

Les ondelettes et le CIRM

Marie Farge¹, Alex Grossmann², Yves Meyer³, Thierry Paul⁴,
Jean-Claude Risset⁵, Ginette Saracco⁶, Bruno Torrèsani⁷

Le formalisme de la transformée en ondelettes continue naquit de la rencontre improbable et fructueuse entre Jean Morlet, spécialiste de la sismique réflexion qu'il utilisait pour l'exploration pétrolière chez Elf-Aquitaine, et Alex Grossmann, chercheur CNRS spécialiste de mécanique quantique au Centre de Physique Théorique (CPT) du CNRS à Marseille. Nous ne parlerons pas ici des aspects techniques de la théorie des ondelettes car Albert Cohen vient de l'exposer de façon remarquable, par sa clarté et sa cohérence, dans le numéro précédent de la *Gazette des Mathématiciens* [33], auquel nous convions le lecteur à se reporter. Nous nous contenterons de montrer comment les ondelettes se sont développées et quel rôle a joué le CIRM dans leur diffusion.

Jean Morlet et Alex Grossmann

Jean Morlet est né à Paris le 1^{er} août 1931. Après avoir étudié à l'École Polytechnique d'où il sortit en 1952, puis à L'ENSPM (École Nationale des Pétroles et des Moteurs), il entra en 1958 comme ingénieur de recherche au service de la CEP (Compagnie d'Exploration Pétrolière). Quelques années plus tard il participa à la fusion entre la CEP et la SNPA (Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine) qui formèrent ainsi le consortium pétrolier Elf, ensuite absorbé en 2000 par la société Total. Jean Morlet consacra toute sa carrière à l'exploration pétrolière, domaine dans lequel il devint un chercheur mondialement reconnu. C'est à l'époque de la société Elf, dans les années 1970, qu'il chercha à améliorer les méthodes d'analyse et de traitement des signaux sismiques utilisés en géophysique.

Toute sa vie Jean Morlet fut un grand admirateur de Dennis Gabor, père de l'holographie et de la transformée de Fourier à fenêtre glissante (de forme gaussienne), encore appelée « transformée de Gabor ». Jean Morlet utilisait beaucoup celle-ci et en connaissait bien les avantages mais aussi les limites quand on souhaite analyser des signaux hautement instationnaires, tels les explosions ou les chocs émis par les camions-vibrateurs utilisés en sismique réflexion pour sonder la structure du sous-sol. Pour essayer de comprendre celle-ci sans effectuer de forages on envoie dans le sous-sol des paquets d'ondes, appelés « ondelettes », et on enregistre les signaux rétrodiffusés (réfléchis par les couches géologiques) grâce à des micros placés à la surface du sol. Ces signaux sont ensuite analysés par transformée de Gabor puis

¹ ÉNS, Paris.

² Génopole, Evry.

³ ÉNS, Cachan.

⁴ École Polytechnique, Palaiseau.

⁵ LMA, Marseille.

⁶ CEREGE, Aix.

⁷ LATP, Marseille.

traités grâce à des algorithmes de type problème inverse, ce qui permet de reconstruire la structure interne du sous-sol, en espérant ainsi détecter de manière non destructive les cavités susceptibles de contenir du pétrole.

Pour réduire la taille des fichiers à traiter sans dégrader leur information, Jean Morlet eut l'idée d'échantillonner les signaux de façon adaptative, en remplaçant la modulation du paquet d'onde élémentaire de la transformée de Gabor par sa dilatation. On obtient ainsi une famille d'ondelettes de forme constante (en particulier le nombre d'oscillations reste constant), dont le support spatial varie proportionnellement au paramètre de dilatation, tandis que le support spectral varie de façon inversement proportionnelle, ce qui correspond à un banc de filtres à bande passante relative constante. Jean Morlet établit de façon empirique les formules d'analyse et de synthèse et présenta ses premiers résultats en octobre 1975, lors du 45^e Colloque International de la SEG (*Society of Exploration Geophysicists*) à Denver, puis en novembre 1980, lors du 50^e Colloque International Annuel de la même société qui se tenait à Los Angeles. Ces premiers travaux furent publiés dans deux articles parus en 1982 dans la revue *Geophysics* [4-5].

Jean Morlet montra en octobre 1981 cette nouvelle transformée à Roger Balian, condisciple de la même promotion que lui à l'École Polytechnique, spécialiste de physique statistique et de mécanique quantique, qui dirigeait le Service de Physique Théorique du CEA-Saclay. Ce dernier venait de publier un article important, intitulé « Un principe d'incertitude fort en théorie du signal ou en mécanique quantique », où il montrait que les fonctions utilisées par la transformée de Gabor ne peuvent pas engendrer de bases orthogonales [3]. Roger Balian conseilla alors à Jean Morlet d'aller voir Alex Grossmann à Marseille. Quand ils se rencontrèrent au CPT en Décembre 1981 Alex Grossmann fit immédiatement le lien avec les représentations en espace de phase de la mécanique quantique, sujet dont il avait découvert l'intérêt grâce à Daniel Kastler, également chercheur au CPT, qui fut l'un des fondateurs du Campus de Luminy et du CIRM. Alex Grossmann démontra que la transformée en ondelettes continue est trivialement inversible en tant qu'inverse d'une transformation unitaire entre deux espaces de Hilbert, ceci provenant du fait qu'il s'agit d'une représentation de carré intégrable du groupe affine. Par ailleurs, la nécessité d'une condition d'admissibilité, que doivent satisfaire les ondelettes et qui n'a pas d'analogue dans le cas de la transformée de Gabor (associée quant à elle au groupe de Weyl-Heisenberg), s'explique par le fait que le groupe affine n'est pas unimodulaire. Alex Grossmann et Jean Morlet publièrent ensemble ces résultats en 1984 dans trois articles [5-7], dont un parut dans le *SIAM Journal of Mathematical Analysis* sous le titre « Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape » [7], article qui est la référence en matière de transformée en ondelettes continue. De 1985 à 1989 Alex Grossmann et Jean Morlet rédigèrent conjointement douze autres articles sur les ondelettes.

Les ondelettes au CPT, au LMA et à l'École Polytechnique

Si les ondelettes ne sont pas nées au CIRM, tous deux ont presque le même âge et se sont développés conjointement. En effet, dans le milieu des années 1980 deux groupes de chercheurs travaillaient ensemble à Marseille à côté du CIRM. D'une part, sur le campus de Luminy au Centre de Physique Théorique (CPT) du CNRS il y avait Alex Grossmann entouré de ses thésards (Thierry Paul, Matthias



Jean Morlet, Alex Grossmann et Yves Meyer

Holschneider et Marc Duval-Destin) et de ses collaborateurs (Ingrid Daubechies de l'Université Libre de Bruxelles, Jean-Pierre Antoine et Romain Murenzi de l'Université de Louvain-la-Neuve ainsi que Philippe Tchamitchian et Bruno Torrèsani au CPT). D'autre part, sur le campus Joseph Aiguier se trouvaient au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA) du CNRS plusieurs chercheurs qui se sont intéressés très tôt aux ondelettes : Jean-Claude Risset, Daniel Arfib, Richard Kronland-Martinet, Ginette Saracco, Pierre Dutilleux, Frédéric Boyer, Philippe Guillemain et Nathalie Delprat.

L'équipe « Informatique et Acoustique Musicale », animée par Jean-Claude Risset au LMA, était dotée d'un processeur audio numérique SYTER, conçu par Jean-François Allouis au sein du Groupe de Recherche Musicale (GRM) de l'INA (Institut National de l'Audiovisuel) et commercialisé par la société Digilog implantée à Aix-Les-Milles, ce qui apporta de nouvelles possibilités de calcul pour la transformée en ondelettes continue. Richard Kronland-Martinet, en collaboration avec Jean Morlet et Alex Grossmann, programmèrent la transformée en ondelettes continue sur SYTER et produisirent ainsi de nombreuses analyses et synthèses de différents types de sons musicaux. Pour affiner l'analyse des sons ils développèrent des outils graphiques permettant de visualiser le module et la phase des coefficients d'ondelettes et ils montrèrent que les synthèses sonores effectuées à partir des coefficients d'ondelettes étaient pratiquement parfaites. Ils publièrent leurs résultats dans un article paru en 1987 [11], dont certaines figures illustrèrent également le premier article de vulgarisation présentant les ondelettes [13]. Toujours au LMA, mais dans l'équipe « Acoustique Sous-marine et Ultra-sons » dirigée par Claude Gazhanes, Ginette Saracco développa en 1986 un second code de transformée en ondelettes continue, appelé ONDEL, qu'elle utilisa pour étudier la propagation acoustique sous-marine d'ondes sonores et ultra-sonores en régime transitoire, dont les résultats furent publiés en collaboration avec Alex Grossmann et Philippe Tchamitchian [16]. En appliquant une idée suggérée par Jean Morlet, Matthias Holschneider, Richard Kronland-Martinet, Philippe Tchamitchian et Pierre Dutilleux mirent au point un algorithme rapide, basé sur la factorisation des bancs de filtre associés aux ondelettes, qu'ils nommèrent « algorithme à trous » et dont ils exposèrent le principe dans deux articles publiés en 1989 [16].

Dès 1985 Yves Meyer, professeur au Département de Mathématiques de l'École

Polytechnique, vint de temps en temps travailler à Marseille avec Jean Morlet, Alex Grossmann, Ingrid Daubechies et Thierry Paul. Ce fut grâce à Jean Lascoux, directeur du Centre de Physique Théorique de l'École Polytechnique, qu'Yves Meyer découvrit l'article SIAM publié par Alex Grossmann et Jean Morlet en 1984 [8]. En lisant celui-ci, il reconnut du premier coup la formule de reproduction de Calderon [2], résultat connu des analystes et qu'Alex Grossmann avait retrouvé sans le savoir. Ingrid Daubechies et Alex Grossmann écrivirent un article sur les bases obliques d'ondelettes (*frames*) [9], qu'ils cosignèrent avec Yves Meyer, où ils montraient comment on peut discrétiser la représentation en ondelettes continues tout en préservant la conservation de l'énergie, ceci à condition de choisir un échantillonnage suffisamment dense du demi-plan espace-échelle où vivent les ondelettes. En fait Yves Meyer pensait que la représentation en ondelettes ne permettrait pas d'aller plus loin et de construire des bases orthogonales (telles que le produit scalaire entre les fonctions de base soit nul). En effet, elle donnerait probablement lieu à la même obstruction que la représentation de Gabor, comme l'avait montré Roger Balian [3], pour laquelle on ne peut pas avoir à la fois la complétude de la représentation et l'indépendance des fonctions de base. Rappelons ici qu'Alfred Haar avait construit en 1910 [1] une base orthonormée d'ondelettes dont les fonctions sont à support compact et discontinues, alors qu'Yves Meyer les souhaiterait aussi régulières que les fonctions de Gabor ou les ondelettes de Morlet. Cependant, et contrairement à sa première intuition, Yves Meyer réussit à construire une base orthogonale d'ondelettes régulières (appartenant à la classe de Schwartz) et à support non compact qu'il présenta en 1985 lors d'un séminaire Bourbaki, dont le texte parut sous le titre « Principe d'incertitude, bases Hilbertiennes et algèbres d'opérateurs » [8]. En fait, une autre base orthogonale d'ondelettes régulières et à support non compact, construite à partir de fonctions splines d'ordre élevé, avait été trouvée en 1983 par Jan-Olov Stromberg lorsqu'il était à l'Université de Princeton. Ce résultat avait été publié dans les actes d'une conférence en hommage à Antoni Zygmund, mais Yves Meyer l'avait oublié et la construction qu'il a trouvée est différente. Celle-ci fut généralisée aux fonctions à plusieurs variables par Pierre Gilles Lemarié, dans le cadre de son travail de thèse qu'il effectuait sous la direction d'Yves Meyer, et ils publièrent ensemble en 1986 un article sur les bases orthogonales d'ondelettes régulières, qui est considéré comme la référence sur ce sujet [10]. A partir des travaux précédents Ingrid Daubechies développa les bases d'ondelettes orthogonales régulières à support compact et montra en 1988 comment celles-ci peuvent être construites à partir de filtres miroirs en quadrature [14].

C'est en lisant le texte du séminaire Bourbaki d'Yves Meyer [8] que Stéphane Mallat, alors en thèse aux États-Unis à l'Université de Pennsylvanie, fit le lien entre les ondelettes orthogonales, les filtres miroirs en quadrature et les filtres pyramidaux qui étaient à l'époque d'utilisation courante en traitement d'images. Stéphane Mallat contacta Yves Meyer et c'est lors de leur première rencontre à Chicago en 1986 qu'ils développèrent ensemble le formalisme de l'analyse multirésolution. À partir de celle-ci Stéphane Mallat mis au point l'algorithme rapide de transformée en ondelettes orthogonales, connu sous le nom d'« algorithme de Mallat » [15]. Stéphane Mallat découvrit ainsi que l'analyse par ondelettes orthogonales constitue un cas particulier de la technique de codage sous-bande (qui utilise également des filtres miroirs conjugués) développée par Daniel Esteban et Claude Galand dès 1977

au centre IBM de La Gaude, près de Nice, donc à peu près à la même époque où Jean Morlet créait l'analyse en ondelettes continues.

En 1987 Philippe Tchamitchian, qui avait fait sa thèse avec Yves Meyer à l'université d'Orsay et était ensuite venu rejoindre le CPT à Marseille, construisit des bases inconditionnelles biorthogonales [12] pour lesquelles on peut choisir des couples de fonctions de natures très différentes, par exemple très régulières pour l'analyse et quasi-singulières pour la synthèse, qui cependant préservent nombre de propriétés des bases orthogonales. En reprenant la construction trouvée par Ingrid Daubechies [14], Albert Cohen, qui était en thèse avec Yves Meyer à l'université Paris-Dauphine, et Jean-Christophe Feauveau, qui faisait également une thèse mais en informatique, construisirent en collaboration avec Ingrid Daubechies des bases d'ondelettes biorthogonales à support compact, qui sont aujourd'hui très utilisées en pratique [22].

La RCP « Ondelettes » CNRS-Elf-Aquitaine

Le nombre de personnes s'intéressant aux ondelettes commençant à grandir, Jean Morlet et Claude Jablon (directeur de la recherche d'Elf-Aquitaine), Alex Grossmann et Eduardo de Rafael (directeur du CPT) ainsi que Jean-Claude Risset eurent l'idée de proposer au CNRS la création d'une RCP (Recherche Coopérative sur Programme) consacrée aux ondelettes. Le département SPI (Sciences pour l'Ingénieur) du CNRS déclina cette offre mais le département MPB (Math et Physique de Base) apporta son soutien financier, conjointement avec la société Elf-Aquitaine. La « RCP 820 Ondelettes » fut ainsi créée en 1985 avec un budget minimal mais cependant suffisant pour prendre en charge quelques missions.

Grâce à cette RCP plusieurs disciplines se regroupèrent autour de quelques thèmes de recherche susceptibles d'utiliser les ondelettes, tels que : analyse mathématique (Alex Grossmann et Yves Meyer), traitement de signal en géophysique (Jean Morlet), représentation en mécanique quantique (Alex Grossmann et Thierry Paul), théorie des groupes et discrétisation (Alex Grossmann), reproduction et modification du son (Jean-Claude Risset et Richard Kronland-Martinet).

Le soutien financier apporté par la RCP permit d'organiser la première rencontre entièrement consacrée aux ondelettes, qui eut lieu en novembre 1986 au Centre d'Études et de Recherches d'Elf-Aquitaine à Pau, mais qui n'a malheureusement pas donné lieu à la publication de comptes-rendus. La RCP remboursa également les déplacements des chercheurs collaborant à distance. A titre d'exemple, l'article d'Ingrid Daubechies (Bruxelles), Alex Grossmann (Marseille) et Yves Meyer (Paris) sur les bases obliques d'ondelettes [9] le mentionne explicitement, car l'exposant a) de son titre « Painless nonorthogonal expansions a) » renvoie à une note précisant que ce travail a été accompli dans le cadre de la « RCP Ondelettes ».

Les ondelettes au CIRM

Grâce à la convivialité et à la souplesse administrative que le CIRM offrait au milieu des années 80, un groupe de chercheurs venant d'horizons et de disciplines variés qui s'intéressaient aux ondelettes prirent l'habitude de se retrouver, une ou deux fois par an, dans le cadre accueillant de la bastide et de son parc ombragé. Ainsi

le premier colloque international sur les ondelettes fut-il organisé au CIRM par Jean-Michel Combes, Alex Grossmann et Philippe Tchamitchian, du 14 au 18 Décembre 1987, sur le thème « Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space », ceci grâce au soutien financier du CIRM, de la SMF, de l'université d'Aix-Marseille II, du Conseil de Régional PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur), du LMA et du CPT, et il donna lieu au premier ouvrage consacré aux ondelettes et publié par Springer dans la collection « Inverse Problems and Theoretical Imaging » [15]. C'est dans cet ouvrage que l'on trouve la première publication de Romain Murenzi, qui effectuait sa thèse avec Jean-Pierre Antoine de l'université de Louvain-la-Neuve et cherchait à généraliser la transformée en ondelettes continue en dimension supérieure. Il montra pour cela qu'il fallait remplacer le groupe affine utilisé en dimension un par le groupe Euclidien muni des dilatations.

L'impulsion donnée par ce premier colloque international permit d'organiser une « Année Spéciale Ondelettes », qui eut lieu en 1989-1990 et fut financée par le département MPB du CNRS, tout comme la « RCP Ondelettes » qui l'avait précédé. Ce soutien financier permit à Thierry Paul, Alex Grossmann et Yves Meyer d'organiser au CIRM, du 29 mai au 2 juin 1989, le second colloque international sur les ondelettes, intitulé « Wavelets and Applications ». Plus de 100 chercheurs, dont près du quart venaient de l'étranger, y participèrent, en particulier Ingrid Daubechies qui était à l'époque aux *Bell Labs*, Stéphane Mallat qui était au Courant Institute à New York, Ronald Coifman de l'université de Yale et Greg Beylkin, chercheur chez Schlumberger à Ridgefield. Ce dernier présenta pour la première fois « l'algorithme BCR » (Beylkin-Coifman-Rokhlin), qui permet de compresser les opérateurs intégraux de type Calderon-Zygmund grâce à la représentation en base d'ondelettes, ce qui permet d'effectuer beaucoup plus rapidement les produits matrice-vecteurs [20]. Comme le nombre des participants était largement supérieur aux capacités de la salle de réunion dont disposait le CIRM à l'époque, l'université d'Aix-Marseille II prêta un amphithéâtre pour les exposés, mais les participants non Marseillais étaient toujours logés au CIRM. Les actes de ce second colloque international sur les ondelettes furent publiés conjointement par Masson et Springer en 1991 [20].

L'année 1990 marqua un tournant car les premiers ouvrages présentant les ondelettes parurent cette année là : « Les ondelettes en 1989 », édité par Pierre-Gilles Lemarié et publié par Springer [17], ainsi que les deux volumes de l'ouvrage de référence d'Yves Meyer, intitulé « Ondelettes et Opérateurs », publié par Hermann [18], dont la traduction anglaise parut deux ans plus tard chez *Cambridge University Press*. Toujours en 1990, la SMF consacra sa Journée Annuelle aux ondelettes avec deux exposés, donnés le 5 mai 1990 à Paris, l'un par Marie Farge sur la transformée en ondelettes continue et l'autre par Yves Meyer sur les ondelettes orthogonales, dont la SMF publia les textes [19].

Les ondelettes en France et à l'étranger

Dans la foulée du second colloque international, qui attira au CIRM de nombreux chercheurs étrangers, les ondelettes essaimèrent au niveau international et depuis 1990 il est quasiment impossible de suivre de façon exhaustive leur diffusion, aussi bien vers de nouveaux lieux que vers de nouveaux domaines d'application. On peut cependant citer à titre d'exemple plusieurs conférences qui furent

organisées à l'étranger à partir de cette époque. Ainsi en décembre 1990 Marie Farge, Julian Hunt et Christos Vassilicos organisèrent-ils à l'université de Cambridge (Royaume-Uni) une conférence internationale sur « Wavelets, Fractals and Fourier Transforms : New Developments and New Applications » qui donna lieu à la parution d'un ouvrage chez Oxford University Press [26]. En Juin 1991, la direction des mathématiques de la *National Science Foundation* (CBSM-NSF) demandèrent à Ingrid Daubechies de donner une série de dix cours sur les ondelettes, dans le cadre de la conférence CBMS qui se tenait à Lowell dans le Massachusetts (États-Unis) qui furent publiés en 1992 par le SIAM (*Society of Industrial and Applied Mathematics*) sous le titre « Ten lectures on Wavelets » [24].

Pour l'année 1991-1992 Bruno Torrèsani et Philippe Tchamitchian organisèrent au CPT à Marseille une seconde « Année Ondelettes » qui donna lieu à plusieurs manifestations : un troisième colloque international sur « Wavelets and Applications » en Mars 1992 au CIRM mais dont les actes ne furent pas publiés, une rencontre au CPT sur « Ondelettes et Mécanique Quantique », puis une autre au LMA sur « Ondelettes et Traitement du Signal » et enfin deux au CIRM sur « Ondelettes et Turbulence » puis « Ondelettes et Analyse Mathématique ». Cette activité internationale à Marseille renforça les échanges entre les chercheurs qui travaillaient en France et ceux qui commençait à s'intéresser aux ondelettes à l'étranger, avec en particulier la venue de David Donoho et Iain Johnstone de l'université de Stanford, de Ronald Coifman et Victor Wickerhauser de l'université d'Yale, de Martin Vetterli de l'université Columbia à New York, Hans Georg Feichtinger et Karlheinz Gröchenig de l'université de Vienne (Autriche), sans oublier Ingrid Daubechies qui était à cette époque aux *Bell Labs* à Murray Hill et Stéphane Mallat au Courant Institute à New York, tous deux habitués du CIRM. En juin 1992, Sylvie Roques, Yves Meyer et Romain Murenzi organisèrent à Toulouse le quatrième colloque international sur les ondelettes, dont les actes furent publiés en 1992 par les Éditions Frontières [23]. C'est dans cet ouvrage que se trouvent les premières annonces de trois développements importants, à savoir les ondelettes sur l'intervalle, proposé par Ingrid Daubechies et Albert Cohen, les paquets d'ondelettes, développé par Ronald Coifman, Yves Meyer et Victor Wickerhauser, et l'utilisation des ondelettes pour l'estimation statistique non-paramétrique proposé par David Donoho et Iain Johnstone [23]. L'année 1992 vit également la parution de l'ouvrage collectif « Wavelets and their Applications » chez Jones and Bartlett [21], ainsi que celle du premier ouvrage de la collection « Wavelet Analysis and its Applications » que Charles Chui, mathématicien de l'université A&M du Texas à College Station et spécialiste des fonctions splines, créa chez *Academic Press* [25].

En décembre 1993 Charles Chui, Ronald Coifman et Ingrid Daubechies créèrent un nouveau journal intitulé « Applied and Computational Harmonic Analysis » (ACHA), tout d'abord publié par *Academic Press* puis par *Elsevier* quand ce dernier absorba *Academic Press* en 2000. Les prémisses d'ACHA furent discutés lors de rencontres informelles qui eurent lieu au CIRM au cours desquelles Ingrid Daubechies, Ronald Coifman, Victor Wickerhauser, Stéphane Jaffard et les auteurs de cet article débattirent pour savoir si la création d'un nouveau journal était vraiment nécessaire et quel pourrait en être le titre. Il fut en particulier décidé que le mot « ondelettes » n'apparaîtrait pas dans le titre, ceci afin de préserver l'ouverture d'esprit qui avait jusqu'alors prévalu au sein de notre communauté et éviter les

risques de sectarisme que nous commençons à pressentir. Ce journal a le facteur d'impact le plus élevé (3.144 en 2011) des 44 revues de mathématiques publiés par *Elsevier* et il en est à son 32^e volume.

Le retour des ondelettes au CIRM

En juillet 1997 Ginette Saracco et Matthias Holschneider, tous deux à l'époque au laboratoire Géosciences de Rennes, et Bruno Torrèsani du CPT organisèrent au CIRM un colloque international, intitulé « Perspectives in Mathematical Physics », qui réunit une soixantaine de chercheurs de différentes disciplines, allant de la mécanique quantique à la génétique, dont le point commun était d'avoir un jour travaillé avec Alex Grossmann. Lors de ce colloque de nombreuses communications furent présentées sur des sujets fort variés, ainsi qu'un hommage à Alex Grossmann au cours duquel Ingrid Daubechies et Thierry Paul retracèrent l'ensemble de sa carrière et les nombreux domaines auxquels il a contribué, ceci avec un humour savoureux dont les participants se souviennent encore.

À la suite du décès de Jean Morlet en 2007, le CIRM souhaite pérenniser sa mémoire. L'idée fut alors lancée de restaurer la maison du jardinier qui tombait en ruine et d'en faire une « Maison Jean Morlet » destinée à accueillir des chercheurs qui pourront y séjourner pour des périodes de longue durée, afin de profiter au mieux du cadre et des conditions de travail exceptionnelles offertes par le CIRM. Depuis 2008 une souscription « Maison Jean Morlet » est ouverte auprès de la SMF pour financer ce projet et plusieurs mathématiciens de différents pays (dont le Brésil, les États-Unis et Singapour) ont déjà fait des dons. La Fondation Total a également offert en 2010 une somme substantielle qui va permettre d'entreprendre la réfection de la toiture afin d'éviter les risques d'éboulement de cet élégant bâtiment qui témoigne du style d'origine de la bastide.

L'année suivante, en octobre 2008, eut lieu au CIRM un colloque en mémoire de Jean Morlet, intitulé « Continuous Wavelet Transforms and Morlet's Wavelets : 1978-2008 », qui fut organisé par Ginette Saracco, actuellement au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE) à Aix-en-Provence. Celui-ci donna lieu à la publication d'un compte-rendu, dont un exemplaire est disponible à la bibliothèque du CIRM, et à deux numéros spéciaux de la revue ACHA intitulés « Continuous Wavelet Transform in Memory of Jean Morlet » [27].

En conclusion, le CIRM a joué un rôle de médiateur en accueillant à partir de 1987 les chercheurs de différentes disciplines s'intéressant aux ondelettes et en permettant ainsi la fertilisation croisée entre mathématiques, statistiques, physique quantique, acoustique, traitement de signal et d'image, mécanique des fluides, analyse numérique, et nombre d'autres. Le CIRM a indéniablement joué dans la diffusion des ondelettes un rôle de catalyseur et d'accélérateur, ce qui est précisément sa vocation.



Maison Jean Morlet

Références

- [1] Haar A., 1910, Zur Theorie der orthogonalen Funktionssysteme, *Math. Ann.*, 69, 331-371
- [2] Calderon A. P., 1964, Intermediate spaces and interpolation, the complex method, *Studia Mathematica*, XXIV(2), 113-190
- [3] Balian R., 1981, Un principe d'incertitude fort en théorie du signal ou en mécanique quantique, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 292(2), 1357-1361
- [4] Morlet J., Arens G., Fourgeau E., Giard D., 1982, Wave propagation and sampling theory - Part I : Complex signal and scattering in multilayered media - Part II : Sampling theory and complex waves, *Geophysics*, 47(2), 203-236
- [5] Goupillaud P., Grossmann A., Morlet J., 1984, Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis, *Geoexploration*, 23(1), 85-102
- [6] Goupillaud P., Grossmann A., Morlet J., 1984, Cycle-octave representation for instantaneous frequency-spectra, *Geophysics*, 49(5), 669-669
- [7] Grossmann A., Morlet J., 1984, Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape, *SIAM J. Math. Anal.*, 15(4), 723-736



Maison Jean Morlet

- [8] Meyer Y., 1985-1986, Principe d'incertitude, bases Hilbertiennes et algèbres d'opérateurs, *Séminaire N. Bourbaki, Astérisque (SMF)*, 662, 209-223
- [9] Daubechies I., Grossmann A., Meyer Y., 1986, Painless nonorthogonal expansions, *J. Math. Phys.*, 27(5), 1271-1283
- [10] Lemarié P. G., Meyer Y., 1986, Ondelettes et bases Hilbertiennes : Hommage à A. P. Calderon, *Rev. Mat. Iberoamericana*, 2, 1-18
- [11] Kronland-Martinet R., Morlet J. and Grossmann A., 1987, Analysis of sound pattern through wavelet transforms, *Int. J. Pattern Recogn. and Artif. Intell.*, 1(2), 273-301
- [12] Tchamitchian P., 1987, Biorthogonalité et théorie des opérateurs, *Revista Mathematica Iberoamericana*, 3(2), 163-189
- [13] Jaffard S., Rioul O., Meyer Y., 1987, L'analyse en ondelettes, *Pour la Science*, Septembre 1987, 28-37
- [14] Daubechies I., 1988, Orthonormal bases of compactly supported wavelets, *Comm. in Pure and Applied Math.*, 41(7), 909-996

- [14] Mallat S., 1989, A Theory for multiresolution signal decomposition : the wavelet representation, *IEEE Trans. on Pattern Anla. and Machine Intell.*, 11(7), 674-693
- [16] Combes J.M. , Grossmann A. , Tchamitchian P. , eds., 1989, Wavelets, time-frequency methods and phase space, *Springer*
- [17] Lemarié P. G., ed., 1989, *Les ondelettes en 1989*, Lecture notes in Mathematics, vol. 1438, Springer
- [18] Meyer Y., 1990, *Ondelettes et opérateurs- Volume I : Ondelettes - Volume II : Opérateurs de Calderon-Zygmund*, Hermann
- [19] Farge M. et Meyer Y., 1990, Les ondelettes, *Journée Annuelle de la SMF, 5 Mai 1990*
- [20] Meyer Y., ed., 1991, *Wavelets and applications*, Masson et Springer
- [21] Coifman R. and Ruskai B., eds., 1992, *Wavelets and their applications*, Jones and Bartlett
- [22] Cohen A., Daubechies I., Feauveau J.-C., 1992, Biorthogonal bases of compactly supported wavelets, *Comm. Pure Appl. Math.*, 45(5), 485-560
- [23] Roques S., Meyer Y., eds., 1992 *Progress in wavelet analysis and applications* Éditions Frontières
- [24] Daubechies I., 1992, *Ten lectures on wavelets*, SIAM
- [25] Chui C., 1992, *An introduction to wavelets*, « Wavelet analysis and its applications », vol. 1, Academic Press
- [26] Farge M., Hunt J. and Vassilicos C., eds., 1993, *Wavelets, fractals and Fourier transforms : New developments and new applications*, Institute of Mathematics and its applications conference series, vol. 43, Oxford University Press
- [27] Saracco G., Arneodo A., Beylkin G., eds., 2010, Special Issue on Continuous Wavelet Transform in Memory of Jean Morlet, *Appl. Comput. Harm. Anal.*, 28(2-3), 129-346

Complément de lecture en français

- [28] Cohen A., 1992, *Ondelettes et traitement numérique du signal*, Masson
- [29] Farge M. et Jaffard S., 1993, *Les ondelettes*, La Science au Présent, Encyclopedia Universalis, tome 1, 189-190
- [30] Burke Hubbard B., 1995, *Ondes et ondelettes - La saga d'un outil mathématique*, Belin
- [31] Kahane J.-P. et Lemarié-rieussset P. G., 1998, *Série de Fourier et ondelettes*, Cassini
- [32] S. Mallat, 2000, *Une exploration des signaux en ondelettes*, Les Éditions de l'École Polytechnique
- [33] A. Cohen, 2011, *Sur la route des ondelettes*, Gazette des Mathématiciens, 130,19-36

Remerciements

Nous voudrions remercier la famille de Jean Morlet, Jacqueline, Magali et Corinne Morlet, ainsi qu'Albert Cohen, Matthias Holschneider, Stéphane Mallat et Peppino Terpolilli pour les précisions qu'ils nous ont apportées lors de la rédaction de ce texte.