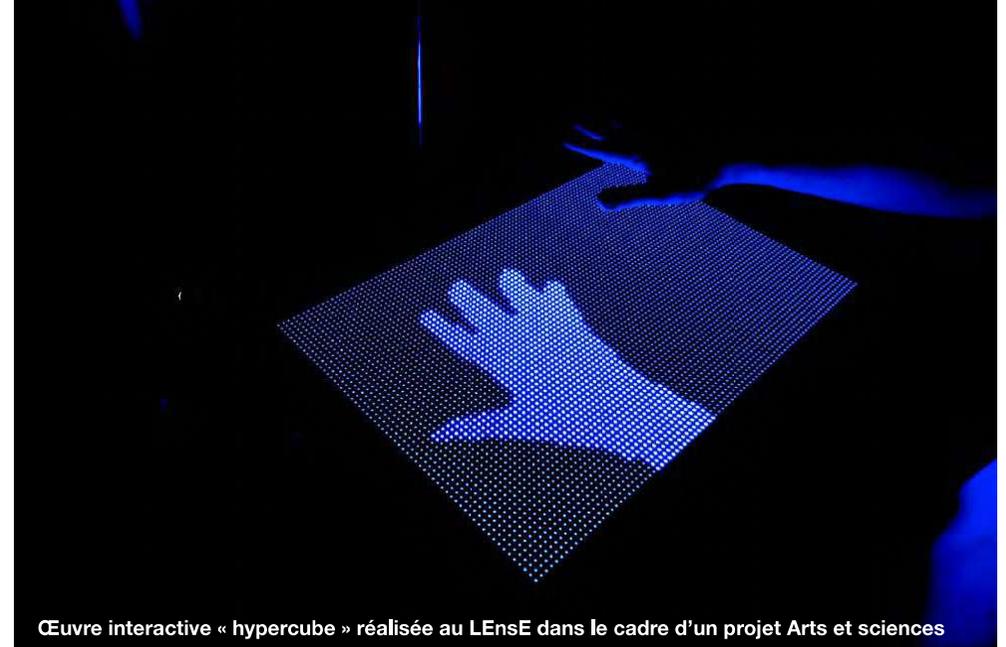
Un hologramme de Lohmann imprimé sans doute vers 1985 à l'Institut d'Optique



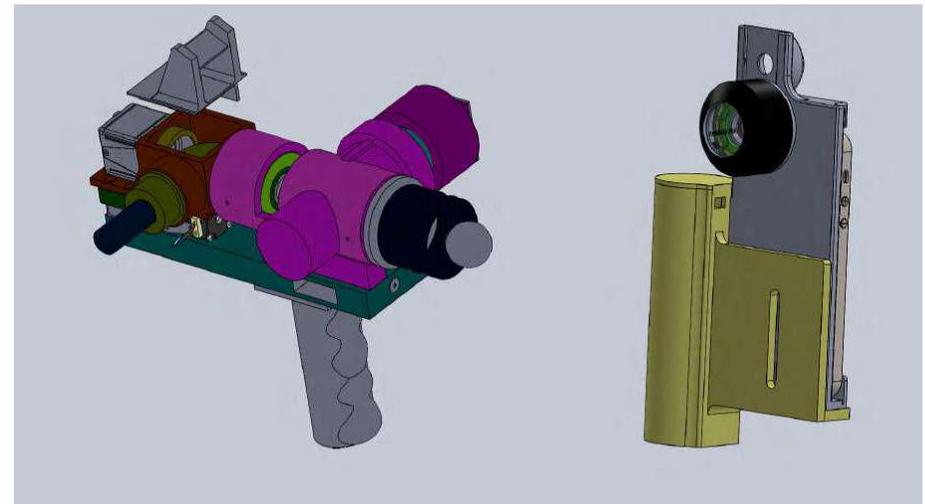
la liste est longue : de la production de lumière (pour l'éclairage ou les lasers), sa mesure (photométrie, colorimétrie), sa détection (détecteurs visibles ou IR, matriciels ou non), ses propriétés (optique ondulatoire, polarisation, optique quantique), sa manipulation (optique instrumentale, fibres optiques, optique non linéaire) jusqu'aux dispositifs d'applications industrielles pour les télécommunications, la défense, le biomédical, etc. Ces aspects sont complétés par une formation aux technologies modernes de traitement électronique de l'information.

La richesse du LEnsE, construite au cours de sa longue histoire repose sur les 80 intervenant.e.s qui façonnent chaque année la formation expérimentale. Les enseignant.e.s, chercheur.e.s, ingénieur.e.s, qui enseignent, savent qu'ils peuvent en particulier compter sur l'expertise d'un ingénieur, et de plusieurs techniciens (un sur chaque site) pour lancer chaque année de nouvelles aventures scientifiques, pédagogiques et expérimentales ! Le LEnsE est ainsi en interaction constante avec les laboratoires de recherche et le tissu industriel, la liste des expériences proposées aux élèves évoluant chaque année.

Il faut noter que des développements industriels ont aussi lieu dans le cadre du LEnsE. Par exemple, ces dernières années ont vu le développement d'un appareil de détection du mélanome à bas coût (projet MelanOptic) ou, plus récemment, la conception d'un prototype d'appareil d'imagerie de la rétine (projet RetinOptic), ces projets donnant lieu à des dépôts de brevets.



Œuvre interactive « hypercube » réalisée au LEnsE dans le cadre d'un projet Arts et sciences



De plus, le LEnsE accueille les élèves pour tous leurs projets techniques, qu'ils soient à vocation de développement scientifique (en particulier les projets d'Ingénierie multi-site, impliquant une trentaine d'élèves des trois sites sur l'année), de vulgarisation scientifique (dans le cadre de leur formation ou en dehors), artistiques (projets Arts et Sciences par exemple), pour la Junior Entreprise, ou en partenariat avec le FabLab du bâtiment 503 pour la Filière Innovation-Entrepreneurs.

Prototypes de dispositifs conçus et réalisés au LEnsE dans le cadre de développements industriels. À gauche, un appareil imageant la rétine. À droite, un système optique adaptable sur smartphone pour l'imagerie dermatologique
© Institut d'Optique



Forum IngénIOGS 2017 organisé par le LEnsE où les élèves présentent leurs projets scientifiques.
© Institut d'Optique

PARCOURS D'UNE STRUCTURE UNIQUE DE 1980 À 2017

L'histoire du LEnsE accompagne donc le siècle d'histoire de l'Institut d'Optique. L'augmentation du nombre d'étudiant.e.s a considérablement fait évoluer sa structure : accueillir 150 étudiant.e.s par an qui réalisent chacun de 60 à 70 expériences sur 3 ans, sans compter les projets expérimentaux, suppose un peu d'organisation.

L'accueil d'un nombre important d'élèves sans perdre en qualité (ni en quantité) des expériences n'est en effet possible que grâce à une optimisation de l'utilisation des matériels et des salles et à la cohésion d'une équipe enseignante chevronnée.

Les évolutions des techniques expérimentales ont bien entendu façonné cette histoire. Pendant longtemps les expériences et les mesures effectuées en travaux pratiques étaient des mesures visuelles. On apprenait par exemple à mesurer avec une grande précision les focales des lentilles avec un viseur à frontale fixe, les indices des verres grâce au goniomètre, les qualités des surfaces optiques avec un interféromètre de Fizeau, surnommé la bête à cornes. Des concours de vitesse de réglage étaient organisés sur les magnifiques interféromètres de Michelson construits à l'Institut d'Optique et qui

sont encore aujourd'hui en parfait état. Même certaines mesures photométriques comme la mesure de la luminance d'une source étaient effectuées visuellement.

Puis, dans les années quatre-vingt, sous l'impulsion de Jacques Sabater, alors enseignant avant d'être nommé responsable du « Service des TP », apparaissent les premiers photodétecteurs, les premiers ordinateurs et les toutes premières caméras CCD. L'électronique et l'informatique vont enrichir considérablement les possibilités d'expériences. Avec ces outils, apparaissent de nouveaux travaux pratiques comme la télémétrie laser ou l'interférométrie de « speckle », ainsi que les premiers montages à fibre optique.

L'année 1992 marque un tournant avec l'achat d'un premier interféromètre laser à glissement de phase (le Zygo), entièrement piloté par ordinateur, qui permet d'étudier très rapidement et avec une précision de quelques dizaines de nanomètres des surfaces optiques ou des systèmes optiques complets. C'est un outil pédagogique formidable entre autres pour comprendre les subtilités de la théorie des aberrations géométriques. Cet investissement a bénéficié de l'aide financière des industriels français de l'optique sur la recommandation de Jean-Louis Meyzonnette alors titulaire de la chaire d'optronique.

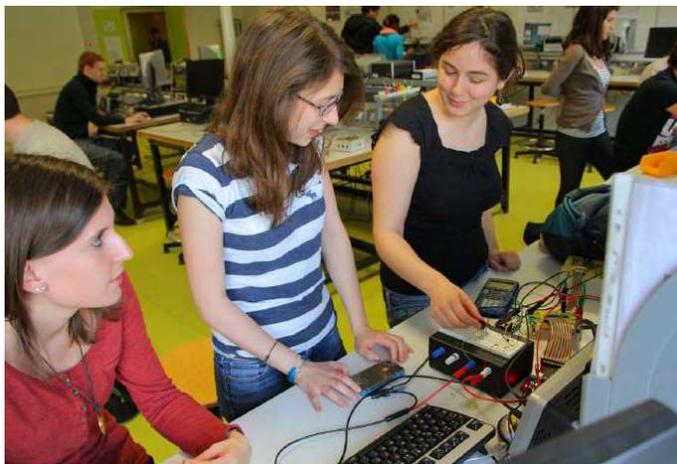


Étude d'un objectif par interféromètre de Fizeau

À partir de 1992, Lionel Jacobowicz, enseignant nouvellement nommé à l'Institut d'Optique qui deviendra responsable du service en 2000, et Thierry Avignon conçoivent un grand nombre de nouvelles expériences alliant l'optique, l'électronique et l'informatique avec nombre d'enseignant.e.s et de chercheur.e.s. Beaucoup trop nombreux pour être nommés ici, ces derniers/ères sont, par leur enthousiasme, leur travail et leur disponibilité, la clé de voûte de l'évolution permanente du LEnsE.

Séances de travaux pratiques d'électronique pour le traitement de l'information - Palaiseau 2015.

© Institut d'Optique



Parmi ces nouvelles expériences, citons par exemple les mesures de fonction de transfert de modulation dans les domaines visible et infrarouge qui permettent de quantifier la résolution des systèmes optiques d'imagerie, la mesure de la vitesse de rotation de la Terre à l'aide d'un gyromètre à fibre. Apparaissent aussi au LEnsE les détecteurs infrarouges et les caméras thermiques, ouvrant ainsi l'horizon des étudiant.e.s sur ces nouveaux domaines de l'optique en dehors de la fenêtre visible.

Un autre fait marquant est la conception dès 1995 d'une expérience pédagogique d'optique adaptative. Un miroir déformable et un analyseur de front d'onde sont utilisés pour montrer comment corriger en temps réel l'effet des perturbations atmosphériques. Les élèves ingénieur.e.s peuvent ainsi aborder au cours de leurs études ce domaine tout à fait innovant en optique instrumentale,

domaine jusqu'alors réservé à quelques grands télescopes mondiaux. Cette expérience a connu un tel succès qu'elle a été doublée d'une seconde expérience d'optique adaptative utilisant une nouvelle technologie de miroir déformable en 2008.

Pour comprendre la richesse considérable des expériences présentées au LEnsE, il faut insister sur le fait qu'elles sont très souvent conçues en synergie avec les laboratoires de recherche de l'Institut d'Optique.

Par exemple, les grandes avancées de la recherche dans le domaine des lasers deviennent rapidement de nouvelles expériences au LEnsE, par exemple celles sur les lasers solides, les lasers impulsionnels, le doublage de fréquence, les oscillateurs paramétriques optiques, ou encore très récemment, le laser femtoseconde.

LA FORMATION CONTINUE À L'INSTITUT D'OPTIQUE

Des 1927, des cours du soir sont organisés pour répondre aux besoins des industriels. Cette activité est formalisée par la création en 1975 du service de formation continue de l'Institut d'Optique, sous l'impulsion du professeur Michel Cagnet.

Les formations s'adressent à tout type de public : ingénieur.e.s, technicien.ne.s supérieur.e.s, technico-commerciaux, ou chercheur.e.s, concepteur.e.s, utilisateurs ou décideurs, desireux d'acquérir aussi bien des notions de base que des compléments de formation dans des domaines plus spécialisés. La formation continue propose aussi des démonstrations expérimentales et des séances de travaux pratiques.



Expérience d'optique adaptative – Formation continue, Palaiseau 2015.

© A. Chezières/Institut d'Optique



Consigne de sécurité
toujours affichée sur
l'expérience de photons
intriqués en polarisation.
La référence à Alain Aspect
est à peine voilée !



Dans le domaine de l'optique quantique, une première source de paires de photons intriqués en polarisation est réalisée au LEnsE en 2004. Cette source permet depuis aux étudiants de tester pendant une séance de travaux pratiques les fameuses inégalités de Bell. Rappelons ici que la première violation incontestable des inégalités de Bell a été réalisée par Alain Aspect et son équipe en 1982 justement au Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique. Un panneau de « sécurité quantique » conçu en 2005 par des élèves facétieux y fait référence avec humour. Une seconde source de photons jumeaux est montée en 2011 avec l'aide du groupe d'Optique quantique pour effectuer une expérience d'interférence à deux photons (expérience appelée Hong-Ou-Mandel).

Le domaine des fibres télécom n'est pas oublié avec, par exemple, la mise en place dès le début des années 2000 d'expériences sur les amplificateurs à fibres et les transmissions à très haut débit.

La photonique moderne nécessite des dispositifs performants de traitement électronique de l'information. L'enseignement de l'électronique a considérablement évolué au cours des vingt dernières années, suivant en cela les mutations technologiques de ce domaine. Propice aux projets en équipes, et permettant d'associer les savoir-faire en photonique et en informatique, l'électronique expérimentale enseignée à l'Institut d'Optique utilise tous les potentiels de l'électronique embarquée.

Le déménagement d'Orsay à Palaiseau en 2006, dans des locaux dédiés, a été pleinement mis à profit pour proposer un cadre spacieux (plus de 1 600 m²) modulaire et convivial pour ces enseignements. Depuis 2003 et la création des sites de l'Institut d'Optique en régions, le LEnsE a décliné ses modalités en fonction des particularités des sites. Certaines expériences (de photométrie, sur les lasers) ont été dupliquées et de nouvelles expériences sont construites sur les sites.

Cette aventure nationale ne fait que commencer, une nouvelle étape en 2017 est la construction d'une expérience de « science de la couleur », grâce à un projet regroupant étudiant.e.s et enseignant.e.s des trois sites.

Five keys, réalisation d'élèves dans le cadre d'un projet Arts et Sciences en 2014. Le projet était piloté par Éric Michel, artiste lumière. © Eric Michel, Institut d'Optique.

