

Discours de Jean-Claude Risset

La récompense qui m'est décernée est extrêmement prestigieuse, et je suis sensible au très grand honneur qui m'est fait. Permettez-moi de considérer qu'à travers moi, la médaille d'or du CNRS honore aujourd'hui la musique et ses liens renouvelés avec la science et la technologie.

L'éclat de cette médaille d'or rejaillit donc sur nombre d'individus qui allient recherche et création artistique. Au premier rang d'entre eux, je cite tout de suite mes collègues et amis américains Max Mathews et John Chowning, à présent à l'Université Stanford, avec qui j'ai eu la chance de collaborer depuis plus de trente ans pour défricher et explorer cette Nouvelle Atlantide le continent de la musique numérique.

Je reviendrai sur d'autres personnes à qui je dois beaucoup, mais je tiens à associer également à cette médaille la communauté très active de la recherche musicale et de la **computer music**, et particulièrement John Pierce, inventeur - entre autres - de la communication par satellite, qui a protégé et inspiré la naissance et le développement de la musique par ordinateur alors qu'il dirigeait la recherche aux **Bell Laboratories** ; Johan Sundberg, dont les recherches sur la voix chantée et l'interprétation sont si précieuses ; David Wessel, actuellement à Berkeley, scientifique et musicien riche d'idées et généreux ; et aussi des chercheurs plus jeunes qui ont su frayer de nouvelles voies, et surtout mon collaborateur de plus de vingt ans à Marseille, Daniel Arfib, un des rares experts de la synthèse, ainsi que Claude Cadoz, dont le travail à Grenoble avec Annie Luciani et Jean-Loup Florens a préfiguré les réalités virtuelles.

La recherche est collective, elle s'ancre au sein d'institutions. Il ne m'a pas été facile d'allier musique et recherche, et je n'aurais pu réussir si je n'avais bénéficié de ce suprême luxe du monde moderne, je veux dire le temps. Je tiens à en rendre grâce au CNRS, qui offre un espace de liberté, de mobilité, de réflexion et d'orientation qu'il importe de préserver et même de développer. Le CNRS m'a laissé le loisir de développer des recherches transversales alliant musique, science et technologie, et il souligne aujourd'hui par cette médaille la pertinence d'une telle démarche : je lui en suis profondément reconnaissant.

Le champ de la recherche s'articule en disciplines constituées, qui ont leur légitimité, mais qui ne facilitent pas toujours la reconnaissance de champs nouveaux. Mon travail d'exploration des ressources musicales du son numérique a impliqué la physique, mais surtout l'informatique, le traitement du signal, la psychoacoustique et la musique. Cette démarche "transversale" n'a pas toujours été accueillie favorablement en France. Avant de revenir des Etats-Unis avec le "label de qualité" des **Bell Laboratories**, j'ai été défendu par mon parrain Jean Uebersfeld, physicien très sensible à la musique, mais mon maintien au CNRS posait problème.

Depuis est apparu au CNRS le département des Sciences Pour l'Ingénieur du CNRS, le SPI. De ce département relèvent des disciplines anciennes comme la mécanique, mais aussi d'autres disciplines centrées sur un objet plutôt que sur un secteur d'étude des sciences de la nature. C'est dans ce cadre que j'ai pu légitimer en France mes recherches impliquant art, science et technologie, et je suis heureux que la médaille attire aujourd'hui l'attention sur l'importance de ce département, ardemment défendu par son directeur Jean-Jacques Gagnepain (5).

Le Département des sciences de l'homme et de la société du CNRS s'est en maintes circonstances penché sur les arts, et il a le premier noué des liens avec le ministère de la culture, dont relève en France la pratique artistique. L'intérêt de la direction de la musique du

ministère de la culture pour la recherche, sous l'impulsion décisive du compositeur Michel Decoust, a été pour moi comme pour d'autres très stimulante.

Je ne puis oublier ceux qui ont tôt reconnu la signification artistique de mes entreprises, des regrettés Edgard Varèse, André Jolivet, Jean-Etienne Marie, John Cage et Wladimir Ussachevsky, à Milton Babbitt, Jon Appleton, Paul Mefano, Louis Dandrel, György Ligeti, Richard Felciano, Roger Reynolds, Charles Chaynes, Marianne Lyon, et d'autres cités par ailleurs (6).

Depuis près de trente ans, j'ai choisi de travailler et de vivre à Marseille. Trop méconnue, la plus ancienne ville de France est vivante et attachante, riche de ressources humaines, scientifiques et culturelles. A travers ma personne, cette médaille d'or honore la communauté des chercheurs et des musiciens de Marseille et de Provence.

La recherche est difficile, et les chercheurs peuvent être difficiles à vivre. Permettez-moi d'exprimer ici ma gratitude à ma famille et surtout à mon épouse Rozenn. Sans sa présence et sa sensibilité artistique, je ne serais pas ici aujourd'hui.

Si ma propre carrière a pu s'épanouir et être distinguée, elle ne s'est pas déroulée sans obstacles, et d'autres chercheurs non conformes se trouvent en butte aux mêmes difficultés. Il faut un peu d'audace pour sortir des chemins battus : mais on s'épuise dans un maquis trop impénétrable. Je reviendrai sur le problème de la pluridisciplinarité (interdisciplinarité, transversalité), sur les passerelles à développer entre disciplines et institutions, et sur la pertinence des arts dans la recherche.

Sources

Je souhaite d'abord évoquer les conditions et les personnes qui ont marqué ma jeunesse et qui m'ont préparé à allier recherche et musique.

Mes parents aimaient la musique et les arts, mais ils n'envisageaient pas pour leurs enfants une profession artistique : cependant ils les ont "mis au piano", ce qui fut pour moi décisif. Je veux rendre ici hommage à mon professeur Robert Trimaille, élève d'Alfred Cortot, pour son admirable enseignement. On venait de loin pour travailler avec lui. Il a toujours exigé de chacun un jeu propre et sensible, et il en donnait les moyens techniques, inséparables du rendu musical. La naissance d'un beau festival de musique à Besançon, où j'habitais, m'a donné l'occasion d'assister à de miraculeux récitals de Dinu Lipatti - son dernier concert - puis de Clara Haskil. Emmerveillé, je n'ai pas caché à Robert Trimaille que je trouvais cette splendeur quelque peu démoralisante pour l'apprenti que j'étais. Il m'a répondu : "c'est encourageant au contraire : il n'y a pas de secret de fabrique !" A ses cours et à son exigence, je dois beaucoup, et notamment le goût du travail approfondi.

Le psychologue John Sloboda l'a démontré récemment lors d'une vaste enquête en Grande Bretagne : on ne peut faire l'économie de milliers d'heures d'exercice pour très bien jouer d'un instrument (7). Mais les joies qu'on en tire sont sans prix.

J'ai aussi travaillé à Paris avec Huguette Goullon, qui faisait vivre intensément la musique (8). Robert Trimaille avait proposé de me faire travailler un programme pour le présenter à Edwin Fischer - plutôt que Cortot, dont il connaissait bien l'enseignement : mais Fischer fut frappé par une hémiplégie. Je n'ai jamais voulu arrêter le piano, qui m'a aidé à supporter les dures années des classes préparatoires scientifiques. Le travail instrumental m'a valu une connaissance de la musique "de l'intérieur" qui m'a rassuré sur ma capacité à aborder la musique professionnellement. Il m'a appris aussi à "composer le son". Cortot, posant ses mains sur le clavier, semblait jouer d'un autre instrument tant sa sonorité était personnelle. Il y arrivait par la conduite de son jeu, et notamment par le dosage des intensités des notes dans les accords. L'attention à cet aspect m'a préparé à mes futures explorations de nouveaux territoires sonores, par exemple à la synthèse additive : ainsi, dans ses pièces pour piano

Reflets dans l'eau, Etude pour les sonorités opposées ou Feu d'artifice, Claude Debussy compose accords ou arpèges pour obtenir un timbre ou une figure sonore plutôt qu'une mélodie ou une harmonie.

D'autre part j'ai le souvenir très vif de plusieurs "éveilleurs" au Lycée Victor Hugo de Besançon. Raymond Vauthier m'a bouleversé en lisant en cinquième des poèmes chinois et des haï-kaï. En classe de quatrième, nous visitons les manufactures de montres bisontines, et Raymond Bouchat, professeur de mathématiques, nous éveilla à l'algèbre et aussi aux probabilités en nous faisant compter les lettres de l'alphabet dans les textes : cela m'a préparé à assimiler la théorie de l'information. Bernard Lavillat a su rendre l'histoire significative, Michel Mansuy analysait avec compétence la littérature, Marcel Imberty la mettait sur la scène théâtrale (9).

André-Michel Vergez m'a ouvert à bien des concepts fondamentaux dans un enseignement de philosophie qui était à mon goût le plus passionnant et le plus formateur : j'espère que les réformes des programmes, sans doute nécessaires, préserveront la part essentielle de la réflexion et de l'esprit critique. En classe préparatoire, Elie Reppelin nous déconseillait de nous "livrer aux calculs dans le sens que les chrétiens étaient livrés aux bêtes fauves". Georges Davier, professeur de physique, connaissait dans tous ses recoins le clavecin bien tempéré de Bach. Pour les "colles", il fit appel à un personnage inspiré, Pierre-Michel Duffieux, qui avait, le premier, introduit la transformée de Fourier en optique.

J'ai un peu hésité entre l'Ecole polytechnique et l'Ecole Normale Supérieure. Le polytechnicien Claude Hellfer faisait une belle carrière de pianiste : son maître fut Robert Casadesus, avec qui mon professeur avait envisagé que je travaille. Peut-être mon itinéraire aurait-il pu être différent. Je suis entré rue d'Ulm, extraordinaire Thélème où vivaient ensemble littéraires et scientifiques, dans une atmosphère de liberté grisante et presque vertigineuse. Dans les caves, l'unique piano était souvent occupé, mais j'y ai joué avec Yves Hellegouarch, premier prix de Paris de violoncelle et mathématicien profondément original, qui a apporté un maillon décisif dans la démonstration du théorème de Fermat en liant arithmétique et analyse géométrique ; avec Jean-Louis Backès et même à l'occasion avec Claude Hagège. Le littéraire François-Bernard Mâche commençait déjà une brillante carrière de compositeur en participant aux travaux du Groupe de Recherches Musicales de Pierre Schaeffer. J'étais quant à moi encore incertain sur mon engagement musical : je me rattrapai sur le sport, sur lequel régnait le populaire Ruffin, seul enseignant de l'école connu de tous les élèves. Je pratiquais surtout le basket-ball, sport d'adresse et de vivacité, qui m'a fait rencontrer deux personnages bien différents, mais tous deux originaux et ouverts à toutes les connaissances : Claude Allègre et Michel Serres. J'ai hésité entre les mathématiques - j'étais séduit par les cours d'Henri Cartan, Gustave Choquet, Jean-Pierre Serre, André Lichnerowicz, mais intimidé par l'aisance de camarades comme Yves Meyer, Jean-René Joly ou Gérard Rauzy - et la physique, pour laquelle j'ai opté en fin de compte, et où nous comptons parmi les enseignants Alfred Kastler, Yves Rocard, Raymond Castaing, Maurice Lévy, Bernard d'Espagnat, Bernard Cagnac et Hubert Curien.

Mon parcours : quelques tâtonnements

J'avais aimé l'ouvrage Matière et lumière de Louis de Broglie, et les hautes énergies me paraissaient l'aile marchante de la physique. Aussi préparai-je mon diplôme à l'accélérateur linéaire d'Orsay, alors dirigé par Hans Halban. Ma première publication scientifique, parue au Journal de Physique et co-signée avec George Bishop et le regretté Bernard Grossetête, décrivait des expériences portant sur la photodésintégration de l'Oxygène 16 (10). Bien que passionnant, ce domaine m'a paru trop absorbant pour me laisser le loisir de continuer la musique, et j'ai décidé de changer d'orientation.

Après l'agrégation de physique, passée en 1961, j'entrai comme attaché de recherche au CNRS dans le laboratoire du Professeur Pierre Grivet, le "patron" de l'électronique à Paris. A

l'Institut d'Electronique Fondamentale ont été accomplis de remarquables travaux, comme ceux de mon ami Jean-Pierre Renard sur le magnétisme et les très basses températures. On y pratiquait la résonance magnétique nucléaire pour élucider la structure des solides, et je commençai à travailler sur la ferroélectricité sous la direction de Jacques Hervé. Mais l'appel de la musique se faisait de plus en plus pressant. J'avais montré quelques compositions à André Jolivet, dont j'admirais les œuvres novatrices comme *Mana* et *Cinq incantations*, et il m'avait encouragé à continuer : j'ai travaillé l'harmonie et le contrepoint avec Suzanne Demarquez et la composition avec lui. L'été 1962, j'ai suivi le cours d'été de son Centre français d'humanisme musical : j'y ai rencontré nombre de musiciens, et j'ai pris la résolution de quitter le CNRS pour me consacrer à la musique. J'étais très intimidé pour annoncer cela à Pierre Grivet, parfois explosif, et je fus stupéfait de sa réaction : "c'est peut-être une idée. Mais pourquoi ne resteriez-vous pas au CNRS pour explorer ce qui peut se faire scientifiquement dans le domaine de la musique ?"

Je prospectai avec diligence divers milieux susceptibles d'aborder ce domaine. La démarche d'André Jolivet visait à retrouver les fonctions originaires de la musique, ses pouvoirs magiques et incantatoires : son inclination scientifique n'était pas primordiale, cependant il avait été marqué par son travail avec Varèse, et autour de lui gravitaient des musiciens tournés vers la science comme Iannis Xenakis, Michel Philippot, et son élève André Riotte.

Je visitai bien entendu le Groupe de Recherches Musicales. Enrico Chiarucci, Guy Reibel, Beatriz Ferreyra y menaient des études qui devaient aboutir au *Traité des objets musicaux*, publié par Pierre Schaeffer en 1966. Mais j'étais à l'époque plus intéressé par la finesse et la ductilité du matériau sonore instrumental : or la richesse sans limite des matériaux concrets avait pour contrepartie des possibilités de transformation qui me parurent alors rudimentaires. Aussi ne me lançai-je pas alors dans cette démarche de "musique acousmatique", illustrée par François Bayle, Pierre Henry, Luc Ferrari, Bernard Parmegiani et toute une école : j'y vins plus tard, et je restai toujours en contact avec ce groupe actif et créateur (11), dirigé aujourd'hui par Daniel Teruggi.

Je me mis en contact avec Emile Leipp. Raymond Siestrunk lui avait proposé de travailler dans son Laboratoire de Mécanique : avec l'assistance de Michèle Castellengo et Jean-Sylvain Liénard, Leipp créa un Groupe d'Acoustique Musicale à la Halle aux Vins - aujourd'hui l'Université Paris VI. Musicien et luthier - il avait construit des dizaines de violons - Leipp défendait avec force un point de vue alors peu partagé : selon lui, les musiciens et les luthiers avaient une connaissance sans doute empirique, mais raffinée et profonde, des capacités de l'audition humaine, et cette connaissance était inscrite dans la conception d'instruments optimisés au cours des siècles et dans les pratiques musicales qui "marchaient". Leipp était imaginatif et convaincant. Il recourait au sonagraphe ou "visible speech", développé aux Etats-Unis pendant la guerre, et qui donnait une image temps-fréquence du son permettant de repérer les allures, les formes, les évolutions : cette représentation était plus parlante que les spectres habituels. Cependant rien n'assurait que les détails qu'on pouvait repérer sur l'analyse étaient véritablement ceux qui comptaient pour l'audition ; et j'étais curieux de créer des sons, et pas seulement de les analyser.

Michel Philippot me mit en contact avec Pierre Barbaud, véritable Bernard Palissy de la composition automatique, qui payait ses heures de machine sur ses fonds personnels, et surtout Abraham Moles, qui avait fait une thèse de sciences sur *La physique du bruit* et une autre thèse sur *La théorie de l'information et la perception esthétique*. Moles avait aussi joué un rôle comme théoricien auprès de Pierre Schaeffer lors des débuts de la musique concrète ; il s'intéressait à mille choses, parmi lesquelles les musiques expérimentales. Il me proposa de réaliser une modélisation informatique de la fonction auditive, ce qui me donna l'occasion d'apprendre beaucoup sur l'audition et d'approcher de nouveau les ordinateurs : mais ces derniers étaient encore des dinosaures, et une simulation de l'audition aurait été soit trop

schématique soit trop complexe.

Je n'avais pas véritablement trouvé ma voie. Des Etats-Unis nous vinrent d'étonnantes nouvelles : Max Mathews, John Pierce et Newman Guttman fabriquaient des sons avec des ordinateurs - cela paraissait alors ahurissant. En 1963, un article lumineux parut dans Science sous la signature de Max Mathews : ***The digital computer as a musical instrument***. Cet article frappa Pierre Grivet, qui me le communiqua (12) et m'engagea à aller travailler avec Mathews. J'étais à la fois fasciné et réticent, car j'imaginai mal un travail de recherche et de création musicale dans un laboratoire privé. J'avais tort : je n'ai heureusement pas manqué cette occasion de travailler aux ***Bell Laboratories***, alors "les meilleurs laboratoires du monde", où était née la synthèse des sons par ordinateur - ainsi que le transistor (un mot forgé par Pierce), la théorie de l'information, les satellites de communication, les piles solaires, plus tard le système Unix, le langage C, la découverte du bruit de fond du big bang. Grivet expliqua à John Pierce ma quête d'allier musique et recherche et ma double formation, scientifique et musicale - je venais d'ailleurs d'avoir une pièce pour orchestre diffusée à la radio. Pierce soumit la proposition à Mathews, qui accepta. La Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique voulait contribuer à former des "informaticiens" : Grivet m'aiguilla vers le Comité "Calculatrices électroniques", devenu ensuite "Calculateurs", qui m'attribua une bourse (13).

Exploration du son numérique aux *Bell Laboratories*

C'est aux Etats-Unis que mon travail prit son essor. J'eus la chance de trouver des territoires presque vierges. Explorant les ressources musicales de l'informatique, je crois avoir contribué à changer la vision que nous avions du son musical, de sa genèse et de sa perception, et je ne peux le montrer que par des exemples sonores. Car enfin décrire des sons musicaux sans les faire entendre, c'est un peu comme dissenter sur le goût des mandarines comparé à celui des oranges. Comme disent les anglo-saxons, "the proof of the cake is in the eating, not in the cooking" (14).

J'arrivai aux ***Bell Laboratories*** en septembre 1964. Max Mathews me proposa deux directions possibles de travail : la composition assistée par ordinateur et la synthèse sonore. J'étais au courant d'essais antérieurs de composition automatique, et je les considérais comme des expériences intéressantes mais musicalement trop simples. En revanche, j'avais hâte d'explorer cette possibilité de "calculer" le son musical. Comme Edgard Varèse aimait à dire, les nouveaux matériaux permettent de nouvelles architectures. En France, Varèse était une légende vivante. Jeune compositeur très estimé de Debussy et de Richard Strauss, il détruisit ses œuvres, trop marquées à son goût par l'héritage du passé, et partit pour le nouveau monde, où pendant des dizaines d'années il chercha vainement à susciter des recherches pour développer des moyens nouveaux de production des sons. Dès 1917, il écrivit : "la musique qui doit vivre et vibrer a besoin de nouveaux moyens d'expression, et la science seule peut lui infuser une sève adolescente". Aussi suivait-il avec un vif intérêt les expériences de Mathews et de Pierce, et ses encouragements augmentèrent mon ardeur.

Le défi était excitant. Muni des logiciels modulaires Music4 ou Music5, admirablement conçus par Mathews, l'ordinateur permettait en principe de s'affranchir des contraintes mécaniques et de produire par synthèse n'importe quel son, connu ou inouï. Mais on ne savait tirer parti de ce potentiel illimité : on n'arrivait à fabriquer que des sons ternes, mornes, sans identité ni présence. L'utilisateur était dans la position d'un "sauvage devant un piano à queue" (15) : comment faire pour que de belles musiques sortent de cette boîte ? Il fallait comprendre à quoi tenait la personnalité et la vie des sons. On n'arrivait même pas à imiter de façon réaliste les sons instrumentaux. Il existait des traités d'acoustique : mais les descriptions qu'ils donnaient des sons instrumentaux étaient trop simplistes. Un son de trompette y était supposé caractérisé par un spectre assorti d'un transitoire d'attaque : une synthèse suivant cette recette n'évoquait nullement un cuivre.

Ma première tâche fut donc d'imiter les sons cuivrés. Les analyses détaillées que j'effectuai montraient la complexité considérable de ces sons, qui évoluent constamment et qui sont tous différents suivant leur hauteur et leur intensité. Je pouvais les reconstituer en reproduisant à la lettre les résultats de l'analyse : mais la quantité d'information était ingérable. Existait-il un invariant permettant d'identifier le timbre au travers de variations de la structure physique ? La synthèse me permit de simplifier la recette et de ne retenir que les aspects pertinents pour l'auditeur - une véritable "analyse par synthèse". Je remarquai que les composantes de fréquence n'étaient pas synchrones pendant l'attaque, les composantes aiguës apparaissant plus tard. Et l'on sait que le son devient plus brillant lors d'un crescendo. Ces deux particularités pouvaient être décrites par une même règle : le spectre s'élargit quand l'intensité augmente. La mise en œuvre de cette seule règle pour commander simultanément les différents harmoniques d'une synthèse additive me prouva qu'elle était essentielle pour caractériser le son cuivré. L'oreille n'a pas le temps d'analyser les détails de l'attaque, mais elle y reconnaît la non-synchronicité.

C'est donc non pas un invariant, mais une relation - entre spectre et intensité - qui caractérise le son cuivré. Cela permet d'expliquer plusieurs particularités. L'identification du timbre est plus robuste que si elle tenait au seul spectre, lequel est facilement modifié pendant la propagation - par la directionnalité de l'émission de l'instrument ou la réponse irrégulière de la salle. A la radio, on peut reconnaître qu'un instrumentiste joue fort ou doucement quel que soit le niveau d'écoute : la largeur spectrale nous renseigne sur l'intensité à la source.

Ma simulation de la trompette eut un certain retentissement en 1965 (16). Les **Bell Laboratories** diffusèrent un communiqué de presse qui fut interprété de cent façons. Selon certains journaux, Louis Armstrong pouvait raccrocher son instrument : "Satchmo, the bells toll for thee !" Plus sérieusement, Robert Moog, l'un des premiers constructeurs de synthétiseurs, conçut un filtre dont la largeur de bande était commandée par tension pour mettre en œuvre la relation caractéristique du son cuivré : en couplant cette largeur de bande à l'intensité, il put évoquer les cuivres (on les entend dans le disque **Switched on Bach** réalisé en 1968 par Walter Carlos). Max Mathews avait quant à lui étudié le timbre du violon, et il avait déduit la conception d'un violon électronique, comportant touche, corde et archet, mais, à la place de la caisse, un circuit comportant une trentaine de filtres résonants simulant sa réponse. Lorsque je vis l'instrument, je proposai à Mathews de remplacer ce circuit par le filtre conçu par Moog : en commandant la largeur par l'intensité, on peut produire des sons cuivrés avec un archet frottant une corde !

A Stanford, John Chowning, musicien de formation, commençait d'explorer certaines possibilités radicalement nouvelles d'un processus qui paraissait bien connu, la modulation de fréquence : pour engendrer des spectres complexes, il choisissait des porteuses et modulantes sinusoïdales audibles. Il m'a fait entendre en 1968 ses premières expériences, produisant d'impressionnants balayages de spectres, et il m'a laissé la recette de ses synthèses. Je pus immédiatement les reproduire et réaliser des variantes, que j'incorporai en 1969 dans ma pièce **Mutations** (17). On pouvait donc transmettre facilement le savoir-faire sonore. Outre les sons cuivrés, j'avais fait de nombreux essais de synthèses : je les réunis alors dans un catalogue de sons synthétisés, comprenant un enregistrement, des explications et les données pour le programme **Music5**, données qui constituent en même temps une description exhaustive de la structure physique du son. Max Mathews utilisa ce catalogue pour un des premiers cours de musique informatique donné cette année-là à Stanford. Le catalogue sert encore : il a été réédité en 1995 et adapté à CSound, logiciel de synthèse très répandu. Un an plus tard, Chowning consulta ma recette pour produire les sons cuivrés, et il put la mettre en œuvre de façon bien plus économique et élégante grâce à la modulation de fréquence : ce fut une impulsion pour reprendre l'exploration de cette méthode, qu'il développa de façon splendide. Le brevet qu'il prit fut l'un des plus profitables pour l'Université Stanford : il fut exploité par Yamaha pour les synthétiseurs numériques DX7, qui connurent dans les années 1980 un succès commercial sans précédent. La technologie était bien au point, mais la qualité et la

variété des sons tenaient non pas au matériel, mais au savoir-faire de synthèse développé grâce aux recherches de John Chowning.

En 1965, je dus rentrer en France pour mon service militaire : je le passai principalement à Lannion, dans le Département d'Acoustique du CNET, qui commençait d'explorer le traitement numérique de la parole, avec Jacques Vincent-Carrefour, Jacques Poncin et le regretté Gilbert Ferrieu. Je rédigeai ma thèse, illustrant une description de la fonction auditive par mon "analyse par synthèse" des sons cuivrés. Je bénéficiai des conseils de Jean-Paul Benzecri, éminent mathématicien qui s'était consacré à l'analyse de données de toutes sortes. Pour mon second sujet, je reproduisis les expériences de Land sur la photographie en couleur à partir de deux couleurs primaires. Ma soutenance eut lieu en 1967 : André Jolivet faisait partie du jury.

De retour aux **Bell Labs**, je fis d'autres essais d'imitation d'instruments. Les répliques de synthèse étaient plus ductiles que les instruments acoustiques, et j'en tirai parti musicalement. Ainsi, au début de ma pièce **Mutations**, un motif mélodique devient un accord, une harmonie, suivi d'un coup de gong que l'oreille ne peut analyser : mais elle perçoit que l'harmonie interne de ce gong est la même que celle de l'accord qui précède. Le timbre est ici comme l'ombre ou la prolongation de l'harmonie. On ne peut contrôler la composition harmonique d'un gong acoustique, mais on peut composer par synthèse des sons évoquant des gongs ou des cloches, tout comme on compose des accords. On peut aussi transformer ces sons intimement en adoucissant le profil dynamique de leurs composantes : l'harmonie sous-jacente reste la même, mais les percussions deviennent des textures fluides - un changement d'état physique ... virtuel, dont j'ai tiré parti dans ma pièce **Inharmonique**.

Mon intérêt était bien sûr d'explorer des timbres nouveaux. Je produisis des développements sonores éloignés de l'univers des sons acoustiques : textures, trames, balayages, qui apparaissent dans **Mutations** mais aussi dans **Little Boy**, une pièce également produite par synthèse, et qui est comme une suite symphonique - sans orchestre - tirée d'une musique de scène pour la pièce du même nom du regretté Pierre Halet. Ses impératifs dramatiques et musicaux ont dirigé ma recherche vers les paradoxes et illusions acoustiques. **Little Boy** était le nom de code de la bombe d'Hiroshima : dans la pièce, le héros, Eatherly, pilote de l'avion de reconnaissance, a des problèmes liés à ses remords. Traité dans un hôpital psychiatrique, il regarde une émission de télévision et revit le raid à travers ses fantasmes ; il s'identifie à la bombe Little Boy - régression infantile, disent les psychiatres - et la chute de la bombe est purement mentale, comme un collapsus sans fond. J'ai voulu illustrer cet effondrement psychique par une spirale indéfinie. Roger Shepard - psychologue éminent - avait réalisé quelques années auparavant une gamme de douze sons donnant l'impression de monter sans fin lorsqu'ils sont répétés, utilisant le processus des reprises connu des facteurs d'orgue et repris dans diverses compositions, de Bach à Berg : mais il ne pensait pas le phénomène réalisable en continu. J'y parvins par un contrôle soigneux de la synthèse.

Je voulus approfondir ce domaine. Je parvins à faire varier en sens contraire hauteur "spectrale" et "tonale", produisant l'effet d'une gamme qui descend pour aboutir à un point plus haut - à la façon d'une célèbre gravure d'Escher. Je soumis à de nombreux auditeurs mes sons artificiels "truqués". Parmi ces auditeurs, Leopold Stokowski, impressionné par le potentiel de profondeur des sons numériques, Luciano Berio, Iannis Xenakis. Je m'aperçus que des auditeurs pouvaient être en désaccord sur un intervalle, montant pour les uns, descendant pour les autres, et que cela peut s'expliquer. Je n'en dirai pas plus dans ce texte, réservant aux auditeurs l'écoute de ces sons "paradoxaux" : mais je citerai deux exemples montrant que les relations perçues entre les sons ne sont pas un simple décalque des relations de leurs paramètres physiques. J'ai produit un son qui paraît descendre un peu lorsqu'on double ses fréquences - physiquement une octave ascendante, perceptiblement une descente de moins d'un demi-ton (18) – et plus tard une suite de battements rythmés qui paraissent ralentir si l'on double la vitesse du magnétophone sur lequel on le joue (19).

Ce ne sont pas là que curiosités : selon Purkinje, physiologiste du siècle dernier, les illusions, erreurs des sens, sont des vérités de la perception. Nombre d'illusions d'optique sont connues depuis longtemps. C'est grâce à la possibilité de calculer directement des structures sonores complexes bien calibrées, avec une précision et une reproductibilité sans précédent, qu'on peut mettre en scène des illusions auditives. Ces illusions éclairent certains aspects de l'organisation perceptive et permettent de nouveaux effets musicaux. Un compositeur comme Ligeti s'y intéresse vivement : son attention aux démarches de la musique pour ordinateur est stimulante comme le fut celle de Varèse.

Mes pièces **Little Boy** et **Mutations**, et peu après **Turenas** de John Chowning, furent appréciées aux Etats-Unis et en Europe : il fallait compter désormais avec la musique numérique.

Retour en France : Orsay, Marseille

Après bien des hésitations, je décidai de revenir à Orsay et d'y implanter la synthèse sonore par ordinateur, qui était inconnue en Europe. Je connus quelques difficultés. Il fallait s'équiper, or une crise financière avait (déjà) fait disparaître les fonds non encore dépensés. Finalement il me fut possible d'acquérir un ordinateur et d'y mettre en œuvre la synthèse, en collaboration avec Pierre Karatchentzeff et Gérard Charbonneau. La thèse de Charbonneau fut la première que je dirigeai : elle portait sur les notions de hauteur spectrale et tonale. Charbonneau put mettre en évidence une meilleure performance de l'oreille droite - l'hémisphère gauche - pour les mélodies "tonales" et de l'oreille gauche pour les mélodies "spectrales". Il a poursuivi d'intéressants travaux sur la synthèse additive, et il a dirigé deux thèses intéressantes sur l'analyse multidimensionnelle objective du timbre.

Je fus quant à moi bientôt "enrôlé" pour prendre la tête d'un département de musique à Marseille. Dans la foulée de mai 1968, l'Université s'était entrouverte aux arts plastiques et à la musique. A Luminy, des entrepreneurs enthousiastes, notamment les physiciens théoriciens Daniel Kastler et Mohammed Mebkhout, avaient l'ambition de développer un centre universitaire pluridisciplinaire de qualité autour d'un noyau scientifique : ils attirèrent d'excellentes individualités. Il faut avoir des titres pour être crédible dans l'Université : or aucun diplôme n'avait encore été décerné en musique, discipline universitaire nouvelle.

Daniel Charles, philosophe du temps et musicologue qui dirigeait avec Eveline Andréani le dynamique département de musique de Vincennes, me mit en rapport avec Kastler. Nanti de titres universitaires et d'une formation musicale, je pouvais diriger un enseignement de musique. La conviction de Daniel Kastler, son enthousiasme poétique et sa passion pour la musique surent me convaincre de m'établir à Marseille.

L'enseignement de musique de Luminy, réunissait de nombreux acteurs de la ville, notamment Pierre Barbizet, grand pianiste et directeur du conservatoire, Georges Boeuf, compositeur, Christine Prost, professeur de musique et chef de chœur. Malgré quelques problèmes, chacun faisait de son mieux, et les étudiants étaient enthousiastes.

Michel Redolfi, connu aujourd'hui comme pionnier de la musique subaquatique et de l'art en réseau, venait suivre certains cours. On envisageait déjà une option scientifique et des recherches associant par exemple Barbizet et Jacques Paillard, éminent spécialiste de la motricité. Mais le ministère avait habilité Marseille-Luminy et Aix : au bout d'un an, Luminy, qui avait eu de bien meilleurs résultats à un concours commun, fut déshabité au profit d'Aix pour la musique, et vice-versa pour les arts plastiques. De Paris on imaginait que les enseignements pourraient être partagés entre les deux centres, alors qu'il faut près d'une demi-journée pour aller de l'un à l'autre par les transports en commun.

Stupeur à Marseille : il fallut abandonner l'enseignement, au moment même où un poste universitaire de musique m'était attribué ! Un élan fut brisé, ce qui laissa bien des regrets.

Mohammed Mebkhout, devenu doyen de Luminy, me permit de fonder en 1972 un laboratoire universitaire : je le dénommai Informatique et Acoustique Musicale. Il ne manquait que l'ordinateur - un équipement fort coûteux à l'époque. Le son numérique était encore une rareté, inconnue de bien des informaticiens : la conversion des nombres aux sons n'était jamais une option fournie par le constructeur, et sa mise en œuvre posait des problèmes difficiles. Il était préférable d'utiliser un ordinateur dédié à une seule utilisation, sinon le système d'interruption et de priorités était trop contraignant. Le plan calcul ne facilita pas les choses (20).

Aux Etats-Unis, la station de travail dédiée était devenue courante - la musique numérique y avait beaucoup contribué ; mais la consigne en France était de se brancher sur un centre de calcul et d'insérer son programme dans la file d'attente d'un "traitement par lots" (**batch processing**) : on ne pouvait alors adapter à l'ordinateur les convertisseurs numériques-analogiques nécessaires pour produire du son. J'étais dans une impasse, et je n'étais pas le seul, puisque le brillant informaticien Alain Colmerauer, créateur de Prolog et de la programmation logique, se trouvait aussi dans l'incapacité de travailler : il avait besoin de dialoguer avec l'ordinateur en mode conversationnel, dans un dialecte informatique proche du langage naturel. Nous décidâmes de nous associer pour déposer auprès de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique une demande d'ordinateur mono-utilisateur - mais il nous fallut ruser : notre demande fut maquillée pour faire apparaître l'ordinateur comme terminal intelligent du centre de calcul inter-universitaire, afin qu'elle ne soit pas bloquée par les gardiens du plan calcul ; bien sûr, nous n'avons jamais utilisé la connexion au centre. Daniel Kastler plaida notre cause auprès d'Hubert Curien, directeur de la DGRST, et la subvention nécessaire fut accordée (21).

Il fallut du temps pour faire aboutir ces démarches. A quelque chose malheur est bon : rédigeant deux articles de revue - la rubrique Sons de l'*Encyclopedia Universalis*, parue en 1973, et le chapitre *Musical Acoustics* du *Handbook of Perception*, terminé au même moment mais publié en 1978 - j'eus le loisir de réfléchir sur les essais de synthèse que j'avais fait un peu fébrilement aux Bell Labs, sachant le temps compté. Pour produire un son acoustique, il faut d'abord disposer d'une machine vibrante - un instrument de musique, par exemple - puis la mettre en action : la structure physique du son résulte de mécanismes complexes. Au contraire la synthèse numérique permettait pour la première fois de fabriquer un son directement à partir de ses paramètres physiques, de concevoir le son sur plan, à la façon d'un architecte. Mais l'incarnation dans le sensible est cruciale : en l'absence de contraintes mécaniques sur la genèse du son, le rôle de la perception devient primordial. Or de nombreux essais de synthèse avaient montré que la relation psychoacoustique entre la structure du son et la façon dont il était perçu était très complexe et apparemment capricieuse. Pourquoi l'oreille est-elle extrêmement sensible aux aspects fréquentiels des sons et pratiquement sourde aux relations de phase entre composantes d'un son périodique, qui pourtant déterminent l'aspect de la forme d'onde ? On pourrait énumérer nombre d'idiosyncrasies apparemment singulières et capricieuses de l'audition. Je cherchai un fil d'Ariane susceptible de nous guider dans ce labyrinthe et de donner un sens à ce bestiaire à la Borgès. Je fus éclairé par les expériences de Chowning sur l'espace virtuel et par les écrits de James Gibson, psychologue tout à fait original voire hérétique par rapport aux psychophysiciens de l'école de Fechner. Selon Gibson, la perception n'est pas agencée pour mesurer les paramètres physiques du "stimulus", mais pour extraire des données sensorielles des informations sur l'environnement pouvant être utiles à la survie. Les différentes modalités sensorielles sont adaptées à exploiter au mieux des caractéristiques physiques du signal. Les "caprices" de la perception s'expliquent : celle-ci tire le meilleur parti des aspects du signal qui résistent aux avatars de sa propagation. Comme c'est souvent le cas, Gibson étudia surtout la vision. La notion d'analyse de scènes auditives fut proposée par Albert Bregman et développée notamment par John Chowning, Denis Smalley, et Steve McAdams, français d'adoption.

Notre ordinateur produisit ses premiers vagissements à Luminy en 1974, alors que John Chowning et Jim Lawson visitaient notre laboratoire. Nous avons accueilli trois compositeurs suffisamment avertis pour pouvoir utiliser seuls les programmes de synthèse : l'australien Barry Conyngham, venant à Luminy après un an à Princeton, puis le canadien Denis Lorrain et le français Marc Battier. J'eus le temps de réaliser un paradoxe rythmique et une œuvre, Dialogues, pour quatre instruments et ordinateur, dans laquelle j'ai mis en scène des liens étroits - rencontres du troisième type - entre les sons de la bande et ceux des instruments. J'avais demandé un détachement de quatre ans : je devais partir à Paris en 1975 pour mettre sur pied le département ordinateur de l'IRCAM.

L'IRCAM

Pierre Boulez avait formé le projet d'un grand institut de recherche musicale ; et il sut convaincre le Président Pompidou de l'inclure dans le projet de Beaubourg. Il prit contact avec moi en 1970 ; après un certain nombre de réunions de préfigurations avec divers spécialistes, il me proposa en 1972 de prendre la direction du département ordinateur dans son futur institut. J'insistai sur mes ambitions musicales : il avait entendu ma pièce Mutations, et il précisa que je serais directeur artistique - les départements seraient tous dirigés par des compositeurs. C'était là une proposition que je ne pouvais refuser - d'autant plus que le département de musique était dissous. Je décidai de demander un détachement de quatre ans de mon poste universitaire.

L'IRCAM - Institut de Recherche et de Création Acoustique-Musique - était un département du Centre Beaubourg, devenu Centre Georges Pompidou. Les autres départements, comme le musée national d'art moderne, étaient tournés vers le public. L'IRCAM, bien que sous terre et dédié à la recherche et la création, avait lui aussi une couverture médiatique considérable, et tout d'un coup la musique numérique se trouva sous les projecteurs de l'actualité. En 1975, au Théâtre Renaud-Barrault, plusieurs concerts et présentations du futur institut attirèrent un vaste public. La recherche numérique et la composition du son, que nous présentions John Chowning et moi, aiguïsèrent la curiosité de compositeurs plus jeunes, notamment le regretté Gérard Grisey, Tristan Murail, Michael Lévinas, et Hugues Dufourt, souvent considéré comme le théoricien de la musique spectrale, et dont l'intérêt et les interrogations pertinentes nous donnèrent du cœur à l'ouvrage.

Les débuts de l'IRCAM furent exaltants : les chefs de département étaient très différents. Vinko Globokar (département instrument et voix) explorait avec passion les techniques de jeu les plus diverses et les plus extrêmes. Luciano Berio (électronique) composait et voyageait beaucoup. Il désirait disposer d'un banc mille oscillateurs analogiques - il fut convaincu par son compatriote Peppino Di Giugno de recourir au numérique, qui permet le multiplexage, un seul circuit pouvant alors fournir mille oscillateurs virtuels. Gerald Bennett (département diagonal - on dirait aujourd'hui transversal) avait un sens remarquable de la recherche. Il attira David Wessel, qui organisa en 1977 un colloque mémorable sur la Psychoacoustique musicale : ses travaux, ainsi que ceux de Grey, Chowning et les miens, enthousiasmèrent György Ligeti, compositeur extrêmement curieux de science. Michel Decoust créa le Département Pédagogie : il souhaitait rénover l'enseignement par la recherche. Max Mathews et Andy Moorer assuraient le suivi scientifique. Avec notamment John Gardner, Brian Harvey puis Jean-Louis Richer, Philippe Prévôt et Jim Lawson, le département ordinateur assura une activité de service, de recherche et de création, mais l'usage du numérique se répandit assez rapidement, au point de brouiller l'identité des départements conçus au départ.

Pierre Boulez était encore très pris par ses engagements de chef d'orchestre entre New-York et Bayreuth. La série de concerts Passages du XXe siècle, qui marqua en 1977 l'ouverture de l'IRCAM, fut un événement mémorable, mais dont la préparation demanda beaucoup de temps et d'énergie. L'option qui fut prise de donner de nombreux concerts et de présenter publiquement les recherches causa des difficultés. Faire vivre un musée scientifique est un

métier à plein temps peu compatible avec la recherche : les présentations publiques devaient être prévues longtemps à l'avance, ce qui est courant dans le monde du spectacle et des concerts... mais la recherche ne se laisse pas planifier si aisément. L'IRCAM suscita un intérêt considérable - c'était, et c'est toujours, un carrefour extraordinaire où l'on rencontre nombre de personnalités du monde entier. La rançon de ce succès public était pour moi la difficulté de préserver du temps pour le travail personnel et la réflexion

Travaux au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique

Je décidai donc de ne pas renouveler mon détachement et de revenir à Luminy pour la rentrée 1979. Les choses avaient changé à Marseille. Bernard Nayroles avait pris la direction du Centre de recherches physiques, un laboratoire propre du CNRS qui était le plus important laboratoire d'acoustique de France (22), et qui devint le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (23). Je tiens à dire ma reconnaissance à Bernard Nayroles pour son aide et sa défense de notre domaine : sans doute appréciait-il l'originalité de nos recherches, mais il goûtait aussi la musique, plus encore que ses prédécesseurs François Canac et Théodore Vogel. Nayroles proposa au doyen Mohammed Mebkhout (24) d'accueillir le laboratoire universitaire où j'étais pratiquement isolé. Il soutint aussi la candidature au CNRS de Daniel Arfib, un jeune centralien passionné d'informatique musicale, mais qui n'avait pu réaliser les recherches qu'il souhaitait à la Compagnie Bull.

La collaboration de Daniel Arfib a été pour moi décisive : nous avons longtemps centré notre travail sur la synthèse des sons, domaine important pour la compréhension des phénomènes mais où les experts sont rares. Arfib obtint un brevet concernant la création de spectres complexes par distorsion non linéaire. Au LMA, nous apportions le ver dans le fruit - l'informatique faisait alors l'objet de quelques réticences. Nous avons pu exprimer nos idées lors des Assises de la recherche en 1981, contribuant à organiser à Marseille un colloque art-science où nous avons pris contact avec des acteurs de la région. François Kourilsky, animateur de ces assises, et plus tard directeur général du CNRS, avait bien senti l'intérêt des arts pour la recherche.

J'étais alors professeur d'université en musique : je siégeais depuis des années au Conseil des Universités dans la section de philosophie, sous-section d'esthétique, et je devins Président de la section arts lorsqu'elle fut créée en 1984... mais je n'avais plus d'enseignement de musique. On me chargea d'enseigner la physique en licence. Le regretté Yves Jullien, mécanicien au LMA, eut la gentillesse de me décharger de certains cours. Ce n'est qu'au bout de cinq ans de candidature que je pus retrouver un poste au CNRS, ce qui me permit de me consacrer plus pleinement à mes thèmes privilégiés.

L'équipe d'informatique musicale au LMA ne fut jamais très importante, mais elle vit passer des doctorants motivés. Sylviane Sapir travailla en Italie où elle est très connue dans la communauté musicale : elle fut l'assistante technique de Luigi Nono pour sa dernière œuvre Prométhée ; dans le cadre de la compagnie Iris, elle conçut et réalisa MARS, une remarquable station de travail musical, en collaboration avec Emmanuel Favreau et Peppino di Giugno. Richard Kronland-Martinet passa sa thèse sur l'application au domaine sonore de l'analyse en ondelettes, procédé qui avait été proposé par Jean Morlet, d'Elf Aquitaine, et superbement mis en forme par Alex Grossmann, du Centre de physique théorique du CNRS à Luminy. Kronland-Martinet obtint peu après un poste de chercheur CNRS au LMA. Venu de l'industrie, Pierre Dutilleux mit en œuvre de nombreux processus musicaux sur le processeur audio-numérique SYTER, avec un sens très vif de l'utilité musicale - j'ai moi-même tiré parti de son travail dans plusieurs œuvres. Il dirige actuellement la recherche acoustique au ZKM, le grand centre pour les arts et la technologie des media de Karlsruhe. Frédéric Boyer travailla sur les ondelettes et réalisa une interface MIDI - Music5 permettant d'allier les ressources de la synthèse en temps différé et la possibilité d'introduire des nuances d'interprétation en jouant en temps réel sur un clavier MIDI. Patrick Sanchez mit en œuvre un problème inverse : l'analyse d'un son visant à

paramétrer un modèle de synthèse pour simuler ce son - il travailla sur la distorsion non-linéaire. Nathalie Delprat aborda la même question sur le cas de la modulation de fréquence, et Philippe Guillemain la résolut de façon performante pour simuler par synthèse additive les sons faits de lignes spectrales discrètes - il obtint lui aussi un poste de chercheur CNRS au LMA. Simon Bolzinger montra que le pianiste adapte à son insu son jeu à l'acoustique de la salle : si le temps de réverbération est raccourci, il joue plus fort, sans arriver à compenser l'amortissement. Solvi Ystad travailla à une modélisation semi-physique du son de la flûte, en vue de commander la synthèse par des paramètres physiques extraits du jeu de l'instrumentiste.

Aujourd'hui seul Daniel Arfib partage au LMA mon souci de création à la fois scientifique et artistique. Mais nous sommes en liaison avec une communauté internationale très active qui partage les mêmes préoccupations : la communication des données et les réseaux (25) facilitent ces collaborations. J'ai eu le plaisir d'avoir des "élèves" à distance, de Dexter Morrill ou Charles Dodge à Marco Stroppa, John-Philip Gather ou Fabien Lévy, par l'entremise du catalogue de sons ou des données publiées sur mes synthèses. Arfib anime actuellement un projet européen sur les effets audionumériques.

Interaction entre piano acoustique et ordinateur

J'ai profité d'un séjour au Media Lab du M.I.T. en 1989 (26) pour mettre en œuvre un processus nouveau : une interaction temps réel entre piano et ordinateur, l'ordinateur "écoutant" ce que joue le pianiste et ajoutant sa propre partie en fonction de ce qui est joué - la nature de cette fonction étant prédéterminée dans le programme. Il fallait un piano spécial équipé de capteurs et de moteurs. Yamaha commençait de fabriquer le Disklavier - un "vrai" piano acoustique, avec des feutres et des marteaux, mais muni de surcroît d'une entrée et d'une sortie MIDI. La sortie fournit des informations sur le jeu : le code MIDI précise à quel moment quelle touche a été enfoncée ou relâchée, et avec quelle intensité. Des informations de même nature, envoyées à l'entrée, commandent l'enfoncement ou le relâchement des touches du piano. Le Disklavier est donc un piano mécanisé : chaque touche est munie d'un capteur et aussi d'un moteur. On peut enregistrer les codes MIDI produits par le jeu d'un pianiste : en les renvoyant vers l'entrée, on reconstitue le jeu, à la façon des pianos à rouleaux du début du siècle, mais en respectant les intensités de chaque note. On peut ainsi jouer à quatre mains avec soi-même. Mais on doit alors suivre le tempo - la vitesse - de la partie pré-enregistrée : le pianiste, pris dans un corset temporel, ne peut plus donner libre cours à sa spontanéité, il lui faut suivre le tempo du piano mécanique.

Ne pourrait-on inverser ce rapport de sujétion et donner l'initiative au pianiste ? J'ai interposé un ordinateur entre entrée et sortie MIDI pour transformer les données d'exécution et élaborer un "accompagnement" qui dépend de ces données - donc de ce que joue le pianiste, mais aussi de la façon dont il joue. C'est la programmation de l'ordinateur qui stipule la nature de cette dépendance, laquelle peut donc revêtir des formes multiples. La réalisation n'a pas été sans problèmes, et leur solution a été facilitée par l'aide précieuse de Scott Van Duyne et par l'emploi du programme MAX écrit par Miller Puckette à l'IRCAM.

Au Media Lab, puis à Marseille, j'ai alors pu réaliser mes **Duos pour un pianiste**. Duos, parce qu'au jeu du pianiste répond donc celui d'un partenaire, programmé sans doute, mais sensible. Un partenaire caché, irréel, ou plutôt virtuel. Pour explorer des possibilités diverses, j'ai écrit diverses études dont chacune met en œuvre un type d'interaction différent.

Je me suis borné à des interactions simples, afin que reste lisible la relation entre le jeu du pianiste et la réponse. Par exemple l'une des études met en scène une relation en "miroir" : à chaque figure mélodique du pianiste répond la mélodie inversée. Une autre prolonge chaque note du pianiste par un arpège dont les caractéristiques dépendent de celles de la note. Ainsi l'arpège peut-il être plus rapide si le pianiste joue plus vite ; ou sa vitesse peut dépendre de

l'intensité du jeu - un type de réaction tout à fait nouveau. Jouant en solo, le pianiste est alors suivi comme son ombre par un double : clone ou miroir, écho, résonance, amplification ou anamorphose.

Il s'agit d'une communication homme-machine très ludique : mais l'enjeu dépasse le divertissement. Ce type nouveau d'interaction peut donner lieu à d'autres utilisations - par exemple dans un contexte pédagogique, ou dans le cadre de musiques en partie improvisées. Ici la technologie bien tempérée permet au musicien d'enrichir ses possibilités musicales, même s'il ne possède pas une technique de virtuose. Je me suis borné à mettre en œuvre l'interaction temps réel dans un domaine purement instrumental et acoustique, ce qui était une première, mais la norme MIDI met évidemment à la disposition de ce type d'interaction toutes les possibilités de la synthèse et du traitement numérique des sons. Je suis convaincu que cette voie ouvre d'immenses possibilités : ce n'est qu'un exemple de développement technologique permettant de concevoir des systèmes appropriés à l'épanouissement musical.

J'arrête ce tour d'horizon de mes activités de recherche ; je me suis efforcé aussi de les diffuser par des publications scientifiques, des articles de revue ou de synthèse, mais aussi sous des formes différentes, appelées par la nature des informations à transmettre, comme mon catalogue de sons joignant données informatiques et enregistrements sonores.

J'ai donné de nombreux cours, conférences, cours d'été ou master classes en France et à l'étranger, à l'intention de publics très divers. J'ai enseigné à l'université en musique, arts plastiques, physique, informatique. En 1992, le ministère de l'éducation et le ministère de la culture étaient associés : dans cette conjoncture favorable à l'établissement de relations art-science, j'ai participé à la création du D.E.A. ATIAM (Acoustique, Traitement du Signal et Informatique Appliqués à la Musique), et je l'ai dirigé de 1993 à 1999 (27). Je voudrais terminer par quelques réflexions concernant notamment la pluridisciplinarité et les relations art-science-technologie.

Chercheur, artiste ?

Il n'est pas évident à chacun que le CNRS ou l'Université doivent soutenir des recherches sur l'art, ou que les institutions culturelles sont concernées par la science et la technologie. L'art et la science sont bien distincts dans leurs fins, leur procès, leur tempo, leurs critères. La science vise la connaissance, l'art vise la fabrication d'un objet esthétique. La création artistique tente de maîtriser des techniques en vue de la construction d'œuvres : elle se rapproche de l'activité de l'ingénieur, pour qui Léonard de Vinci (28) devrait être une figure tutélaire, mais cette activité est trop souvent envisagée sous un angle exclusivement matériel et pragmatique. Les sciences pour l'ingénieur ne se confondent pas avec le développement : elles alimentent la course à la technologie, mais elles doivent garder distance et capacité de réflexion.

Le recours à une démarche scientifique ou technologique ne justifie en rien la valeur d'une musique, qui doit parler pour elle-même. Il n'est que trop tentant de maquiller des options musicales en théories paraissant revêtir le caractère incontestable de la scientificité. Comme le disait Varèse, prophète de l'art-science et du son organisé : " Je vous livre des produits finis : dites que vous n'aimez pas ma musique, mais ne dites pas qu'elle est expérimentale " . Ma musique est destinée au concert, et c'est au milieu musical de l'apprécier (29).

De même c'est pour sa contribution au savoir et au savoir-faire qu'une activité scientifique doit être appréciée. Mes activités scientifiques et artistiques se sont nourries l'une de l'autre. La pratique musicale peut avoir une valeur formatrice et heuristique. Mes recherches scientifiques ont été portées par des désirs musicaux : ne pas se satisfaire d'agencer des sons préfabriqués, mais construire - pour ainsi dire composer - le son lui-même ; mettre en scène les rencontres des sons de synthèse avec les instruments acoustiques en direct ; jouer sur les mécanismes perceptifs pour faire surgir des simulacres, des mirages, des êtres labiles,

échappant aux contraintes matérielles, dans un monde sonore illusoire mais évocateur ; faire en somme de l'ordinateur l'instrument de l'harmonie, de la personnalisation et même du rêve, plutôt que l'impitoyable agent d'uniformisation auquel on le réduit trop souvent.

La relation de la musique avec la science et la technologie remonte à l'Antiquité.

La connaissance et la pratique de la musique peuvent féconder la recherche scientifique : elles donnent des points de repère pour l'étude du son. La musique est plus qu'un divertissement, elle engage le corps et l'esprit de l'être humain : perception, motricité, cérébralité, sensibilité et affectivité. Comme l'a montré récemment le physiologiste allemand Gottfried Schlaug, une pratique instrumentale précoce développe les structures de communication entre les deux hémisphères cérébraux. La musique ouvre des champs d'étude féconds dans le domaine brûlant des sciences cognitives (30).

A l'instar de la création artistique, la création scientifique fait souvent appel à une vision sensible, intuitive, synoptique, qui ramasse toute une démarche discursive. Bien au-delà de la seule recherche artistique, c'est souvent la quête du Beau qui meut le chercheur de haut vol.

Recherche, pluridisciplinarité, application

Pour être pénétrante, la recherche doit être pointue, mais elle risque alors de réduire son objet à l'extrême : "la science dit tout sur rien" (31). Bien des chercheurs ont une culture générale profonde et humaniste... mais des connaissances scientifiques étroites, ce qui ne les empêche pas de dissenter avec autorité sur d'autres secteurs de la science.

Le scientifique ne doit pas se satisfaire d'être "unidimensionnel" (32).

Les sciences pour l'ingénieur ne se bornent pas à décliner l'application de connaissances développées dans d'autres domaines de recherche. Certaines ne sont pas organisées en champs disciplinaires comme les sciences de la nature : leurs études visent d'autres types d'objets. Comme le souligne René Carré, qui a exploré lui-même les problèmes de la parole de synthèse en relation avec la linguistique, leur foyer peut être un artefact créé par l'homme, comme l'ordinateur pour l'informatique (33), ou un objet véritablement humain, comme la parole ou la musique. Les vibrations acoustiques sont de nature mécanique : mais leur importance tient à ce qu'on les entend, et l'acoustique ne peut se réduire à une branche de la mécanique car elle doit prendre en compte les facteurs humains, la dimension subjective. La pluridisciplinarité est tout à la fois "impossible et nécessaire" (34) : elle est indispensable aux recherches sur la musique qui doivent intégrer les éclairages de disciplines diverses. Il importe de renforcer les relations entre les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines, voire les sciences de la vie.

Encore faut-il que ces relations soient organiques et qu'elles n'en restent pas à des rapports hiérarchiques ou ancillaires, réduisant l'apport d'une discipline à une prestation de service - "technologique" ou "subjective".

Il ne faut ni subordonner un champ à un autre, ni laisser les jargons spécialisés marquer des territoires entre lesquels peuvent naître méfiance ou mépris. C'est un défi perpétuel, à contre-courant de profondes tendances identitaires ou catégorisantes, mais c'est la condition pour que les idées ne soient pas distordues ou appauvries.

L'originalité et la qualité doivent être les premiers critères de la recherche, et l'évaluation est cruciale. Comme la démocratie pour Churchill, l'évaluation par les pairs est la plus mauvaise, à l'exclusion de toutes les autres. Les évaluations "administratives" sont injustes et stérilisantes (35). On se méfie de la pluridisciplinarité - à bon droit : on craint qu'elle ne soit l'alibi d'une recherche de qualité insuffisante, et qu'elle attire des charlatans qui tableraient sur la naïveté de leurs évaluateurs. Je suis bien placé pour voir la tentation qu'exercent de telles pratiques condamnables. Il est difficile de maîtriser plusieurs domaines : sans doute doit-on exiger des chercheurs pluridisciplinaires technicité et excellence dans au moins une discipline. Cependant

la pluridisciplinarité peut être laborieuse entre spécialistes qui ont des façons de travailler, des langages ou des jargons différents, ce qui limite sévèrement la communication. Il est déjà malaisé de ne pas cloisonner dans sa tête les domaines différents. Tous les chercheurs ne devraient pas sortir du même moule. La porte de la recherche est étroite : cela risque de favoriser le recrutement à l'Université ou au CNRS de ceux qui savent "se vendre" ou se conformer à un modèle "idéal" et d'éliminer les candidats véritablement originaux. L'orthodoxie et la docilité ne sont pas des vertus cardinales de la recherche, l'impertinence peut être pertinente. Sans abdiquer rigueur et exigence, il importe de garder des espaces de liberté et de jeu, de laisser leur chance aux personnes habitées par des passions, aux pionniers, aux mutants.

Je n'ai garde de plaider ici pour l'amateurisme ou le dilettantisme : mais, contre le conformisme qui menace, on peut réagir par la mobilité thématique, trop mal vue en France.

Il faut des généralistes - il en est d'éminents, comme le sociologue Edgar Morin ou l'éthopsychiatre Boris Cyrulnik. Sans en faire une règle, il faut aussi préserver des marges pour que certains individus hybrides, mobiles et bi-frons comme Janus puissent relever d'au moins deux disciplines, sans être regardés comme traîtres ou caméléons (36). On peut exercer deux métiers avec compétence. Fermat était magistrat. Pasteur n'avait pas une formation de biologiste. Mendel était prêtre, Wegener météorologue. Max Delbrück ou Gerald Harris ont eu une œuvre comme physiciens nucléaires, puis comme biologistes. Georg von Bekesy, prix Nobel de médecine pour ses travaux sur l'audition, était ingénieur de télécommunications, tout comme Bela Julesz, l'explorateur de la "vision cyclopéenne".

Ces chercheurs ont d'ailleurs travaillé seuls ou en très petits groupes, alors qu'on cherche le plus souvent à rassembler de vastes équipes dans de grands laboratoires : mais c'est au risque de noyer les individualités ou les thèmes de recherche insolites et indisciplinés. Les innovations décisives sont souvent accomplies par des individus isolés ou de très petits groupes (37).

Une certaine planification de la recherche est sans doute nécessaire, mais il faut laisser des marges à l'errance : la véritable innovation déborde les cadres prévus. Il peut donc être stérilisant de piloter les recherches par l'aval. On attribue souvent aux chercheurs français la responsabilité d'un déficit d'applications.

Bien des efforts restent à faire pour améliorer le transfert, c'est une responsabilité qui incombe aux chercheurs mais plus encore à l'industrie, à qui il revient de prévoir la demande et d'assimiler les innovations. Dans les industries musicales, que d'occasions manquées en France depuis trente ans !

Art-Science-Technologie

La pluridisciplinarité concerne de multiples domaines. Peut-être est-ce dans les relations art-science-technologie qu'elle présente les plus grandes difficultés. Actuellement les arts sont très peu présents en France dans la recherche scientifique et technologique. Pourtant les enjeux de ces relations sont multiples et importants.

Monsieur le Ministre, vous êtes tout spécialement conscient de ces enjeux, et vous m'avez fait l'honneur de me demander une étude sur ce sujet. Je me permets de rappeler les attendus du rapport que je vous ai remis à l'automne dernier, afin d'énoncer quelques raisons qui militent pour renforcer les activités de recherche, de développement et de formation associant art, science et technologie (AST).

La recherche artistique vise bien sûr la création artistique. L'expression artistique ne peut tourner le dos à son époque et exclure les acquis scientifiques et technologiques de son temps.

Les exigences de l'art et les connaissances opératoires des artistes ont de tout temps stimulé

et inspiré la recherche scientifique et l'innovation technologique bien plus qu'on ne le croit généralement. J'ai souvent développé ce point important en ce qui concerne la musique, de l'orgue à l'ordinateur, en passant par la notation musicale qui aurait selon Geoffroy Hindley suscité l'apparition en Occident des coordonnées cartésiennes.

Très souvent les applications artistiques ne sont pas prises au sérieux, les arts étant vus comme inutiles ou accessoires. Pourtant les enjeux économiques de la recherche artistique sont considérables, à un moment où les nouvelles technologies de l'information et de la communication connaissent un développement explosif. Les applications de la recherche en art concernent l'activité artistique professionnelle mais aussi l'éducation et les loisirs. Les arts alimentent des industries culturelles au marché potentiel très important (38).

De la confrontation entre l'exigence et la capacité créatrice et la puissance analytique et technique peuvent naître des possibilités neuves et riches. Il est important de faire cohabiter et interagir dans certains lieux une logique artistique, une logique scientifique et une logique technologique. Mais il est difficile en France de justifier l'accueil dans les laboratoires d'artistes dont les pratiques n'ont pas de reconnaissance universitaire. Il est tout aussi difficile de légitimer et d'évaluer les recherches touchant au domaine de la création artistique, qui n'a pas sa place à l'université ou dans les organismes de recherche. Dans notre pays, c'est le ministère de la culture qui assume les missions et les compétences concernant la pratique artistique. La recherche relève d'un autre ministère. Toutes les missions - recherche, application, pédagogie, création artistique, diffusion - doivent être également prises au sérieux et assumées avec compétence. Il faut donc donner une réponse institutionnelle à ce problème de cohabitation et rendre possible en France des démarches analogues à celles du **Center for Computer Research in Music and Acoustics** de Stanford University, du **Media Lab** du M.I.T. ou du **Zenter für Kunst und Medien Technologie** de Karlsruhe.

Il y a un marché considérable lié aux biens culturels. Mais l'œuvre d'art ne se réduit pas à un objet d'agrément, de commerce, elle n'est pas une marchandise. L'art authentique et original est rarement rentable à court terme, il ne se juge pas à l'audimat ou à l'applaudimètre, il ne se prête pas aux stratégies d'un marketing qui lance les "tubes" comme des lessives. L'obsession du profit immédiat risque d'étouffer l'art et la culture et de tuer la poule aux œufs d'or. Je cite Pierre Bourdieu, défendant en octobre dernier l'exception culturelle devant une assemblée de responsables des médias : " réintroduire le règne du commercial dans des univers qui ont été construits, peu à peu, contre lui, c'est mettre en péril les œuvres les plus hautes de l'humanité, l'art, la littérature et même la science ".

Le rôle de l'artiste est décisif pour subvertir les notions de productivité et de marché, de compétition ou de domination : mais les démarches de refus, de "déconstruction" sont vite marginalisées ou récupérées, elles ne suffisent pas à suggérer un changement, une alternative. De façon plus positive, l'artiste peut aider à faire émerger des figures originales, des formes neuves de spectacle, de relation, de participation, proposer des modèles, des images, des constructions sonores à même de renouveler, recréer ou raviver les mythes dans une nouvelle perspective : pas seulement un échantillon ou une dérision, mais une nouveauté vectorielle, capable d'entraîner, de modifier une vision du monde. Ces enjeux intellectuels concernent le monde de la recherche. Hugues Dufourt propose de considérer "l'art comme le lieu et le ferment d'une dynamique historique, celle de notre société ... L'art n'est pas un gadget pour classes supérieures ni seulement un marché à protéger, ou bien il l'est autant que la recherche scientifique dans les laboratoires de pointe. L'art est le relais et le ferment de valeurs aux enjeux désormais planétaires" (39).

Les disciplines sont multiples, l'homme n'est pas unidimensionnel, mais il est Un. La science vise à une connaissance, même si c'est de la puissance de ses applications qu'elle tire son prestige social. L'art est lui aussi un mode de connaissance : plutôt qu'à décrire, il cherche à

suggérer un monde qui pourrait être; "artisanat métaphysique", gratuit et fantasque, il est moins démuné que la science pour aborder ce qui nous dépasse. La recherche artistique implique l'exploration de nos limites (40), l'investigation de nos caractéristiques propres, de notre nature humaine et de notre place dans le monde.

Il y a moins de chercheurs morts que vivants.

Si les arts, qui laissent d'une civilisation les traces les plus durables et les plus parlantes, cherchaient refuge frileusement hors de la science et de la technologie, si présentes dans nos sociétés, s'ils ne faisaient que refléter l'appétit ambiant de consommer et de vendre, quelle image notre époque laisserait-elle d'elle-même ?

Notes

- (1) - "Qui n'honore pas la musique n'est pas digne de voir le jour" (Ronsard).
 - (2) - Au début du XVIII^e siècle, Francis Bacon, chancelier d'Angleterre, impressionné par le développement scientifique de son temps, avait dépeint sous ce titre un continent utopique, lieu en particulier d'étonnantes nouveautés sonores : "Nous faisons toutes les expériences relatives aux sons et à leur génération ..." . De ces textes prémonitoires, j'avais tiré le fil conducteur d'une exploration de l'univers du son numérique et de ses possibilités musicales, présentée en 1988 à la Fondation Maeght avec le concours de Michel Redolfi pour la scénographie sonore et Bruno Meyssat pour la scénographie lumineuse.
 - (3) - J'admire d'ailleurs deux chercheurs du CNRS pour leur oeuvre concernant la musique. L'un est Simha Arom, instrumentiste et ethnomusicologue, dont les travaux inventifs sur les polyphonies et les rythmes d'Afrique ont bouleversé nos conceptions et marqué les œuvres récentes de Ligeti. L'autre est Hugues Dufourt, compositeur de haut vol et philosophe, qui a entrepris une magistrale histoire sociale de la musique, prenant en compte les implications actuelles des développements des sciences et des technologies.
 - (4) - Deux disciplines qui étaient dans les limbes lorsque j'ai commencé mes recherches dans les années 1960 - le mot informatique, apparu en 1962, n'avait pas encore droit de cité.
 - (5) - Après Michel Combarous et Jean-Claude Charpentier.
 - (6) - Je devrais aussi citer nombre d'interprètes, irremplaçables partenaires de création, et d'abord Irène Jarsky, mais aussi Denise Mégevand, Mari Kimura, Georges Pludermacher, Roberto Fabbriciani, Pierre-Yves Artaud, Michel Portal, Daniel Kientzy, Michel Lethiec ...
 - (7) - Les Grecs antiques le disaient déjà : ce qui est beau est difficile.
 - (8) - Huguette Goullon, professeur à l'Ecole Normale de Musique, m'a fait observer qu'on peut trouver quel est le tempo juste d'une œuvre en y repérant certains passages qui ne sonnent bien qu'à ce tempo : "Dieu est dans les détails".
- C'est Gerald Bennett qui m'a fait connaître cet apophtegme de Ludwig Mies Van der Rohe - qui a écrit aussi "Less is more".
- (9) - Son fils Michel Imberty, le musicologue des Ecritures du temps, ancien Président de l'Université de Nanterre, fut aussi élève de Robert Trimaille.
 - (10) - Pour décomposer une décroissance radioactive complexe, similaire à la décroissance du son dans une salle, nous eûmes recours à une "calculatrice" IBM 650 disponible à l'ONERA - on ne parlait pas encore d'ordinateur - une machine fort peu conviviale et qui nous paraissait ultra-rapide : pourtant il lui aurait fallu un quart d'heure pour faire la transformée de Fourier d'une période de son.
 - (11) - A partir des années 1970, le GRM adopta l'informatique avec les recherches du regretté Bénédicte Mailliard et de Jean-François Allouis, Hugues Vinet, Emmanuel Favreau.
 - (12) - Il fut déterminant aussi, nous l'apprîmes plus tard, pour John Chowning, jeune musicien qui cherchait à Stanford des chemins nouveaux.
 - (13) - Au titre de laquelle j'avais un parrain, Jacques Dondoux, ingénieur général du CNET, qui devint plus tard directeur général des Télécommunications.
 - (14) - "La preuve du gâteau n'est pas dans la recette, mais dans la dégustation". Dès 1968, j'ai milité pour l'insertion occasionnelle de disques dans certaines revues comme le Journal of the Acoustical Society of America. A l'occasion de l'attribution de cette médaille, Pierre Suquet, directeur du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, a eu l'idée de réaliser une plaquette comportant des échantillons sonores. Lors de la cérémonie, je présenterai des illustrations musicales.
 - (15) - John Pierce
 - (16) - En France, il attira l'attention des acousticiens Emile Leipp, Pierre Liénard et René-Guy Busnel, éminent spécialiste de la communication acoustique animale.
 - (17) - Cette pièce entièrement de synthèse, réalisée aux Bell Laboratories, fut commandée par le GRM, où Chiarucci et d'autres s'intéressaient à nos études.
 - (18) - Je publiai ces expériences en français, conformément à une recommandation gouvernementale. Au Congrès International d'Acoustique en 1971, plusieurs acousticiens connus mais non francophones quittèrent la salle dès qu'ils m'entendirent parler français, sans avoir entendu le moindre exemple sonore, et ces travaux restèrent longtemps ignorés dans la littérature scientifique anglophone.

- (19) - Ces sons ont une structure fractale, donnant lieu à des effets similaires à une stroboscopie - battement entre l'intervalle d'autosimilarité et l'intervalle d'octave, très prégnant pour l'auditeur. De la même famille que Benoît Mandelbrot, Jacques Mandelbrojt, qui vit à Marseille, physicien théoricien et peintre, observe que les belles images fractales relèvent moins de l'art que de l'objet trouvé.
- (20) - Dans les années 1970, le plan calcul fit perdre un temps considérable à nombre de chercheurs de laboratoires publics, obligés de choisir des ordinateurs "français" souvent décalqués de modèles étrangers anciens et d'essuyer les plâtres en écrivant eux-mêmes des logiciels qui auraient dû être fournis avec le matériel.
- (21) - Il faut rester vigilant sur la gêne voire la paralysie que peuvent causer des contraintes administratives dont la rigueur est rarement justifiée. Je ne peux faire réparer par le revendeur l'ordinateur que j'utilise, son marché étant clos. Aux Etats-Unis, les chercheurs échappent à ces tracasseries, et cela accroît leur efficacité.
- (22) - Robert Tanner et Benjamin Bladier y avaient illustré l'acoustique musicale.
- (23) - Pierre Suquet en est aujourd'hui le directeur.
- (24) - Au moment de terminer ce texte, j'apprends avec tristesse le décès prématuré de Mohammed Mebkhou, qui fit tant pour promouvoir à Luminy une recherche de qualité.
- (25) - Dès 1976, le département Ordinateur de l'IRCAM dialoguait par mél avec le CCRMA de Stanford.
- (26) - A l'invitation de Barry Vercoe.
- (27) - Ce DEA à vocation nationale, suscité par diverses institutions françaises pour pallier l'absence d'une filière universitaire préparant aux recherches musicales, bénéficie du soutien du Ministère de la Culture. Les universités cohabilitées sont l'Université de la Méditerranée et l'Université Paris VI. L'IRCAM accueille la plupart des enseignements théoriques : l'enseignement a été coordonné par Philippe Depalle puis Olivier Warusfel. Le DEA ATIAM attire de nombreux candidats, et les débouchés ne manquent pas : mais des problèmes subsistent concernant le financement et la répartition des étudiants, qui rechignent à quitter Paris pour leur stage ou leur thèse.
- (28) - On ignore souvent que Léonard de Vinci était aussi un musicien apprécié.
- (29) - J'ai collaboré avec des institutions musicales, notamment en France le GRM, l'IRCAM, le CIRM, le GRAME, le Groupe de Musique Expérimentale de Bourges, précieux forum international, et surtout le Groupe de Musique Expérimentale de Marseille, aujourd'hui Centre national de création musicale. J'ai la grande chance de recevoir de France et de l'étranger des reconnaissances - commandes musicales, distinctions dont le Grand Prix National de la Musique.
- (30) - Autour de Tsutomu Nakada et Pierre Divenyi, les participants d'un récent congrès Neurology of Music au Japon ont insisté sur la pertinence des comportements musicaux pour l'étude du cerveau.
- (31) - Victor Hugo
- (32) - Suivant le terme d'Herbert Marcuse.
- (33) - L'informatique n'est pas seulement une branche de l'électronique ou des mathématiques : c'est une des sciences de l'artificiel selon Herbert Simon ; elle suscite des pratiques nouvelles, comme l'a souligné Bernard Stiegler.
- (34) - Pour reprendre une expression de Pierre Schaeffer, qui le premier institutionnalisa un "Groupe de recherches musicales".
- (35) - Le comptage des publications dites "à comité de lecture" n'est pas une panacée universelle : l'une de ces revues, fort prestigieuse, refusa le premier article de Maiman sur l'effet laser. Suivant les disciplines, d'autres modes de transmission doivent être pris en compte. Le problème des brevets subsiste. Pourquoi l'Europe se brime-t-elle en interdisant de breveter ce qui est publié, alors qu'aux Etats-Unis une publication permet de prendre date et de disposer d'un an pour déposer le brevet ?
- (36) - Comme la chauve-souris de La Fontaine : "je suis oiseau, voyez mes ailes ; je suis souris, vive les rats !"
- (37) - C'est avec stupeur que j'ai entendu un responsable haut placé proclamer en 1996 : "une recherche isolée n'est pas pertinente". Quid des chercheurs qui viennent d'être nommés, sans parler de Newton, isolé dans son village, d'Einstein, de Lévi-Strauss ...
- (38) - Comme le souligne Bernard Bovier-Lapierre, économiste de la culture.
- (39) - In "Autopsie de l'avant-garde. Art et société : la fin d'un clivage." Contrechamps n°3, 1984, pp. 196-205.
- (40) - Notre monde intérieur est immense, pas plus exigu qu'un trou de serrure : tout change, observe Cocteau, quand on approche l'œil !