



HAL
open science

L'esprit des Ondelettes: quelques motifs d'indisciplinarité

Nathalie Delprat

► **To cite this version:**

Nathalie Delprat. L'esprit des Ondelettes: quelques motifs d'indisciplinarité. Pratiquer et comprendre l'interdisciplinarité, ACS Aix-Croisées-Scientifiques, Sep 2004, Aix-en-Provence, France. hal-03513311

HAL Id: hal-03513311

<https://hal.science/hal-03513311>

Submitted on 5 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Récits d'expériences interdisciplinaires

Texte de l'intervention de : **Nathalie Delprat**,
Université Pierre et Marie Curie / Laboratoire de Modélisation en Mécanique, Paris

« L'esprit des Ondelettes : quelques motifs d'indisciplinarité »

(version définitive 2005)

« Ne laisser de traces que dans le souffle et le vent. »
Michel Onfray, *La sculpture de soi*

Interactions élémentaires et affinités électives

Umberto Eco dans un article publié dans la revue *Alliage*¹ consacrée au « dialogue euro-chinois » recense les modes d'interaction possibles lorsque deux cultures très différentes se rencontrent. Il en distingue cinq : la conquête, le pillage culturel, l'échange, l'exotisme et la fausse identification. Quand on travaille dans un domaine propice aux contacts avec d'autres disciplines comme le mien, c'est à dire l'analyse de signaux physiques, on a nécessairement expérimenté l'un ou l'autre de ces modes sans forcément les identifier clairement. Le cloisonnement institutionnel des disciplines (et même des sous-disciplines), les habitudes « culturelles » de chaque domaine et leurs langages spécialisés sont les premiers obstacles à l'interactivité mais ils ne sont pas infranchissables. Il faut aussi compter avec la complexité des individus et de leurs motivations propres. Il est très facile de reprendre les schémas définis par Eco et de les appliquer sans précaution mais avec quelques guillemets au domaine beaucoup plus restreint de la recherche scientifique. Chacun pourra trouver dans son expérience personnelle un exemple illustrant ces différents comportements dont la transposition directe, reprise dans le même ordre, pourrait donner les catégories suivantes :

- ceux qui sont persuadés que leur approche est la meilleure, qui ne cherchent pas à comprendre mais à imposer leur point de vue
- ceux qui pensent pouvoir tirer un bénéfice rapide d'une compétence particulière, sans prendre le temps d'expérimenter
- ceux qui sont prêts à faire l'effort de construire en commun ou d'emprunter de façon critique sans nécessairement créer de nouveaux outils
- ceux qui ne cherchent pas spécialement à interagir mais qui sont attirés par la nouveauté, le crédit qu'une compétence extérieure pourrait apporter à leur domaine
- ceux qui ne peuvent s'empêcher d'interpréter exclusivement à travers le prisme de leur discipline et qui essaient toujours d'identifier toute nouveauté à un outil ou un concept issu de leurs champs de savoir.

Comme le remarque Umberto Eco pour l'histoire des sociétés, le mode de « l'échange » n'est pas le seul qui permette d'aboutir à des avancées décisives ou à des évolutions importantes et

¹ U.Eco, « Ils cherchaient des licornes », *Alliage* n°41-42, pp 26-47, Hiver 99-Printemps 2000

souvent plusieurs modes peuvent coexister ou se succéder. Il en est de même en sciences mais si j'ai tenu à commencer par cette revue quelque peu caricaturale des interactions élémentaires entre disciplines, c'est pour souligner d'emblée la multiplicité des raisons pouvant mener à un travail interdisciplinaire et par la même, la difficulté de cerner le moteur véritable d'une telle approche. L'interdisciplinarité n'est pas une fin en soi, elle ne peut se définir en simple opposition avec la spécialisation, elle n'est pas la garantie de l'inventivité et de plus elle est souvent difficile à mettre en oeuvre. Mais choisit-on de « faire » de l'interdisciplinaire ou est-ce que cela s'impose? Est-ce une façon de penser la recherche, de travailler ? un désir ? une volonté ? une nécessité ponctuelle liée au problème étudié? une conséquence, une implication naturelle du domaine? A ces questions, je ne pourrai répondre que de manière subjective et fragmentaire en donnant quelques pistes concrètes ou éléments de réflexion que mes expériences dans la recherche et l'enseignement supérieur m'ont suggérées. Je laisserai le soin aux sociologues et aux historiens de tenter de clarifier l'influence du contexte lié aux pratiques des différents laboratoires d'activité, de la politique de recherche du moment, des effets de mode, de l'histoire des disciplines ou du rôle non négligeable des affinités électives.

Quelques notes de présentation

Sans en avoir vraiment conscience, j'ai participé pendant mon doctorat² à ce qui m'apparaît maintenant être le parfait exemple d'une recherche interdisciplinaire accomplie. Il ne s'agit pas d'un sentiment nostalgique lié au souvenir de mes premiers pas en sciences. Cette période bien particulière de la thèse par laquelle on « entre » dans la recherche est souvent un moment d'intense travail, de doute profond, de mise à l'épreuve de sa patience et de ses capacités à saisir l'inattendu, à défricher et à construire dans l'indéterminé. Lorsque les chercheurs expérimentés qui vous entourent sont dans le même état d'esprit, qu'il y a un foisonnement d'idées, que toutes les pistes semblent susceptibles d'aboutir à un résultat nouveau et surtout que la rencontre entre disciplines est la base même du travail, vous ne pouvez que conserver le sentiment de cette excitation, de cette dynamique dans la pensée et de la grande liberté d'échange qui les a accompagnés. Pour essayer d'expliquer ce qui a favorisé une telle rencontre, comment elle s'est construite et a évolué dans l'élaboration d'outils à la fois communs et singuliers, il me faut d'abord donner quelques points de repère sur les travaux en analyse du signal qui en ont été le déclencheur. Ce qui suit sera plus de l'ordre de l'évocation que de la démonstration et sera réducteur par nécessité. On pourra trouver des informations plus complètes concernant la perspective historique dans le livre très simple d'accès de Barbara Burke-Hubbard³ et consulter celui de Séphane Mallat⁴ ou d'Yves Meyer⁵ pour un développement plus technique.

Le raccourci qui me paraît le plus naturel est de passer par la musique en jouant des analogies entre notation musicale et représentation de l'information physique contenue dans un signal. En effet, il n'est pas difficile pour un musicien bien entraîné de retranscrire la partition interprétée par un instrumentiste, c'est à dire de noter sur une portée la hauteur des notes, leur temps d'émission, leur durée et leur intensité. La représentation musicale du signal perçu se

² j'ai effectué ma thèse sous la direction de J.C Risset dans l'équipe d'Informatique Musicale du Laboratoire de Mécanique et Acoustique de Marseille. Mon sujet devait être l'étude du chaos dans la clarinette mais il a très vite bifurqué vers la modélisation non-linéaire des sons instrumentaux à l'aide de l'analyse par ondelettes

³ **B.Burke-Hubbard**, « Ondes et Ondelettes : la saga d'un outil mathématique », *Pour La Science*, Diffusion Belin , Paris 1999

⁴ **S. Mallat**, « A Wavelet Tour of Signal Processing » 2nde édition, *Academic Press* 1999

⁵ **Y. Meyer**, «Les Ondelettes : Algorithmes et Applications » *Armand Colin*, Paris 1992

fait au moyen d'éléments de base (des notes, des silences, des accents...), particulièrement bien adaptés pour « traduire » les caractéristiques principales du son émis, si l'on se place dans le contexte de la musique occidentale classique. Cette traduction est très complète car d'un côté elle permet de représenter des informations couplées de nature différente (la fréquence, le temps, l'intensité) et de l'autre elle est suffisante pour recréer le signal de départ, si l'on ne tient pas compte des fluctuations dues au geste instrumental ou à l'interprétation. Développer de telles représentations à l'aide d'algorithmes numériques pour pouvoir caractériser l'information physique contenue dans des signaux d'origine variée est l'un des objectifs de l'analyse du signal. Pendant longtemps, le seul outil à disposition a été la transformée de Fourier qui permet d'extraire les fréquences contenues dans un signal, à condition que celui-ci soit supposé suffisamment stationnaire pour que le concept de fréquence puisse avoir un sens. Cette représentation spectrale a permis des avancées importantes dans de nombreux domaines de la physique mais aussi pour l'étude mathématique des fonctions et de leur développement en série dans le cadre de l'analyse harmonique. Il faudra attendre les années 1940 et l'analyse « temps-fréquence » proposée simultanément par Gabor, Wigner et Ville pour essayer de se rapprocher des performances de la notation musicale et arriver à suivre dans le temps l'évolution des fréquences. La mise au point de transformées conduisant à une description plus adaptée des signaux non-stationnaires a bénéficié de résultats fondamentaux obtenus à la même époque en mécanique quantique et de l'essor concomitant de l'informatique qui a accéléré le développement d'algorithmes de calcul performants. Cependant, si un musicien peut retranscrire avec la même précision la hauteur des notes et leur durée, l'analyse temps-fréquence ne peut se faire que dans la limite d'un compromis qui rend impossible une telle précision sur les deux dimensions. De plus, lorsque la résolution temps-fréquence a été choisie, elle reste fixe pour toute l'analyse. Alors comment arriver à l'adapter si au beau milieu d'un largo, le musicien fait subitement une trille ou un bref glissando?

Circonstances et mises en relation

Ce n'est peut être pas en ces termes que s'est posée la question à Jean Morlet, ingénieur géophysicien à Elf-Aquitaine au milieu des années 1970. Mais le problème auquel il était confronté était de même nature puisqu'il n'arrivait pas à l'aide d'une méthode temps-fréquence à distinguer des signaux d'ordre de grandeur très différents présents dans des enregistrements d'échos sismiques utilisés pour l'étude des sous-sols en prospection pétrolière. Il mit alors au point une méthode d'analyse ad hoc en introduisant un paramètre d'échelle permettant sur une même représentation de disposer d'une résolution temps-fréquence variable selon l'échelle d'analyse. Ainsi sur une même image, il devint possible de détecter avec une bonne précision un évènement très bref comme une longue oscillation périodique et de distinguer aussi bien une appoggiature qu'une note « sostenuto ». Devant l'intérêt de telles performances, il contacta Alex Grossmann, physicien théoricien, spécialiste de mécanique quantique au centre de physique théorique de Luminy à Marseille, qui l'aida à confirmer d'un point de vue mathématique la validité de ce nouveau type de transformée « temps-échelle ». Un premier article commun paru en 1984 présentant cette « analyse par ondelettes » en référence à la forme des éléments de base utilisés dans la décomposition, attira l'attention d'Yves Meyer mathématicien travaillant à cette époque à l'université Paris-Dauphine. Il reconnut dans cette méthode des idées déjà présentes depuis 1930 dans le domaine de l'analyse harmonique mais qui n'avaient jamais été encore appliquées à un problème physique. Cette première mise en relation entre les mathématiques, la physique théorique et le traitement du signal fut le départ d'une fructueuse collaboration

interdisciplinaire qui devint rapidement internationale. Il y eut de nombreuses autres connexions à des niveaux d'interaction de plus en plus fins comme par exemple celle réalisée par Stéphane Mallat qui montra le lien entre les ondelettes et des algorithmes de filtrage multi-échelle utilisés dans la vision par ordinateur et le codage de la parole ou encore les travaux d'Ingrid Daubechies sur la construction de bases orthonormées d'ondelettes, vaste champ d'investigation, qui ont conduit à des résultats performants dans des domaines comme le débruitage de signaux ou la compression d'images.

L'étude interactive de la transformée en ondelettes a donc conduit en premier lieu à unifier des langages spécialisés et à mettre en commun des outils. La conséquence de ce « brassage » conceptuel et technique a ensuite mené au développement de nouveaux algorithmes alliant différentes approches qui n'avaient pas été encore utilisées conjointement. Au début des années 1990, l'ensemble de cette recherche interdisciplinaire a abouti à une théorie mathématique cohérente faisant la synthèse des travaux anciens et récents ainsi qu'à de nombreuses applications dans des domaines aussi divers que l'informatique musicale, l'imagerie médicale, les prédictions boursières ou l'analyse de structures fractales pour n'en citer que quelques-uns. Unification, synthèse, création puis diversification : ces étapes sont-elles particulières à un travail interdisciplinaire ou décrivent-elles les jalons naturels de toute recherche accomplie ?

L'esprit des ondelettes

Il va de soi que le point de départ d'une rencontre interdisciplinaire est la complémentarité des intérêts. Lorsque s'ajoute la découverte et la mise au point de nouveaux outils dont les applications ouvrent des horizons encore plus vastes que ceux pressentis, on peut imaginer sans difficulté la mise en place d'une dynamique dans la recherche, d'une émulation dans l'inventivité et la multiplication des collaborations avec des domaines de plus en plus éloignés. Mais pour beaucoup de ceux qui ont participé au développement des ondelettes, c'est en grande partie l'originalité de l'approche croisée entre les disciplines et l'état d'esprit qui en a découlé, qui ont permis le renouvellement sur presque dix ans de l'enthousiasme et de l'envie commune nécessaires à la poursuite de cette collaboration non préméditée. Stéphane Mallat⁶ parle « [...] (d'un) choc culturel qui n'est pas totalement résolu » et Yves Meyer⁷ souligne que « [...] ce concept a apporté avec lui une nouvelle façon de penser [...] ». Certes les ondelettes étaient un très bon candidat comme catalyseur d'un travail interdisciplinaire car elles existaient déjà sous d'autres formes dans différents domaines; la rencontre était inévitable. Mais il a fallu que certaines personnes plus perspicaces, décident de tenter le détour et donnent l'impulsion première aux allers et retours nécessaires à toute exploration partagée. Ainsi comme le souligne avec humour Alex Grossmann³ « une des principales raisons pour lesquelles tant de gens s'intéressent aux ondelettes est que ce sujet les force à quitter leur univers habituel et à parler aux païens de toutes sortes. Un individu étranger à notre petit village est païen par définition et les gens s'étonnent : regardez, ils ont deux oreilles et un seul nez, exactement comme nous ! Ce constat fut agréable à tout le monde ». La découverte de parenté : un autre exemple d'interaction élémentaire qu'il faudra ajouter à la liste.

⁶ **S.Mallat** «Questions mathématiques en traitement du signal et de l'image», *Notes de cours du Centre Emile Borel*, IHP, 14 sept.-18déc., Paris 1998.

⁷ **Y.Meyer**, «Wavelets: their past and their future», dans *Progress in Wavelets Analysis and Applications*, Y.Meyer and S.Roques (éditeurs), Proceedings of the 3rd International Conference on Wavelets and Applications, Toulouse June 8-3, 1992, Ed. Frontière 1993

A mon sens ce qui nourrit un travail interdisciplinaire et qui le fait évoluer, c'est avant tout la façon dont se construit la rencontre et l'incidence qu'a cette construction sur la manière de penser au sein d'une discipline donnée. Interagir sans a priori nécessite d'abandonner ses repères habituels et de mettre momentanément de côté ce qui a été long à maîtriser. Il n'y a pas à simplifier ou à être moins rigoureux mais il faut pouvoir s'adapter pas à pas pour favoriser l'échange au delà du seul partage des connaissances. Cette prise d'écart, ce recul par rapport à ses « habitudes culturelles » donne un regard critique sur son domaine et permet la nouvelle mise en perspective d'anciens problèmes. Les ondelettes ont donné ce nouvel éclairage aussi bien dans l'approche générale, la façon d'attaquer les problèmes que dans leur relecture. Elles ont aussi joué le rôle d'affûteur, de stimulateur de la pensée en repoussant les limites de champs d'exploration qui semblaient auparavant définitivement infranchissables comme par exemple l'adaptativité de la résolution de l'analyse en fonction de l'évolution du signal, c'est à dire la possibilité de construire des algorithmes hybrides⁴ permettant de changer le type de décomposition (Fourier, temps-fréquence, temps-échelle) en cours d'analyse. Le décloisonnement des disciplines ne peut garantir à lui seul le mouvement des idées. Il s'est accompagné dans le cas des ondelettes d'un réel partage et d'un échange bousculant les hiérarchies habituelles entre étudiants, chercheurs et ingénieurs. Le nombre de pistes intéressantes à explorer, l'accélération et l'afflux de nouveaux résultats dans de nombreux domaines ont certainement favorisé cette disparition momentanée des cadres stricts de compétence. La participation active des doctorants et de jeunes chercheurs à l'élaboration des nouveaux algorithmes a beaucoup influé sur la conduite des travaux et leur interactivité, aiguillées par l'enthousiasme et la curiosité de chercheurs confirmés. Mais il faut surtout souligner le rôle primordial d'Alex Grossmann, réel pivot dans les échanges, dont la grande culture scientifique et la disponibilité ont largement contribué à favoriser la dynamique de la pensée et l'ouverture d'esprit insufflés par les ondelettes.

Comment être transverse et parallèle à la fois ?

Le travail réflexif sur son domaine induit par une recherche interdisciplinaire met souvent en évidence les lacunes héritées d'un enseignement ne laissant aucune place (ou si peu) à l'histoire et à la philosophie des sciences. On ne peut que regretter que la science soit encore enseignée « comme l'ensemble des recettes et procédés qui réussissent toujours »⁸ laissant de côté la possibilité de mettre en relief l'effort de pensée et les nombreux détours nécessaires à l'établissement de concepts jugés maintenant « élémentaires ». Pourtant une connaissance générale de la culture scientifique est une aide précieuse pour surmonter les résistances inhabituelles qui apparaissent quand on s'extrait du domaine où l'on a appris à exercer sa pensée. En ce sens, il me semble que la façon la plus pertinente de donner les outils nécessaires à un regard critique est d'expérimenter en direct la diversité ou la complémentarité de l'approche interdisciplinaire, lors d'un cours ou d'un séminaire partagé. Il n'est pas toujours évident de transmettre et de confronter dans le même temps. Mais toutes les expériences d'enseignements transverses que j'ai pu réalisées soit avec des collègues d'autres disciplines scientifiques^{9,10}, soit avec des historiens¹⁰ ou des philosophes des sciences¹¹, m'ont

⁸ **P.Valéry**, « Introduction à la méthode de Léonard de Vinci », *Gallimard*, Folio/Essai Ed.1945

⁹ dans le module «Sciences pour la Musique» avec **L.Mazliak** (mathématicien) ainsi que **R.Wilson** et **E.Kierlik** (physiciens) pour «Le son musical» en L2

¹⁰ dans le module «Histoire des Sciences» en première année des filières scientifiques

confirmé l'intérêt de poursuivre dans cette voie. Bien que le discours officiel favorise de tels modules, les difficultés d'organisation ou les mauvaises volontés rendent leur mise en place délicate et demande un investissement démesuré. Les raisons sont à chercher du côté de l'inertie d'un système qui, même soumis à la réforme¹², est ancré depuis trop longtemps sur l'étanchéité des disciplines, rempart parfait à toute perte de pouvoir. Il me vient en écho la définition donnée par Roland Barthes¹³ dans *Le bruissement de la langue* énonçant que « l'interdisciplinaire consiste à créer un objet nouveau qui n'appartient à personne ». Là est le noeud du problème et ce qui en fait tout son intérêt.

Indiscipline qualifiée

Il faut reconnaître qu'actuellement l'aspect interdisciplinaire est jugé comme un point positif dans la présentation de projets de recherche au CNRS, même si cette spécificité est souvent présentée soit comme la conséquence de la complexité d'un problème qui vaut donc la peine d'être examiné, soit comme un argument supplémentaire de l'intérêt d'un thème. On ne peut que se réjouir de cette valorisation par l'institution et espérer qu'elle permettra de développer encore plus les échanges entre disciplines mais aussi entre sciences humaines et sciences dites « dures ». La démarche interdisciplinaire ne conduit pas toujours à la découverte et au développement d'outils aussi performants qu'inattendus comme dans le cas des ondelettes. La seule chose dont on est certain lorsque l'on s'y engage, c'est la nécessité d'un investissement personnel important et parfois la perte momentanée d'efficacité, non valorisée si les résultats n'aboutissent pas. Tenter d'élaborer de nouvelles perspectives ou expérimenter des liens improbables implique aussi une prise de risques, relative certes, mais en dehors d'un territoire connu. Cette exploration initiée par le refus d'une connaissance repliée sur elle-même, oblige souvent à bousculer les prérogatives et exige avant tout de trouver l'énergie nécessaire pour « aller contre », pour travailler à « l'intranquilité » et arriver ainsi comme l'écrit le philosophe François Jullien¹⁴ « à bâtir de l'écart dans la pensée ». C'est pourquoi je suis convaincue que l'interdisciplinarité ne peut se réaliser et être véritablement le moteur de l'élaboration de nouveaux champs de savoir sans une volonté première particulière, un acte déterminé dont l'indiscipline¹⁵ qualifiée en est le caractère essentiel. La suite dépend du domaine et de l'envie de chacun de garder la pensée en mouvement, d'entretenir la diversité ou tout simplement de prendre le temps de s'interroger autrement. A cela s'ajoute peut-être une condition supplémentaire, une qualité singulière difficile à cerner : quelque chose de l'art de combiner les différences, de composer avec l'entre-deux. Un certain talent à zinzinuler et faire entendre la dissonance dans un même geste¹⁶.

¹¹ dans « les Ateliers d'Histoire et de Philosophie des Sciences » en collaboration avec A.Barberousse (philosophe des sciences) à l'école doctorale SMAE de Paris VI (Sciences Mécaniques, Acoustique et Electronique, <http://www.ed391.upmc.fr>, rubrique séminaires)

¹² le fameux LMD (licence, master, doctorat) qui démarre cette année et devrait permettre de favoriser le croisement des parcours de formation. Dans les faits, les choses s'annoncent plutôt autres.

¹³ **R.Barthes**, « Le bruissement de la langue . Essais critiques IV », Points Essais, *Edition du Seuil* 1984

¹⁴ **F.Jullien et T.Marchaisse**, «Penser d'un dehors (La Chine). Entretiens d'Extrême-Occident», Editions du Seuil, 2000

¹⁵je reprends le terme de **J-M.Legay** dans «Quelques réflexions à propos d'écologie. Défense de l'indisciplinarité», article en annexe de *L'expérience et le modèle. Un discours de la méthode*, Sciences en Questions, INRA Editions, 1997

¹⁶ l'indiscipline ne suffit pas. Comme un exemple à prendre du côté de l'art, la démarche originale et novatrice d'**Olivier Messiaen**, cf *La fauvette des jardins* pour piano seul, 1972