

# Yves Couder.

## De l'apprentissage par l'expérience, et quand l'expérience guide la recherche

**Benjamin Thiria**<sup>(1)</sup> (benjamin.thiria@espci.psl.eu)  
et **Sylvain Courrech du Pont**<sup>(2)</sup> (sylvain.courrech@u-paris.fr)

(1) Physique et mécanique des milieux hétérogènes, ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05

(2) Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris-Diderot, 75205 Paris Cedex 13

Cet article revient sur un enseignement central du département de physique de l'Université de Paris. Initié par Yves Couder et ses collègues au milieu des années 1970, cet enseignement a pour but de mettre l'observation, le questionnement et la mesure expérimentale au centre de l'apprentissage des sciences fondamentales, tranchant radicalement avec les méthodes conventionnelles.

De nos jours, le module de « Physique Expérimentale » fait toujours partie intégrante de la formation des jeunes physiciens de l'Université de Paris et a depuis inspiré plusieurs autres enseignements universitaires et de grandes écoles.

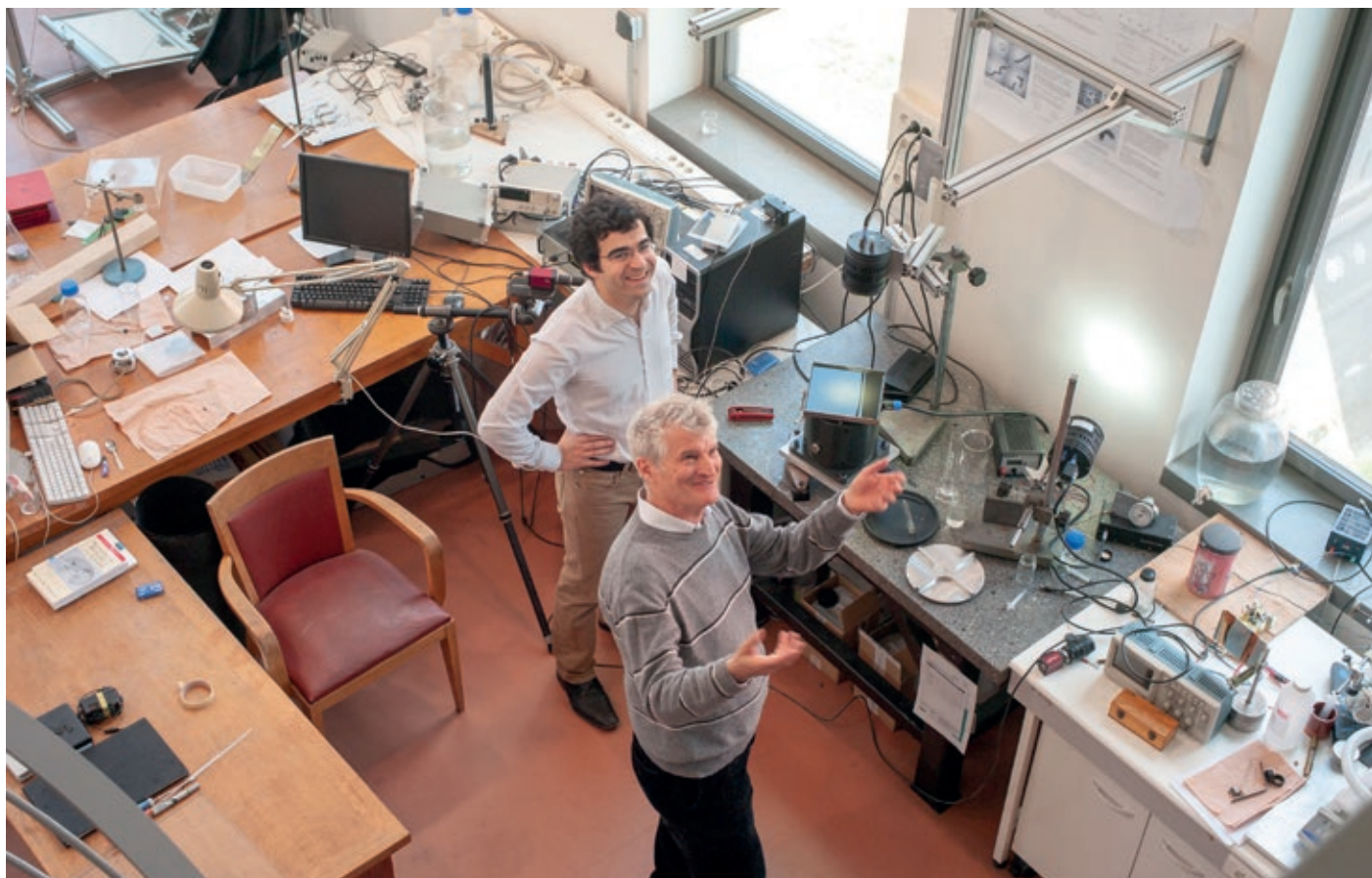
### La création de l'enseignement de physique expérimentale à l'université Paris-Diderot

Juste après la scission de l'Université de Paris sur le campus de Jussieu en 1971, l'Université Paris 7 Diderot est créée. C'est dans ce climat post-soixante-huit qu'est lancée, dans cette université, une réflexion sur les méthodes d'enseignement : une série de nouveaux modules voit le jour. En 1975, sous l'impulsion d'Yves Couder (fig. 1), une équipe d'enseignants-chercheurs de l'UFR de Physique, composée d'Yves Couder, Bernard Perrin, Jean Matricon, François Abel puis Claude Guthmann, crée le module de physique expérimentale « PhyExp ». Cet enseignement, destiné aux étudiants de troisième année de licence de physique, avait pour but d'apporter un changement profond dans la relation entre enseignants et enseignés, en privilégiant les interactions horizontales plutôt que celles, classiques et verticales, des cours magistraux et travaux dirigés.

L'enseignement de PhyExp consiste à proposer à des groupes réduits d'étudiants (binômes ou trinômes) de tenter de répondre, par l'expérience et l'observation, à une question scientifique donnée. La démarche d'Yves Couder et de ses collègues veut d'une part que la question scientifique soit originale, mais aussi que tout le dispositif expérimental soit à concevoir et réaliser.

Chaque groupe d'étudiants se voit ainsi attribuer un sujet sur lequel il devra travailler pendant l'année scolaire, à raison de deux séances de quatre heures par semaine. Les premières semaines sont consacrées à l'apprentissage des concepts théoriques fondamentaux. À leur issue, les étudiants font une première présentation orale devant leurs camarades. Les semaines suivantes laissent le temps nécessaire à la réalisation d'un dispositif expérimental et au tâtonnement. Les étudiants examinent un problème scientifique, et se renvoient questionnements, méthodes et observations. Au terme de l'enseignement, ils écrivent un rapport et soutiennent oralement leurs résultats.

Pour l'équipe enseignante, l'unité de lieu est primordiale. Les étudiants doivent se sentir chez eux. Au commencement, l'université leur a attribué deux grandes salles pour les activités expérimentales et une salle attenante pour accueillir un atelier. L'atelier est équipé de machines-outils provenant d'artisans parisiens. Il n'y a pas de technicien. Les étudiants, guidés par les enseignants, fabriquent les pièces dont ils ont besoin et apprennent à se servir de perceuses à colonne et de tours. D'anciens instruments de mesures et des ouvrages scientifiques sont récupérés dans les laboratoires. Tout est sur place. C'est l'esprit d'un Fab Lab [1] avant l'heure, l'apprentissage par la recherche, celui de concepts physiques, de techniques, de méthodologie,



1. Yves Couder (en avant-plan) et Emmanuel Fort, en avril 2011, dans leur salle de manips au Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (Université de Paris).

de la formulation des idées, de l'expression orale et du plaisir d'entreprendre.

La question du choix des sujets est un des éléments centraux de PhyExp. Alors que les enseignements expérimentaux classiques abordent essentiellement les concepts de base de la physique comme illustration de la théorie, Yves Couder privilégie au contraire l'exploration et l'approche du chercheur. En début d'année, une série de questions scientifiques originales soumises par les enseignants est proposée, puis discutée collégialement avec les étudiants. Ces questions peuvent s'appuyer sur une publication scientifique récente, une expérience historique que l'équipe rêve de reproduire, une observation originale d'un enseignant ou encore sur proposition des étudiants eux-mêmes. Il était aussi important que les encadrants ne soient pas spécialistes de la plupart des sujets proposés. Cette démarche place l'enseignant au même niveau de découverte et permet ainsi à l'enseigné d'observer la démarche exploratoire.

Explorer, observer, se questionner sont les compétences visées par ce module, alors

que l'enseignement classique favorise le résultat exact. Une expérience ratée, ou peu fructueuse, est aussi un apprentissage.

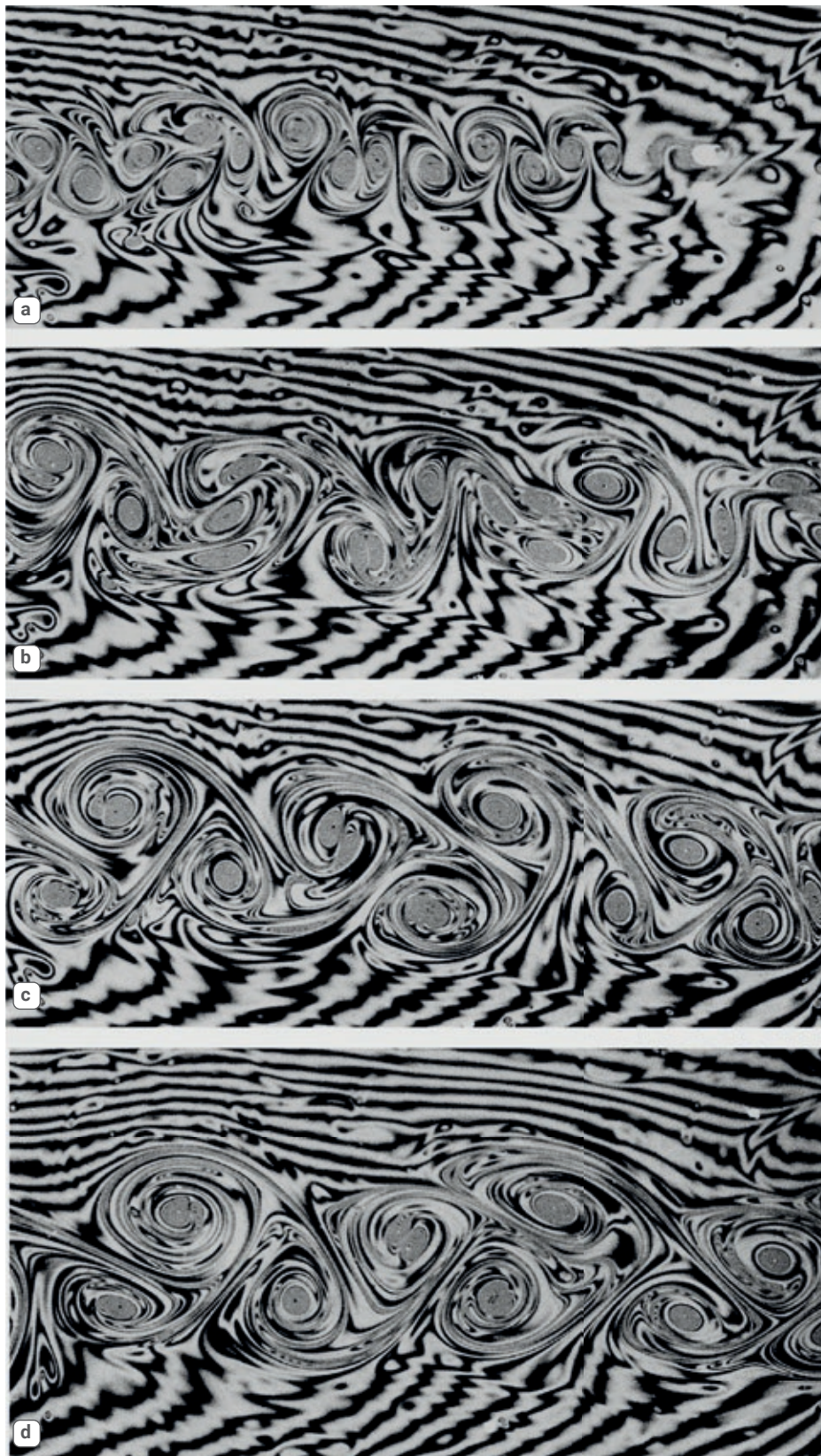
## Une rencontre entre la recherche et l'enseignement

Au fil des ans, l'approche voulue par Yves Couder a permis de créer un véritable point de rencontre entre la recherche et l'enseignement. Depuis sa création, les projets réalisés avec les étudiants ne cessent de se nourrir de la recherche en cours dans les laboratoires, et inversement. Les archives des rapports des étudiants de PhyExp montrent la reproduction d'expériences historiques comme la goutte d'huile de Millikan, l'expérience de Jean Perrin et la mesure de la constante de Boltzmann et du nombre d'Avogadro, des chambres à brouillard ou un pendule de Foucault mémorable en 1978. Claude Guthmann et Bernard Perrin se souviennent d'avoir eu l'autorisation de l'université de

percer la dalle du toit de la tour 33 de Jussieu, pour y fixer le mandrin qui soutiendra les quinze mètres du pendule oscillant dans la cage d'escalier, à travers les étages de la tour. À l'image des grandes thématiques de recherche du moment, PhyExp voit surtout défiler la physique non linéaire française de ces quatre dernières décennies : les instabilités hydrodynamiques et le chaos dans les années 1980-90, les milieux granulaires et la morphogenèse dans les années 1990-2000, l'hydrodynamique capillaire dans les années 2000-2010 ; puis vient l'ouverture sur la biophysique, la matière active et les mouvements collectifs.

Les questions abordées suivent l'actualité des chercheurs avec leurs méthodes du moment. Ces chercheurs, à leur tour, gardent un œil curieux et attentif sur les résultats obtenus par les étudiants. C'est ainsi que beaucoup de sujets traités à PhyExp ont par la suite donné naissance à des publications scientifiques dans des revues internationales, en y associant les étudiants, mais ont aussi inspiré des axes de

>>>



2. Allées de Bénard-Von Karman observées dans un film de savon. Ces images font partie des travaux entrepris par Yves Couder sur la turbulence à deux dimensions et, en particulier, sur les modèles d'atmosphère reproductible en laboratoire. Les films de savon, dont l'épaisseur est négligeable devant les deux autres dimensions (longueur et largeur), permettent d'obtenir un écoulement quasi bidimensionnel. Il est ainsi possible de reproduire les conditions retrouvées pour l'atmosphère terrestre. (Image tirée de [2, 3]).

>>>

recherche complets repris dans des laboratoires. Le dilemme du golfeur (le "put" raté), l'instabilité de la valise à roulettes, les dunes de sables aquatiques, le pendule de Newton à sphères molles, les turbines à pales flexibles, la forme des madeleines ou les écoulements de dissolution sont autant de sujets dont la genèse a démarré avec les étudiants au cours de ces projets [2-13].

## La recherche d'Yves Couder a profité de ces allers-retours pendant toute sa carrière

Au début des années 1980, une série de projets est lancée sur l'hydrodynamique dans des films de savon, en commençant par la génération de tourbillons et la reproduction d'une allée de von Karman dans le sillage d'un film (fig. 2). Yves développera au laboratoire cet axe précurseur de recherche sur la turbulence à deux dimensions : les films de savon comme modèle de l'atmosphère terrestre [2, 3].

En 1986, il propose à des étudiants de reproduire une expérience d'instabilité hydrodynamique de digitation visqueuse en cellule de Hele-Shaw : l'instabilité de Saffman-Taylor. Olivier Cardoso, maintenant enseignant-chercheur à l'université, faisait partie du groupe d'étudiants et se souvient de cette époque d'avant l'omniprésence de l'ordinateur, quand l'analyse d'image se faisait à partir de tirages argentiques, découpés puis pesés pour calculer des surfaces. Lors d'une expérience, des bulles indésirables sont présentes dans les liquides et modifient les résultats. Au lieu d'une digitation simple, l'équipe voit croître une dendrite, comme observé dans la croissance des cristaux (fig. 3). Une bulle piégée à la pointe du doigt l'empêche de se scinder, et l'instabilité devient latérale. L'expérience n'est pas ratée, c'est un résultat majeur. Une série d'articles suivra la première publication d'Yves avec les étudiants [4].

Plus tard, en 2004, Yves souhaite reproduire une expérience de « non-coalescence » de gouttes, proposée par James Raymond et rapportée par Jearl Walker dans un article de *Scientific American* en 1978 [14]. L'idée est de faire rebondir une goutte verticalement sur un bain vibré à haute fréquence, en y ajoutant si besoin du surfactant. Le procédé fonctionne et une goutte peut

rebondir indéfiniment. Le surfactant se révèle inutile, la vibration génère un film d'air qui lubrifie le contact et permet à la goutte de rebondir plutôt que de coalescer [6]. Yves rapportera l'expérience dans son laboratoire : ce sera le sujet du doctorat de Suzie Protière. En changeant les paramètres, l'expérience se révélera plus riche encore. Chaque rebond déforme la surface du bain et émet un train d'ondes circulaires. La goutte rebondit sur ses vagues et le corps avance avec son onde. On imagine l'œil pétillant et le sourire malicieux d'Yves Couder devant ce phénomène. Emmanuel Fort faisait alors partie de l'équipe enseignante. Les deux chercheurs publieront ensemble de nombreux articles sur ce sujet, qui inspire toujours maintes équipes à travers le monde [8].

## En héritage

Beaucoup de recherches expérimentales se basent encore de nos jours sur un résultat théorique établi préalablement. La théorie d'abord, l'expérience ensuite. C'est rassurant. Yves a une autre idée de la physique expérimentale : l'expérience comme champ d'investigation et d'inspiration. Il est ouvert aux imprévus. Avec PhyExp, il a fondé un laboratoire d'idées, fidèle à cette vision singulière de la recherche qui a formé des centaines d'étudiants aux sciences expérimentales et influencé de nombreuses équipes. Depuis, ce modèle d'enseignement a été repris au sein d'autres universités et grandes écoles.

PhyExp est toujours un enseignement central à l'Université Paris-Diderot (devenue Université de Paris). Les étudiants n'utilisent plus les machines-outils. Un technicien, associé à l'équipe enseignante, réalise les travaux de mécanique à partir des plans élaborés par les étudiants. L'électronique, les plateformes de prototypage Arduino, la découpe laser et les smartphones sont devenus des outils privilégiés [1]. PhyExp suit les évolutions des normes de sécurité et des technologies mais a gardé la même vision, celle d'un module où des étudiants de troisième année d'université peuvent être des découvreurs. ■

Nous remercions chaleureusement Olivier Cardoso, Claude Guthmann, Jean Matricon, Bernard Perrin, Marc Rabaud et Suzie Protière.



**3. Digitation visqueuse en cellule de Hele-Shaw.** Entre deux plaques parallèles très peu espacées (cellule de Hele-Shaw, modèle d'un milieu poreux), un fluide visqueux est poussé par un fluide moins visqueux. Au-delà d'une vitesse seuil, l'interface initialement lisse se déstabilise pour former des doigts (effet de pointe). C'est l'instabilité de Saffman-Taylor. Différentes formes peuvent être observées. Un défaut à la pointe du doigt comme une bulle piégée fait apparaître des dendrites. (Image prise par les étudiants, tirée de [4]).

## Références

- 1• F. Piuze, « Les Fab Labs et ateliers numériques », *Reflets de la physique* **68** (2021) 32-36.
- 2• Y. Couder *et al.*, « Sur l'apparition de couples solitaires de tourbillons dans les sillages bidimensionnels turbulents », *C.R. Acad. Sci. Paris, Série 2*, **299** (1984) 89-94.
- 3• Y. Couder et C. Basdevant, "Experimental and numerical study of vortex couples in two-dimensional flows", *J. Fluid Mech.* **173** (1986) 225-251.
- 4• Y. Couder *et al.*, "Dendritic growth in the Saffman-Taylor experiment", *EPL* **2** (1986) 437.
- 5• P. Hersen *et al.*, "Relevant length scale of barchan dunes", *Phys. Rev. Lett.* **89** (2002) 264301.
- 6• Y. Couder *et al.*, "From bouncing to floating: Noncoalescence of drops on a fluid bath", *Phys. Rev. Lett.* **94** (2005) 177801.
- 7• Y. Couder *et al.*, « Les gouttes marcheuses. Une forme de dualité onde-particule à échelle macroscopique ? », *Reflets de la physique* **5** (2007) 20-24.
- 8• Y. Couder, "Walking and orbiting droplets", *Nature* **437** (2005) 208.
- 9• M. Gualtieri *et al.*, "Golfer's dilemma", *Am. J. Phys.* **74** (2006) 497-501.
- 10• K. Sekimoto, "Newton's cradle versus nonbinary collisions", *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010) 124302.
- 11• C. Cohen *et al.*, "Erosion patterns on dissolving and melting bodies", *Phys. Rev. Fluids* **1** (2016) 050508.
- 12• G. Facchini *et al.*, "The rolling suitcase instability: a coupling between translation and rotation", *Proc. R. Soc. A*, **473** (2017) 20170076.
- 13• V. Cognet *et al.*, "Bioinspired turbine blades offer new perspectives for wind energy", *Proc. R. Soc. A* **473** (2017) 20160726.
- 14• J. Walker, "To float on the liquid. What enables them to do so?", *Scientific American* **238** (1978) 151-158.