

CAHIER LOUIS-LUMIÈRE

nr 2 | Automne 2004 | 30 €



Espaces pluriels,
images et sons



SOMMAIRE

2

ÉDITORIAL

Jacques Arlandis,
directeur de l'ENS
Louis-Lumière

4

INTRODUCTION

Gérard Pelé,
enseignant à l'ENS
Louis-Lumière



► Espaces pluriels, images et sons

6

La question
de l'espace filmique
(Bergson
versus Bachelard)

Dominique Chateau

36

*Father times
& mother spaces*
Généralités
sur la question
de savoir de quoi
sont faits les films

Dominique Lambert

84

Description spatiale
du contenu
d'enregistrements
stéréophoniques

Alexandra Carr-Brown
Maximilien Colcy
Nicolas Delatte

22

Dans l'écran,
face à l'image

Stéphanie Katz

50

Problèmes
de spatialisation
en son multicanal

Claude Bailblé

102

Questionnement
sur le sens
de l'acoustique

Laurent Millot

62

Création
et manipulation
de scènes sonores
pour la wave
field synthesis

Étienne Corteel

122

Déroutes

Gérard Pelé
Bénédicte Roy

ÉDITORIAL

Cher lectrice, cher lecteur

Il est plaisant pour le responsable d'une institution dont la vocation première est la formation aux métiers de l'image et du son, d'interpeller le lecteur, preuve que l'écrit est toujours un important vecteur de communication. De communications, il en est effectivement question dans ce *Cahier Louis-Lumière n°2*. Communiquer sur l'espace est un défi ; l'espace, cela se vit ; mais l'espace peut également se « réfléchir » surtout lorsqu'il s'agit d'espaces sonores et visuels. Les contributions réunies dans ce numéro sont « plurielles » : de la théorie à la pratique, du chercheur confirmé à l'étudiant en fin de cursus à l'école, de chercheurs-enseignants « maisons » aux chercheurs ou professionnels invités. La diversité des sources est une richesse pour peu qu'elle soit orchestrée dans un message audible, lisible par ses destinataires.

C'est ce à quoi les responsables éditoriaux se sont appliqués. Vous en jugerez par vous-même, et nous vous serions reconnaissant de nous en faire parvenir l'écho. Pour une jeune revue comme la nôtre, il est essentiel de travailler dans un aller-retour avec son public, supposé et réel. Le *Cahier n°1* a été favorablement accueilli ; nous espérons élargir cet accueil et affirmer ainsi le sens d'une des missions de service public confiées à l'École nationale supérieure Louis-Lumière : participer à la recherche, avec une identité propre, celle qui associe recherche et création.

Jacques Arlandis

Directeur de l'ENS Louis-Lumière

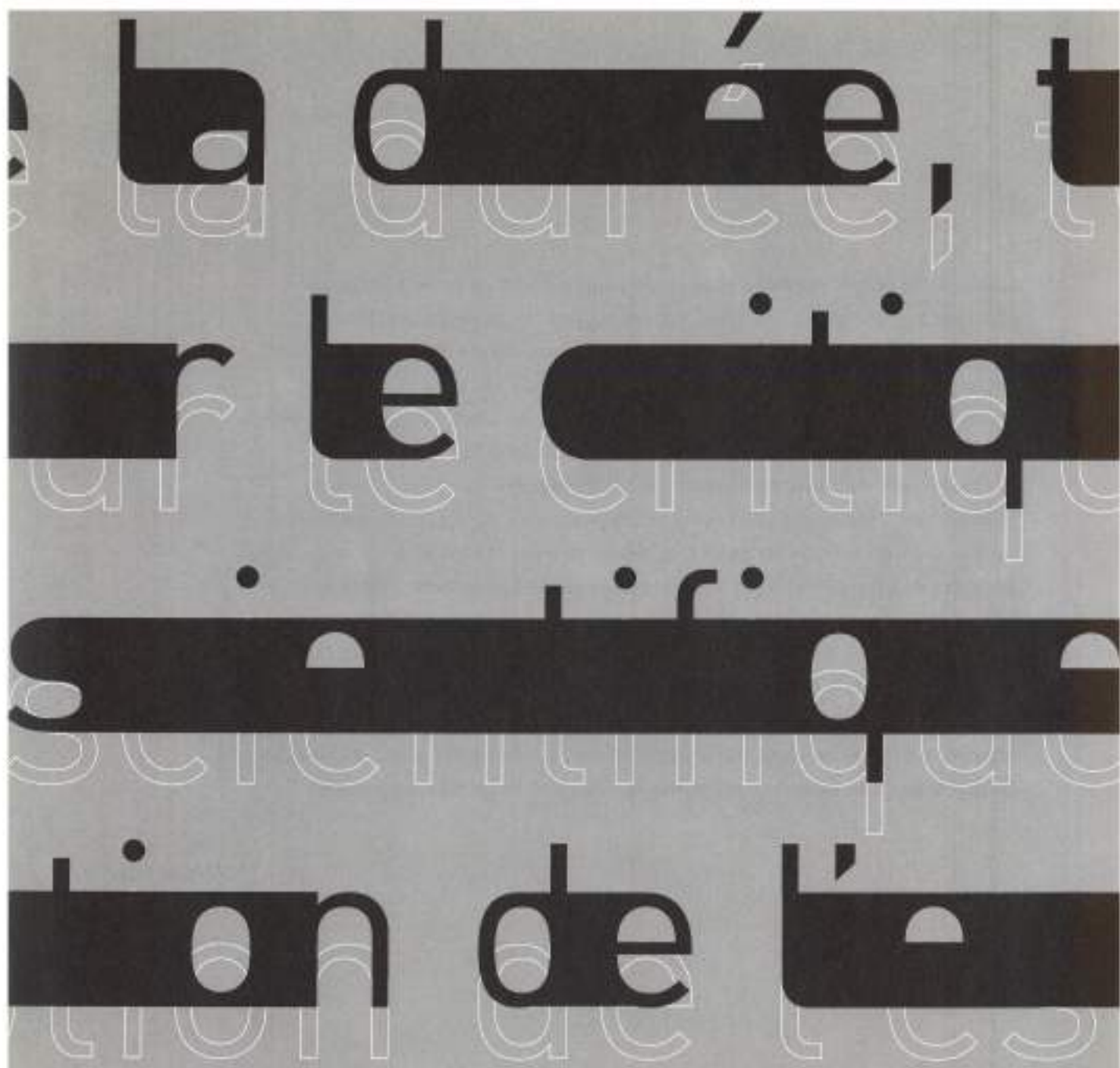
INTRODUCTION

Ce numéro reprend l'idée de questionnement du précédent *opus* en l'appliquant à la notion d'espace, à sa perception et à sa production dans les systèmes audiovisuels. D'habitude, lorsqu'il est question d'espace, c'est l'image qui est convoquée pour faire le lien entre nos perceptions et le réel ; elle est le lieu où l'espace est conçu et construit, imaginé et produit. Les articles qui font référence au cinéma en témoignent, y compris ceux dont le point de départ et l'objet central est le son – autre donnée avec (et dans) laquelle nous pouvons construire la relation entre l'espace et nos perceptions –, et pas seulement parce qu'il pourrait adéquatement être placé sous la dépendance d'un modèle visuel de l'espace.

Chacune de nos modalités sensorielles aurait ainsi la possibilité d'engendrer son propre modèle d'espace, ou du moins de contribuer à sa production, de même que certains déterminants historiques. Mais, que la perception de l'espace soit ou non modale, l'expérience du corps paraît bien être une condition nécessaire à sa réalisation. C'est en tout cas le thème central de la phénoménologie

à laquelle semblent raliés la plupart des contributeurs de ce numéro que l'on peut, par ailleurs, diviser en deux grandes parties : la première concerne spécifiquement la question de l'espace cinématographique – D. Chateau, S. Katz, D. Lambert – ; la seconde, celle de la spatialisation du son dans le contexte audiovisuel – C. Bailblé, E. Corteel, A. Carr-Brown – M. Colcy – N. Delatte, L. Millot. Mais, quand bien même il n'y aurait pas, finalement, d'échappée possible de l'audio hors du visuel, nous avons souhaité maintenir la question ouverte en proposant l'épilogue d'une version exploratoire de l'espace, d'une perception haptique, en aveugle, de (et dans) tous les sens. Dans son introduction à un recueil de textes de Georg Christoph Lichtenberg – *Le couteau sans lame*, Librairie José Corti, 1999 –, Charles Le Blanc nous assure qu'« il enseignait six à sept heures par jour, tenant en haleine son auditoire par le style de son esprit mais, surtout, par la direction qu'il donnait aux concepts présentés ». Je rêvais d'une telle performance lorsque je m'avisais que la présence au monde dont témoigne toute volonté de découverte en est un signe. Explorer, expérimenter plutôt qu'analyser : chaque conception spatiale est une métaphore de la façon dont nous vivons.

Gérard Pelé
Enseignant à l'ENS
Louis-Lumière



» La question de l'espace filmique (Bergson *versus* Bachelard)

Dominique Chateau

Résumé De nombreux théoriciens considèrent le cinéma comme un « art bergsonien », selon la formule de Sartre. Ils pensent tous à sa conception de la durée, temps pur expurgé de toute spatialité. Or, quand Bergson songeait au cinéma, c'était plutôt pour le critiquer comme modèle du temps spatialisé, celui qui fonctionne dans les activités pratiques et scientifiques. En outre, lorsqu'on approfondit sa conception du temps spatialisé, on rencontre une conception de l'espace peu adaptée au cinéma, aux arts de l'image. À cette conception s'oppose celle de Bachelard, méconnue, mais à maints égards plus féconde pour la théorie du cinéma.

Abstract A number of theorists consider that cinema is a « bergsonian art » as Sartre put it. They think to Bergson's conception of duration, a pure time without spatiality. But in fact, Bergson criticized cinema as a standard of the spatialized time working in the practical and scientific activities. When we go more closely into the topic of this spatialized time, we find that this conception of space is not suited to cinema and, in general, to the visual arts. Bachelard's opposed conception, unless it is ignored, seems to be more fruitful for the theory of cinema.

André Gardies pose une excellente question dans son livre *L'Espace au cinéma* : « comment se fait-il que les analyses de récits, littéraires aussi bien que filmiques, aient tenu en si faible estime l'espace, quand elles s'ouvrent si largement aux actions, aux personnages ou au temps ? L'espace serait-il un mauvais objet d'étude narratologique ? » Ce sera aussi ma question, mais je l'aborderai d'un point de vue plus général que le point de vue narratologique adopté par Gardies. On peut se demander en effet pourquoi, d'un point de vue plus général, l'espace au cinéma semble aussi être un mauvais objet d'étude esthétique.

La raison en est simple, au premier abord. On peut la résumer grossièrement en soulignant que la majorité des théoriciens du cinéma sont bergsoniens, leur adhésion à la philosophie de Bergson reposant sur l'idée que le cinéma est « un art bergsonien », comme disait Sartre, c'est-à-dire un art de la durée, et reproduisant (sans toujours le savoir) la critique de l'espace sur laquelle Bergson fondait sa théorie de la durée. Je développerai aujourd'hui les prémisses d'une théorie de l'espace cinématographique, d'abord, en revenant sur la théorie de Bergson – en deux temps : 1) sa conception du cinéma, 2) sa philosophie (plus générale) de l'image –, ensuite en proposant d'aller chercher chez Bachelard un point de vue tout différent. Je terminerai en confrontant les deux approches à une question basique : la métamorphose de la décomposition photogrammatique en mouvement cinématographique (notamment, la persistance rétinienne).

Le cinéma : un art bergsonien ?

Jean-Paul Sartre, en effet, dans l'un de ses rares textes théoriques, un étonnant devoir de normalien rédigé en 1924, donc à l'âge de 19 ans, écrit : « Le cinéma donne la formule d'un art bergsonien. Il inaugure la mobilité en esthétique¹ ». C'est là un poncif de la théorie du cinéma : le cinéma, art bergsonien, art de la durée. On le retrouve chez nombre d'auteurs prestigieux : Epstein, Bazin, Deleuze, Tarkovski, etc. Pourtant Bergson pensait tout le contraire. Pour lui, le cinéma était un art résolument anti-bergsonien. Il s'en servit comme repoussoir pour définir une relation de la conscience au monde qu'il condamnait et contre laquelle il mettait en valeur la durée, celle du temps vécu et de la conscience. C'est évidemment cette théorie de la durée qui induisit et induit encore de nombreux auteurs à affirmer, à l'instar de Sartre, que le cinéma est un art bergsonien, transposant ainsi au cinéma la conception de la durée que Bergson opposait très exactement à ce qu'il appelait la méthode cinématographique. Sa théorie, pour isoler la durée pure, comportait une critique de l'espace. Chez les auteurs cités plus haut, Epstein, Bazin, Deleuze, Tarkovski, etc., on retrouve une critique plus ou moins explicite de l'espace. Or, peut-on critiquer l'espace ? Autant le discerner est utile (c'est la critique au sens neutre), autant le blâmer semble saugrenu, presque puéril. Autant le discernement du temps est non moins utile, autant l'éloge de la durée contre le temps spatialisé, l'éloge du temps pur contre l'extérieur qui l'altère, verse dans l'arbitraire étrange d'une sorte de tribunal qui louerait les poissons de nager, mais leur interdirait l'eau.

¹ Paris, Méridiens Klincksieck, 1993, p. 9.

² Écrits de jeunesse, rassemblés et présentés par Michel Contat et Michel Iybalta, Paris, Gallimard, nrf, 1990, p. 389.

L'artifice cinématographique selon Bergson

Doit-on saisir le mouvement dans sa globalité ou dans ses états successifs ? Bergson répond que l'intention de saisir la globalité d'un mouvement par ses états évoque « la déception de l'enfant qui voudrait, en rapprochant l'une de l'autre ses deux mains ouvertes, écraser de la fumée »³ [755]. Pour illustrer plus précisément cette idée, il convoque ce qu'il appelle le plus souvent la *méthode cinématographique*, mais aussi la *manière cinématographique*, l'*artifice du cinématographe*, l'*instinct cinématographique de notre pensée*, la *tendance cinématographique de la perception et de la pensée*, etc. De plus cette *méthode cinématographique* permet de décrire la façon dont la pensée fonctionne dans la pratique, s'agissant de « régler l'allure générale de la connaissance sur celle de l'action » [754], puis de caractériser la science à laquelle elle est également « bien ajustée » [788]. Cette théorie repose sur deux postulats : il existe trois types distincts de connaissances, de manières de connaître, usuelle, scientifique et philosophique ; fondamentalement, la connaissance usuelle et la connaissance scientifique ne diffèrent pas, tandis qu'ensemble, elles divergent de la connaissance philosophique. Il n'y a, en effet, entre la pensée pratique et la science, qu'une différence de degré : « (...) la science de la matière procède comme la connaissance usuelle. Elle perfectionne cette connaissance, elle en accroît la précision et la portée, mais elle travaille dans le même sens et met en jeu le même mécanisme » [779]. Pourtant la science n'est-elle pas spéculative plutôt que pratique ? Certes, mais son rôle étant « d'accroître notre influence sur les choses » [773], « si haut

qu'elle s'élève », à quelque degré d'abstraction et de théorie qu'elle aspire, c'est toujours en fin de compte « l'utilité pratique que la science visera », toujours « elle doit être prête à retomber dans le champ de l'action, et à s'y retrouver tout de suite sur ses pieds ». La pratique et la science suivent donc plus ou moins directement le même chemin qui les dirige du même côté, en tournant le dos au but que, selon Bergson, la philosophie vise ou doit viser : s'installer au cœur du devenir des choses, l'épouser dans sa durée – car « philosopher consiste à se placer dans l'objet même par un effort d'intuition » [141 – souligné par moi]. On peut tout aussi bien dire que c'est la philosophie qui tourne le dos d'un bloc à la fois à la pratique et à la science : « *Philosopher consiste à invertir la direction habituelle du travail de la pensée* » [142]. La science substitue des signes aux objets, certes plus précis, plus efficaces, que ceux de la langue, mais non moins destinés à fixer la réalité : « Les signes sont faits pour nous dispenser de cet effort en substituant à la continuité mouvante des choses une recombinaison artificielle qui lui équivaille dans la pratique et qui ait l'avantage de se manipuler sans peine » [773]. Destinée à saisir cette continuité mouvante, celle de la vie elle-même, la philosophie se débarrasse du signe : « *La métaphysique est (...) la science qui prétend se passer de symboles* » [1396]. D'où sa propension à l'image, même si elle n'est qu'un succédané de la mouvance intérieure qui ne saurait s'appréhender dans son authenticité que par l'intuition. « Si donc la connaissance usuelle, en raison du mécanisme cinématographique auquel elle s'assujettit, renonce à suivre le devenir dans ce qu'il a de mouvant, la science de la matière y renonce également » [779]. ▶

³ Cf. Bergson, *Œuvres*, Édition du centenaire, Paris, Presses Universitaires de France, 1959-1991. Les références aux pages de ce volume sont indiquées entre crochets dans le texte.

- Mais qu'est-ce qui justifie l'intrusion du mécanisme cinématographique dans un problème de théorie de la connaissance ? Le texte où Bergson répond mérite d'être largement cité :

« Supposons qu'on veuille reproduire sur un écran une scène animée, le défilé d'un régiment par exemple. Il y aurait une première manière de s'y prendre. Ce serait de découper des figures articulées représentant les soldats, d'imprimer à chacune d'elles le mouvement de la marche, mouvement variable d'individu à individu quoique commun à l'espèce humaine, et de projeter le tout sur l'écran. Il faudrait dépenser à ce petit jeu une somme de travail formidable, et l'on n'obtiendrait d'ailleurs qu'un assez médiocre résultat : comment reproduire la souplesse et la variété de la vie ? Maintenant, il y a une seconde manière de procéder, beaucoup plus aisée en même temps que plus efficace. C'est de prendre sur le régiment qui passe une série d'instantanés, et de projeter ces instantanés sur l'écran, de manière qu'ils se remplacent très vite les uns les autres. Ainsi fait le cinématographe. Pour que les images s'animent, il faut qu'il y ait du mouvement quelque part. Le mouvement existe bien ici, en effet, il est dans l'appareil. C'est parce que la bande cinématographique se déroule, amenant, tour à tour, les diverses photographies de la scène à se continuer les unes les autres, que chaque acteur de cette scène reconquiert sa mobilité : il enfle toutes ses attitudes successives sur l'invisible mouvement de la bande

cinématographique. Le procédé a donc consisté, en somme, à extraire de tous les mouvements propres à toutes les figures un mouvement impersonnel, abstrait et simple, le *mouvement en général* pour ainsi dire, à le mettre dans l'appareil, et à reconstituer l'individualité de chaque mouvement particulier par la composition de ce mouvement anonyme avec les attitudes personnelles. Tel est l'artifice du cinématographe. Et tel est aussi celui de notre connaissance. Au lieu de nous attacher au devenir intérieur des choses, nous nous plaçons en dehors d'elles pour recomposer leur devenir artificiellement. Nous prenons des vues quasi instantanées sur la réalité qui passe, et, comme elles sont caractéristiques de cette réalité, il nous suffit de les enfilet le long d'un devenir abstrait, uniforme, invisible, situé au fond de l'appareil de la connaissance, pour imiter, ce qu'il y a de caractéristique dans ce devenir lui-même. Perception, intellection, langage procèdent en général ainsi. Qu'il s'agisse de penser le devenir, ou de l'exprimer, ou même de le percevoir, nous ne faisons guère autre chose qu'actionner une espèce de cinématographe intérieur. On résumerait donc tout ce qui précède en disant que *le mécanisme de notre connaissance usuelle est de nature cinématographique.* » [752-753]

L'analyse de ce texte (dans le style d'un *close-reading* ici résumé) attire l'attention sur l'exemple des figures découpées et articulées qui évoque le cinéma d'animation (j'y reviendrai) ; sur l'idée ensuite que le cinématographe, avec son efficacité,

ressemble à celle que vise la pratique comme, en dernier ressort, la science; en même temps, l'animation cinématographique, comme contaminée par la représentation des pantins articulés, transforme en mouvement, par la seule vertu du projecteur, des « Instantanés » assimilés à des photographies incapables « toutes seules » de « s'animer » [752-753] : « Si le cinématographe nous montre en mouvement, sur l'écran, les vues immobiles juxtaposées sur le film, c'est à la condition de projeter sur cet écran, pour ainsi dire, avec des vues immobiles elles-mêmes, le mouvement qui est dans l'appareil » [1257, note 1]. On est passé du défilé des corps à l'enfilade d'unités extraites du réel et séparées les unes des autres, qui, se remplaçant l'une l'autre, linéairement, permettent la reconstitution artificielle du mouvement. Cette décomposition-recomposition cinématographique est toute extérieure au mouvement en tant que tel: elle l'abstrait en fragments pour le maîtriser et elle le reconstitue abstraitement. Voilà donc pourquoi elle peut fournir le modèle de l'appréhension usuelle ou scientifique de la réalité, pourquoi elle modélise notre « cinématographe intérieur ».

L'image, a-t-on dit, est approximative. Pour approcher la vérité il faut des approximations successives, c'est-à-dire plusieurs images. Bergson en rajoute immédiatement une qui, en quelque sorte, enfonce le clou :

« C'est, entre notre corps et les autres corps, un arrangement comparable à celui des morceaux de verre qui composent une figure kaléidoscopique. Notre activité va d'un arrangement à un réarrangement, imprimant chaque fois au kaléidoscope, sans doute, une nouvelle secousse,

mais ne s'intéressant pas à la secousse et ne voyant que la nouvelle figure.

La connaissance qu'elle se donne de l'opération de la nature doit donc être exactement symétrique de l'intérêt qu'elle prend à sa propre opération. En ce sens on pourrait dire, ce n'était abuser d'un certain genre de comparaison, que *le caractère cinématographique de notre connaissance des choses tient au caractère kaléidoscopique de notre adaptation à elles.* » [754]

Il est bien entendu que, dans le cadre de sa philosophie toute réglée sur la supériorité de l'intérieur sur l'extérieur, de la conscience sur la réalité, l'artifice cinématographique, non plus que celui de notre pensée pratique ou scientifique, échoue à appréhender le mouvement comme tel – *appréhender le mouvement comme tel voulant dire niché en lui* : « Pour avancer avec la réalité mouvante, c'est en elle qu'il faudrait se replacer. Installez-vous dans le changement, vous saisirez à la fois et le changement lui-même et les états successifs en lesquels il pourrait à tout instant s'immobiliser. Mais avec ces états successifs, aperçus du dehors comme des immobilités réelles et non plus virtuelles, vous ne reconstituerez jamais du mouvement » [755].

Pire encore, non seulement le cinématographe intérieur ne saurait saisir la durée, mais il nous empêche de la voir, de saisir d'un bloc les choses sans devoir au préalable les décomposer abstraitement. Lorsqu'un objet impressionne l'œil de façon que son souvenir reste dans l'esprit, ce n'est pas une image fixée qui s'y imprime ainsi, mais une image multiple, infiniment multipliée : « Pour peu que l'objet ait remué, ou que l'œil ait remué, il y a eu, non pas une image, mais dix, cent, mille ►

► images, autant et plus que sur le film d'un cinématographe. Pour peu que l'objet ait été considéré un certain temps, ou revu à des moments divers, ce sont des millions d'images différentes de cet objet » (1387). L'infirmité qui caractérise cette manière d'appréhender le monde correspond bien aux conditions qui définissent le statut des images dans le film, leur statut d'instantanés distincts et juxtaposés. Le mouvement que la projection imprime à leur série n'y peut rien changer : « le film pourrait se dérouler dix fois, cent fois, mille fois plus vite sans que rien fût modifié à ce qu'il déroule ; s'il allait infiniment vite, si le déroulement (cette fois hors de l'appareil) devenait instantané, ce seraient encore les mêmes images » (1259-1260). Le fait que le film reconstitue la succession des images ne les indemnise pas de leur fragmentation première ; bien au contraire elle l'accroît : « La succession ainsi entendue n'y ajoute donc rien ; elle en retranche plutôt quelque chose ; elle marque un déficit ; elle traduit une infirmité de notre perception, condamnée à détailler le film image par image au lieu de le saisir globalement ». Nous pourrions embrasser l'univers dans son ensemble, « nous le verrions prendre sans cesse des formes aussi neuves, aussi originales, aussi imprévisibles que nos états de consciences » (1262), n'était la prégnance dans notre esprit de la méthode cinématographique qui rend difficile la distinction entre l'évolution continue du temps pur et la déformation analytique et spatiale de la temporalité. Est-ce à dire que le spectacle cinématographique est définitivement condamné à l'aune du seul critère qui vaille pour Bergson, celui de la vie intérieure, de la durée ressentie, de leur mouvance

perpétuelle ? En d'autres termes, notre esprit est-il capable de retourner à son profit l'artifice cinématographique, de l'intégrer au processus de transformation continuée qui caractérise la vie intérieure ? Dans un court passage, le philosophe répond positivement à cette interrogation, en suggérant qu'il y a une manière de sauver le cinéma si on le considère du point de vue de la réception, moyennant la mutation que lui fait subir le déroulement dans le projecteur : « En théorie, le film sur lequel sont dessinés les états successifs d'un système entièrement calculable pourrait se dérouler avec n'importe quelle vitesse sans que rien y fût changé. En fait, cette vitesse est déterminée, puisque le déroulement du film correspond à une certaine durée de notre vie intérieure, à celle-là et non pas à une autre. Le film qui se déroule est donc vraisemblablement attaché à de la conscience qui dure, et qui en règle le mouvement » (1262). De ce point de vue, qui s'accorde plus ou moins bien à la critique de l'artifice cinématographique, le film serait une sorte de mécanisme physique nécessairement réglé sur notre horloge intérieure (pour parler comme Proust).

Ce sauvetage en dernier ressort de la méthode cinématographique ne fait que confirmer la préséance de l'intérieur sur l'extérieur. La philosophie de Bergson est une philosophie de la conscience au sens très fort où celle-ci est l'étalon à partir duquel s'organise de manière systématique, hiérarchique, la représentation de notre rapport au monde. Tout écart vis-à-vis de ce modèle est un défaut. Les instruments mentaux sont évalués en fonction de l'amplitude de leur écart : maximal pour le concept, minimal pour l'image. D'où la préférence que voue le philosophe à cette dernière, bien qu'il sache et ne cesse de dire

qu'elle n'est qu'un instrument approximatif. Il y a toujours en elle un résidu d'extériorité, de spatialité. C'est pourquoi les images sont infidèles; la même image retournée, comme le verre à moitié vide ou à moitié plein, peut servir à conforter des opinions contraires; qu'elle soit radicalement substituée au concept ou lui offre son assaisonnement, sa puissance d'évocation, de conviction est proportionnelle à son instabilité intellectuelle: on en fait à peu près tout ce qu'on veut.

La critique bergsonienne de l'espace

On mesure donc combien l'emploi le plus courant des thèses de Bergson sur la durée (Sartre, Epstein, Deleuze, etc.) prend sa vision du cinéma à rebrousse-poil; *la théorie postbergsonienne du cinéma n'est pas la théorie du cinéma de Bergson*. Bergson, en distinguant la décomposition du film en photogrammes de sa projection sur l'écran, en y superposant l'antinomie du temps spatialisé et la durée, a, certes, offert une sorte de schéma prêt-à-penser. Mais, de toute façon, soutenir qu'on puisse l'appliquer en oubliant ses soubassements philosophiques voudrait dire qu'on lui confère une validité indépendante, susceptible d'être examinée à l'aune de critères extrinsèques. Peut-on transplanter ici ou là son concept de temps pur, en croyant ou laissant croire que quelque chose de tel existe, sans agréer du même coup sa critique de l'espace, son rejet des représentations mentales, sa conception périmée du cerveau? La philosophie de Bergson repose sur un dualisme fondamental, rigoureusement tranché, qui fait jouer jusqu'à l'extrême des possibilités l'esprit d'antinomie le plus rigide. Sous les belles envolées

de la durée et du vivant se cache en effet – du moins pour le profane – un classement binaire inflexible des différentes composantes de la réalité: l'intérieur/l'extérieur, l'intuition/l'analyse, la vie/la mort, la durée/l'espace, la métaphysique/la science. Pour bien comprendre comment cette paradigmatique fonctionne il faut connaître le schéma de l'antinomie: chaque terme en couple est d'abord purifié de l'autre, isolé dans son essence, puis le couple organisé hiérarchiquement; l'intérieur et l'extérieur s'expulsent réciproquement pour que l'intérieur puisse se soumettre à l'extérieur. Substituez à ces deux termes la ribambelle des autres et vous obtenez un chapelet d'oppositions binaires qui, ensemble, constituent la plus tranquille des oppositions paradigmatiques et la plus systématique des hiérarchies conceptuelles. Si le temps, du moins son idée, est susceptible d'être purifié, c'est qu'il existe sous deux formes, l'une impure, *entachée d'espace*, l'autre pure, *pour l'essentiel détachée de toute spatialité*: d'un côté, le temps spatialisé, de l'autre, la durée. Tel n'est pas le sort de l'espace que l'antinomie isole également dans son essence propre, mais comme une dimension essentiellement impure, inaccessible à la pureté. L'espace sert à altérer le temps où il introduit l'altérité, l'extériorité qui le définit pour de bon. Dans le mécanisme de l'antinomie, la hiérarchie des termes est donc prescrite dès leur distinction; l'un se trouve, d'emblée, du bon côté, l'autre, du mauvais. La stricte opposition paradigmatique isole terme à terme un objet pur d'un objet impur: non seulement l'objet de la métaphysique, la durée, est pur, mais la métaphysique est elle-même une science de la pureté, de la recherche intuitive en soi du pur intérieur (de *mon* pur intérieur, par introspection); au contraire, la science

► est une discipline impure, comme son moyen, l'analyse, et comme son objet, l'espace. Cette stratégie essentialiste vise à purifier les deux termes qu'elle oppose pour conférer, à l'un, les caractères de l'essence et, à l'autre, tout le contraire de ces caractères; le temps a une essence, la durée, l'espace est essentiellement une non-essence. Le temps est théorique, l'espace est pratique. La pratique pollue la théorie. La vie, la vraie vie, n'est pas du mauvais côté; elle ne se confond pas avec la pratique, et la philosophie, « science » théorique par excellence, agit à rebours de la pratique pour rétablir le pouvoir de la vraie vie telle que la théorie pure exige qu'elle soit représentée. Si on prend Bergson par les résultats de sa philosophie, on ressent peut-être l'enthousiasme de la description d'un état théorique où la contemplation philosophique et le sens vrai de la vie coïncideraient. Si on le prend par ses présupposés, on ressent le vertige de la quête naïve d'une philosophie prétendument plus proche de la vie que la vie elle-même. Non seulement la théorie exige une représentation théorique de la vie, mais encore elle exige la critique des représentations et, à terme, l'élimination radicale de toute représentation: « La métaphysique est (...) la science qui prétend se passer de symboles » [1396]. Comme il y a deux sortes de temps, il y a deux sortes de sciences; c'est ainsi que le système prospère, par la superposition sur tous les plans d'un seul et même schème. Il y a donc une sorte de science qui ressortit à l'analyse, c'est-à-dire « une traduction, un développement, un symbole, une représentation prise de points de vue successifs », soit une démarche décrite en termes spatiaux, inscrite dans l'espace et sans cesse déterminée par ses

coordonnées; une autre sorte qui, elle, ressortit à l'intuition, c'est-à-dire à « la *sympathie* par laquelle on se transporte à l'intérieur d'un objet pour coïncider avec ce qu'il a d'unique et par conséquent d'inexprimable », soit une démarche qui commence dans la spatialité – il faut bien quitter l'extérieur –, mais vise à en sortir au plus vite, à se sortir de sa prison, pour pénétrer l'utopie (le lieu sans lieu) de l'intériorité [1395]. Mais comme il est difficile de se débarrasser du langage de la spatialité: « philosopher consiste à se placer dans l'objet même par un effort d'intuition » écrit Bergson [1411 – souligné par moi]! S'y placer, c'est donc se déplacer du lieu où l'analyse tourne en rond autour d'un objet immobilisé, multipliant les points de vue sur cet objet mort, vers le pseudo-lieu où non seulement l'objet reprend vie, s'anime – c'est le lieu de l'âme –, mais encore où la manière de l'appréhender est elle-même mobile, et où, de plus, ces deux mobilités coïncident, où donc la connaissance s'identifie à son objet. Même si cette méthode qui n'en est pas une, puisque la sympathie est plutôt une attitude qu'une méthode, s'applique en droit à tout objet qui tombe sous les sens, son objet de prédilection est évidemment l'objet intérieur par excellence, la conscience, le moi; car, s'il y a « une réalité au moins que nous saisissons tous du dedans, par intuition et non par simple analyse », c'est « notre propre personne dans son écoulement à travers le temps » [1396]. L'intuition, en tant que « connaissance intérieure, absolue, de la durée du moi par le moi lui-même » [1402-1403], est le modèle de la bonne connaissance du monde. Pour mieux connaître le monde il faut rentrer en soi, là où la spatialité s'abolit dans le mouvement perpétuel du flux de conscience. Si l'on reste au seuil de

sa propre intériorité, on ne voit encore que des fragments juxtaposés, on ne voit encore qu'une image du moi ; il faut chercher plus loin, plus profond, « au fond de moi ce qui est le plus uniformément, le plus constamment, le plus durablement moi-même » [1397], pour « voir » (mieux vaudrait dire sentir puisque le visible est aboli) les fragments se superposer, s'amalgamer, fusionner (verbes encore spatiaux...), retournant ainsi au flux intégral de la conscience qui est son seul et authentique statut.

De là qu'il soit vain d'espérer connaître le monde en soi. Le seul en-soi qui donne la clef du monde, c'est la conscience, lieu sans lieu de l'ultime représentation en quoi toute représentation distinctive s'abolit. En ce lieu, il n'est plus de concept : certes, « l'intuition, comme toute pensée, finit par se loger dans des concepts », à commencer par celui de durée, mais si nous voulons la saisir en elle-même, dans le mouvement même où elle s'effectue, si nous voulons sympathiser avec le mouvement en lui-même, nous devons le faire « sans concept interposé » [1257], sans l'idée claire mais abstraite dont son nom limite la dénotation. L'image, celle par exemple « d'un spectre aux mille nuances, avec des dégradations insensibles qui font qu'on passe d'une nuance à l'autre » [1398], commence, telle une imparfaite esquisse, à évoquer la condition de la réalité : superposition, nuance, effacement des frontières abstraites, etc. Mais la conscience n'est pas non plus le lieu de l'image qui recèle encore trop de spatialité, comme tous ces mots imagés qui viennent sous la plume pour en décrire l'amorce ; encore distinctive, par-delà son flou, l'image représente trop. La durée réelle vécue dans l'intériorité n'est pas réductible à « la richesse de coloris » ; au-delà des nuances, elle est dans « le mouvement

simple par lequel la conscience passe d'une nuance à l'autre » : bref, « on ne saurait la représenter par des images » [1399]. L'infirmité de l'image, quand bien même elle surpasse le concept, réside dans le fait qu'elle cherche encore à « rendre » ce qu'il s'agit d'éprouver. La philosophie rencontre là sa limite, du moins si on la considère comme un discours dont l'objet est l'intuition. Elle doit parler de quelque chose qui ne se dit pas, qui ne se représente pas, qui ne se symbolise pas, et n'existe dans sa réalité exacte que dans l'épreuve vivante qu'on en fait :

« Sans doute aucune image ne rendra tout à fait le sentiment original que j'ai de l'écoulement de moi-même. Mais il n'est pas non plus nécessaire que j'essaie de le rendre. À celui qui serait incapable de se donner à lui-même l'intuition de la durée constitutive de son être, rien ne la donnerait jamais, pas plus les concepts que les images. »

L'espace, utilitaire ou imaginaire, ne cesse de briser ce temps pur de la pure conscience ; par représailles, en quelque sorte, le temps doit se libérer de l'espace, ce qui revient à dire que nous devons nous-mêmes, si nous voulons éprouver notre intériorité, si nous voulons *vivre davantage* et retrouver par là ce qu'une vision abstraite de la réalité occulte [1392], nous libérer de l'espace et nous réhabituer au paradigme perdu de la perception pure du temps pur. L'exercice, l'ascèse, qui nous y conduit, comme un retour à l'origine, est la philosophie même. Dans un texte qu'il faut méditer avant de se lancer dans l'extrapolation de la philosophie bergsonienne à d'autres domaines, à l'art en particulier, y compris évidemment au cinéma, Bergson met clairement les choses au point : ►

► « L'art nous fait sans doute découvrir dans les choses plus de qualités et plus de nuances que nous n'en apercevons naturellement. Il dilate notre perception, mais en surface plutôt qu'en profondeur. Il enrichit notre présent, mais il ne nous fait guère dépasser le présent. Par la philosophie, nous pouvons nous habituer à ne jamais isoler le présent du passé qu'il traîne avec lui. Grâce à elle, toutes choses acquièrent de la profondeur – plus que de la profondeur, quelque chose comme une quatrième dimension qui permet aux perceptions antérieures de rester solidaires des perceptions actuelles, et à l'avenir immédiat lui-même de se dessiner en partie dans le présent. » [1391]

L'avertissement est d'autant plus clair que l'on considère le cinéma comme un art du présent, un texte toujours au présent. On ne s'en tire évidemment pas en contredisant radicalement cette conception, à la manière deleuzienne. Et même si le cinéma n'est pas au présent (ce qui reste quand même à établir contre la sérieuse évidence du *vécu cinématographique*), il est, pour Bergson, figé dans le présent de la représentation en tant qu'art. Seule la philosophie peut rendre vie à l'art.

Une analogie troublante entre la théorie bergsonienne et la théorie classique du tableau

Avant, le cinéma stagne dans l'entre-deux comme toute image : supérieure au concept, inférieure au vécu. Le statut de l'image concrète est réglé par le statut de l'image en tant qu'instrument

de la pensée (et la conception du cerveau qui refoule la représentation au profit de l'action), instrument nécessaire pour dépasser l'abstraction, mais destiné à être lui-même dépassé. L'image, substituée au concept, nous rapproche du vécu, mais elle ne peut pas à son tour lui être substitué. Lorsqu'elle veut évoquer le vécu, le bon vécu, celui de la conscience, elle trouve sa limite dans son irrépressible connivence avec la spatialité. Elle n'est pleinement efficace que lorsqu'elle sert à évoquer le vécu mal vécu, mal vu, l'illusion du vécu, notamment l'illusion analytique qui décompose le temps en moments séparés au lieu d'en percevoir l'écoulement : « la connaissance usuelle, en raison du mécanisme cinématographique auquel elle s'assujettit, renonce à suivre le devenir dans ce qu'il a de mouvant » [779]. La pellicule, décomposée en photogrammes, devient métaphore de la connaissance ordinaire, du vécu mal vécu à quoi la mauvaise métaphysique emboîte le pas que la bonne métaphysique doit invertir [« *Philosopher consiste à invertir la direction habituelle du travail de la pensée* », 1422]. Mais la pellicule en mouvement, entraînée par la mécanique du projecteur, si elle nous rapproche des conditions du bon vécu ne saurait nous permettre tout à fait de les rejoindre. Même en mouvement l'image reste une image, entachée irrémédiablement de l'infirmité de l'être spatial, en fin de compte figée. Seule la conscience pure, rendue à elle-même, peut animer le cinéma... « Le film qui se déroule est donc vraisemblablement attaché à la conscience qui dure, et qui en règle le mouvement » [1262]. Ce n'est pas le mouvement du film sur l'écran qui sollicite spécifiquement la conscience du spectateur ; c'est la conscience du spectateur, dans son imprévisible mouvance,

qui crée le vrai mouvement. On pourrait accélérer autant qu'on veut le mouvement du film, il resterait une succession d'images : « La succession ainsi entendue n'y ajoute donc rien ; elle en retranche plutôt quelque chose ; elle marque un déficit ; elle traduit une infirmité de notre perception, condamnée à détailler le film image par image au lieu de la saisir globalement » [1260].

Il y a, de fait, une analogie troublante entre la théorie bergsonienne et les théories de la picturalité. Pour le saisir, il faut résumer la théorie de la conscience comme durée. Puisque la conscience de soi est le modèle de la conscience du monde, on doit évidemment commencer par se demander : qu'est-ce que la conscience ? C'est la mémoire et l'anticipation, la mémoire parce qu'une conscience n'existe qu'en conservant la mémoire de son passé, l'anticipation parce que la conscience s'occupe du présent en direction de l'avenir. La conscience est attendue, en tant qu'elle est orientée vers l'avenir, propulsée en avant « sur la route du temps » ; elle est aussi attendue en tant qu'elle aspire à retrouver quelque chose dont l'absence est ressentie comme un manque. Déterminé par ces deux côtés du temps, le présent de la conscience ne saurait être l'instant, sans contenu, limite purement théorique entre le passé et l'avenir, pure abstraction. Le présent a une épaisseur, une densité : « une certaine épaisseur de durée qui se compose de deux parties : notre passé immédiat et notre avenir imminent » ; ou encore : « c'est une succession d'états dont chacun annonce ce qui suit et contient ce qui précède » [1397]. Appuyée sur le passé en même temps que penchée vers l'avenir : telle est la conscience du temps, c'est-à-dire de la durée. Cette conception d'un présent gros du passé

proche et du futur immédiat reproduit très exactement la solution apportée au problème du tableau par la théorie « classique » de la représentation picturale. Rappelons que ce problème est de savoir comment représenter le dynamisme d'une histoire dans un médium essentiellement statique. Ce moment propice, Lessing l'appelle l'« instant fécond », dans le cadre d'une théorie distinctive des médiums, d'un côté, la peinture qui est *espace, juxtaposition, corps*, de l'autre, la poésie qui est *temps, succession, action*, une théorie qui exige par suite de rendre compatible la spécificité statique de la peinture avec son ambition de représenter l'histoire et donc d'identifier le moyen par quoi l'action peut être condensée dans le statisme des corps où elle s'exprime nécessairement : « Pour ses compositions, qui supposent la simultanéité, la peinture en peut exploiter qu'un seul instant de l'action et doit par conséquent choisir le plus fécond, celui qui fera le mieux comprendre l'instant qui précède et celui qui suit⁴. »

L'anti-Bergson : Bachelard

Certaines suggestions de Bachelard, qui adopte une position diamétralement adverse de celle de Bergson, sont fort utiles – et il est d'autant plus intéressant de les rappeler qu'elles sont souvent négligées. Dans *L'intuition de l'instant*, il oppose à la philosophie bergsonienne de l'action et de la durée, une philosophie de l'acte et de l'instant, l'une accentuant le « déroulement continu » qui court de la décision au but, l'autre privilégiant la « décision instantanée »⁵ ; pour la première, « la vraie réalité du temps c'est sa durée ; l'instant n'est qu'une abstraction » ; pour la seconde, ►

⁴ *Laocoon, ou Des frontières de la peinture et de la poésie*, (*Laocoon, oder über die Grenzen der Malerei und Poesie*, 1766), trad. française de Courtin (1866), républi. à Paris, Hermann, Coll. « Savoir sur l'art », 1990, pp. 120-121.

⁵ Paris, Stock, Le livre de poche, Coll. « Biblio essais », 1992 (1931), p. 21.

► « la vraie réalité du temps ; c'est l'instant ; la durée n'est qu'une construction » ; l'instant vu de la durée est « imposé de l'extérieur par l'intelligence qui ne comprend le devenir qu'en repérant des états immobiles » ; la durée vue de l'instant est toute « faite de l'extérieur, par la mémoire, puissance d'imagination par excellence, qui veut rêver et revivre, mais non pas comprendre »⁶. Bachelard choisit la discontinuité contre la continuité, et propose de considérer « la construction réelle du temps à partir des instants, au lieu de la division toujours factice à partir de la durée » ; à la fois il explique que Bergson est prisonnier d'une représentation géométrique puisqu'il explique la représentation par « le schème du morcelage d'un continu », qu'il s'agit de remplacer par un « schème des correspondances numériques »⁷, et propose une représentation verticale de l'instant qui implique la spatialité du temps. La métaphore, l'ordre poétique jouent le premier rôle dans sa conception. Non seulement il souligne que « tous les mots qui traduisent les caractères temporels sont impliqués dans des métaphores puisqu'ils prennent une partie de leurs radicaux dans des aspects spatiaux »⁸, mais encore il montre que le passé et le futur sont récupérés dans l'instant par une dialectique de l'acte et de l'habitude, où là encore la spatialité est cruciale : le « passé n'est qu'une habitude présente et cet état présent du passé est encore une métaphore » (il note, au passage, une dissymétrie déjà sensible chez Bergson, entre le passé, qui persiste par l'habitude, et le futur, qui n'est toujours qu'esquisse, prélude). Il semble bien que cette théorie de la verticalité soit très utile pour penser le cinéma. Bachelard répond à l'objection de la division ciné-

graphique du temps – « et l'on nous citera tel ultra-cinématographe qui décrit le devenir par le dix-millièmes de secondes »⁹ –, en considérant que la théorie de la durée place l'examen au niveau d'une vie d'ensemble, dans la courbe de l'élan vital, alors que, pour rendre compte du temps, il faut se placer au niveau de l'instant vital où cette division n'a plus de sens. En revanche, si « le temps n'existe vraiment que par l'instant isolé », s'il est tout entier dans l'actuel, dans l'acte, dans le présent »¹⁰, la verticalité prend tout son sens, recèle tout le sens du temps vécu. De là une théorie stimulante de l'instant fécond : « Les instants sont distincts parce qu'ils sont féconds. Et il se sont pas féconds par la vertu des souvenirs qu'ils peuvent actualiser, mais bien par le fait que s'y ajoute une nouveauté temporelle convenablement adaptée au rythme d'un progrès »¹¹.

Du photogramme au cinématographe

La perception de la durée cinématographique est, certes, distincte de la simple juxtaposition des photogrammes. D'abord, parce que le principe même du cinéma repose sur l'activation mécanique de cette juxtaposition en sorte qu'elle produise une impression de mouvement. Ensuite, parce que le photogramme cinématographique, extrait d'une réalité mouvante, comporte inscrit en lui, à la différence de la photographie, l'amorce du mouvement, des signes flous qui, se superposant plutôt que se succédant, convergent vers l'impression d'un dynamisme avant de servir une succession. Comme le note Jacques Aumont, « Epstein met le doigt sur quelque chose de fondamental : le photogramme du film, dans son

⁶ *Ibid.*, p. 25.

⁷ *Ibid.*, p. 43.

⁸ *Ibid.*, p. 40.

⁹ *Ibid.*, pp. 42-43.

¹⁰ *Ibid.*, p. 52.

¹¹ *Ibid.*, p. 86.

fonctionnement normal, n'est pas une image fixe, mais une image pourvue d'un certain potentiel de mouvement (...). Le photogramme est fixe mais virtuellement mobile, et le mouvement est inscrit « dans son corps »¹². Le photogramme est déjà en lui-même un *instant fécond*, en ce que la position des objets ou des personnages est marquée par l'indice des mouvements qui se dessinent, par approximation progressive, d'un photogramme à l'autre. Il n'est pas étonnant que Bergson introduise sa réflexion sur « l'artifice du cinématographe » par quelque chose qui évoque le cinéma d'animation – la recomposition du défilé d'un régiment à l'aide de « figures articulées » – où les images, prises séparément, sont nettes, et qu'il assimile les « instantanés » du cinéma à des photographies incapables « toutes seules » de « s'animer » (752-753). Quant à la projection ou à la perception intellectualisée, il accumule le vocabulaire de la linéarité : « Nous prenons des vues quasi instantanées sur la réalité qui passe, et (...) il nous suffit de les enfilet le long d'un devenir abstrait (...) » Il y a, à cet égard, une confusion entre la succession des photogrammes dans le film inerte, dans sa bobine, et la superposition des images sur l'écran ; elles ne se succèdent pas horizontalement, mais, par rapport au plan de l'écran, se superposent verticalement pour donner une impression de continuité – grâce à la fréquence des flashes combinée au noir qui, intercalé par le mouvement d'un volet rotatif entre les photogrammes, empêche toute persistance rétinienne¹³.

Du cinématographe au cinéma

Dans la description de l'artifice cinématographique par Bergson, on a noté l'idée saugrenue d'utiliser des figures découpées et articulées dont on ne pourrait sans doute que projeter l'ombre, comme dans la Caverne, mais surtout dont on ne comprend pas très bien comment elles pourraient être mises en mouvement. Toutefois, il n'est pas indifférent pour la suite de son raisonnement que Bergson parte de cet exemple qui évoque le cinéma d'animation où les images, prises séparément, image après image, sont nettes, à la différence du photogramme enregistrant la vie. Bergson affirme avoir eu l'idée de comparer « le mécanisme de la pensée conceptuelle à celui du *cinématographe* » dans ses leçons au Collège de France sur l'histoire de l'idée de temps de 1902-1903¹⁴ ; toutefois, le compte rendu de ce cours par Léonard Constant pour la livraison de la *Revue de philosophie* de janvier 1904¹⁵ ne fait état d'aucune allusion au cinéma, non plus que la publication récente des cours des 5 et 12 décembre 1902, d'après un dactylogramme de Péguy¹⁶. Bergson (1859-1941) est contemporain de la naissance du cinéma. Mort l'année de *Citizen Kane*, le philosophe, si l'on excepte la nuance sur la réception du film qui figure dans la première introduction de *La Pensée et le Mouvant*, ne déroge pas d'une conception réglée sur ce que pouvait être le spectacle filmique lorsqu'il l'a élaborée, en 1902-1903 : *la projection par une machine activée à la manivelle qui fait trembloter et scintiller les images*, dont Edgar Morin souligne la relativité en affirmant que « le cinéma brise le cadre spatio-temporel objectif du cinématographe »¹⁷. Si le jeune Sartre, on l'a vu, taxait le cinéma d'« art

¹² « Cinégenie, ou la machine à remonter le temps », in *Jean Epstein. Cinéaste. Poète, Philosophe*, dir. par Jacques Aumont, Paris, Cinéma-thèque française, 1998, p. 92. Aumont cite ici Sylvie Pierre, « Éléments pour une théorie du photogramme », *Cahiers du cinéma*, n° 226-227, janvier-février 1971.

¹³ Cf. Jacques Aumont, *L'Image*, Paris, Nathan, Coll. « Nathan-université », 1990, pp. 33-34.

¹⁴ Cf. note 1 du chapitre IV de *L'évolution créatrice*, *Œuvres*, op. cit., p. 725.

¹⁵ Cf. *Mélanges*, éd. d'André Robinet, Paris, Presses Universitaires de France, 1972, pp. 572-578.

¹⁶ *Annales bergsoniennes, I. Bergson dans le siècle*, Paris, Presses Universitaires de France, Coll. « Épiméthée », octobre 2002, pp. 25-68.

¹⁷ *Le Cinéma ou l'Homme imaginaire. Essai d'anthropologie sociologique*, Paris, Minuit, Coll. « Arguments », 1956, p. 126.

► bergsonien », il n'en ajoutait pas moins : « Vous pouvez bien le considérer comme un rouleau d'immobiles clichés, ce n'est pas plus le film que l'eau du réservoir n'est l'eau du courant ou que la conscience découpée par l'associationnisme n'est la conscience. » Bergson contre Bergson : la durée du cinéma contre le cinématographe. Mais, Morin souligne à juste titre que le dépassement du cinématographe par le cinéma a trait à bien autre chose : « Le cinéma brise le cadre spatio-temporel

objectif du cinématographe. Il saisit les objets sous des angles de vue inusités, les soumet à des agrandissements prodigieux, leur fait subir des mouvements irréels ». La question du montage, que je laisserai ici pendante, complique singulièrement la tâche de ceux qui prétendent réduire le principe du cinéma à la philosophie bergsonienne (à condition de ne pas la réduire elle-même à une sorte d'hymne à la durée et au vécu) ! ■

DOMINIQUE CHATEAU

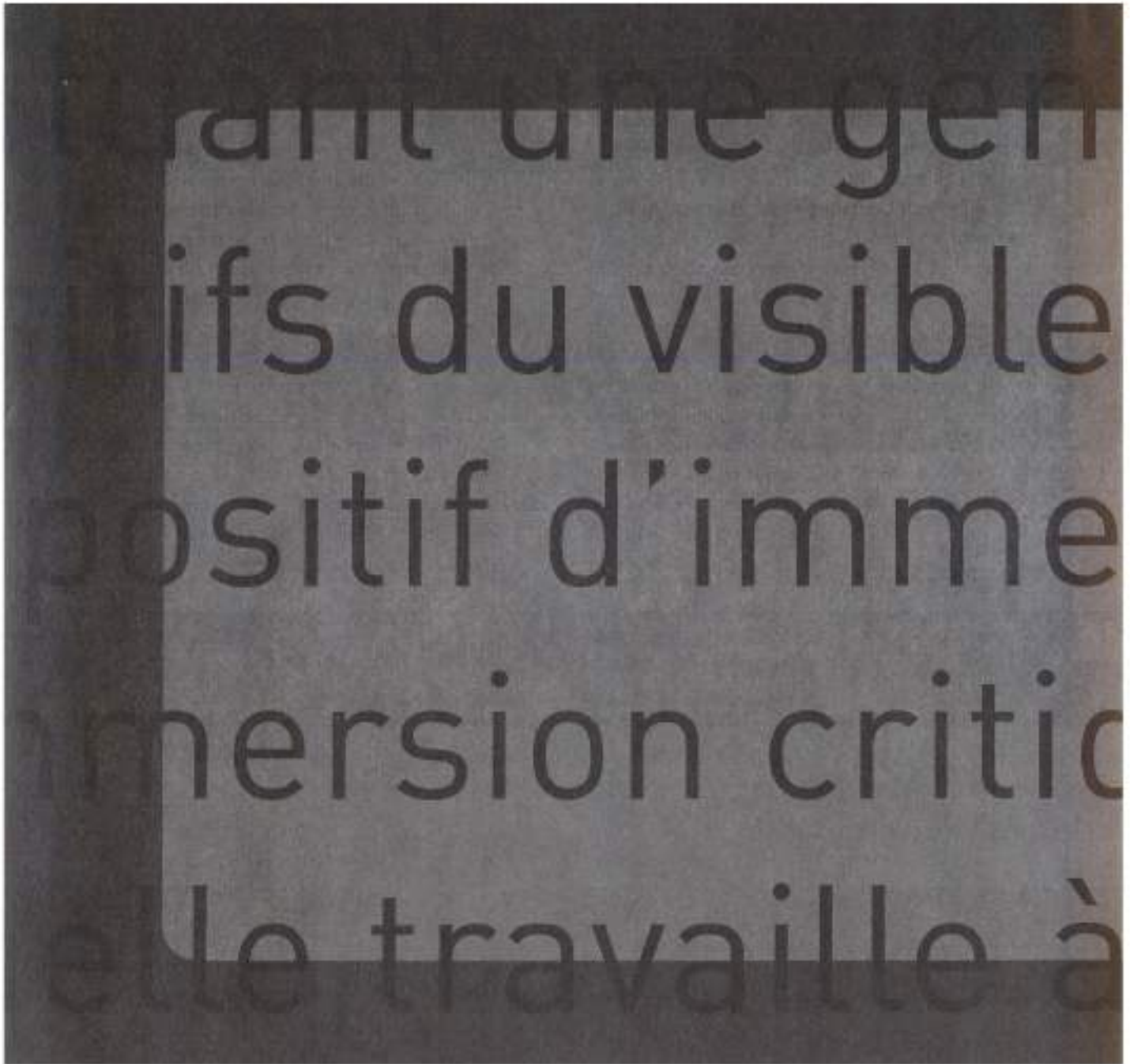
**Professeur
d'esthétique
et d'études
cinématographiques
à l'Université de Paris I
Panthéon Sorbonne
Directeur de l'École
doctorale Arts
plastiques, esthétique
et sciences de l'art.**

PRINCIPALES PUBLICATIONS

- *Nouveau cinéma, Nouvelle sémiologie. Essai d'analyse des films d'Alain Robbe-Grillet* (avec François Jost), U.G.E., 10/18, 1979.
- *Le Cinéma comme langage, Sémiologie du spectacle*, Publications de la Sorbonne-ACEV, 1986.
- *Citizen Kane*, Lyon, L'Interdisciplinaire, 1993.
- *La Question de la question de l'art. Notes sur l'esthétique analytique, Danfo, Goodman et quelques autres*, Presses Universitaires de France, 1994.
- *L'Héritage de l'art. Imitation, Tradition & Modernité*, L'Harmattan, Coll. « Ouverture philosophique », 1988.
- *Duchamp et Duchamp*, L'Harmattan, Coll. « L'art en bref », 1999.
- *Arts plastiques : archéologie d'une nation*, Jacqueline Chambon, Coll. « Rayon art », 1999.
- *Qu'est-ce que l'art ?*, L'Harmattan, Coll. « Ouverture philosophique », 2000.
- *Cinéma et philosophie*, Nathan, Coll. « Université », 2003.
- *John Dewey et Albert C. Barnes : philosophie pragmatique et arts plastiques*, Paris, L'Harmattan, Coll. « L'art en bref », 2003.

À paraître

- *Sartre et le cinéma*.



► Dans l'écran, face à l'image

Stéphanie Katz

Résumé L'expérience de l'immersion dans les grottes d'Altamira aura été l'occasion d'une réflexion autour du concept d'écran. Substituant une généalogie de l'image-écran à une vision historique de l'image, ce travail veut distinguer différents dispositifs du visible, chacun porteur de projets antagonistes à l'égard du spectateur.

Dans cet esprit, l'analyse du dispositif d'immersion, qui caractérise bien souvent le rapport contemporain à l'image, révèle une rupture : là où l'immersion critique plonge le spectateur dans l'écran pour le tenir face à l'image, une autre immersion fusionnelle travaille à effacer la zone-écran et instaure un état de confusion chez le spectateur. D'une immersion à l'autre, c'est toute la question de la maturité du regard du spectateur qui est en jeu.

Abstract The immersion's experience inside the Altamira's grottos was the opportunity of a meditation concerning the screen's concept. The purpose of this work is to distinguish various steps of the visible by moving the genealogy of « screen-image » towards an historical vision of the image itself. Consequently, the analysis of this immersion's process (which is nowadays often characterized by its relation to the image) is revealing a rupture : at the moment the critical immersion leads the spectator into the screen to keep him motionless and facing images, another immersion begins to operate and tends to erase the space set by the screen and him, therefore confusion is created and initialized... From one immersion to another, the question of educated perception has now become a major interest at issue.

L'écran d'Altamira

Soit l'expérience d'une révélation : l'immersion dans les grottes rupestres d'Altamira. Le visiteur qui s'introduit dans la cavité rocheuse que constitue ce premier dispositif de la représentation est saisi par un paradoxe : comment se fait-il qu'il faille ici s'introduire dans l'ombre pour que l'image advienne ? Notre regard est tant habitué à conjuguer la représentation à la clarté du jour, qu'il est tout d'abord difficile de comprendre la nature de ce projet apparemment paradoxal. Pour les peintres d'Altamira, la figure surgirait des ténèbres, désolidarisée de toute référence à la vue humaine. La représentation n'est pas ici envisagée sur le modèle d'un « voir le monde par les yeux », mais plutôt sur celui d'un « rêve de l'infigurable par l'imaginaire ».

Partant de ce constat paradoxal, l'espace figuré demande à être lu sur un mode inattendu. Car c'est en ce sens que l'on peut comprendre la stratification surprenante des figures sur la paroi. En effet, la texture de la roche présidant à la figuration, la même faille peut simultanément être le point de départ d'un dos de bison proche, d'une corne de gazelle au loin, ou du tracé schématique d'un cours d'eau. Si bien que la roche se couvre d'un véritable enchevêtrement onirique de figures se développant dans un espace de flottaison à la fois aérien et profond, sans axe ni repère, un espace non anthropocentré. Peut-être l'espace du rêve.

Sur un mur de la caverne, une série de mains en réserve viennent définir le projet. Soulignant l'articulation entre la main-outil et la paroi-écran qui président ensemble à la montée de l'image, ces empreintes inversées viennent encore dérouter le visiteur rompu à comprendre l'image comme la

conjugaison des pouvoirs de l'œil à ceux d'une surface reflétante. Au contraire, le dispositif ici proposé n'est pas celui de la reproduction par la vue, mais plutôt celui d'une paroi capable d'articuler une figure sur un recto, à un monde ténébreux insaisissable sur son verso. Si bien qu'un dispositif-écran inédit s'impose au visiteur, qui comprend l'image à partir de son projet biface, projet qui veut conjuguer figure et Infigurable. À ces empreintes de mains s'ajoutent encore des lignes de points étirées régulièrement vers l'infini, véritable désignation d'une abstraction sérielle rythmant la paroi-écran. Repérage dans le cours du temps, décomptes ritualisés, pointage du territoire, peu importe, ces lignes confirment l'invention d'une figure qui vise l'au-delà du visible.

L'écran de l'apparition

L'épreuve d'Altamira autorise différentes remarques. La première consiste à remettre en cause l'universalité d'une image conçue de façon strictement optique, à partir d'un désir de redoublement frontal du visible. Différemment, Altamira semble introduire la proposition d'une paroi-écran qui a pour mission de faire frontière-articulation entre ce que la main peut ressaisir du monde, et ce que la « boîte noire de notre espace mental où se déploie mémoire, pensée et imaginaire »¹ peut envisager. C'est alors un véritable dispositif biface qui s'invente, développant l'image dans un espace flottant singulier, dégagé de tous les repères réalistes anthropocentrés. Alors que l'on a l'habitude de penser l'écran comme une surface de projection, à partir du modèle du miroir de Narcisse, Altamira propose un écran compris comme le site d'une articulation entre un recto

¹ Bill Viola, entretien avec Raymond Bellour, Hors-série n° 14 « Où va la vidéo ? », Cahiers du cinéma, juillet 1986.



En initiant une autre manière de voir, l'univers numérique cherche donc à mettre en image

un volume de l'imaginaire déjà présent dans l'immersion ténébreuse d'Altamira, volume désolidarisé de la référence anthropomorphique du regard.

visible et un verso intelligible, dégagé des exigences de la ressemblance réaliste. Cet écran originaire s'invente comme une surface d'apparition, liant et séparant simultanément deux registres de l'image : la figure et l'infigurable.

Dès lors, à revisiter l'ensemble de l'aventure de la représentation à l'aune de ce dispositif-écran d'Altamira, tout se passe comme s'il existait au moins deux types d'images. Les unes s'envisageraient à partir d'un projet de ressemblance, sur le modèle du reflet, et adviendraient sur un écran de projection monoface. Ce sont des *simulations*.

Les autres, véritables *apparitions* au contraire, chercheraient à s'articuler à ce qui échappe à la figure, voulant désigner un au-delà du cadre. Elles apparaîtraient alors sur un écran biface conçu comme une articulation entre un recto visible et un verso infigurable mais signifié. Ces *apparitions* engendrent un espace de représentation singulier, qui semble toujours vouloir se décoller de la figure qu'il soutient. Zone aérienne, sans axe ni repère, il « flotte » les figures plus qu'il ne les construit. Telle une aire de vide rendue visible, il barre tout projet de reproduction d'un monde de substitution, instaurant plutôt une zone de médiations et de transferts entre des registres hétérogènes de l'image.

L'enjeu d'une généalogie de l'image-écran

Vue sous cet angle et au-delà de toute fascination pour les innovations technologiques, la parenté entre le dispositif-écran archaïque d'Altamira et les

propositions artistiques suscitées par les nouvelles technologies devient intrigante. En effet, d'Altamira au virtuel, il est permis de reconnaître par exemple cet éloignement caractéristique de la lumière du monde qui génère un espace euclidien rassurant, au profit d'une autre luminosité

enveloppante donnant naissance à un espace qui ne fait plus fond à la figure. Dans un entretien qu'il accordait à Raymond Bellour en 1986, B. Viola interroge cette nature non indicielle de l'image numérique en attaquant le problème du côté de la caméra. « J'attends impatiemment la fin de la caméra ! » déclare-t-il. Il poursuit en expliquant qu'il s'agirait alors d'une des mutations les plus importantes dans l'histoire des images depuis l'invention de la perspective. « Depuis la *camera obscura*, la lumière a été un préalable nécessaire à toutes les images, mais cela touche à sa fin. Nous serons bientôt capables de fabriquer des images complexes, réalistes, sans compter sur la lumière. À partir du moment où la lumière n'est plus la condition et le matériau fondamental de l'image, on est alors dans le domaine de l'espace conceptuel. »² B. Viola rêve de cette image mentale qui aurait rompu ses attaches indicielles pour mieux parvenir à révéler ses faces cachées, à la manière d'un cube dont on pourrait, au-delà de la seule perception optique, reconnaître la part occultée. En initiant une autre manière de voir, l'univers numérique cherche donc à mettre en image un volume de l'imaginaire déjà présent dans l'immersion ténébreuse d'Altamira, volume désolidarisé de la référence anthropomorphique du regard. Pour voir, ici comme là-bas, il est nécessaire d'aban- ►

² B. Viola, Raymond Bellour, op. cit.

- donner la logique frontale qui s'articule autour d'une ligne d'horizon, afin de s'aventurer dans une circulation multi-axiale qui aura perdu tous repères ergonomiques. Suit un déni opératoire des hiérarchies entre modèle, ombre et reflet, qui instaure un espace de suspension. Le regard survole le territoire de l'image, il se fait nomade infatigable, dorénavant capable d'articuler le macroscopique et le microscopique, le présent et l'absent, le concret et l'imaginaire, la maîtrise rassurante de la figure et l'inquiétude du hors-champ infigurable.

Bill Viola souligne encore que notre rapport au réel ne réside pas dans nos impressions visuelles mais dans les modèles formalisés des objets et de l'espace que le cerveau crée à partir des sensations visuelles. En définitive, si on parvient à échapper au dressage intellectuel mis en place par la perspective, on repère que la logique de l'ordinateur procède du modèle de la pensée elle-même. « Dans le processus de construction d'une image à trois dimensions par ordinateur, le choix du point de vue vient en dernier, alors qu'avec une caméra il est premier »³. En effet, pour construire l'image numérique d'une pièce, il s'agit de collecter toutes les informations de mesures, de textures, de couleurs... et de les entrer comme des données dans la matrice numérique. La pièce est alors contenue en son entier dans la mémoire numérique, vue de droite, de gauche, de biais, du dessus ou du dessous. Le point de vue est en effet choisi en dernier, quand il s'agit de demander à l'ordinateur de sélectionner les données nécessaires à une vision désirée.

Ainsi, en tant qu'elle s'apparente davantage à un diagramme qu'à un effet optique de la lumière sur l'œil, l'image numérique est excessive. Contenant

plus que ce qu'elle donne à voir, elle devient inassignable et fluctuante. Toujours différente d'elle-même, en mutation constante, elle s'ouvre sur l'infini de l'imaginaire à l'instant où elle échappe au document. « La technologie nous conduira à construire les objets selon un processus allant de l'intérieur vers l'extérieur, plutôt que l'inverse. »⁴ D'Altamira à l'écran d'immersion numérique, l'image-écran tente toujours de construire une apostrophe à l'adresse des limites de la figure et du visible.

Dès lors, une généalogie de l'image-écran s'impose, qui permettrait de suivre les métamorphoses de cette figuration de l'infigurable à travers l'histoire de la représentation, depuis Altamira jusqu'à la dimension immersive de l'esthétique virtuelle et numérique contemporaine. Une telle généalogie marque le pas sur toutes les analyses qui entendent l'art technologique comme une esthétique de la rupture radicale, imprévisible et inquiétante.

Figurer l'invisible divin : l'écran iconique

La préoccupation de la manifestation de l'invisible dans la figure est déjà au cœur de la querelle byzantine. Pour faire face à la position iconoclaste qui affirme l'incapacité de l'image à contenir l'incircriscriptible divin, les patriarches du IX^e siècle vont s'employer à penser la nature biface de l'écran iconique, conceptualisant ainsi le premier dispositif biface de l'image. À l'instar du corps du Christ lui-même, l'icône est pensée comme la zone-frontière entre le champ du sacré invisible et celui du corps observable. Du recto vers le verso, l'invisible divin s'imprime sur l'écran dans son procès vers le regard des hommes. Véritable empreinte de l'inf-

³
Ibid.

⁴
Ibid.

gurable, l'icône est donc conçue selon une logique biface qui exhibe et cache en un même mouvement. Ce dispositif institue une image incomplète, image qui nous observe depuis ses manquements, obligeant le spectateur à travailler son regard à partir de l'interprétation de ces béances.

Depuis les Annonciations peintes de la Renaissance, jusqu'à Matisse ou Clifford Still, en passant par l'œuvre de Gréco, la peinture a bien souvent fait de ce dispositif sa loi et sa force.

Figure de l'infigurable : l'écran d'immanence

Avec la modernité, l'image abandonne le projet de la manifestation d'un invisible divin transcendantal, au profit d'un questionnement concernant un infigurable de l'immanence. Or, l'écran iconique ne se révèle pas opératoire dans le cas d'une image qui veut localiser le principe invisible dans la chose, et non plus vers son au-delà. C'est en ce sens qu'il faut comprendre les mutations de l'écran qui vont progressivement autoriser l'avènement d'un dispositif inédit de l'image, capable de manifester l'infigurable de l'immanence. Ce nouvel écran va s'envisager comme une pure surface d'inscription sur ses deux faces. Paravent, voileage tendu, il est à lire de part et d'autre comme s'il avait absorbé la zone inaccessible au regard instauré par l'écran biface patristique. Centre vide tendu vers sa propre disparition pourtant toujours repoussée, l'écran d'immanence se fait lui-même le site de l'invisible. Il est, dès lors, appelé par la transparence et l'effacement de l'épaisseur. Si la structure biface de cet écran est maintenue, c'est par une construction feuilletée qui superpose des calques translucides, autorisant ainsi, dans un

jeu de réserves, de transparences ou de transferts, une conversation entre des registres hétérogènes qui ne s'opposent plus.

Le modèle fondateur de l'écran d'immanence pourrait ainsi être celui de la carte⁵. Car c'est un autre cadrage, non anthropomorphique, que le regard cartographique révèle, regard surplom-bant et sans horizon perspectif, ouvert sur un invu horizontal et nomade. Dans la cartographie, comme dans les œuvres advenant sur un écran d'immanence, l'infini s'articule à la précision du repère, le visible dialogue avec le lisible, et les hiérarchies entre le modèle, son ombre et son reflet s'annulent.

Emblématiques de ce dispositif en dessus-dessous ouvert sur un invu « all-over », les Femmes de Vermeer, les *Nymphéas* de Monet, les territoires sillonnés de Pollock, ou encore le *Grand Verre* de Duchamp, instituent un écran inframince capable d'instaurer un regard de la traversée.

Visiter l'infigurable : l'écran d'immersion

Si le dispositif d'immersion est certes caractéristique des images virtuelles contemporaines, on a vu qu'il était cependant déjà présent à Altamira, tout autant que dans les chapelles polychromes médiévales et renaissantes, dans les ateliers De Stijl, dans les cabarets dada ou encore dans les propositions des « color field » américains. Le dispositif d'immersion naît d'un retournement de l'écran d'immanence, alors que celui-ci atteint certaines de ses limites. Cherchant à sensibiliser son spectateur à l'espace imaginaire stratifié de son médium, l'artiste en vient à aménager au sein de son dispositif une zone de vide suffisamment ►

⁵
Cf. C. Buci-Glucksmann,
*L'œil cartographique de
Pant*, Gallée, 1996.

► significative pour que le spectateur parvienne à se loger *entre* l'écran et la figure, au sein même de la structure feuilletée de l'écran d'immanence. C'est en ce sens que l'on peut comprendre l'ultime projet des *Grandes Décorations* de Monet pour l'Orangerie des Tuileries. Soufflant dans le vide du dispositif des *Nymphéas* comme dans un ballon, le peintre invente ce site-aquarium qui permet au visiteur de s'immerger *dans* l'écran, tout en demeurant *face* à l'image. Instaurant un processus de décolllement de la figure et de l'écran, Monet propose un circuit de déambulation infinie *entre* l'écran et l'image, qui induit une mobilité ininterrompue du regard. L'œil accroché à la paroi, le visiteur est pris dans une dynamique fluide qui l'emporte, depuis la précision d'un détail jusque dans un bain coloré aveuglant, sans que jamais il ne puisse ni interrompre le déplacement du regard, ni appréhender définitivement l'ensemble du territoire de peinture. L'image demeure distante, hors d'atteinte, préservée par le nomadisme obligé du regard qui s'y applique. Le projet d'immersion a bien été mené à son terme, immersion au cœur d'un écran vide et accueillant, ouvert à l'intrusion du visiteur. Véritable zone aérienne, cet « écran soufflé » de l'immersion appelle le spectateur au cœur de l'écart qui soutient l'infigurable de l'immanence. En faisant ainsi la démonstration de la nécessaire distance qui articule l'écran, la figure, et le regard du visiteur, Monet construit le dispositif paradoxal d'une immersion non-fusionnelle. Depuis les propositions vidéo de Dan Graham et Bill Viola, jusqu'aux œuvres numériques de Michael Snow et Jeffrey Shaw, ce dispositif d'immersion non-fusionnelle du spectateur *dans* l'écran, mais *face* à l'image, permet depuis longtemps aux artistes d'interroger, à nouveaux frais,

la place du spectateur. Toujours biface, ce dispositif d'immersion fait la démonstration que, à vouloir entrer dans l'image, on ne parvient qu'à décoller la figure de son écran, afin seulement de se glisser dans l'interstice ainsi ouvert. L'image, quant à elle, conserve ses distances, son être propre et sa différence, ne s'offrant de la sorte jamais véritablement à la manipulation.

La dématérialisation de l'écran

Il apparaît que depuis l'origine des mutations des dispositifs, nous progressons vers un écran qui perd de plus en plus en matérialité, alors qu'il se charge en tenue symbolique. Depuis l'inscription dans l'enduit immaculé de l'icône, en passant par l'espace offert au nomadisme du regard par Monet aux Tuileries, jusqu'aux immersions virtuelles, nous évoluons d'un support concret de l'image, vers son effacement apparent.

Alors qu'on assiste à une montée de l'immatériel, ce processus contemporain d'immersion est à l'origine d'un flottement sur le statut de l'image. L'expérience proposée au spectateur est celle de la pénétration d'un site habitable, d'un environnement. Dans ce contexte, il devient difficile de repérer si c'est l'image qui s'immatérialise pour quitter l'écran, ou si c'est l'écran qui se fait impalpable. Est-ce, en effet, l'image, ou bien l'écran, qui devient scène d'expérimentation ? L'image numérique, *simulation* ou *apparition*, bientôt branchée sur notre système nerveux, ne nous fait-elle pas toujours face, même si le régime de ce face-à-face se trouve modifié par les métamorphoses technologiques ?

Dans sa condition interactive enfin, l'image semble perdre toute autonomie, entrant dans la double



L'immersion peut tant autoriser une révélation analytique des mécanismes immuables de l'image, que menacer la part de distance nécessaire au spectateur et induire une posture fusionnelle qui tue le regard.

dépendance de la machine et de son explorateur. Pourtant, si on accepte la proposition selon laquelle l'intrusion se joue dans l'écran et non dans l'image, il faut alors interroger à nouveaux frais cette évidence d'une image soumise à la manipulation de son explorateur. Une image « activée » n'est pas assimilable à une image « manipulée », en ce sens qu'elle est éveillée par un dialogue, mais non maîtrisée. Ne se pliant jamais à la volonté de son explorateur, l'image immersive propose plutôt un compromis entre les intentions que le visiteur entretient à son égard, et « les possibles » préalablement inscrits dans la mémoire numérique invisible de celle-ci.

L'immersion critique

Ainsi, à travers l'histoire de l'image, l'immersion apparaît toujours à la faveur des interrogations de son concepteur sur les mécanismes de l'image, qu'il souhaite partager de manière active avec le spectateur.

Dans le dispositif d'immersion, le visiteur n'est plus tenu à distance par la frontalité, il est confronté à une incertitude concernant la surface à contempler qui se métamorphose en territoire à parcourir. En mobilisant une gamme plus vaste de sensations dans l'appréhension du visible, le dispositif d'immersion destitue la dimension optique de son statut de premier critère de reconnaissance. Cette double modification de la relation au visible peut tant autoriser une révélation analytique des mécanismes immuables de l'image, que menacer la part de distance nécessaire au spectateur et induire une posture fusionnelle qui tue le regard.

Toutefois, dans le champ de l'art, l'écran immersif est systématiquement travaillé pour sa puissance critique qui permet une relecture de tous les dispositifs antérieurs de l'image, et le démontage des procédés illusionnistes, mimé-

tiques, ou de simulation.

Emblématiques de cette posture critique, les recherches de J. Shaw interrogent la disjonction entre l'écran et son image, qui caractérise l'immersion. Par toute une série de gestes fondateurs, il semble tout d'abord chercher à désolidariser la face cachée de l'écran de sa part visible. Cette tentative le pousse à soumettre l'écran à de multiples épreuves : écran de papier déchiré, écran de fumée, écran buvard absorbé par l'encre, sont autant de propositions qui veulent souligner tant la tenue biface de l'écran, que sa perméabilité à l'invisible numérique, et son ascension vers l'immatériel. Mais c'est surtout une série d'œuvres travaillant à partir d'un écran gonflable qui parvient à synthétiser les avancées de J. Shaw. Avec *Corpocinéma*⁶, il installe en plein air une bulle transparente, gonflable et géante. Lui assignant la fonction d'écran, il projette sur sa surface extérieure toutes sortes de visibilités, sans distinction hiérarchique de genre, de vérité ou de tenue esthétique. Surface de projection mouvante et déformante, l'écran gonflé remplit cependant sa fonction de protection, puisqu'il abrite une multitude d'événements physiques instables : par transparence, notre accès aux images est perturbé par des projections de matières colorées – poudres, liquides, mousses, fumées, éclairs lumineux – sur la face interne de la bulle. Ainsi, par une mise en place métaphorique qui se révèle particulièrement ►

⁶ J. Shaw, *Corpocinéma*, environnement de cinéma élargi, 1987.

► opératoire, J. Shaw nous donne à voir la mécanique secrète du dialogue entre écran et image numérique. Venant d'un monde humain extérieur, des images tentent d'advenir par la médiation de cet écran vivant, elles sont contraintes de négocier leurs apparitions avec la variation des opacités qui les défigurent. Entre le champ d'activités incontrôlables internes à l'écran, et la visibilité imparfaite d'images mues par leurs déformations mouvantes, c'est toute une zone de possibles qui s'ouvrent. La révélation de la structure de l'écran instaure une nouvelle image incapturable parce qu'incomplète et caviardée. Comme J. Shaw en fait la démonstration en piochant des imageries au hasard des visibilités contemporaines, toutes images prises dans un tel dispositif, fussent-elles idolâtres et aliénantes, ne peuvent que se soumettre à une fragmentation libératrice. Une béance s'ouvre dans tout visible qui oblige le spectateur à investir le vide de son regard critique.

Mais, nous pourrions considérer que *Corpocinéma* ne propose pas véritablement un dispositif d'immersion. C'est sans doute pour cette raison que J. Shaw, poussant son expérience plus avant, fait une seconde proposition avec *MovieMovie*⁷. Selon le même principe d'un écran-bulle, celui de *MovieMovie* se compose de deux surfaces, l'une opaque sur l'intérieur, l'autre transparente sur l'extérieur. Cet écran à double-peaux signe matériellement la nature biface de tout écran. Mais, alors qu'il invite cette fois les spectateurs à pénétrer littéralement à l'intérieur de l'écran-bulle, J. Shaw choisit de ne pas achever le gonflage de la structure, de façon à ce que celle-ci soit en constante métamorphose au gré des déplacements du public sur sa surface interne. Non seulement nous avons alors explicitement à faire avec un dispositif

d'immersion, mais plus encore, l'intrusion du spectateur dans le corps de l'écran implique la responsabilité de celui-ci dans l'accomplissement de la proposition. Évoluant à l'intérieur du corps de l'écran, sautant ou créant des opacités par leur présence, les visiteurs contribuent à l'évolution de la performance. Inclus dans l'écran, le spectateur trouve les moyens d'influer sur l'image en ne modifiant que son support d'apparition. De façon évidente, les métamorphoses ne sont donc pas celles de l'image, mais bien celles de l'écran devenu accueillant. À ce titre, l'image, quant à elle, préserve toute sa distance, demeurant intouchable elle n'est pas potentiellement fusionnelle. Le regard du spectateur est tant préservé que sollicité.

L'espace-image

Si, avec *MovieMovie*, J. Shaw met en évidence la disjonction entre écran accueillant et image souveraine, cela ne nous éclaire pas encore sur le statut de la simulation spatiale propre aux illusions virtuelles. Pour mieux comprendre le statut d'apparition des images synthétiques se manifestant dans un écran spatialisé, il faut encore interroger la nature réelle de l'espace virtuel. Quand nous évoquons la notion d'espace, nous faisons traditionnellement référence à l'acception qu'en a proposée Kant. En effet, pour Kant, l'Espace et le Temps sont les *conditions a priori de notre perception*. Il est impossible à l'être humain de percevoir quelque chose en dehors de ces deux conditions. L'Espace comme le Temps imposent leurs structures respectives à notre accès au monde.

Or, l'espace virtuel est, quant à lui, d'une tout autre nature. Au même titre que n'importe quel

⁷ J. Shaw, *MovieMovie*, environnement de cinéma élargi, 1967.

autre objet virtuel l'espace n'est qu'une visibilité dépendante d'un modèle numérique. Ainsi, l'espace synthétique est un leurre sans profondeur, qu'il faut comprendre comme une image-surface enveloppante, qui se métamorphose au gré de notre progression illusoirement spatiale. Comme dans un voile qui ferait coupole autour de nous, nous évoluons immergés dans l'écran, face à une image représentant l'espace. Il est à ce titre tout à fait possible de choisir les modalités de l'espace virtuel face auquel nous évoluerons : espace euclidien, mais également espace de Riemann, de Lobatchevski, ou répondant à d'autres conditions arbitraires.

Cet espace-image, modélisé, est en interaction constante avec les autres objets numérisés qu'il enveloppe ou qui s'y déplacent. De la sorte, le virtuel doit inventer un univers synthétique en constante genèse, capable d'opérer un aller-retour permanent entre l'image et le modèle numérique toujours plus informé que son image. Dans un processus de rafraîchissement constant, l'image se réajuste au fil des modifications du contexte.

On reconnaît ici la démonstration que J. Shaw réserve à son public avec *Legible city*⁸. En effet, pédalant sur notre bicyclette réelle, nous constatons que l'espace qui évolue au fil de nos manœuvres et qui nous enveloppe n'est rien d'autre qu'une image. Alors que la bicyclette remplit la fonction d'interface, et que l'énergie physique du promeneur procure une sensation inattendue de pénétration spatiale, l'absence de résistance de l'espace-image s'impose comme une évidence. Avançant, reculant, tournant de droite et de gauche, son déplacement dans la ville-phrase est vécu sur un mode contradictoire :

tendu entre la fluidité toute synthétique du déplacement, et l'effort physique relatif à fournir. La pénétration de l'espace-image semble ainsi nous échapper en reculant à l'infini, au profit d'un rafraîchissement synthétique ininterrompu de l'image qui fait face. Plongés dans l'immatérialité de l'écran, face à l'image qui mime l'espace, nous évoluons au gré d'une interactivité toute relative, contenue dans la mémoire numérique telle qu'elle a été calculée par l'auteur.

Déjouer la simulation par l'apparition

Ce que nous avons volontairement nommé « écran d'immersion » n'est donc précisément pas un « espace d'immersion ». Cette distinction est essentielle puisqu'elle permet de démontrer que nous ne sommes, malgré les apparences, jamais immergés dans l'image. À l'instar du modèle mis en place par le dispositif des *Nymphéas* de Monet aux Tuileries, le virtuel parvient à nous plonger face à l'image et non en elle. Cette différence tient au fait que, comme sa filiation avec le dispositif de la peinture le démontre, l'écran d'immersion demeure, quoiqu'il arrive, toujours un écran qui, par essence, est une zone d'articulation liant et dissimulant simultanément. En aucun cas un écran ne peut se faire monde. Quand il devient volume, c'est pour mieux désigner, en nous autorisant à la pénétrer, la zone de vide et d'abstraction qui soutient la part visible de l'image. Certes, la *simulation* a les moyens de mettre en place une illusion visant à nous faire croire que nous entrons dans un monde synthétique que nous pourrions expérimenter comme un nouvel univers. Mais cette quête illusionniste ne date pas de l'image numérique, elle semble plutôt signer ►

⁸ J. Shaw, *Legible City*, installation interactive avec images de synthèse (avec D. Groenewald), 1988-1991.

- toute l'histoire des images. Il est donc plus juste de caractériser cette illusion synthétique d'apparition, dans le sens où, même si l'écran se dématérialise pour nous accueillir en son sein, les images, quant à elles, continuent de nous apparaître frontalement. S'il nous est possible d'intervenir de temps à autre sur l'une d'elles, c'est parce que le créateur de l'image aura prévu un interstice supplémentaire creusant l'image d'un vide «écranique». Rien n'est réalisable dans un univers synthétique qui n'ait été préalablement conçu par son créateur. Ainsi, le spectateur semble toujours déambuler dans l'écran, alors que le concepteur élabore des images-apparitions qui se manifestent frontalement à celui-ci. Cependant, la puissance illusionniste des images synthétiques dépassant tous les leurre du visible déjà élaborés, la vigilance est de mise, tant de la part du créateur d'image devant veiller à aménager la distance critique indispensable au spectateur, que de la part du visiteur devant demeurer à l'écoute des messages «désillusionnant» que ses perceptions lui envoient. Ceci pour confirmer que l'image n'est pas plus coupable de tromperie que son spectateur et son concepteur ne sont amateurs d'illusions. Il suffit pour s'en convaincre de noter combien notre dégoût de la désillusion est capable d'alimenter aujourd'hui le marché aliénant des visibilités.

L'immersion numérique imaginaire

Situer le dispositif numérique dans son héritage permet de saisir la nature singulière de sa puissance d'immersion. En effet, si le virtuel mis en espace s'impose sans ambiguïté comme dispositif d'immersion, il n'en est pas de même pour le virtuel qui advient sur l'écran d'ordinateur. Parce que le corps est tenu en dehors du champ offert

au regard du spectateur, le dispositif du virtuel advenant par le cadre de l'ordinateur est une immersion qui ne dit pas son nom. Or, c'est précisément la nature immersive de l'image numérique visible sur l'ordinateur qu'il s'agit de souligner. Ni miroir, ni fenêtre, cet écran de verre invite à une pénétration imaginaire au cœur d'un territoire virtuel. De sorte que, même si le corps n'est pas sollicité, le navigant est cependant appelé à faire l'épreuve d'un parcours au sein d'un univers immatériel. Cette immatérialité dans laquelle l'image numérique advient est précisément ce qui lui tient lieu d'écran d'immersion, bien au-delà des apparences de frontalité que la plaque de verre peut entretenir. Quand l'image numérique apparaît dans l'ordinateur, elle ne se présente pas sur un cadre plat, mais se manifeste dans toute son épaisseur feuilletée, et sa porosité. Elle s'affirme comme territoire d'exploration, insaisissable dans sa totalité. Comprendre l'image numérique pour ce qu'elle est véritablement, ce n'est pas la penser à l'aune de la vitre cadrante de la machine, mais bien en s'immergeant dans l'univers abstrait qu'elle met en scène. Ainsi, l'image de synthèse, fût-elle réduite à sa manifestation sur écran de verre, instaure irrémédiablement un dispositif d'immersion.

L'immersion fusionnelle

La vigilance du monde de l'art, qui a pour vocation d'interroger les mécanismes du dialogue entre la perception humaine et le monde, n'est pas la loi générale qui régit la fabrication des images. Une tout autre logique règne au pays des visibilités qui habitent notre quotidien : affiches publicitaires, émissions télévisées, premières de journaux... Le

but assigné à l'image étant ici celui, mercantile, d'une maîtrise des imaginaires, la distance nécessaire au regard critique du spectateur est le plus souvent déconstruite avec habileté. Si bien qu'une histoire des heurts visuels auxquels les médias nous soumettent serait à écrire, bien que ce ne soit pas ici l'objet de la recherche.

Véritable contre-exemple, le dispositif d'immersion médiatique que propose une certaine télévision révèle par contraste le travail de construction critique mis en place dans les œuvres immersives. Multiforme, dans ce nouveau contexte, l'immersion devient l'invention ultime visant à confondre le spectateur avec une image-objet. Veillant à annuler la distance critique en immergeant les perceptions dans l'illusion émotive, le marché des visibilité obtient la réponse hypnotique attendue : la cécité du spectateur rend obéissant.

Semblable dans son ergonomie à l'écran de l'ordinateur, l'écran télévisuel propose également une immersion imaginaire. Toutefois, si l'écran télévisuel propose une immersion, celle-ci n'a ni les mêmes buts, ni la même structure que l'immersion rencontrée dans le monde de l'art. De l'immersion critique à l'immersion fusionnelle, c'est la posture du spectateur, *dans* ou *face* à l'écran, qui est envisagée différemment. Là où, par un écran accueillant, l'immersion critique construit une distance entre l'image et son visiteur, l'immersion fusionnelle veut au contraire combler ce vide généré par la part de manque qui constitue toute image, annihilant du même coup l'écart-écran entre visible et spectateur.

Pour parvenir à cette proximité aveuglante entre l'image et le public, l'immersion fusionnelle joue de différents facteurs. La première distinction entre les deux dispositifs d'immersion tient à la dimen-

sion sollicitée chez celui-ci. En effet, là où l'écran d'immersion du champ de la création avait pour mission de solliciter l'intégralité des perceptions du corps afin de déjouer la seule suprématie de la vue, l'écran télévisuel ne s'adresse qu'aux perceptions visuelles et sonores. Là où l'immersion critique mobilise l'ensemble des sensations du corps, provoquant ainsi une dynamique d'analyse réflexive, l'immersion fusionnelle fascine l'ouïe et le regard, cherchant à submerger le public, non plus de sensations, mais d'émotions. De la sensation, qui construit une posture réflexive, à l'émotion qui interdit le processus de compréhension et de verbalisation, c'est toute la maturité du regard du spectateur qui est en question. L'émotion est solitaire et impartageable, elle barre la voie à l'élaboration essentiellement dialogique du regard. Au contraire, pour que le spectateur parvienne à construire son regard dans l'écart, il a besoin d'être confronté à une image qui s'impose comme radicalement autre, extérieure, incertaine et énigmatique. Une image qui s'affirme dans toute sa singularité, comme un parti pris et un point de vue sur le monde, demeure irréductible. Se postant face au spectateur en tant que proposition provenant d'un autre, elle construit la zone-écran entre les deux regards et autorise le dialogue. Étrangère, elle est envisagée dans son altérité. N'étant pas intégrée mais regardée, elle génère la maturité du regard qui se confronte à la singularité d'un style. Or, dans un mouvement d'amnésie de ce qui fit les heures de gloire des agences du journalisme d'image, l'immersion émotive que propose le plus souvent la télévision contemporaine met en avant une image d'un genre nouveau qui se caractérise par son anonymat et une stylistique consensuelle. Ayant perdu son auteur et s'annonçant comme ►



[...] dans l'immersion fusionnelle, tout se passe comme si la zone-écran, qui construit la relation de distance entre le spectateur et l'image, avait disparu. Sans être pour autant plongé dans l'image (ce qui n'arrive jamais), le spectateur privé de cet écran constructif voit plutôt l'image plonger en lui [...]

► universelle, cette image n'oppose aucune singularité résistante à l'assimilation par le spectateur. Or, dépourvue de signature, une image n'assume aucune responsabilité d'auteur. Sans loi intime, elle ne reconnaît plus de limite à son pouvoir d'immersion émotive. Dès lors, on assiste à la promotion d'une image-document se voulant « preuve de vérité », qui nous dit bien que « cela a été », faisant l'impasse sur la source subjective d'un cadrage singulier, le choix fragile de l'instant de la saisie, la responsabilité d'un point de vue. *Simulatrice*, elle cache ses conditions de captation, afin de mieux faire adhérer à la légitimité anonyme et universelle de son message de vérité. Ce qu'elle présente comme étant l'invisibilité de sa source n'est autre que la concrétude de son contexte d'apparition : scénarios, montages, cadrages, financements. Elle instaure un dispositif fusionnel sans retour qui prend le spectateur au piège en se proposant comme une entité consommable et comblante. Si bien que, confronté à une image irresponsable, submergé dans un nuage d'émotions inhibant tout processus réflexif, le spectateur n'a plus les moyens de reconnaître la singularité d'un autre face à lui, et confond l'image avec sa propre part consentielle. Ainsi, dans l'immersion fusionnelle, tout se passe comme si la zone-écran, qui construit la relation de distance entre le spectateur et l'image, avait disparu. Sans être pour autant plongé dans l'image (ce qui n'arrive jamais), le spectateur privé de cet écran constructif voit plutôt l'image plonger en lui, sans parvenir à se prémunir contre l'impact

émotionnel que cette intrusion provoque. Toutefois, la télévision sait aussi faire d'autres propositions : preuve qu'il ne s'agit pas d'incriminer le média lui-même. La télévision propose de temps à autre des images capables d'articuler les trois instances du visible, de l'écart et du regard.

Une telle image sera « maniériste », signée, affirmant un point de vue unique et responsable qui appelle des réactions de la part du spectateur. Elle n'est plus une *simulation*, mais l'*apparition* d'un regard singulier et imparfait. L'auteur se positionne comme source d'un point de vue arbitraire, que seule sa signature légitime. Son cadrage, le choix de l'instant, tout ce qui signe son intention singulière, sauve l'image de l'anonymat, marque la distance et autorise la prise de position du spectateur. Celui-ci, face au regard de l'autre, parvient à inventer le sien propre, au gré des manquements avoués de cette image signée. Ainsi, de l'immersion d'art à l'immersion médiatique, nous retrouvons la duplicité de l'image. Soit l'image est monoface et met en place un dispositif fusionnel, soit elle est biface et se révèle capable de ménager une distance indispensable à l'avènement du regard du spectateur. Dans un cas, elle instaure une relation d'identification en miroir avec le spectateur qui l'assimile sans distance. Dans l'autre, elle s'affirme comme radicalement autre, incircriscrivable, tissée d'absence, provenant d'un ailleurs.

Conclusion

Envisager l'image à partir de la problématique de l'écran permet donc de distinguer deux types de dispositifs visuels, chacun étant porteur d'enjeux antagonistes. Là où un écran biface autorise une image tendue vers ce qui lui échappe, un écran monoface joue des dangers de la substitution, de la simulation.

Dans le cadre de cette analyse, l'étude des divergences entre l'immersion critique ou fusionnelle souligne cette ambivalence originaire de l'image qui peut tant être aliénante que constitutive de

la maturité des regards. Par contraste, l'immersion critique permet de comprendre la nature des dangers de l'immersion fusionnelle. En effet, là où l'immersion critique souligne en quoi il s'agit toujours de pénétrer *dans* l'écran pour maintenir la distance *face* à l'image, l'immersion fusionnelle signe l'effacement de la zone-écran, au profit d'une image irresponsable et adhérente, qui pénètre le spectateur contre son gré, via le canal des émotions. Travailler à repérer tant l'écran, que son effacement, c'est donc toujours veiller sur notre droit à la liberté du regard ■

STÉPHANIE KATZ

Titulaire d'une thèse sur « La représentation de la voix en peinture », Stéphanie Katz est enseignante en esthétique. Elle est par ailleurs auteur de nombreux documentaires sur la peinture et l'image, réalisés pour France-Culture. Elle collabore aux revues *Art Press* (Livres) et *Zeuxis*.

PUBLICATIONS

2004

→ *L'Écran, de l'icône au virtuel. La résistance de l'infigurable*, L'Harmattan, Collection « Ouverture philosophique » dirigée par D. Château et B. Péquignat.

Domaine de recherche : il s'agit de revisiter l'histoire de l'image, depuis l'icône jusqu'au virtuel, à partir du concept d'écran. Comprendre le virtuel comme résultant des métamorphoses successives des dispositifs de l'image ouvre le champ du numérique sur de nouvelles problématiques.

→ *L'écran comme médiation vers l'infigurable*, Revue *MEL*, *Médiation et médiateurs* (n°19).

→ *Tous les écrans de Matisse*, conférence publiée par l'École des Beaux-Arts d'Angers (en cours d'impression).

→ *Écrire l'image. Autour du documentaire « L'Origine du Christianisme » de G. Mandilhat et J. Prieur*, Revue *Zeuxis* (n°14).

→ *Quand l'œil-cinéma envisage l'œil-peinture, autour d'« une visite au Louvre » de J.M. Straub et D. Huillet*, Revue *Zeuxis* (n°14).

→ *Point de vue d'ici, par ailleurs*, catalogue Ulrich Polster, galerie Jocelyn Wolff.

2002

→ *Quand l'immémorial invente l'avenir*, Revue *Art absolument* n°1.

→ *Visiotime 1*, débat électronique entre P. Cagnée, P. Hurteau, P. Ardenne, S. Katz (Galerie Jean Boucher, Cesson-Sévigné).

2001

→ *Offrir le retrait*, catalogue JP Marcheschi Luc XXIII, 44 (Centre d'Arts de Royan).

2000

→ *River le soir*, Revue *MEL* 1900-2000 (n°12-13).

1998-99

→ *Images résistantes*, catalogue Philippe Hurteau, (Musée de l'Abbaye de Sainte-Croix, Les Sables d'Olonne).

1996

→ *Revue Art Press* : *Négocier avec l'invisible*, interview de M.J. Mondzain.

→ *Esthétique de l'immanence*, interview de C. Buci-Glucksmann.
→ *Souvenirs de l'Orangerie*, Revue *Verse* n°1 et 2, mars-avril 1996.

Jan
visible
au cinéma

▶▶ **Father times & mother spaces** **Généralités sur la question de savoir** **de quoi sont faits les films**

Dominique Lambert

Résumé Le langage et avec lui aussi le langage cinématographique sont devenus les objets de désirs triviaux. Toutefois, nous gagnerions beaucoup à nous battre contre l'injuste et absurde cohérence de bien des révisions historiques déchirantes en organisant la hiérarchie morale et fidèle de notre mémoire.
Paul Klee disait : l'Art rend visible les choses. Considérant la charge potentielle d'objectivité qu'il porte en lui, nous pourrions facilement grâce au cinéma faire nôtre cette affirmation. L'ambition de celui-ci étant de donner à la réalité un rapport dynamique, il se nourrit la plupart du temps des aspects et des formes différents de la vision. En dépit de l'augmentation constante du négatif et du moins*, la vision remplit le vide et le néant, si bien qu'à la fin, l'image demeure gravée : le visible immédiat a pris congé cependant que le voile est levé tôt ou tard sur le sens caché... Mais si l'illusion demeure dans tous les cas, cela n'arrive toujours qu'en termes de mise en lumière.

* Noam Chomsky, *La Fabrique de l'Opinion publique*, Pantheon Books, 1988

Abstract The language - and the cinematographic language too - both turned out to be objects of trivial desires. However, in order to fight against the absurd and unfair coherence of many tearing historical revisions, we'd bring a lot over organizing the true and ethical hierarchy of our memory.
Paul Klee used to say - Art makes things visible. Regarding to the potential charge of objectivity it carries along, cinema could easily make this proposition ours. Its ambition being to give reality a dynamic ratio, it feeds itself most all of the time with the different shapes and forms of Vision. And although negativity and minus constantly raise*, the vision fills vacuum and emptiness, and in the end the picture get carved : the on-sight is hiding while the hidden gets sooner or later unveiled... And if the illusion remains anyway it never happens but in terms an enlightenment.

* Noam Chomsky, *Manufacturing Consent*, Pantheon Books, 1988

► *Looping the loop* (Parcourir la boucle)

La plupart du temps, les voilà qui nous viennent, faits de rien ; de peu, certes, mais aussi de corps sans voix, de voix sans corps ; de l'observation, de la répétition affirmée, frénétique, que ce qui meurt dans le cinéma, comme le souligne Serge Daney, c'est principalement le fait qu'il soit parlant et que ce qui le déserte, c'est principalement la parole. Qui est devenue une langue de franchise, comme il existe des zones de franchise en termes de sphères d'économies de diamètres variables. De corps muets, voire mutiques (c'est égal), sur lesquels on coud avec plus ou moins de bonheur ou de soin journalistique un logos voué à l'aphasie. L'image et le son sont devenus un duo qui mime avec un bonheur fervent l'active décision – toujours rejetée à l'horizon – d'une possibilité, voire d'une volonté d'exister. En terme de comportement psychologique, cela a plutôt à voir avec l'automutilation, en terme d'économie, cette forme d'action est définitivement liée aux derniers développements de l'économie spéculative mondiale. Ce que l'on voit au mieux se révéler, ce sont des espaces fictionnels surveillables – et surveillés... En s'inspirant directement du chaos social tel que Fritz Lang le met en scène dans *Mabuse der Spieler* par le biais de tous les artifices possibles et exploitables, y compris par le retournement de ses acteurs, l'idée est double : il s'agit ni plus ni moins de tenter d'accréditer le principe économique selon lequel tout est possible, en cachant au moyen d'outils idéologiques élaborés (écrans de tailles diverses, d'épaisseurs variables, de dimensions élaborées) que la fin justifie les moyens, concept au demeurant tout à fait lié il y a encore quarante ans au bolchevisme et à l'idée de révolution sociale communément

répandue à la fois dans le prolétariat et la bourgeoisie. C'est donc ainsi que, toute honte bue, le discours mondial s'organise, que les vents de crétinisation et d'extermination morale changent de cap, passant d'est en ouest, soufflant vite et fort, ne laissant plus sur place que les images du consumérisme généralisé avec leurs images et leurs sons liés, filtrés et cardiaquement organisés. Nos écrans ne sont pas des écrans radars, mais bien au contraire les lieux de précession du réel et du simulé dans une course-poursuite dont la règle du jeu n'est disponible qu'à la requête des plaignants – si jamais la plainte en référé a par chance abouti. Faute de territoire et pour en avoir sans doute été chassés ou dépossédés, il nous reste bien sûr toujours la carte – et même peut-être encore la *Magna Carta* elle-même. Il n'est pas sûr que, si selon Marshall McLuhan, le contenu d'un médium est le médium précédent, le contenu visible de la télévision soit la radio – qui a depuis peu cherché elle-même à consolider ailleurs sa forme lisible (presse, jeux, cinéma). L'histoire du cinéma est-elle après tout essentiellement une histoire muette ?

Il y a quelque chose de particulièrement étonnant dans le *making-of* de *Ran* par Chris Marker. On y observe Kurosawa traverser en berline la foule des figurants, armuriers, artificiers, conseillers, techniciens et assistants, pour se rendre en un point qui n'est pas toujours celui élu par la caméra, mais serait bien plutôt celui duquel le dieu vivant voit, perçoit, analyse, sonde, interroge, décide et possède la connaissance tremblée du monde. Un tel point de permanence, le lieu où siège la divinité tragique dont le regard diverge et converge à la fois : c'est précisément celui choisi par Akira Kurosawa. Observatoire Kurosawa ? Observation de Chris



(...) l'accélération, la vitesse
traitent la vision comme
une matière première,
à tel point que la collision
ne peut plus être
qu'un élément séparé,
une déraison perçue
comme une injustice (...)

Marker ? On sait qu'il n'y eut guère d'échanges entre les deux sensei. Conjonction et disjonction, alors ? Tout porte à croire qu'au fond ces deux hommes ont longtemps mené

à travers leur cinéma une puissante réflexion sur la guerre, c'est-à-dire sur la façon qu'ont des classes sociales de mettre fin temporairement ou provisoirement à des conflits souvent saturés de grandes ambivalences. De telle façon que *Ran* répond à *La Jetée* et aux questions intemporelles de collectivité militaire en tant que gestion d'automates qu'elles soulèvent. Tous deux résument *e loco superiore* l'axiome bachelardien selon lequel on vit ce que l'on exprime. Et puisque nous parlons de spectacle, ce ne sont pas deux guerres menées à une dizaine d'années de distance chacune qui nous contrediront sur la question des parcours de boucles. Dépossession pluri-consensuelle, boucle de parcours...

La question de la standardisation des tâches techniques est un souci récurrent de l'industrie cinématographique à travers la diffusion de copies depuis la naissance du parlant, comme elle l'est pour l'industrie de guerre de la continuité cohérente des terrains ; l'accélération, la vitesse traitent la vision comme une matière première, à tel point que la collision ne peut plus être qu'un élément séparé, une déraison perçue comme une injustice ; mais il y a, par ailleurs, un tel désordre en nous, que nous ferions mieux peut-être de nous tenir à l'écart de nous-mêmes. *Naissance des désirs liquides*, peignait et commentait Dall, envahissants, occupants et dévoreurs d'espaces et chronophages.

Whodunit ? (Kilafé ?)

Quand Serge Daney dit des clips qu'ils sont « la gestion tonitruante d'une aphasie fondamentale », il met en évidence

l'état permanent de coïncidence rapportée, quasiment fantasmatique et obsessionnelle, entre le presque rien et le rien qui sont devenus l'état de fait cinématographique et dont la gestion culte est établie dans l'instant et pour l'instant. Car la forme est toujours dépositaire d'un sens auquel elle donne accès. À la façon lointaine dont le théâtre baroque élisabéthain répétait sur scène l'illusion de la scène, à la façon dont l'auteur des *Sonnets* installait au théâtre le théâtre lui-même, le cinéma contemporain élève à la puissance π le nombre de regards possibles dans la composition des plans et l'intervention des outils numériques dans le chantier continu du décor y compris dans la gestion quasi-chorégraphique des foules et des figurants ; il lie et intègre tout cela et plus quand il le faudra. Le cinéma après avoir proposé une continuité parfaite d'ambitions esthétiques et morales au monde, neutres ou mieux encore positives, vitaminantes et macro-sadistes, les branche et les connecte individuellement maintenant sur chacun. Éventuellement, en outre, pour le pire. C'est à ce titre que, peut-être, il a déjà même fait plusieurs fois le tour de l'infini. C'est à ce titre qu'il s'est toujours trompé et a activement trompé son monde comme à chaque fois qu'est utilisée la Parole contre le Verbe. Éclater de rire ne va pas suffire. Car, comme nous avait déjà prévenus Goebbels : « Plus c'est gros, plus ça marche. » Cette formule, mais c'est le titre de cet hymne qu'une bourgeoisie sans rêves a commencé de nous ►

► jouer... Vacuité nihiliste et consumérisme technologique en composant l'ouverture, encore en cours d'exécution. Qui ne souhaiterait pas composer la foule des auditeurs qui applaudiront le zénith d'une pensée mongolienne ?

Doit-on alors continuer à se poser la question de savoir ce qui se passe aux étages supérieurs ? Certainement, mais celui qui sait répondre à ces questions (le plus grand carré ou le plus grand écran du monde a-t-il encore un angle ou, *plus ambitieusement*, qui donc l'a fait ?) possède déjà l'entrée du Paraclet, la clef symbolique de la porte ouverte au Palais Fermé du Roi.

Breaking the waves or the rules ? (Briser les vagues ou les règles ?)

Briser les vagues, c'est briser l'encerclement, c'est rendre à l'impact sa force initiale, se retrouver aussi près que possible dans le temps du moment de l'attaque. Perspective sociale ou économique ? Divertissement masochiste ? Non. C'est, brièvement résumé, le *Launch on Alert System* (système de lancement sur alerte), mécanique d'auto défense prédictive (c'est-à-dire système à 100 % offensif...), menant à la mise en œuvre de la fameuse *Doom's Day Machine* (ou machine du Jugement Dernier). Stanley Kubrick l'évoque, l'anglais Stephen Frears en précise les effets dans *Point limite*. C'est un système au fond assez proche de la vie, du fonctionnement parfois à caractère pseudo-schizo-phrénique de la nature elle-même, effets de dévastation totale mis à part. Outil sacrificiel, outil cultuel et idéologique (la perte de presque tout est préférable à toute négociation sur la question de l'intégrité de son propre territoire ; il n'y a pas d'outils de temporisation ; la nation comme dieu

est une et indivisible). Rayer de la carte, c'est la mettre sous rayons. Passer du graphisme pur à la physique, à travers la politique électronique. On ne peut rayer de la carte sans rayer la carte elle-même, voire l'oblitérer tout à fait.

Le spot n'est pas – s'agissant de lumière – à proprement parler la tache. N'importe quel radiologue vous le confirmera. C'est la mise en ombre qui génère l'acuité du diagnostic, le contraste, la qualité de rendu des différences spectrales, le dégradé des gris, la taille de l'échelle. C'est l'unité spectaculaire de la vision unitaire.

Si c'est immense, cela ne coûte rien et ne doit rien coûter, puisque toute distance approchée tend vers zéro. Ciblage des *milieux énigmatiques* (il s'agit de lieux dont le contenant n'est plus indépendant du contenu – cf. Paul Virilio, in *L'espace critique*), qui conduit donc à la fabrication industrielle d'un *immatériel de guerre*, sorte de développement logiciel multi-tâches à *n* entrées, *n* fonctions et à *n* opérations simultanées et décidant de manière autonome du cours de l'histoire, de la marche à suivre, des conclusions logiques. S'agissant, comme le souligne encore Virilio, de sauver la matière d'une absence de sens, mais grâce au seul outil précaire de la volonté humaine, réduite au pouvoir décisionnel de quelques uns, la tâche a toutes les chances de nous échapper.

Si le point est l'intersection de deux droites, non seulement dans le plan mais aussi dans l'espace, le pixel, qui lui est vaguement apparenté, est toutefois d'une toute autre nature. Cette dernière semble être double puisqu'il est le point en tant qu'objet de calcul ainsi que sa représentation figurée dans le plan. Cette précision supplémentaire sera d'une aide incomparable dès lors qu'il s'agira de réintégrer ce point dans son lieu

géographique d'origine si jamais il en possède un, ou bien encore de l'intégrer en milieu étranger à toutes fins de tester en milieu spéculatif l'effet de sa présence. Simulation stimulante, stimulation simulante sont les arcs-boutants de la nouvelle prospective politique dont le cinéma est le champ d'expérimentation, l'espace à zéro dimension, comme lieu de la pensée génitrice, mais plus encore comme lieu d'existence et de réalisation de tout un monde d'objets, est encore l'affaire du degré de résolution – cette notion bien connue de tous les utilisateurs de capteurs, optiques ou sonores, soumettant leurs mesures à différentes échelles de valeurs. Effets de séquences de captations, de pénétration des micro-espaces constituant les fréquences d'un spectre, genèse de la perception du décalage temporel, entretien généralisé de situations euphoriques par leur répétition calendaire, bouclage du bien-être comme du malaise psychologique, corruption de la perception objective du déjà-vu par le commentaire journalistique, comment ne pas voir que tout se joue déjà dans la manipulation des décors? Nous sommes entrés dans le temps différé cinématographique à l'intérieur duquel l'instant peut être perçu comme délai et où celui-ci fera aussi figure d'instantanéité. Il n'y a pas un objet du quotidien auquel ne puisse lui être substitué son image plane avec autant de chance de ne pas altérer sa fonctionnalité. Arrêter le mouvement pour lui substituer une image fixe (stroboscopie et/ou téléscopie) ou faire d'une image fixe un substitut spéculatif du mouvement (dromoscopie), faire de chacun un pilote d'appareil furtif est l'enjeu d'une cinétique culturelle du nouveau projet social. À partir de là seulement peut se jouer une révision de la construction de l'histoire ou plutôt sa réécriture déchirante. À ce titre, les films *Matrix* et

Matrix Reloaded sont les images simulées cinématographiquement d'une proche dromoscopie qui pourra bientôt montrer le Saut de la Mort sans la mort, l'abstraction réelle du mouvement du corps en l'injectant dans le vide. La guerre même dans ses formes les plus violentes et les plus meurtrières demeure avant tout la ruine d'un projet. C'est sous un aspect tout aussi violent que se traitent les marchés. Mais il se produit toujours un retard, décisionnel, militaire, technique, si bien que ce qui fonde aujourd'hui la compétitivité sera une gestion-vite opérée par les gens du spectacle dès demain... matin. Le 14 août 2003, un événement identique touche simultanément plusieurs villes d'Amérique du Nord et du Canada. De telle sorte qu'il est impossible de ne pas relier les événements entre eux. Panne générale d'électricité sur New York, Detroit, Toronto et Ottawa; des villes dans le noir, des villes peut-être plus aveuglées qu'aveugles. Le maire de New-York, au cours d'une déclaration aux médias, se borne à insister sur le fait qu'il ne s'agit pas d'un attentat terroriste. De quoi s'agit-il alors, après l'arrestation de l'auteur de deux grands attentats particulièrement meurtriers en extrême orient à peine quelques heures auparavant? Test en taille réelle? Mais *quid* de la simultanéité de l'événement dans plusieurs villes à la fois? Et test de quoi, de quels paramètres urbains? Phénomène de surchauffe, de disjonction? Mais, dans ce cas, une ligne équithermique devrait relier l'ensemble de ces villes, ce qui n'est pas le cas... On peut imaginer qu'une très grande quantité de documents vidéo amateurs seront produits en tant que témoignages, pièces analytiques, pièces d'accusation aussi contre d'éventuelles incuries, car les *side-effects* (les fameux dommages collatéraux) n'ont pas été mesurés, dénombrés à ce jour. ►

► L'absence d'énergie, d'électricité, donne à toute ville une forme de pré-décombre, de contre-ampleur. À quoi et à qui sert cette vacance d'électrons ? Répétition ? Simulation ? Effet-domino ou attaque réelle ? Confrontation entre le principe des adversités internes et externes, police et armée ? FBI et CIA, *heroes and villains*, policiers à roulettes contre antigang ? Façon de rouvrir le dossier des X Files ? Dans *Mabuse der Spieler*, encore une fois, Fritz Lang montre l'attaque par la grande criminalité des centrales d'énergie comme le premier objectif de déstabilisation et de mise en inertie de l'adversaire dans une guerre de classes. Il est difficile de ne pas lier ces événements à la faible lueur de la dernière apparition diffusée mondialement du chef de l'état nord-américain George W. Bush Jr., apparition en clef de voûte d'une ogive elle-même faite d'appareils de chasse F-16 de l'US Air Force, organisés et rangés dans une perspective d'arcs-boutants de cathédrale en plein air, perspective en général assez chère aux glapisseurs de dieu. Il ne fait aucun doute maintenant que la lumière soit la vitesse-étalon. Et moins de vingt quatre heures après les incidents, le président des États-Unis d'Amérique du Nord, jamais en défaut du moindre acte de fin, pointe du doigt la source potentielle des troubles: Niagara Falls – *the place where the shit hit the fan*. Le vieux Hitch exulte, bien sûr ; se souvient-t-on de son rire ?

The permanent Tit's Entertainment (La dévolution de la sollicitation sexuelle permanente)

Dans son essence, le télé-coût dérive des pratiques de *safe sex*. Personne ne craint plus personne, puisque le danger de corruption du corps se trouve

par essence évacué devant l'immatérialité du partenaire. Il ouvre en outre la porte à la grande ambition de la technologie pornographique à venir: le sexe simulé en trois dimensions (très prochainement sur le marché), la promenade obscène entre les corps en action, en observateur actif pouvant choisir la taille des plans et leur répétition. En d'autres termes, fourrer le coup sans le férier. Il préfigure et annonce l'immense séparation future du corps par lui-même qu'est le clonage humain, son aspect d'absence/présence, de miroir schizophrénique. Et aussi la praxis de la jouissance par étapes ininterrompues. La séparation active de ses fonctions par multiplication du soi et le gain de temps qui en résulte, c'est-à-dire l'augmentation de sa propre vitesse sociale. Gestion de l'existence à travers les pluri-moi (la personnalité vue comme un possible dans une perspective d'équivalences) comportant des solutions logicielles ou des aides en ligne sur Internet, des téléchargements de pseudo-personnalités (dont la formule, jusqu'alors seulement présente dans la presse *people*: «Machin (Machine), lui (elle), baise comme un dieu» n'était qu'une prémisses publicitaire engageante...), gros-marché à bâtir et à prendre.

Hors de cette industrie, bien sûr, le film *Existenz* traduit des balbutiements, des errements ou plutôt des confusions, des errances informatiques, des *bugs* de programme, en d'autres termes une aporie génitrice qui ne se produiront sans doute même pas. Resté posé le problème d'une méta-chirurgie adaptative d'interfaces. Elle se promène, d'*Existenz* à *Terminator 3*, de l'arrière-salle de boucherie – un garage – aux lieux d'exercice de la technologie de pointe incluant l'implantation, entre autres artifices, de tissus cellulaires auto-générateurs en cas



[...] on peut déjà dire
du sexe, cet or rose,
cette autre ceinture de fer,
la même chose : c'est une
marchandise trop peu
coûteuse pour en faire un
jour baisser le prix, tant elle
est l'énergie renouvelable
par excellence [...]

un jour baisser le prix, tant
elle est l'énergie renouvelable
par excellence qu'il s'agit de
gérer au mieux des demandes
du marché, compte tenu
de quelques rares politiques
d'embargo.

de lésion. Ici, l'équation libération de l'énergie sous sa forme de vitesse de libération = équivalence et vitesse du profit trouve ses applications *individuéés*. Qu'est-ce qui dans ces évocations à peine fictionne répond pas à la formule de l'été 2003, année des vacances qui se doivent d'inclure (pénuries, morts prématurées causées par l'hyperthermie épidémique à l'échelle de la formule nationale néo-citoyenne – cette hymne – *chacun pour soi*, incendies, attentats ou *teknival* aidant) des *exercices d'alerte civile: familial, authentique et super* (conclusion –textuelle– d'un journaliste de FR3, journal de 12 h le 15 août 2003)? Le degré d'authenticité, mesure de la misère aliénée, de la pauvreté qui n'est plus lisible et dont une partie de l'humanité en souffrance est spoliée. On ne voudrait tout de même pas qu'il aient encore des concepts, si? La lumière revient en cas de coupure, demeure même et tend vers la stabilité prétendue des fluides, mais pas la respiration à l'asphyxié. La micro-synthèse de l'effondrement intérieur, test de modélisation de la délinquance / obéissance civile et *métaphore officielle de l'orgasme*, permet de bâtir pierre après pierre les principes d'une féodalité retrouvée. Comme il s'est dit, un jour où l'on bravait l'histoire des démocraties européennes, à la *Knesset*: Israël est un pays trop petit pour faire un jour la paix. Dans une perspective expansionniste libérale en tous points semblable aux aspirations de cette nation arrachée jadis à la barbarie occidentale, on peut déjà dire du sexe, cet or rose, cette autre ceinture de fer, la même chose : c'est une marchandise trop peu coûteuse pour en faire

***Through the dissolving view,
not through the looking-glass
(À travers la vue dissolvante,
pas à travers le miroir)***

Si le monde tel que nous le voyons est bien en train de passer, si un passage dans le champ est bien la venue d'une image, si une image de plus est la bienvenue toujours quelle que soit sa nature dans la vision du monde indifférenciée, c'est que nous ne pouvons presque plus convoquer ni passé ni au-delà de la mort. Cette civilisation du conduit, de l'abduction permanente, vécue à son origine comme un bienfait divin, tend à se séparer ou bien plutôt ne trouve son sens que dans la séparation et le deuil de la pensée. Si nous envisagions jadis le raccord de plan comme une ellipse, comme un saut dans le récit qui accompagne vraisemblablement même la naissance de l'écrit, comment considérer maintenant le fondu électronique (*dissolve*) complexe, multicouche et vario-chromatique et surtout volontairement déréalisant parce que non-natif? Une des raisons est sans doute une profonde méprise entretenue institutionnellement et s'auto-entretenant aussi pour son caractère gratifiant. En effet, quand Marcel Duchamp déclare que *ce sont les regardeurs qui font le tableau*, on peut être sûr que ce n'est pas pour autant qu'il répète sous une forme à peine déguisée l'axiome ►

- isothermique selon lequel tout est égal à tout. C'est plutôt qu'en vraisemblable disciple de David Thoreau, il considère l'interprétation comme un droit individuel et collectif à la fois, auquel il n'y a, éventuellement, rien à ajouter (*no comment...*). L'exercice de la démocratie n'est pas la démocratie et il serait déloyal (*unfair*) voire anticonstitutionnel de substituer l'une à l'autre. Par ailleurs, la question de la pertinence reste fondamentalement posée, ouverte. Si l'activité de récit consiste, comme le rappelle Paul Ricoeur, en la construction d'ensembles temporels cohérents, c'est que cette *environnementance* organise à elle seule le sens dans le temps, à l'inverse de ce qu'affirmait absurdement Valéry et qui ne pourrait se dire que de l'orgueil placé en banque, puis vite décoté : *tout ce qui n'est plus est faux*.

Rosebud, cette inscription du dessaisissement et de la perte, gravée dans le bois du traîneau d'enfant de Charles Foster Kane, achevant de se consumer dans une cheminée de Xanadu, elle, est vraie. On peut s'accommoder du néant éternel, dit Woody Allen, pour peu qu'on ait le costume adéquat.

Good and Evil, Stealthy and Static (le Bien & le Mal, le Furtif & le Statique)

L'apprentissage des gestes passe inévitablement par la description de leur fonction, la définition de leurs contenus et la pertinence qu'il y a à les restituer au monde, à les produire et reproduire. Encore faut-il qu'ils entrent dans notre champ de perception et que nous nous en accommodions, physiquement ou au moyen d'outils d'amplification liés à la saisie globale des formes en deçà ou au delà du visible. L'espèce humaine n'est pas parmi les

mieux dotées du point de vue de la sensibilité comme de la bande passante de ses cinq sens. Elle doit en plus faire face depuis une trentaine d'années à certains effets de retour que son économie génère et qui altèrent de manière inquiétante ses propres conditions d'existence déjà menacées par une répartition inique des richesses mondiales. Le tracé de l'axe du Mal coïncide étrangement avec celui des anciennes Forces de l'axe de la seconde guerre mondiale à ceci près que ce ne sont plus des nations qui sont mises en cause directement, mais la présence de groupes terroristes unifiés au moins provisoirement par une *Jihad* polluant ou manipulant des États au nom d'un pan-islamisme attaché à l'idée d'une durée historique unique, violemment anti-occidental et dont un des points forts est la mise en état de veille technologique des nations arabes au moyen de la coercition religieuse. Localisation intra-territoriale dosée à la surface du globe (Europe, Afghanistan, Pakistan, Iran/Irak, Philippines), mise en scène des simulacres, camouflage terroriste des moyens et des outils techniques, essaimage de la violence idéologique à l'égard des populations civiles, autant de signes ultra-alarmants auxquels l'Europe – qui a déjà payé, tous comptes faits, une part considérable et vraisemblablement aussi importante en attentats « aveugles » que les États-Unis avec les *Twin Towers* – ne répond pas (ou à peine) par une collaboration dédaigneuse. On peut raisonnablement se demander si, toute occupée à fortifier sa puissance économique, elle n'a pas fait depuis longtemps le deuil de sa sécurité stratégique militaire. Moyens maritimes à peu près nuls ou surannés, porte-avions sans hélices ou sans avions, défense aérienne dont la moitié des appareils demeurent cloués au sol faute de pièces

de rechange, moyens terrestres réduits à ceux de la Force d'intervention Rapide, soit tout au plus 4 à 5000 hommes équipés de blindés légers, armée de 250 000 hommes installés et enterrés sous et derrière l'observation de l'ancienne politique des Blocs et digne de l'efficacité d'une ligne Maginot... L'Europe est en outre incapable de résister aux objectifs d'infiltration et de contournements juridiques auxquels elle doit faire face, tant ses objectifs économiques semblent prioritaires, tant elle a cessé de se penser à l'issue des guerres néo-colonialistes en termes de sphère d'influence. Par ailleurs, la « découverte » en Russie à la mort du communisme de l'existence d'une classe sociale proto-maffieuse directement issue de la bureaucratie stalinienne et poursuivant par les mêmes moyens qu'elle utilisait jadis (appropriation, mensonge, chantage) sa stabilité hégémonique active à la tête de l'état fédéral qu'elle a hâtivement construit, la plonge dans une valse-hésitation pathétique, mais historiquement stable parce qu'assurant une continuité *aveugle*.

L'écran total nord-américain, au delà de la technologie qui fait parallèlement aussi de lui un outil incomparable en matière de saisie et de traitement d'informations, est, qu'on le veuille ou non, la réponse humanitaire au système barbare dit « de bouclier humain » ou de prise d'otages. Il entérine le fait qu'il n'y a pas d'autre possibilité que militaire à la poursuite de la méthode de production qu'il a choisi. Il offre néanmoins l'intérêt d'être un système communicant (donc parlant et écrivant sa langue propre et capable de déchiffrer ses signes), au moins à caractère bi-directionnel, quand la menace terroriste, elle, ne saurait dans sa pratique de contrat forcé souffrir d'intégrer la moindre idée de dialogue avec l'arme-otage. Parlez

moi d'impacts, que je déploie mon parapluie blindé, dit en quelque sorte le militaire au soldat fou de dieu (*feddayin* ou *moudjahidin*), avant de céder le premier plan sonore au commentaire autorisé du journaliste qui vient, lui, de déployer l'antenne-parapluie de la liaison satellite et commencera sûrement son *temps d'antenne* par la formule consacrée : *derrière moi se trouve...* À la permanence de ces *Voix abandonnées* du poète argentin Antonio Porchia (*le beau se trouve en remuant des débris...*), le mythe sans cesse actualisé de la Fata Morgana (du cap Fugitif ou encore de la Côte du Pays des Nuages), du mirage, de la cité invisible d'Avalon, ultime demeure de Morgane et plus généralement métaphore du franchissement des apparences (comme le fait remarquer à très juste titre Mamoru Oshii le réalisateur japonais d'*Avalon*), répond après chaque question de manière non-contradictoire, même sous ses formes martiales, à quelques unes au moins des plus essentielles de nos interrogations : en quel lieu placer le Paradis Perdu, où sont le Haut et le Bas, *sommes-nous*, comme se demandait Mondrian, *rassasiés du tragique de l'aube*, la science avance-t-elle en retirant du sens pour précisément le redéfinir ? Ne sommes-nous pas en train d'assister, parallèlement au cadastrage du monde, au remplacement d'une culture viciée par une culture mutilée ? À l'instar d'une avionique furtive qui a déjà dix ans d'âge, le fondement de nos existences est devenu instable, potentiellement en décrochage constant et seule la nécessité d'un rééquilibrage permanent semble nous occuper jusqu'à l'obsession. Sans doute commençons-nous à entrevoir ce que nous allons devoir laisser derrière nous, ce dont nous allons devoir nous absenter pour nous garder tout simplement en vie, ni plus ni moins. ►

- Mais à la différence de cette même avionique bien réelle, nous n'avons pas encore créé – et il n'est pas sûr que nous sachions jamais le faire – les capteurs assurant équilibre et vitesse de vol, c'est-à-dire meilleure répartition des richesses, volonté collective d'être *souverainement* concernés et variabilité de l'intensité de notre présence au monde, véritable dialectique de l'essence et de l'apparition.

Quant à l'apprentissage des gestes furtifs, la cryptographie quantique vient de nous livrer un secret de fabrication qui renvoie la vieille *Enigma* aux temps de la pierre taillée – ce premier support de codage... Mais ce que nous devons garder en mémoire, c'est qu'à Eaton, l'immense et délicat Thomas de Quincey, alors fort cancre, parlait déjà le *Zyph*, dont à peu près personne ne sait rien, c'est-à-dire dont chacun ignore tout.

***Father Times & Mother Spaces :
Out one /spectre on Ground Zero
(le Père les Temps & la Mère
les Espaces : Out one /spectre
au Rez-de-Chaussée)***

La langue française ne permet pas de traduire avec assez de justesse et le moins de lourdeur à la fois la célèbre dualité sortie du *Finnegan's Wake* de James Joyce autrement que : *le Père les Temps et la Mère les Espaces*. De l'union de ce couple (fondateur d'une Genèse complexe ?) naît vraisemblablement quelque chose qui ressemble à l'espèce humaine, mais où et quoi ? Et à quelle intersection des durées, sans origines ni fin, et du volume qui les contient tous ? Cette quête a-t-elle le moindre sens à l'intérieur de la nouvelle pathologie citoyenne dans laquelle,

institutionnalisée, la fureur de vaincre remplace celle plus légitime de vivre ?

Dans *La Part Maudite*, Georges Bataille voit dans l'Islam, entre autres formes d'idéologies religieuses dominantes, le désir constant de l'accumulation des forces disponibles au même titre du reste que le capitalisme ; au moment où une entreprise qui ressemble à une volonté hégémonique à peine cachée engage « la force vive de la communauté » comme dans son passé « sur la voie des appropriations, des conquêtes, des dépenses calculées, qui ont l'accroissement pour fin », avons-nous affaire à la réorganisation, comme par le passé, d'une congrégation de sociétés de consommation ? Mais alors, dans cet étrange avenir, comment faire vivre un monde, une organisation sociale dont les bénéfices seraient plus légers que les déshabillés de Louise Brooks ?

The extra-quick lunch (1917) est un des premiers films d'animation que je connaisse. Son auteur, le cinéaste nord-américain Charley Bowers, développe une scénographie extrêmement dépouillée à l'intérieur de décors quasi symboliques, à peine esquissés, scénaristiquement toujours très proche des travaux de Bud Fischer ou de ceux des *comics* comme *Krazy Kat*. Chaplin s'inspirera sûrement plus tard de ses films, mais en leur injectant le pathos parfois assez irritant qui le caractérise. Bowers a aussi pratiqué avant la lettre l'art du détournement (comme ce moteur à explosion qui, tel une couveuse, donne naissance en temps réel à des poulets à croissance rapide) ou du collage en mouvement (croissance d'un arbre à chats). Le rythme rapide de ses films (tout à fait indépendant du fait qu'il tourne en image par image) ressemble à la frénésie d'une course-poursuite, à celui des *rag-times* exécutés par les pianos



[...] le mode d'échange
basique entre civilisations
et mondes, celui de
la décomposition
du spectre lumineux lié
à un accord parfait,
accessible par récurrence
à ceux qui possèdent
nécessairement la maîtrise
du déplacement sidéral [...]

pneumatiques du compositeur mexicain Conlon Nancarrow. Il a indiscutablement partie liée avec le cinéma scientifique tel que le développera trois décennies plus tard le cinéaste français Jean Painlevé qui fit du ralentissement de la vitesse du film dans la caméra le moyen de description des parcours des corps microscopiques. Mais il faudra attendre presque cinquante ans avant que le cinéaste d'animation tchèque Jan Svankmeier reprenne à son compte l'ensemble de ces expérimentations et que très vite David Lynch les intègre à sa propre cinématographie, créant à partir de la notion de dépense de soi un véritable *parcours* de sa mise en perspective abstraite, un *brain's instant movie*. Au début du siècle dernier encore, l'idée de la vitesse (et pas seulement celle du déplacement humain) nous est donnée par le bruit, ou plus précisément une relation bruit/rythme, bruit/cadence, privilégiée : celui du galop du cheval. L'introduction du moteur à explosion n'y change étrangement rien comme le prouve la relation cheval/vapeur, tension musculaire et compression gazeuse, qui ne définit que la puissance motrice, le *horse power*. Bientôt les corps, les états et les fonctions sont dits vite. Mais la vitesse de déplacement des électrons dans un corps conducteur passe elle-même assez inaperçue. Et pourtant, elle constitue encore aujourd'hui la barrière infranchie de la vitesse de croisière de la quasi-totalité de nos échanges. Il faut à nouveau attendre le *bang* caractéristique du franchissement du mur du son pour nous retrouver en face d'une nouvelle mesure-étalon, mais qui n'aura pas d'incidence autrement

que réglementée sur notre univers sonore. En revanche, dès l'apparition du laser, nous avons pu comprendre que l'enjeu de la vitesse est lumineuse, que celle-ci est devenue en elle-même un vecteur. Le réalisateur de *Rencontres du troisième type* énonce d'ailleurs

dans son film le mode d'échange basique entre civilisations et mondes, celui de la décomposition du spectre lumineux lié à un accord parfait, accessible par récurrence à ceux qui possèdent nécessairement la maîtrise du déplacement sidéral et ont, de surcroît, le sens de la visite.

**Whenever Freedonia will rule
the waves... (Au moment où Freedonia
règnera sur les ondes...)**

Invariance masochiste : comme depuis longtemps, tout est là, à portée.
Invariance masochiste : inatteignable.
Invariance masochiste : c'est sans importance.
Leni Riefenstahl, cinéaste allemande et égérie du nazisme, a filmé sa vie durant – qui n'est peut-être même pas à ce jour consumée – la pratique de quelques milieux extrêmes (sport de masse et compétition physique en tant que victoires sur la distance au moyen de l'exonération progressive de la durée ; alpinisme aristocratique dont le but n'est pas de s'affranchir de la hauteur, mais de mettre à plat, de rendre horizontale la verticalité, plus précisément l'accident cartographique alpin). Au travers d'une esthétique figée et statuaire d'une connotation atroce, arrogante et raciste, elle a jeté les bases d'une relation à l'image que tous –

► y compris ceux qui faisaient l'objet de sa haine raciale proverbiale – se sont empressés d'exploiter et d'amplifier dans le sens d'une mise en spectacle abyssale dont nous ne parvenons pas à émerger. D'un autre côté, dans le cas malgré tout assez probable où « la vision de la lumière en mouvement sur l'écran aurait remplacé la recherche de tout mouvement personnel » (Paul Virilio, in *Esthétique de la Disparition*), le cinéma lui-même serait devenu le lieu par excellence de l'abrogation des diversités de la vitesse, de la possibilité infinie de variations chronologiques (moteur narratif qui a fondé en partie ce joyau d'écriture du XIX^e siècle qu'est le roman noir). Force est de constater qu'il est apparu (en dehors de ses caractéristiques techniques) de nos jours comme le lieu de la perte à la fois de la continuité et du mouvement continu, de la recomposition (en s'extirpant de lui-même et par les soins affairés qu'il s'est lui-même prodigué) d'une multitude d'arts et d'activités artistiques qu'il a ni plus ni moins enrôlés *sous pression*. Et comme le chef d'orchestre, qui à la fois canalise son public et dynamise ses musiciens dans un mouvement unique et ambigu (retenir et lâcher relèvent d'une gestuelle contradictoire et d'un codage éprouvé), comme le *maestro* – tel une épigraphe de l'œuvre – gère et gèle la relation à l'espace de l'auditeur, quitte à le clouer sur place en agitant le spectre embarrassant et fusionnel de la convivialité ou de la connivence forcées, la musique elle-même (quelques fulgurances poétiques du *trip hop* comme *Portishead*, quelques rares *explosantes-fixes* non-spectaculaires – voir *addendum* –, quelques *errata* ambitieuses mises à part) a expulsé du corps de l'auditeur la notion même d'écoute en la collant elle aussi à son fauteuil, en la ralentissant progressivement jusqu'à

l'inhibition du geste et du regard. Bref, en le projetant à son tour à l'extérieur de lui-même, en lui faisant oublier qu'il existe toujours une porte de sortie (dite même parfois encore *sortie des artistes*), en le faisant conclure par la formule décérébrée ambiante : *c'est génial, non ?*

Bien que devenant chaque jour un peu plus un fragile mortel, bien que jour après jour cette situation s'aiguise, je supporte chaque jour un peu mieux la peur sans aucune larme. Je mens, bien sûr. Car, *ce qui me manque*, dit Gottfried Benn, *c'est un traité du caractère domestique des axiomes, et une géographie des a priori, l'excuse climatologique de tant de poussière.*

ADDENDUM

Note à propos du cinéma de Martin Arnold

Dans un souci de justice, à la fois digne et provocatrice, j'aime volontiers arrêter l'histoire du cinéma à la *Soif du Mal* d'Orson Welles. C'est que l'année me semble bonne, vraiment assez riche en événements qui seront les prémisses de tout ce qui m'apparaît par la suite comme particulièrement critiquable sur le fond. Parce qu'il est sain d'organiser parfois un répit, même en soi, au moment où des industries se refondent et peu avant qu'elles ne reprennent leur offensive mondiale quelque peu prédatrice. Jusqu'à leur forme contemporaine de *marketing* agressif qui traite volontairement de manière indifférenciée l'objet et son « client » par la juxtaposition de concepts qui ne génèrent pas de sens, mais organisent et structurent le vide, le bluff et le manque. Or, le vidéaste allemand Martin Arnold n'utilise pas dans son film *Life wastes Andy Hardy* (La vie consume Andy Hardy) ce type de ressorts narratifs. Mais plutôt la répétition organisée de séquences courtes tirées de différents schèmes sociaux relevés dans quelques extraits de films – la plupart du temps assez anodins ou bien alors émotionnellement

très chargés : en bref la mécanisation d'actes comportementaux, du sentiment de déjà-vu et celui de déjà entendu qui lui est associé et synchrone. À ma connaissance, seuls trois autres cinéastes (David Cronenberg et les frères Wachoski et précisément dans les films déjà évoqués ici) ont déjà exploité cette notion que Freud donne au début du siècle dernier pour une manifestation de l'hystérie. Dans les deux films en question (*Existenz* et *Matrix*), il s'agit soit de bug de programme dont une ligne n'envoie pas au bon moment l'algorithme souhaitable pour l'un, soit pour l'autre la répétition du même plan (le passage d'un chat noir dans le décor durant une scène de poursuite à l'issue de laquelle les héros se feront passe-murailles...). Dans ces deux exemples, les plans ne sont jamais bouclés sur eux-mêmes, tout au plus peut-on observer le niveau le plus élémentaire de la répétition qu'est la multiplication par deux. Nous connaissons la force émotionnelle d'une mouvance musicale qui va de La Monte Young à Steve Reich et qui se dilue enfin de manière anodine et bavarde dans la perspective sonore et gestuelle de la musique *techno*. Ce n'est au demeurant nullement un hasard si le logiciel *Rebirth* (Renaissance !) permet à chacun de concurrencer l'essentiel de la « techno » en une heure ou deux de pratique soutenue. Il est assez intéressant de noter l'aspect symbolique que revêt la dernière manifestation de ce genre musical consensuel qui s'est récemment déroulé sur l'espace militairement contrôlé

d'une autoroute en cul-de-sac (*Dead end highway*). Ce qui arme, en quelque sorte, le cinéma de Martin Arnold, ce n'est évidemment pas l'observation en boucle d'une même séquence ou d'un ensemble de séquences, pour autant que le point de montage de chaque boucle soit parfaitement invisible. C'est la rupture de linéarité, de continuité juxtaposées à l'entrée du spectateur dans la propre temporalité du film, c'est l'idée qu'une solution de continuité narrative peut naître de l'organisation en mouvement par des micro-variations opérées sur notre perception de la durée. Entrée des spectres, certes, mais des *Spectr'acteurs* tels que les imaginait le poète Jean-Pierre Duprey (in *Dernière son Double*, Le Soleil Noir, éd.). *Andy Hardy* ne se contente pas de la répétition inerte du même à l'infini (*infinite or non-stop replay*). Le film est un corps qui tout entier respire et son souffle est visuellement perceptible dans son déplacement dans l'espace, dans le décalage temporel variable des boucles qui l'expulsent et le contiennent et qui deviennent enfin l'acteur unique et la synthèse de leur propre épure. Il rappelle l'ensemble animé, le bloc social formé par les Célibataires dans le *Grand Verre* de Marcel Duchamp qui lui-même les qualifie de *Pneumatiques*. Il nous oblige à réécrire l'axiome bien connu sous une nouvelle forme : pendant le temps, ce temps court. Martin Arnold, en tant que joueur de poker, même enrhumé, garde en mains le plus grand atout qui soit : la quinte, mais de tout ■

DOMINIQUE LAMBERT

Est né en 1951 à Paris et exerce depuis plus de 25 ans la profession de preneur de son. A travaillé en compagnie de Luc Perini, Denis Gheerbrant, Jean-Pierre Denis, Alain Jaubert et Pierre-André Boutang, sur Océaniques de FR3, sur de nombreuses soirées thématiques diffusées par la chaîne ARTE et sur le magazine Metropolis de Dominique Rabourdin. A participé régulièrement à l'Atelier de Création Radiophonique en tant que producteur délégué (Marcel Duchamp, signaleur ; 100 mille milliards de poèmes de Raymond Queneau, etc.). A réalisé *Le Voyage à travers le Grand Verre* (Beta SP, Arte, 1992), *L'Homme à Midi* (16mm N&B 1978). A travaillé pour l'INA, Radio-France, FR3, La Sept, ainsi que de très nombreuses sociétés de productions privées. Il est aussi le proche collaborateur du compositeur Jean-Yves Bosseur.

► Problèmes de spatialisation en son multicanal

Claude Bailblé

Résumé Avec l'invention du montage, le cinéma s'est émancipé de la scène frontale des origines, assemblant la suite de points de vue en une sorte de voyage spatio-temporel parfaitement centré. La diffusion monophonique –réellement ponctuelle, virtuellement omnidirectionnelle– a intégré le dispositif en aménageant une audibilité réduite, certes, mais totalement compatible avec les changements de plans. L'objet visuel y dicte sa place à la source sonore (in ou off). Aujourd'hui, le son multicanal se généralise dans le cinéma commercial, depuis –entre autres– *La guerre des étoiles*, *Les aventuriers de l'arche perdue*, *Il faut sauver le soldat Ryan*... Immersion spatiale, effets pyrotechniques ou telluriques, sons omniprésents, émotions garanties. Pourtant le système narratif mis en œuvre au temps du muet compose à l'écran un espace supra-directionnel (quoique toujours frontal) en désaccord possible avec l'espace sonore englobant (la « géode auditive » de la salle). On a cherché à résoudre les inévitables problèmes de scénographie qui en résultent en s'abstenant de croiser les espaces, en recherchant au contraire la convergence audio-visuelle. Il s'agit le plus souvent de retourner à la transparence du dispositif, tout en profitant habilement des possibilités expressives de la spatialisation. On pourrait aussi bien explorer la dissociation attentionnelle (œil/oreille), où se jouerait une nouvelle forme de montage horizontal, un peu à la manière du triple écran d'Abel Gance.

Abstract The invention of montage emancipated the cinema from its initial dependence on the frontal scene by assembling a sequence of points of view into a kind of perfectly centred spatio-temporal trip. Monophonic sound, technically of pinpoint origin but in effect omnidirectional, added coherence to the cinematographic set-up by incorporating an audibility which, though assuredly limited, was perfectly keyed to the succession of shots. The visual object dictated the sound's virtual source (whether on screen or off). Multichannel sound, as heralded by such films as *Star Wars*, *Raiders of the Lost Ark*, or *Saving Private Ryan*, has now become a general feature of commercial pictures. Spatial immersion, pyrotechnical or telluric effects, and wraparound sound add up to a guaranteed emotional impact. The narrative system established in the silent era, however, brings a supra-directional (albeit always frontal) space to the screen which is liable to clash with the surrounding sound environment (i.e. the auditorium as « aural Geode »). The inevitable scenographical problems that result have been addressed by avoiding any disjunction between spaces, indeed by actively seeking audiovisual convergence. This generally means hewing fast to the the goal of a transparent mechanics of exhibition, while seeking at the same time to take advantage as subtly as possible of the expressive possibilities of spatialization. It is wek worth exploring the disassociation of attention (eye/ear) by means of a new kind of montage, a horizontal montage, as it were, somewhat after the fashion of Abel Gance's triple screen.

C'est entre 1903 et 1915 – si l'on se réfère à l'examen approfondi qu'en fait Noël Burch dans *La Lucarne de l'Infini* – que les films s'émanent du « tableau autarcique » des Frères Lumière, tandis que s'invente un lieu scénique paradoxal, à la fois immobile et centré [l'écran] et pourtant sans cesse changeant, toujours provisoire [le plan]. Des vues de durée variable, des images de distances et d'axes divers se succèdent dans la fenêtre frontale pour raconter une histoire, sans le secours de la phrase ou du mot, sans s'embarrasser non plus de trop de sous-titres. Le montage – en jouant de l'ellipse et du raccord – tire le cinématographe... vers le cinéma. L'ellipse permet d'accéder au temps resserré et condensé de la narration alors même que le raccord en efface les discontinuités spatiales ou temporelles, sans couture apparente. Pourtant les collures se multiplient, les bobines s'allongent, le récit s'étend : on est déjà loin de la courte saynète des origines.

Un dispositif centré

La caractéristique essentielle de ce dispositif est bien de recentrer frontalement les morceaux d'espace-temps prélevés par la caméra, et de constituer ainsi le spectateur assis dans le noir en sujet tantôt « omniscient » (comme le narrateur, il voit sans être vu), tantôt « incarné » (il voit avec ou comme les personnages). Il ne s'agit plus seulement de resserrer le temps ou de démultiplier l'espace en une pseudo-continuité transparente, mais d'organiser ou de diviser les points de vue, et même de les faire vivre aux spectateurs¹. Émergent de ces dispositions trois pôles narratifs : le pôle *situation* (on voit la scène en entier, les

gestes et déplacements des personnages), le pôle *personnages* (on s'approche de l'un ou l'autre des protagonistes, on les suit en panoramique ou travelling), le pôle *subjectif (externe)* : visage en gros plan, on y lit les regards, les intentions ou les réactions ; *interne* : caméra subjective, on voit, on éprouve avec). Après *Naissance d'une Nation* [1915, D.W. Griffith], les cinéastes n'auront de cesse d'organiser leur mise en scène autour de ces pôles, soit pour diriger les attentes [montage parallèle : le spectateur en sait plus ou moins que certains personnages, voit évoluer simultanément plusieurs situations], soit pour enclencher les identifications [le spectateur vit les conflits, les désirs, les appréhensions de l'un ou l'autre des héros]².

L'art du montage devient de la sorte un art de la coupe, puisqu'il s'agit de hiérarchiser les durées allouées aux situations et aux personnages, de délimiter les moments significatifs, d'étirer ou d'écourter les ellipses, sinon de rythmer les instants décisifs attribués aux protagonistes (et partant, de susciter l'adhésion ou le détachement). Au-delà du lissage perceptif, le *montage-cût* accomplit aussi une fonction discursive en installant une connexion entre les plans (or, donc, mais par ailleurs, sauf que soudain...), Le spectateur accède ainsi à la pensée des prises en compte successives inscrite dans la suite des points de vue. Car la visée – à laquelle toute image s'adosse nécessairement – relève d'une intention narrative, d'une direction de spectateur. Tout dépend du contenu des plans [le jeu des acteurs, les inférences qui s'y attachent] et des coupes [les points de sortie et les points d'entrée]. Autrement dit, l'effet *Koulechov* généralisé impose une signification contextuelle et non plus isolée. Il en va de même pour les séquences ou les actes (grandes articulations,

¹ Les enchaînements des plans sont certes organisés pour s'accorder à la vitesse des pensées et émotions, mais aussi pour orienter les partis-pris, les espérances et les craintes, les adhésions et rejets.

² Voir à ce sujet le travail de Gérard Leblanc, « La mise en crise du montage narratif continu » in *Crise de la représentation dans le cinéma américain*, La Licorne, UFR Langues et littérature, Poitiers 1996. Voir aussi dans la collection « Image par image », *Birth of Nation*, 1915, D.W. Griffith. Réalisation : Gérard Leblanc, Nicolas Stern, 1987, 40' N&B documentaire. Production : Cinémathèque Française. Édition : Hatier-Femis-Quintette Films-La-Sept. Diffusion : CNC, Images de la culture, et également Bifi.



Tout se passe comme si l'on avait ajouté aux mouvements exploratoires de l'œil (internes au plan), ceux plus puissants – et forcément imaginaires – du point de vue (les « cuts »), sans renoncer pour autant à l'apparente continuité perceptive ni même à l'antique centrage de la skênè.

nouvelles données) à ceci près que ce sont les mémorisations et les émotions du spectateur qui construisent le film, en une sorte de montage intérieur. C'est dire à quel point le cinéma, tout en s'y référant, s'écarte de la perception ordinaire.

L'observateur humain dispose habituellement de trois degrés de liberté (biomécanique) :

- 1_ Les mouvements du regard, en permettant l'examen détaillé de ce qui nous fait face, composent une scène frontale centrée (comme la pyramide visuelle des peintres). C'est sur ce premier degré de liberté (l'exploration oculaire) que s'appuie et se fonde du reste *l'illusion de réalité* du système perspectif : les lancers et les excursions du regard sont à peu près les mêmes devant une fenêtre et devant un écran.
- 2_ Orientée spatialement, la tête définit un champ d'appréhension. Elle se tourne pour aborder un autre axe, ouvrir un autre champ. La scène est alors cadrée par les épaules et explorée par l'œil. Au cinéma, ce mouvement n'appartient plus au spectateur mais à la caméra (décadrage, panoramique) ou au montage (champ / contre champ, retournement instantané).
- 3_ Le mouvement des pieds : la possibilité de déplacer le point d'observation, de s'approcher ou de s'éloigner pour mieux voir. Là encore, le spectateur est dirigé par la caméra (travelling) ou le montage (changement de plan)³.

Le tableau autarcique des frères Lumière obligeait le spectateur à s'en tenir au premier degré de liberté : l'œil devait explorer la surface de l'image pour y découvrir les éléments constitutifs et mener son propre découpage. Cependant, il devenait difficile de « découper » en raison même du déficit de l'image 2D devant la réalité 3D. De fait, l'image rectangulaire

n'est pas un champ visuel rechargeable comme tel par le mouvement volontaire de la tête et des épaules ou le déplacement délibéré des pieds : le *off* reste désespérément vide. En outre, la visibilité n'est pas la même en gros-plan et en plan large ; l'implication du spectateur change lorsqu'un comédien joue de face, de profil, trois-quarts dos ou en amorce ; le mouvement – furtif ou lent – modifie la lisibilité ; la mise en perspective crée un étagement des données visuelles, de l'avant à l'arrière-plan ; les directions de regards, les déplacements sont, en vision coplanaire (2D), moins précis qu'en vision directe (3D). Il fallait suppléer à cette insuffisance de la vision bidimensionnelle, en multipliant les axes et les distances, en effaçant les temps morts, etc. C'est une des raisons, me semble-t-il, pour lesquelles le cinéma s'est écarté du théâtre filmé pour se rapprocher du roman, en (ré)inventant à sa manière les sauts dans l'espace-temps, soit un *quatrième degré de liberté* matérialisé désormais par les « cuts »⁴.

Tout se passe comme si l'on avait ajouté aux mouvements exploratoires de l'œil (internes au plan), ceux plus puissants – et forcément imagi- ►

³ Ces trois degrés de liberté, on les voit à l'œuvre quand un reporter à Telfût attend un événement qui ne vient pas et qui se passe en fait à un kilomètre de là, ou une heure après son départ. C'est cela l'observation humaine : le fait de choisir un point de vue, à partir duquel on peut, soit se déplacer, soit se réorienter, se rapporte toujours au prévisible et à l'imprévisible, à la complexité du réel.

⁴ En somme, l'écran polarise l'attention vers l'avant, ce qui correspond au champ spontané du spectateur assis ; les images qui s'y succèdent – multistatales, multiaxiales – s'approchent plutôt du flux frontalisé des représentations mentales.

- naires – du point de vue (les « cuts »), sans renoncer pour autant à l'apparente continuité perceptive ni même à l'antique centrage de la skène. Aux saccades du regard – vois-ci, vois-là – s'ajoutent alors les saccades du point de vue – vois d'ici, vois de là – en toute transparence. Les précautions de mise en scène (règles des 30° et des 180°, raccords de toutes sortes...) se chargent d'effacer les discontinuités gênantes, d'absorber les ellipses habituellement étrangères à la perception. Et surtout la continuité narrative et ses fils conducteurs (les intentions prêtées aux personnages, les horizons d'attente...) emportent le tout à la vitesse de la pensée, sans l'embarras de sautes ou de ruptures visuelles.

Sans aucun doute, la possibilité de bondir d'un lieu à un autre, d'un temps à un autre (et même de pénétrer les pensées) était déjà à l'œuvre dans la littérature. Mais c'est à une sorte de rencontre singulière entre mobilité imaginaire [le voyage mental], toute-puissance narrative [ubiquité et quandoquité], et prégnance de l'image [un plan frontal toujours centré], que conviait le cinéma muet, plus proche de l'imagination constructive que de la perception passive, en raison même des inférences et des mémorisations enclenchées par le montage. Effacée par l'apparente continuité temporelle des images, l'architecture discontinuée des points de vue racontait une histoire.

La monophonie : avantages et limites

Avec le cinéma sonore, la mémoire auditive vient compléter ou relayer la mémoire visuelle, en appui sur les dialogues et les sons *off*. Si le plan large

saisit les lieux, le déplacement des personnages, alors que le plan serré détaille les directions de regard et de parole, la voix et les sons *off* ouvrent et entretiennent un espace scénique beaucoup plus vaste, incluant les contre-champs à venir ou déjà venus. Déjà l'armature formelle du muet permettait de suivre en simultané – tantôt *in*, tantôt *off* – plusieurs actions, plusieurs protagonistes : on mémorisait le *in* soudainement devenu *off*, on le prolongeait imaginativement tandis que le *in* poursuivait sa provisoire progression. L'imaginé, le mémorisé et le perçu débordaient le cadre immédiat du plan.

Avec l'ajout de sources sonores, le montage va devoir, sans trop toucher à la structure formelle antérieure, composer avec une imagerie d'une autre nature, déclenchée ou entretenue par les sources *off*. Grâce au son, le lieu scénique excède l'écran, où règne la succession des plans, jusqu'à entourer *virtuellement* le spectateur, séquence après séquence.

On pourrait en passant étiqueter et distinguer cinq sortes de sources *off* :

- Les sources non encore vues (et comme telles, sujettes à des erreurs d'identification, sinon à des jeux voulus d'hypothèses ou de fantasmes).
- Les sources silencieusement aperçues (la mémoire visuelle prépare alors l'identification auditive).
- Les sources déjà vues et entendues, éventuellement hissées au rang d'indices, voire de symboles (on se rappelle, on fait jouer une interprétation contextuelle).
- Les sources en fonctionnement dans les plans précédents (la mémoire rapprochée leur donne une bonne consistance, sauf s'il s'agit de formes faibles ou très brèves).

→ Les sources qu'on ne verra jamais (lointaines ou proches). Elles peuvent se glisser aux limites du vraisemblable, jusqu'à voisiner avec des significations multiples.

À vrai dire, le spectateur localise en *off* – sur le mode cognitif et contextuel – des sons qui lui parviennent en *in* – sur le mode perceptif – depuis un seul et unique haut-parleur. L'image, spatialement prédominante, dicte aux sons une provenance en ou hors l'écran, avec le bénéfice d'une véritable extension scénique. Néanmoins, le hors-champ reste très approximatif, sinon très hypothétique, en termes de positionnement ou de localisation⁵. Le son *off*, assujéti au *in*, ne peut alors céder à la scène qu'une dimension, la proximité ou l'éloignement, inclus dans un volume acoustique. Encore faut-il que certaines précautions soient prises, au nombre desquelles la prise de sons fractionnée, l'étalement spectral ou temporel des sources, le filtrage ou la compression de certains objets trop bruyants, l'escamotage des ellipses ou des à-coups par une continuité sonore retrouvée.

Cependant la monophonie, aussi pratique soit-elle pour éviter le conflit de localisation avec l'image, bute sur deux limites. L'une, d'ordre esthétique, est liée au compactage ponctuel des sons : la *sensation d'espace* est très amoindrie, l'*écoute directionnelle* anéantie. L'autre est d'ordre psycho-acoustique : l'*effet de masque* (son sur son) réduit considérablement l'audibilité. L'oreille ne peut plus trier entre les sources, aussi la scène sonore est-elle simplifiée au profit de l'*intelligibilité*. Le tournage exige le silence plateau, le montage évite la superposition des répliques et des bruits, compose des intervalles artificiellement silencieux. Le plus souvent, on sous-mixe les ambiances, pondère les effets, privi-

légie les voix. En fait, le mixage monophonique – *zéro degré de liberté* – semble davantage se rapprocher de l'écoute dirigée, son après son, que de l'écoute frontale en laquelle pourrait s'exercer le premier degré de l'attention auditive, soit l'écoute librement focalisée⁶.

Pourtant le cinéma s'est longtemps accommodé de la monophonie. Sans doute y trouve-t-on encore un bel équilibre : l'attention visuelle, polarisée vers l'avant, reçoit la succession des plans tandis que l'attention auditive, inopérante en mono, accueille un son déjà (pré)focalisé par le mixage. C'est que le son échappe au découpage en plans : il est mixé pour stabiliser la séquence en son entier. Raisonnons par l'absurde : si le son était aussi découpé que l'image – à supposer que cela soit possible – comment le spectateur pourrait-il s'y retrouver ? Certains sons manqueraient, puis reviendraient pour disparaître à nouveau... En réalité, le son *stabilisé* s'installe virtuellement dans le *géométral* (le plan de sol de la scène) pour toute la durée de la séquence, tandis que les images *diversifiées* se succèdent, plan après plan, dans le *champ frontal centré*.

Dès lors, le mixage travaille à l'échelle de la séquence entière, proposant au spectateur une partition attentionnelle, une stratification figure/fonds. D'une part, on suit clairement les sons jugés importants, tels que voix et effets ; d'autre part, on stabilise une ambiance sonore, soit un décor circonstanciel atténué, éventuellement simplifié pour des raisons d'intelligibilité. Fonds d'air, ambiance légère, bruits adventices, sons passagers peuvent du reste muter subitement en sons principaux, selon les besoins de la mise en scène. Dans tous les cas, le mixeur affronte l'*inter-masquage*, c'est-à-dire le délicat réglage entre ►

5

Certains diront que c'est un avantage : le manque-à-voir affole parfois l'imagination (jusqu'au surgissement). De fait, le son n'est précisément localisé que pendant son passage en *in*.

6

Contrairement au montage-cut (très rapide) des images, le mixage monophonique scénographie assez mal les données, en raison de finalités opposées au plan des vitesses : en tant que simulation d'une scène réelle, il s'interdit le mouvement rapide et artificiel des niveaux, s'oblige à respecter les variations naturelles des flux auditifs ; en tant que simulation de l'écoute attentive d'un auditeur, il se force aux mouvements instantanés du zapping auditif, et tend à les imiter par de prestes changements de niveaux. De cette double contrainte, aux aspects contradictoires, est née la pratique du mixage *sériel lent*. Les mouvements de potentiomètres existent, mais ils se dissimulent ou se codifient dans un compromis : un « accéléré » acceptable par la perception, un « ralenti » admissible par l'attention. Avec le son spatial, l'auditeur retrouvera en partie la possibilité de focaliser ici ou là, à la bonne vitesse.

7

En monophonie, si le projecteur est le haut-parleur, l'écran n'est autre que le tympan. Alimenté à gauche et à droite par les mêmes stimuli, l'appareil auditif perd son pouvoir discriminant (le BMLD ou *binaural masking level difference*), c'est-à-dire sa capacité à « nettoyer » automatiquement le son, et même son pouvoir attentionnel (ILD ou *intelligibility level difference*), c'est-à-dire sa faculté à focaliser sur telle ou telle source.

► émergence et enfouissement⁷.

Les sons forts cachent les sons faibles, les sons graves ou médiums masquent les sons immédiatement supérieurs, les percutantes couvrent les sons tenus, la réverbération brouille l'intelligibilité. L'ingénieur du son – comme le compositeur – dispose néanmoins de plusieurs parades dès l'instant où l'on a recours au multipiste, aboutissement de la prise de sons fractionnée. Il peut pondérer les sons forts (potentiomètres de mélange), filtrer les formants les plus énergétiques (correcteurs paramétriques) des sons masquants, compresser les percutantes (compresseur-limiteur) et atténuer ainsi le masque-réflexe. À cet égard, l'étalement spectral des sons sur les dix octaves de l'audition est décisif en monophonie. Une contrebasse ne saurait masquer une flûte ! Tandis qu'un bruit de circulation, une chute d'eau (bruits large-bande) masquent tous les sons. Aussi le choix des timbres et des hauteurs sonores devrait-il se penser dès le tournage, en se rappelant que les sons percussifs intenses et large-bande (marteau-piqueur, mobylette, camion, etc.) sont redoutables pour les voix (fréquences médiales).

Pourquoi persister alors dans un système contraignant que d'aucuns disent vieillot ? Pour deux raisons : d'une part, la monophonie simule et dirige le champ attentionnel du spectateur à longueur de séquence, tout en stabilisant une ambiance englobante, non découpée, soit le géométral de la scène ; l'espace monophonique étant non-directionnel, il se conforme d'autre part sans problème aux injonctions *in* et *off* du découpage visuel en plans.

Pourquoi ne pas développer le multicanal [5.1] ?

S'il s'agit de bénéficier d'un sentir spatial, d'étaler les sources et, ce faisant, de profiter d'un moindre masquage, d'une *meilleure audibilité* ? La scène auditive, plus touffue, plus élaborée, peut alors jouer de plusieurs sons simultanés, séparément accessibles. Le spectateur réactive le premier degré de liberté, l'écoute focalisée⁸. Et même le second (rotation de la tête et des épaules) dans le hors-champ de l'écran ! Non sans problèmes ! Il me semble en effet que le « quatrième degré de liberté » visuel (le *cut*, ou saccade du point de vue, propre au cinéma) est incompatible avec le deuxième degré de l'exploration auditive.

Peut-être les industries techniques du cinéma, dans leur hâte de concurrencer la télévision domestique, ont-elles un peu trop rapidement oublié les conflits scénographiques qu'occasionnerait ce nouveau dispositif. À la recherche du spectaculaire – le numérique s'y prêtait – ces industries voulaient sans doute, en augmentant l'immersion auditive, magnifier l'illusion de réalité et accentuer ainsi l'implication affective du spectateur. Être dans la bagarre sans danger, à la guerre sans se blesser, côtoyer l'horreur sans défaillir (*Il faut sauver le soldat Ryan*). Les innovations techniques – lorsqu'elles s'industrialisent – sont le plus souvent subordonnées à la conception dominante du cinéma, au rôle compensateur qu'on veut lui faire jouer dans la vie sociale telle qu'elle s'organise : sensationnel ! un vrai bonheur ! du plaisir à l'état pur ! une heure et demie de terreur et d'effroi, lit-on sur les affiches. Comme si la journée de travail sans émotions devait s'inverser en émotions sans travail... Il y a aussi cette vieille idée – négation de l'imaginaire en même temps qu'affirmation triomphale du perceptif – selon laquelle le stade ultime

8

Invisible, l'exploration auditive à l'intérieur du « cône de présence » est purement neuronale, à la différence du pointage visuel, où s'affiche la motricité oculaire.



**Les innovations techniques
– lorsqu’elles s’industrialisent –
sont le plus souvent
subordonnées à la conception
dominante du cinéma, au rôle
compensateur qu’on veut lui
faire jouer dans la vie sociale
telle qu’elle s’organise [...]**

du cinéma serait de composer une *réalité-bis*, soit un dispositif en lequel champ visuel et champ auditif seraient totalement reconstitués. C’est méconnaître alors la temporalité elliptique du flux narratif, plus proche évidemment de la vitesse de la pensée, de l’écoulement du flux de conscience que de la durée réelle des faits. Quoi qu’il en soit, le multicanal est là pour un temps, et, en dépit de son impensé scénographique, il faut faire avec, en commençant par questionner – une fois de plus* – les contraintes issues de la spatialisation à « cinq plus un » canaux.

Espaces croisés

Dès l’abord, prenons acte des avancées techniques. L’extension de la bande passante (extrême-grave et extrême-aigu) et de la dynamique (de *ppp* à *fff*), les possibilités offertes à la mise en scène par le démasquage spatial (audibilité accrue) sont indéniables. L’étalement et la profondeur des plans sonores, l’impression d’enveloppement acoustique, la mise en relation *via l’espace* d’événements simultanés peuvent être reçus comme des progrès de la scénographie. Pourquoi le nier ? Sans doute, la diffusion en salle exige quelques précautions : la spatialisation renonce aux différences temporelles (Δt), inégalement distribuées selon l’emplacement des spectateurs, pour se limiter aux différences d’intensité (Δi), moins problématiques, c’est-à-dire au jeu des potentiomètres panoramiques ; de plus, les sons arrière sont retardés afin d’éviter un retournement de la scène sonore, une arrivée prématurée des sons

dorsaux par rapport aux sons frontaux.

Subsistent néanmoins deux problèmes majeurs, relativement insolubles, que l’on pourrait spécifier par deux néologismes : la *dis-localisation* et la *dis-traction*.

La « dis-localisation » apparaît d’abord au passage cut des plans, lorsque les coordonnées sonores suivent les coordonnées visuelles¹⁰. L’espace auditif semble brusquement se réorienter en s’accrochant comme une girouette au changement de plan. À l’évidence, cela ne correspond à rien de connu dans l’expérience auditive, plutôt stable. Le spectateur est déboussolé par la rotation incessante des directions sonores. Cette « dis-localisation » apparaît également lorsque l’ensemble des sources reste figé. Les provenances visuelles ne correspondent plus aux provenances auditives. Des écarts de position plus ou moins prononcés, voire contradictoires, empêchent la fusion des images et des sons¹¹. Là encore, le spectateur est gêné, car cette discordance irrégulière ne se rattache en rien à une intention artistique, mais seulement à l’incompatibilité de la « géode sonore » face au découpage classique. Il faudrait en revenir au plan-séquence. Qu’en sera-t-il avec la WFS ?

La « dis-traction » fonctionne dès que des sources *off* trop incisives, dotées de transitoires d’attaque ou d’extinction trop marqués, déclenchent des réactions d’orientation involontaires, des coups-d’œil instinctifs en direction de l’intrus auditif. Ordinairement coaxiales, l’attention visuelle et l’attention auditive se trouvent de la sorte bizarrement dissociées. L’œil reste tendu vers l’écran, tandis que l’oreille est momentanément appelée ►

9 Je renvoie ici à un travail antérieur : « L’usage frontale, le son spatial » paru dans *Cinéma et dernières technologies*, ouvrage collectif sous la direction de Franck Beau, Philippe Dubois, Gérard Leblanc, INA-De Boeck, 1998.

10 La règle des 180° (qui laisse à peu près intactes les coordonnées visuelles sur écran) ne concerne qu’une seule figure du montage, à savoir : le champ / contre-champ.

11 Rappelons que la localisation visuelle domine la localisation auditive : des écarts angulaires entre source et objet passent inaperçus jusqu’à 11 degrés, tandis qu’une gêne se ressent dès 20 degrés. À ce sujet, voir S. Komiyama, « Subjective evaluation of angular displacement between pictures and sound direction for HDTV sound systems » in *JAES* n° 30, 1989.



Deux attitudes sont observées : l'une, dominante, consiste à rechercher la transparence du dispositif tout en l'utilisant habilement ; l'autre, minoritaire, consiste à utiliser - au moins momentanément - la dissociation attentionnelle [œil/oreille] afin d'installer un autre rapport à la représentation.

- en coulisses, sur les côtés ou en arrière. Ce que l'œil regarde en fait, c'est bien l'enchaînement des plans – le voyage narratif – dont l'écran n'est que le support parfaitement centré. Agrandir et prolonger cet écran par des sons englobants, c'est prendre le risque d'une double direction de spectateur : l'une, *omnidirectionnelle*, sollicite l'oreille ; l'autre, *supra-directionnelle* mais frontale (quatrième degré de liberté oblige) s'adresse à l'œil. Et aussi d'une double direction d'acteur : désormais le comédien doit orienter aussi précisément son écoute que son regard. Il s'ensuit que le découpage et le mixage doivent respecter les positions relatives des sources sonores, qu'elles soient intermittentes ou durables. Comment l'ignorer ? Les sources sont d'abord localisées par les personnages avant de l'être par les spectateurs : la monophonie en a administré la preuve... de 1930 à 1990 environ.

Ce constat a conduit certains mixeurs à pratiquer des compromis tactiques. Les dialogues sont souvent resserrés autour du haut-parleur central. Les sons latéraux et arrière sont sinon sous-utilisés, du moins considérablement arrondis, filtrés de leurs transitoires, voire laminés en dynamique. Les fonds d'air, les réverbérations, les ambiances molles sont parfois les seuls rescapés de la spatialisation hors-écran. Lorsqu'une source ponctuelle est largement décentrée ou même latéralisée, l'ingénieur du son et mixeur Dominique Dalmasso utilise une réverbération qu'il envoie sur les canaux frontaux afin de corrèler la source à l'écran et d'y recentrer l'attention auditive du spec-

tateur. En façade, un étalement des sources reste néanmoins possible, allant jusqu'à déborder légèrement la gauche et la droite de l'écran. La scène auditive peut alors respirer dans son volume acoustique. D'autres ont cherché à effacer les discontinuités

en travaillant les transitions. Avant de faire basculer une source d'un côté à l'autre, un plan intercalaire la donne en insert au centre de l'écran. Le plus souvent, on a recours à une sorte d'anamorphose passagère. Un peu avant le cut, la scène sonore se rétrécit spatialement, pour se réouvrir autrement juste après le changement de plan, un peu comme un ciseau que l'on retournerait après l'avoir presque fermé en passant. On a essayé aussi de profiter du hors-champ d'interposition (un obstacle visuel) ou du gros-plan (générateur de *off*) pour « tricher » la scène sonore momentanément invisible. Et même de dissimuler temporairement la direction trop précise de certains sons par des ambiances spécifiquement masquantes. D'autres encore ont réussi à gommer les distorsions d'espace en mettant en compétition les transitoires. Si un son percussif important est bien calé frontalement, en accord avec l'image, l'attention est mobilisée vers l'avant, en sorte que les sons « dis-localisés » passent en second plan. C'est du reste le rôle que l'on fait souvent jouer au subwoofer placé sous l'écran : ramener l'attention au centre. Les effets pyrotechniques ou telluriques garnissent ainsi les films de guerre ou les films catastrophe.

Enfin certains sons latéraux ont été mis à contribution pour recentrer l'attention vers l'écran.

Je veux parler des sources en mouvement, lestées d'un *effet doppler*. Si l'on fait passer sur les côtés de la salle des projectiles, des engins à moteur, des avions, des aéronefs (etc.) dont les mouvements rapides, fortement imagés par le doppler, concourent vers la scène frontale, l'attention, loin d'être distraite, converge vers l'écran. C'est sans doute ce qui explique le succès des *ssschoooouuu...* et autres sifflements centripètes, dont la course s'achève en explosion tonitruante dans le subwoofer.

En somme, au lieu de laisser les espaces se croiser, on a cherché à les rendre congruents, en utilisant le 5.1 un peu à contre-emploi, comme si l'écran finalement l'emportait sur la géode sonore.

Une scénographie à explorer

Il serait dommage d'en rester là. La spatialisation procède aussi bien de l'esthétique (le sentiment spatial), de la psycho-acoustique (congruence audio-visuelle), de la scénographie (le positionnement des voix et des bruits en *in* et *off*) que de la dramaturgie (le manque-à-voir et le donné-à-entendre). Quelques films – pas si rares – nous ont réservé, loin des effets de grosse artillerie, d'agréables surprises (*La Cenaga*, de Lucrecia Martel, par exemple). Le son multicanal recèle de fait des potentialités qui appellent une théorisation, déjà bien entamée par Michel Chion (cf. bibliographie). Je laisse de côté l'importante question de l'imagerie auditive : comment remplir tous les canaux ? Avec quels sons ? Certains scénaristes, réalisateurs et ingénieurs du son, me semble-t-il, y ont déjà répondu ou vont y répondre.

Je souhaite seulement réexaminer ici les critères de spatialisation en fonction d'une préoccupation majeure de la mise en scène, à savoir : l'*orientation attentionnelle* du spectateur. Deux attitudes sont observées : l'une, dominante, consiste à rechercher la transparence du dispositif tout en l'utilisant habilement ; l'autre, minoritaire, consiste à utiliser – au moins momentanément – la dissociation attentionnelle [œil/oreille] afin d'installer un autre rapport à la représentation. Dans l'un et l'autre cas, la maîtrise des critères de spatialisation est en jeu.

Il faut partir en premier lieu de l'*inégalité des secteurs auditifs* à l'intérieur de la salle : le centre/avant, les deux côtés de l'écran et les arrières. Le secteur frontal, fortement polarisé par l'écran, redouble l'attention visuelle, les autres non. Interroger en second lieu la *nature spatiale* des sources. Une source peut être ponctuelle, linéaire, essaimée, étendue (délimitée ou englobante). Sa localisation est quelconque (vent dans les feuilles, circulation automobile) malléable (brouhaha) ou imposée (voix). Ladite source est fixe ou mobile, en déplacement rapide ou lent (approchante, éloignante, traversante ? avec ou sans doppler ?). Considérer aussi l'*allure temporelle* du son. Continu, de passage, intermittent, itératif, isolé. C'est-à-dire s'intéresser en fait au nombre de transitions d'entrée et de sortie, au profil des attaques et des extinctions, à la saillance perceptive. Un son percutant ou granuleux excite davantage l'attention réflexe qu'un son « en pente douce » ou lisse. De la même manière, un son en mouvement (« dopplérisé ») attire fortement l'oreille. Examiner par ailleurs la *grosseur de plan* : le plan général propose au spectateur la vision globale ▶

- d'une situation. Cette vision est étalée sur toute la surface de l'écran. Si, dans un tel cadre, un personnage apparaît en tout petit et accomplit une action susceptible d'éveiller la curiosité, l'attention visuelle se focalise sur le personnage en oubliant un peu la périphérie.

« L'attention peut être comparée à un faisceau dont la taille peut varier. Il peut prendre la forme d'un pinceau extrêmement fin concentrant une grande quantité de ressources attentionnelles sur un endroit limité, aboutissant à une focalisation intense et autorisant une grande sélectivité. Ou bien il peut prendre une forme plus large, plus diffuse, distribuant sur une grande surface la même quantité de ressources, dès lors moins concentrées. »¹²

Puisque certains plans captivent plus que d'autres le regard du spectateur, les éléments de la bande-son peuvent alors plus facilement déborder en hors-champ. Dominique Dalmasso fait remarquer que si le contenu d'un plan est pauvre, s'il ne s'y passe pas grand-chose, il lui paraît très difficile de placer les éléments de la bande-son au-delà de l'écran. En revanche, si le plan est captivant, les sources peuvent déborder largement l'écran, l'attention étant fortement sollicitée par l'image. De son côté, Dominique Hennequin (mixeur) remarque que, passant du plan américain au gros-plan, il a tendance à resserrer les sources vers le centre de l'écran (cela fonctionne mieux), alors que, sur des plans d'ensemble, une diffusion stéréophonique plus large lui semble mieux adaptée. Il est étonnant de constater que c'est exactement l'inverse qui se produit dans la réalité ordinaire. Vus de loin, les objets sonores se rétrécissent en sources ponctuelles. Vus de près, ces mêmes objets augmentent leur largeur apparente, allant jusqu'à

excéder notre champ d'attention, si leur encombrement spatial est suffisant.

Autre critère : la prévisibilité de l'émission sonore, dans l'ordre de l'attendu et de l'inattendu, de l'inéluctable et du possible, du probable ou de l'improbable. Le *degré de prévisibilité* modifie la réaction de l'auditeur à l'endroit du son émergeant. La prise en compte attentionnelle n'est pas la même si la source est déjà rangée dans le « preset » cognitif suscité par le contexte (cf. supra : les cinq sons *off*), si la source est déjà recrutée dans la mémoire rapprochée des sons possibles, prêts à s'actualiser. Un ciel d'orage appelle le tonnerre, une bagarre des cris, une discussion des réparties mais aussi des surprises...

Poser enfin comme critère *l'importance de la localisation au plan narratif*. Indifférente, approximative ou marquante dans la situation proposée ? Active et déjà connue dans l'action antérieure ? En d'autres termes, il s'agit d'évaluer le « poids directionnel » de l'événement auditif à l'intérieur de sa trace mémorielle. L'objet sonore est-il déjà apparu (une fois, plusieurs fois, furtivement ou de manière répétée) ? S'agit-il d'une forme prégnante ou faible ? Aperçue récemment (dans le même plan, la même séquence) ou alors bien avant ? Quelle est la vivacité de la trace en mémoire spatiale ? Rôle de l'émotion et du désir dans cette persistance.

Il s'agit aussi d'évaluer le « set » attentionnel des personnages. *Où regardent-ils ?* En direction d'une source muette (centration préparatoire), qui surgit (réaction d'orientation), ou en recouvre une autre (changement de direction de regard) ? *Où se dirigent-ils ?* Vers le son émis ? Dans une autre direction ? *Que font-ils ?* Quelle est la portée spatiale de leurs gestes sur d'autres personnages ? Réactions

12

Voir J. F. Camus, *Psychologie cognitive de l'attention*, p. 76, Armand Colin, Paris, 1996.

audibles alentour? *À qui parlent-ils?* Portée illocutionnaire des dialogues, déclenchement d'actions et de réponses dans l'espace *in* ou *off*.

On imagine ainsi la complexité des décisions qui entourent la spatialisation. Diriger l'écoute du spectateur – ici ou là – en tenant compte de la matière sonore et de ses registres (silence, ambiances, effets, voix), des représentations qui s'y associent (prégnantes ou volatiles), de l'avancée narrative (pôle situation, pôle personnage, pôle subjectif) et de l'état émotionnel du spectateur (horizon d'attente, tension dramatique) relève d'une démarche pleinement artistique.

Recentrer sans cesse l'attention vers l'écran procède ainsi d'un choix parfaitement justifiable: la spatialisation dans l'image et sur les bords d'écran étale et décompacte la scène sonore. On n'écoute qu'une chose à la fois, mais cette écoute s'adapte instantanément aux dimensions et mouvements des sources. Le parcours attentionnel, en mode rapide (*zapping* frontal), est à nouveau possible: on peut *entendre* et *écouter* en même temps la scène, exactement comme on peut *regarder* localement et *voir* globalement l'écran. Les données visuelles et audi-

tives, diversifiées, ouvrent à des mises en relations plus fécondes, à une exploration plus active.

Détourner l'écoute de l'écran frontal relève aussi d'un choix délibéré, et peut-être même d'une mise à distance *brechtienne*, si l'on souhaite rompre momentanément avec la transparence narrative ou se dégager de l'hypnose spectaculaire. Encore faut-il que la mise en scène hors-écran, la distribution croisée des sources trouve sa justification soit dans la situation narrée, soit dans le propos ou le ton adoptés par le film. Multiplier les données en *off* engage le spectateur vers un *zapping* attentionnel, vers une mise en relation des représentations mentales nées tant des images auditives que des images visuelles. Le spectateur accède ainsi à une forme nouvelle de montage horizontal, où se joue l'attention partagée, un peu comme sur le triple écran d'Abel Gance.

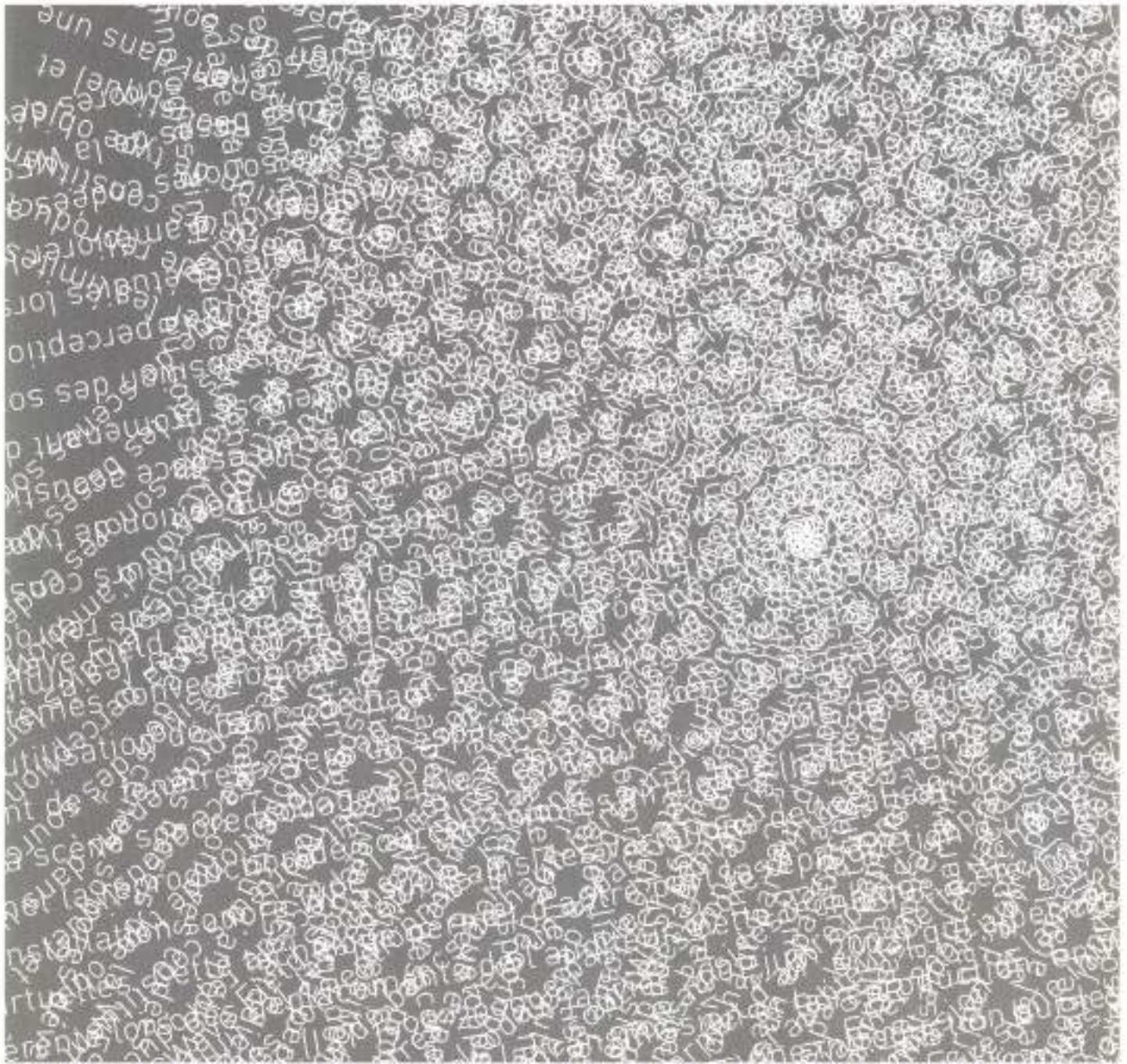
Quelques rares cinéastes, comme Jean-Luc Godard dans *For ever Mozart*, ont tenté une utilisation autre du dispositif, mais ces tentatives sont restées sans suite. Contre-point, espace pluriel sectorisé, zone acousmatique, attention croisée, polyphonie dirigée? Qui connaît l'avenir de ces scénographies, pour la plupart expérimentales! ■

CLAUDE BAILBLÉ

est enseignant-chercheur et maître de conférences au département cinéma de l'Université Paris VIII à Saint-Denis. Il intervient également dans quelques écoles professionnelles, dont l'ENS Louis-Lumière. Titulaire d'un doctorat en Sciences de l'art, il mène une recherche sur les interactions entre pratiques et esthétique, ainsi que sur les sciences perceptives et cognitives appliquées à la mise en scène.

BIBLIOGRAPHIE

- Claude Lerouge, *Sur cent ans le cinéma sonore*, éd. Dujarric 1996.
- Jean-François Carnus, *Psychologie de l'attention*, éd. Armand Colin, 1996.
- F. Beau, P. Dubois, G. Leblanc, *Cinéma et dernières technologies*, INA-De Boeck, 1998.
- Michel Chion, *L'art sonore: le cinéma*, éd. Cahiers du Cinéma, 2003.



►► Création et manipulation de scènes sonores pour la wave field synthesis

Étienne Corteel

Résumé La Wave Field Synthesis (WFS) est une technique de reproduction sonore permettant de dépasser les limites des systèmes conventionnels. La zone de reproduction optimale peut ainsi s'étendre à toute la pièce de reproduction par l'utilisation de bancs de haut-parleur disposés tout autour de la salle. Ces bancs de haut-parleurs constituent autant de « fenêtres » vers un espace acoustique extérieur. La WFS s'appuie sur une décomposition de type objet de la scène sonore (codage par le « contenu », ensemble de sources interagissant avec un espace acoustique) et permet la reproduction de sources sonores virtuelles (hologrammes sonores). Un auditeur se promenant dans une installation sonore WFS subit ainsi les variations de localisation naturelles liées à la disposition des sources virtuelles. Cette technique permet d'autre part la reproduction d'un effet salle réaliste dont la perception reste cohérente lors des déplacements de l'auditeur. Cette technique a été l'un des aspects majeurs étudiés lors du projet européen Carrouso (IST 1999-20993, janvier 2001-juin 2003) qui a permis de développer ou d'améliorer les technologies liées à l'enregistrement, la transmission et la reproduction, en WFS, de scènes sonores codées au format Mpeg-4 (format de codage par le contenu). Après une introduction sur les origines et les bases de la WFS, cet article présente ces technologies ainsi que les techniques de production et de mixage de scènes sonores développées au cours et à la suite du projet Carrouso.

Abstract Wave Field Synthesis (WFS) is a sound reproduction technique that postpones the limits set by conventional techniques. The ideal reproduction area can thus be extended to the entire listening room using loudspeaker arrays all around the listening room. These loudspeaker arrays act as windows on an outside acoustical world. WFS relies on an object-based description of a sound scene (content coding, set of sound sources interacting with an acoustical environment) and allows to synthesize virtual point sources (sound holograms). A listener wandering around in a WFS sound installation thus experiences natural localization variations due to the positioning of the virtual sound sources. WFS also enables the realistic synthesis of additional room effect that remains coherent with listener movements. WFS was one of the key issues of the Carrouso project (IST 1999-20993, January 2001-June 2003) which targeted the development and the improvement of technologies linked to the recording, transmission, and WFS reproduction of Mpeg-4 (content coding format) coded sound scenes. After an introduction dealing with the origins and the basis of WFS, this article presents these technologies together with production and mixing techniques developed during, and in the continuation, of the Carrouso project.

INTRODUCTION

qu'est-ce que la wave field synthesis ?

La Wave Field Synthesis (WFS) est une technique de reproduction sonore basée sur l'utilisation de bancs de haut-parleurs permettant de dépasser les limites des techniques conventionnelles (stéréo, 5.1, ...). Ces techniques reposent sur l'utilisation des principes stéréophoniques que l'on peut assimiler à une *illusion*, un « trompe l'oreille », qui ne peut s'apprécier que dans une zone très réduite de l'espace, le centre du dispositif, nommé « sweet spot ».

Une expérience très simple à réaliser consiste à diffuser le même signal sonore (par exemple une voix) dans 2 haut-parleurs. Lorsque l'on se situe à égale distance des deux haut-parleurs, la voix semble provenir d'une position située entre les deux sources physiques (haut-parleurs). On peut ainsi, en modifiant légèrement le signal envoyé dans chacun des deux haut-parleurs à l'aide de retards ou d'atténuations,

donner l'impression à l'auditeur que la source virtuelle, la voix ou tout autre signal musical, est située plus ou moins près de l'une des deux sources physiques. Cette illusion s'écroule dès lors que l'on se déplace et que l'on se rapproche d'une des sources physiques. On a alors l'impression que toutes les sources virtuelles proviennent de la source physique dont on est le plus proche.

La WFS, au contraire, s'appuie sur la reproduction des caractéristiques physiques des champs sonores dans une zone étendue de la pièce de reproduction. Cette technique se base sur le principe de Huygens énoncé en 1678. Il stipule que le front d'onde rayonné par une source se comporte comme une distribution de sources secondaires par opposition à la source primaire qui est à l'origine du front d'onde. Ce principe s'applique à la propagation des ondes sonores mais aussi de la lumière et plus généralement de tout phénomène ondulatoire.

Par exemple, si l'on jette une pierre dans l'eau (source primaire), on observe un front d'onde qui se propage à la surface. Ce principe stipule que ce front d'onde peut être synthétisé à l'identique par une infinité de petits cailloux (sources secondaires) lancés simultanément au passage du front d'onde. En l'absence de la source primaire, l'onde créée par les sources secondaires se substitue alors de manière parfaitement équivalente à celle qui aurait été produite par la source primaire au-delà de la position des sources secondaires. On peut ainsi dire que les sources secondaires prennent le relais de la source primaire.



PRINCIPE DE RAYLEIGH
les fronts d'onde émis par la source primaire se comportent comme un ensemble de sources secondaires



WAVE FIELD SYNTHESIS
on peut synthétiser le champ sonore de sources « virtuelles » à l'aide d'un banc linéaire de haut-parleurs

Le champ acoustique rayonné par une source sonore pourrait ainsi être synthétisé à l'aide d'une infinité de haut-parleurs disposés sur une sphère centrée sur la source sonore. Ainsi, l'application directe de ce principe pour la reproduction ne permettrait la synthèse que d'une source sonore à une position de l'espace en utilisant une infinité de haut-parleurs mais assure une reproduction à l'identique du champ sonore rayonné par cette source.

Les travaux de physiciens tels que Kirchhoff, Helmholtz et Rayleigh au cours du dix-neuvième siècle ont permis de généraliser ce principe en utilisant une infinité de sources secondaires situées sur une surface fermée qui crée deux sous-espaces que l'on nommera espace des sources et espace de reproduction. Les ondes produites par une quelconque source située à l'intérieur (resp. l'extérieur) de cette surface peuvent être synthétisées de manière parfaitement identique à l'extérieur (resp. l'intérieur) par une distribution continue de sources secondaires disposées sur cette surface ; il y a en effet parfaite équivalence entre les deux sous-espaces. La surface fermée peut aussi être constituée d'un plan infini séparant l'espace en deux (géométrie de Rayleigh). Les signaux d'alimentation des sources secondaires ainsi que la nature de leur rayonnement sont spécifiés.

La première application de ces développements à la reproduction sonore fut proposée par Jessel en 1973 sous le nom d'holophonie. Dans ce cadre, le champ sonore est d'abord capté par un ensemble de microphones de pression (omni) et de gradient de pression situés sur une surface fermée. Au niveau de la reproduction, les signaux

captés par chacun des microphones de pression alimentent des sources dipolaires (ex. : haut-parleurs non bafflés). De manière équivalente les signaux captés par chacun des microphones de gradient de pression alimentent des sources omnidirectionnelles (ex. : haut-parleurs bafflés). La condition impérative à respecter est que la position des haut-parleurs soit identique à celle des microphones lors de la prise de son. D'un point de vue pratique, cette solution requiert un nombre très élevé de canaux de transmission et une disposition parfaitement identique de tous les dispositifs de captation et de reproduction utilisés.

La Wave Field Synthesis (WFS) [1] [2] [3] [4] se base sur un ensemble de simplifications des principes énoncés ci-dessus et notamment de l'holophonie. On peut donc parler de la WFS comme d'un système de type holophonique. Les premiers travaux sur cette technique ont été effectués dans l'équipe d'acoustique et de sismologie de l'université de Delft aux Pays-Bas par Berkhout et ont été publiés dans un article paru en 1988. Ils sont issus des connaissances de l'équipe en matière de propagation et de captation des ondes sismologiques pour la détection de gisements de pétrole. Ces travaux ont été poursuivis au cours des années 90 à l'université de Delft ainsi qu'à France Télécom R&D à Lannion pour des applications de téléconférence.

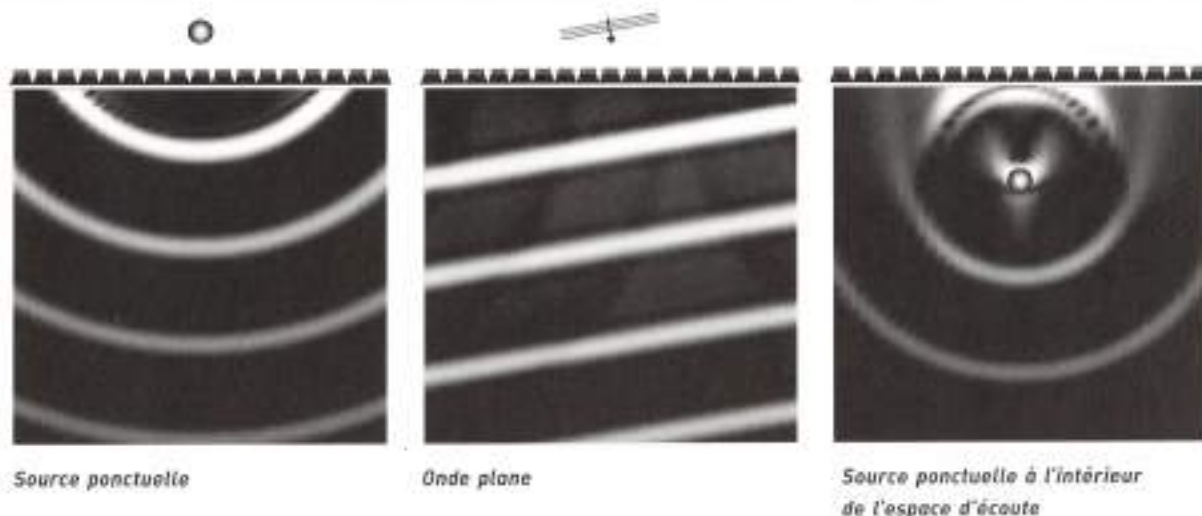
La WFS repose sur une description de type objet des champs sonores. Au contraire de l'holophonie qui cherche à capturer la globalité du champ sonore, la WFS s'appuie sur une décomposition de la scène sonore en un ensemble de sources, dont on capte le signal sonore et dont on connaît ►

- la position, qui sont situées dans une salle décrite à l'aide de mesures acoustiques, ou bien d'une description physique ou perceptive. Ce type de description de la scène sonore est appelé codage par le contenu. Dans cette partie, on s'intéressera principalement à la reproduction des sources sonores. La reproduction de l'effet de salle sera décrite ultérieurement. Connaissant la position des sources sonores et leurs caractéristiques de rayonnement, il est ainsi possible de synthétiser les signaux captés par des microphones virtuels situés à la position des haut-parleurs réels. Une telle description de la scène sonore permet donc de s'affranchir des limitations en termes de positionnement des haut-parleurs de l'holophonie. Les travaux effectués autour de la Wave Field Synthesis ont permis d'aboutir à une formulation très simple de la reproduction de sources virtuelles omnidirectionnelles pour une géométrie de type linéaire du banc de haut-parleurs.

Les signaux d'alimentation des haut-parleurs se présentent sous la forme de versions retardées et atténuées d'un unique signal source filtré. L'espacement maximum entre les haut-parleurs est d'environ 15 à 20 cm. Ceci permet d'assurer une localisation optimale des sources virtuelles sur toute l'étendue de la zone de reproduction.

On peut distinguer principalement trois types de sources virtuelles élémentaires pouvant être synthétisées par la Wave Field Synthesis :

- Les sources virtuelles ponctuelles situées derrière le banc de haut-parleurs. Le champ sonore synthétisé permet à l'auditeur d'obtenir des variations de localisation angulaire de la source sonore cohérentes avec ses déplacements dans la zone d'écoute et la position de la source sonore synthétisée.
- Les ondes planes. Ce sont un cas limite des sources mentionnées précédemment. Elles correspondent à des sources sonores situées à une

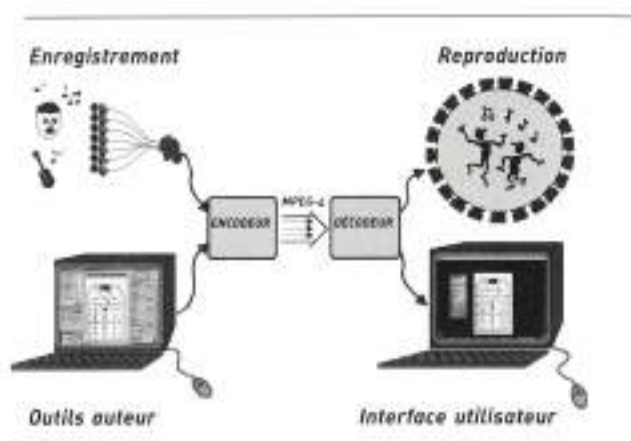


distance « infinie » ou plus précisément très grande par rapport à la taille de la zone d'écoute. De telles sources ne sont pas audibles dans un contexte naturel. Dans le domaine visuel, nous avons par contre l'exemple du soleil qui correspond parfaitement à cette situation. Lors d'un déplacement rectiligne en train ou en voiture, nous avons l'impression que le soleil nous « suit » alors que le paysage semble « défiler ». La sensation vis-à-vis de l'auditeur de l'onde plane est la même. C'est celle d'une source qui semble provenir toujours de la même direction quelle que soit notre position dans la pièce et qui nous suit lors de nos déplacements.

→ Les sources virtuelles ponctuelles situées à l'intérieur de la pièce de reproduction. Une extension du principe de la WFS permet de synthétiser des sources sonores à l'intérieur de la pièce à un endroit où il n'y a pas de source physique. Cet « hologramme sonore » est synthétisé en émettant, à l'aide du banc de haut-parleurs, des ondes sonores qui viennent converger à la position de la source virtuelle. Ces ondes sonores sont ensuite naturellement réémises à partir de la position de la source virtuelle dans le reste de l'espace de restitution. Le champ sonore synthétisé est donc incorrect entre la position du banc de haut-parleurs et la position de la source virtuelle mais est parfaitement valide au-delà.

Projet Carrouso

Le projet Carrouso [5] (Creating, Assessing and Rendering in Real time of high quality audio-visual environments in Mpeg-4 context) est un projet financé par la communauté européenne (IST 1999-20993) qui s'est déroulé entre janvier 2001 et juin



2003. Ce projet a réuni 10 partenaires universitaires et industriels européens, dont l'université de Delft (inventeurs de la WFS), France Télécom R&D, l'IRCAM, et le Fraunhofer Institute IIS AEMT qui a coordonné le projet.

Le projet Carrouso a permis de développer des techniques permettant la captation, la description, la transmission et le rendu de scènes sonores réelles ou virtuelles. Pour cela, les participants se sont appuyés sur l'utilisation de 2 technologies innovantes :

- Le Mpeg-4 qui est un format de codage dit par le « contenu ».
- La Wave Field Synthesis.

Mpeg-4

Le Mpeg-4 [6] est un format défini par le consortium Mpeg (Moving Picture Expert Group) pour le codage de présentations multimédias interactives. Ce format est un descendant des Mpeg-1 et 2 qui visent principalement la compression de matériaux audio et vidéo. Cependant, les applications multimédias modernes nécessitent une plus grande flexibilité vis-à-vis de la des- ►

► cription et de la reproduction des données audio et vidéo et doivent fournir des modalités d'interaction avec le contenu à l'utilisateur final. Le travail sur le format Mpeg-4 est parti de ce constat et a démarré en 1995. Une première version du standard a été défini en 1999 et une seconde version en 2000. Le concept principal repris dans le format Mpeg-4 est celui du codage par le contenu par la décomposition de la présentation multimédia en un ensemble d'objets élémentaires auxquels on associe des propriétés et un comportement. En ce qui concerne les scènes sonores spatiales, le codage par le contenu consiste à séparer le matériau sonore associé à chacune des sources de la description de la scène.

Les signaux sonores associés à chacune des sources doivent idéalement ne comporter aucun effet de salle. Différents algorithmes de compression sonore permettent de réduire le volume des données à transmettre suivant la bande passante disponible lors de la transmission et la qualité requise. Cela va jusqu'à un codage de type partition et l'utilisation d'algorithmes de synthèse sonore pour des applications utilisant une chaîne de transmission à très bas débit. La scène sonore est décrite à l'aide d'un langage spécifique (BIFS : Binary Format for Scenes). À chaque source est associé un ensemble d'informations concernant sa position dans l'espace, ses caractéristiques de rayonnement et son orientation. Ces sources sont placées dans un espace acoustique qui peut être défini de deux manières différentes :

→ Par sa description géométrique et les caractéristiques acoustiques de ses parois. Au niveau de la reproduction, des méthodes de simulation sont

utilisées afin de synthétiser l'effet de salle associé à cet espace [12].

→ Par une description de type perceptive de l'effet de salle (impression spatiale) procuré par ce lieu. Un ensemble de 9 paramètres a ainsi été extrait dans le cadre de tests psychoacoustiques réalisés à l'IRCAM au cours des années 90. Ces paramètres ont ensuite été inclus dans le standard Mpeg-4. Ils sont obtenus à partir de mesures acoustiques réalisées dans un lieu réel ou bien réglés par le créateur du contenu [13].

Au cours du projet Carrouso, des descriptions alternatives de l'effet de salle associé ont été proposées :

→ Une description « physique » basée sur la mesure de réponses impulsionnelles d'un ensemble de sources sonores décrivant l'ensemble des positions que peuvent prendre les sources sur la scène de la salle de concert. Ces réponses impulsionnelles sont mesurées à l'aide d'un banc de microphone circulaire composé de cellules à directivité cardioïde. Par recombinaison des différents signaux, il est ainsi possible de synthétiser des microphones hyper-directifs afin d'extraire les réponses impulsionnelles dans un ensemble de directions élémentaires [14].

→ Une description perceptive alternative basée sur des paramètres perceptifs alternatifs tels que la taille apparente de la pièce (room size) ou de la distance subjective de la source. Au niveau de la reproduction, ce modèle a la particularité d'utiliser des réflexions précoces afin de stimuler les attributs perceptifs mentionnés [15].

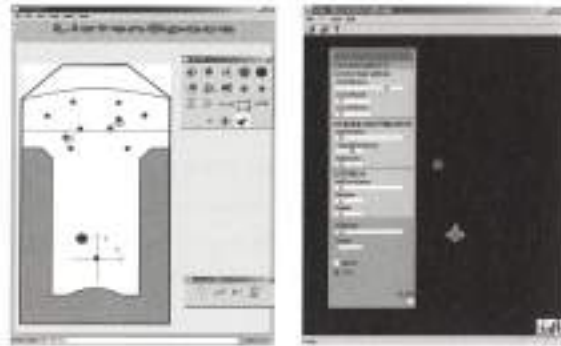
L'avantage principal de Mpeg-4 est de fournir une description de la scène sonore qui ne dépend absolument pas de la technique de reproduction sonore

employée. Ce type de description peut ainsi être reproduite dans un format stéréophonique à 2 haut-parleurs, aussi bien que sur un dispositif 5.1, au casque ou bien sur un dispositif WFS comportant plusieurs centaines voire plusieurs milliers de haut-parleurs. La description de la scène sonore reste parfaitement valable.

Dans le cadre du projet Carrouso, un outil auteur a été développé afin de permettre la création de scènes sonores au format Mpeg-4 à l'aide d'une représentation de type géométrique. Cet outil auteur est une extension de l'interface ListenSpace développée dans le cadre du projet européen Listen¹ (IST-1999-20646) auquel l'IRCAM a contribué. À chacune des sources sonores sont associés un ensemble de paramètres qui sont exportables au format BIFS et sont transmis à un encodeur Mpeg-4. Une particularité de cet outil auteur est de générer automatiquement une interface utilisateur sous forme d'objets visuels 2D compatibles avec le format Mpeg-4 qui fait partie intégrante du contenu envoyé à l'utilisateur. Ceci permet à l'utilisateur d'avoir accès à l'ensemble ou à une partie des paramètres de la scène (selon les souhaits du créateur) et d'interagir en temps réel avec le contenu. Il peut ainsi modifier la position des différentes sources sonores et/ou modifier les paramètres liés à l'effet de salle.

Enregistrement

Lors d'un enregistrement conventionnel destiné à une réalisation stéréophonique à deux canaux, le preneur de son utilise généralement un microphone principal et un ensemble de microphones d'appoints disposés en proximité des sources sonores. Le microphone principal est situé



Outil auteur

Interface utilisateur

autour de la distance critique afin d'obtenir une image stéréophonique globale de la scène sonore et une impression de l'acoustique de la salle de concert. Les microphones d'appoint permettent d'augmenter la sensation de présence des instruments, d'améliorer la localisation et de régler proprement la profondeur de la scène. Ces microphones sont placés dans le champ proche de l'instrument et capturent principalement le son direct. Éventuellement, un ensemble de microphones situés dans le champ lointain peut être utilisé pour améliorer la perception de l'acoustique de la salle.

Les enregistrements « surround » utilisent des techniques similaires [8]. Les canaux frontaux sont en général utilisés afin de reproduire la scène frontale en tirant profit du canal central afin d'améliorer la stabilité de la localisation des sources sonores. Les canaux arrières ont généralement pour vocation d'améliorer la sensation d'enveloppement et d'immersion dans la salle virtuelle. Ils peuvent être aussi utilisés comme canaux « d'effet » pour des applications cinéma- ►

¹ Le projet Listen (<http://listen.gmd.de/>) s'est déroulé sur une durée de 3 ans (2001-2003). Le but de ce projet était de développer un ensemble de technologies audio et computationnelles permettant la création d'environnements immersifs de réalité augmentée. Il s'agit de donner à entendre un environnement sonore virtuel à un auditeur se déplaçant dans un espace réel. Au niveau de la reproduction, Listen se base sur l'utilisation de la technologie binaurale (technologie de reproduction sonore sur casque permettant de recréer les filtrages naturels effectués par la tête sur le son émis par une source sonore située à une position donnée de l'espace). Un système de suivi de position permet de détecter l'orientation de la tête et la position de l'auditeur dans la salle afin de mettre à jour en temps réel les signaux sonores envoyés et d'assurer une cohérence des informations spatiales reproduites avec les mouvements de l'auditeur. L'interface ListenSpace a été créée dans le but de permettre au créateur de contenu d'accéder à une représentation géométrique de la scène sonore dans laquelle l'auditeur évolue.

- tographiques. Le microphone principal est alors composé d'au moins trois capsules qui sont combinées pour obtenir les signaux d'alimentation des 3 canaux frontaux disposés d'après le standard ITU-R BS 775-1². Un ensemble de microphones additionnels permet de capturer l'ambiance et le champ diffus. Ils sont répartis sur les deux canaux arrière et éventuellement aussi sur les canaux gauche et droit.

L'ingénieur du son peut aussi choisir d'utiliser uniquement un microphone principal afin de capturer l'ensemble de la scène sonore et de simplifier (à l'extrême) l'étape de mixage. D'autres types de techniques microphoniques peuvent alors être utilisés. Le microphone Soundfield utilisé pour les enregistrements de type ambisonique en est un exemple. On peut citer l'utilisation de têtes artificielles pour les enregistrements de type binaural destinés à être reproduits directement sur casque ou bien sur deux haut-parleurs avec un système transaural. Enfin, des systèmes microphoniques plus complexes, intégrant plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de capsules, commencent à voir le jour. On peut notamment citer une variante du banc de micros circulaire développé au cours du projet Carrouso qui totalise 288 capsules de type cardioïde à partir desquelles on peut former 24 voies décrivant précisément le champ sonore émis dans autant de directions de l'espace dans le plan horizontal [9]. Des évolutions du microphone Soundfield ont également été proposées par France Télécom [10] et la société française Trinnov [11] utilisant des dispositifs plus réduits (20-30 capsules) qui permettent de capturer un champ sonore en 3 dimensions avec une pré-

sion spatiale accrue.

Un enregistrement réalisé pour le format Mpeg-4 devrait théoriquement ne comporter que des microphones d'appoint placés en proximité immédiate des instruments afin de capter aussi peu que possible d'informations liées à la pièce dans laquelle l'enregistrement a été effectué. À chacune des sources virtuelles est associé un effet de salle paramétré ou mesuré correspondant à la salle dans laquelle l'enregistrement est effectué.

L'autre extrême pourrait consister à utiliser uniquement un microphone principal d'un des nouveaux types mentionnés précédemment afin d'extraire les composantes du champ sonore produit dans un ensemble de directions qui seront spécifiées comme autant de sources virtuelles lointaines pour lesquelles aucun effet de salle supplémentaire ne devra être ajouté. Ceci consisterait en autant de techniques de mixage parfaitement automatiques ne nécessitant éventuellement plus d'intervention de la part d'un ingénieur du son. Néanmoins, cette situation serait parfaitement équivalente à celle d'un enregistrement stéréo n'utilisant qu'un microphone principal ou un ensemble de micros d'appoint automatiquement répartis. Dans la plupart des enregistrements effectués pendant le projet Carrouso, les différentes techniques microphoniques « classiques » ont été utilisées éventuellement en combinaison avec des techniques moins « conventionnelles ». Le travail de l'ingénieur du son a consisté à doser suffisamment finement les différents éléments à sa disposition afin d'obtenir une *esthétique* convenable à l'esprit de l'enregistrement. En fait, il convient de considérer le format Mpeg-4

² ITU-R BS 775-1: Multichannel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture (Geneva, 1992-1994).

comme une abstraction de l'étape de mixage. Au lieu de conserver le résultat du mixage sur un ensemble de canaux destinés à alimenter directement les haut-parleurs, on conserve le signal sonore de chacune des pistes après traitements « classiques » (volume, compression, égalisation, ...) et on y associe les paramètres de réglage liés à l'espace (position des sources, paramètres d'effet de salle).

Reproduction

Au niveau de la reproduction, il convient de synthétiser d'une part les sources virtuelles correspondant au son direct et d'autre part l'effet de salle qui leur est associé.

Reproduction des sources virtuelles

La reproduction du son direct est assurée par la synthèse de sources virtuelles par la WFS sur le banc de haut-parleurs dont on dispose. Deux technologies de haut-parleurs ont été utilisées dans le cadre du projet Carrouso :

- Des haut-parleurs électrodynamiques (cônes) dits « conventionnels ».
- Des haut-parleurs MAP (Multi-Actuator Panel).

1_HAUT-PARLEURS MAP

Les haut-parleurs MAP sont dérivés de la technologie DML (Distributed Mode Loudspeaker). Il s'agit de haut-parleurs plats dont la surface vibrante est une plaque de carton plume mise en mouvement par un ensemble « d'excitateurs » (dispositifs de type électrodynamique dont la bobine, partie mobile, est collée sur la plaque). Chacun des excitateurs reçoit un signal indépendant ce qui permet de créer un système multi-voix avec une unique surface vibrante.

Le gros avantage de ce type de haut-parleurs est de n'avoir qu'une très faible signature visuelle et peut ainsi être intégré dans un environnement existant relativement aisément sans révéler la présence d'une ou plusieurs centaines de haut-parleurs. D'autre part, la vibration de la surface est suffisamment faible pour ne pas gêner la projection d'images ; ils peuvent ainsi être utilisés en tant qu'écrans de projection.

Le problème de ces haut-parleurs est que leur comportement acoustique s'éloigne assez fortement des sources ponctuelles omnidirectionnelles qui sont normalement requises par la théorie de la WFS. Ils ont une réponse fréquentielle et plus généralement un mode de rayonnement complexe qui nécessite un traitement spécifique. Des méthodes d'égalisation ont donc été mises en place par l'auteur de cet article afin de compenser les défauts de ces haut-parleurs dans une zone étendue de l'espace.



2_ÉGALISATION MULTICANAL

Contrairement aux méthodes d'égalisation traditionnelles qui consistent à calculer un filtre pour *chacun* des haut-parleurs indépendamment du contexte de reproduction (source virtuelle considérée), on effectue ici un contrôle du *champ sonore* émis dans l'espace de reproduction par ▶

- l'ensemble des haut-parleurs en référence à la synthèse d'une source virtuelle donnée [16]. Chacun des haut-parleurs est mesuré sur un banc de microphones. Le contrôle s'effectue en calculant itérativement un jeu de filtres permettant de minimiser l'erreur du champ effectivement synthétisé au niveau des microphones par rapport à des signaux cibles. Ceux-ci correspondent au champ émis par une source virtuelle au niveau des positions de microphone. Une base de données de filtres est calculée correspondant à un ensemble de sources virtuelles que l'on veut synthétiser.

De la même manière que la WFS utilise des bancs de haut-parleurs linéaires pour synthétiser un champ sonore, on contrôle le champ sonore émis sur un banc de microphones linéaire afin de garantir la validité du contrôle en dehors des points de mesure. Cette procédure permet d'autre part de synthétiser des sources virtuelles ayant des directivités complexes ce qui n'était pas couvert par la WFS.

Synthèse de l'effet de salle

L'effet de salle est dû aux multiples réflexions des sources sonores sur les parois d'une pièce réelle ou virtuelle. Classiquement, on distingue :

- Le groupe de premières réflexions discrètes qui suivent le son direct. Leur direction de provenance, leur temps d'arrivée, leur niveau et leur contenu spectral sont fortement corrélés aux impressions de taille de la salle, de distance à la source sonore,...
- Le champ composé des réflexions tardives (au-delà de 50 ms) et du champ diffus (énergie diffuse précoce et réverbération) dont la compo-

sante directionnelle est faible et qui s'exprime sous la forme d'une répartition énergétique temps/fréquence.

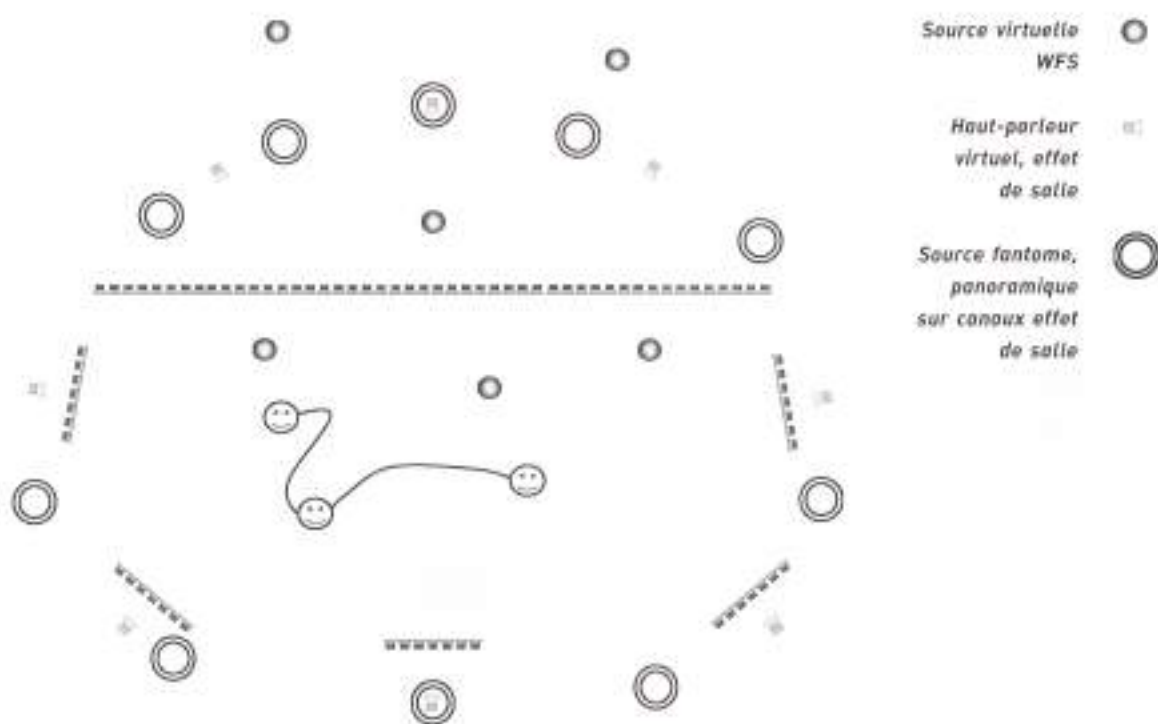
3 EFFET DE SALLE ET WFS

La reproduction à l'identique des réflexions précoces supposerait donc de pouvoir synthétiser chacune de ces composantes sur toute l'étendue de la pièce de restitution. Ces réflexions discrètes correspondent à des sources images de la source virtuelle en considérant les murs de la salle cible comme des miroirs. Ces sources images peuvent ainsi être synthétisées à l'identique dans un cadre d'holophonie « complet » où tous les murs de la pièce sont couverts de haut-parleurs. Dans le cadre de la WFS, on peut *a priori* synthétiser des sources virtuelles dans le plan horizontal afin de reproduire chacune des réflexions dans le plan horizontal. Néanmoins, dans les deux cas, l'acoustique propre de la pièce de restitution va venir perturber l'impression synthétisée par les multiples réflexions du son direct et des réflexions créées sur les murs de la salle d'écoute. Toutefois, dans le cadre de la WFS, des méthodes ont été développées afin de réduire le niveau des réflexions créées par la salle d'écoute sur l'ensemble de l'étendue de la zone de reproduction [17]. Ces méthodes semblent très efficaces dans un cadre théorique mais restent encore à valider d'un point de vue pratique.

Contrairement aux réflexions précoces, la composante diffuse de l'effet de salle ne nécessite pas *a priori* de composantes directionnelles. En effet, un champ est considéré comme diffus si les signaux perçus par les 2 oreilles de

l'auditeur ne présentent pas de cohérence temporelle. Néanmoins, pour reproduire cette situation, il convient d'utiliser des signaux incohérents et diffusés depuis plusieurs directions de l'espace. Des études menées à l'université de Delft ont montré que 8/10 canaux directionnels, reproduits sous forme d'onde plane, et répartis autour de l'auditeur, étaient suffisants pour créer un champ diffus d'un point de vue perceptif. Lors de la reproduction des composantes diffuses d'un effet de salle, celles-ci vont se combiner avec les composantes diffuses de la salle d'écoute dans un processus de convolution énergétique (les effets de salle « s'ajoutent »). On peut alors utiliser un processus inverse de déconvo-

lution énergétique de l'effet de salle spécifié avec l'effet de salle de la pièce de reproduction afin de définir une nouvelle cible à synthétiser [18]. Dans ce contexte, il est impossible d'enlever de l'énergie, on ne fait alors « qu'ajouter ce qui manque ». Les procédures dites de compensation de la salle d'écoute passent par une caractérisation exhaustive de l'acoustique de la salle d'écoute à l'aide de mesures et ou de modélisations. Elles sont sensibles aux modifications de l'acoustique de la salle d'écoute (déplacement d'objets, modifications des conditions atmosphériques, ...) mais constituent néanmoins un champ de recherche très prometteur. ▶



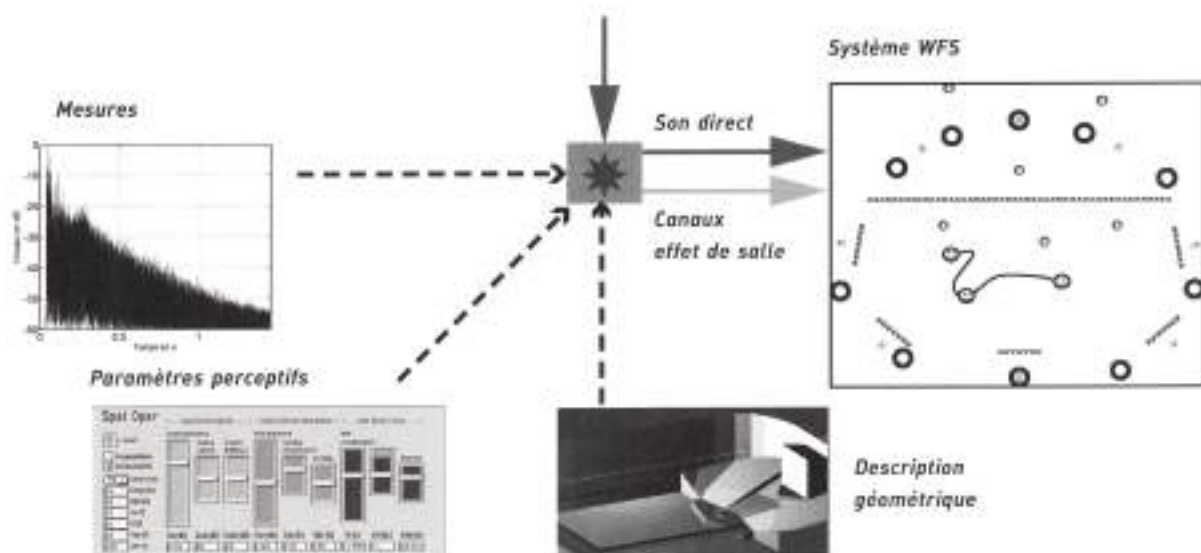
- Dans le cadre de la WFS, on simplifie généralement la synthèse des réflexions discrètes en les répartissant sur les canaux utilisés pour le champ diffus. Ceci permet de réduire très fortement le coût de calcul. En effet, pour chacune des sources sonores de la scène cible, il s'agirait de reproduire $N+1$ sources virtuelles sur le système WFS, N étant le nombre de réflexions discrètes. Ainsi pour une scène sonore contenant P sources, on aurait $(N+1)*P+8$ sources virtuelles à synthétiser en comptant les 8 canaux nécessaires pour la reproduction du champ diffus. On se limite alors à la reproduction de $P+8$ sources. Ceci se justifie d'autre part par le fait que la perception humaine ne permet pas de localiser aussi précisément le son direct que les composantes réfléchies et que des concessions plus importantes peuvent être effectuées sur cette partie du

champ sonore avec des conséquences limitées d'un point de vue perceptif.

La reproduction d'un effet de salle en WFS s'effectue donc en synthétisant un ensemble de 8 à 10 canaux d'effet de salle qui sont diffusés sur autant de « haut-parleurs virtuels » répartis tout autour du dispositif. Ces canaux peuvent aussi être utilisés pour reproduire le son direct de certaines sources en utilisant des techniques de panoramique stéréophonique.

4 EFFET DE SALLE ET CODAGE PAR LE CONTENU

Le codage par le contenu fournit une description de l'effet de salle cible. Pour chacune des sources, un processeur d'acoustique virtuelle est chargé « d'interpréter » la description de l'effet de salle fournie et de former les 8 à 10 canaux d'effet de salle.



Auparavant, on a identifié différents types de description de l'effet de salle (physique, géométrique, perceptive) pour lesquels différents mécanismes sont mis en œuvre :

→ La description physique fournit un ensemble de réponses impulsionnelles correspondant aux directions mesurées dans la salle « cible » par rapport à une position de source donnée. Le processeur d'acoustique virtuelle doit alors convoluer le signal sonore correspondant avec les réponses impulsionnelles transmises.

→ La description géométrique fournit une représentation de type architecturale de la salle cible. Des algorithmes de prédiction acoustique sont utilisés afin de déterminer la répartition des sources images et les paramètres du champ diffus associé. Les sources images sont synthétisées en utilisant des versions retardées et filtrées du signal sonore associé qui sont réparties sur les canaux d'effet de salle à l'aide d'un panoramique afin de synthétiser la direction voulue. Le champ diffus est synthétisé à l'aide d'un réverbérateur artificiel produisant un nombre suffisant de sorties décorréliées. Une méthode alternative consiste à construire des réponses impulsionnelles synthétiques qui sont convoluées avec le signal sonore associé.

→ À chacune des descriptions perceptives est associé un modèle de génération d'effet de salle permettant de stimuler les facteurs perceptifs correspondants. À partir de ces modèles, l'une des méthodes décrites précédemment (synthèse réflexions + réverbérateur artificiel, ou réponses impulsionnelles synthétiques) est appliquée afin de synthétiser l'impression spatiale spécifiée.

Techniques de mixage

Gestion de la « distance »

La WFS permet la synthèse de sources virtuelles ponctuelles. En fonction de la position de la source, le front d'onde synthétisé acquiert une certaine courbure qui permet la création d'une véritable perspective spatiale par les variations de localisation observées par l'auditeur au cours de ses déplacements. Contrairement aux situations naturelles, il est ainsi possible de manipuler la distance d'une source sonore avec un nouveau paramètre appelé « distance holophonique » indépendamment de la notion d'éloignement subjectif de la source sonore liée à la balance entre le son direct et le niveau de réverbération et la répartition des réflexions discrètes.

Cette notion d'éloignement subjectif de la source sonore a été normalisée dans le standard Mpeg-4 sous le nom de « présence » de la source sonore par un rapport entre l'énergie précoce (son direct + composantes réfléchies précoces) et l'énergie tardive (réflexions diffuses et réverbération).

Création de perspective

Dans cette partie, nous allons illustrer la création de perspective grâce à la manipulation exclusive de la distance holophonique. Pour cela, prenons l'exemple dans un ensemble constitué de trois guitares et d'une voix. Classiquement, les guitares forment un plan sonore et la voix, un élément supplémentaire, placé « en avant » par rapport aux guitares.

La première situation typique consiste à placer les trois instruments et la voix à une distance holophonique faible (à proximité du banc de haut-parleurs). Un auditeur se déplaçant dans

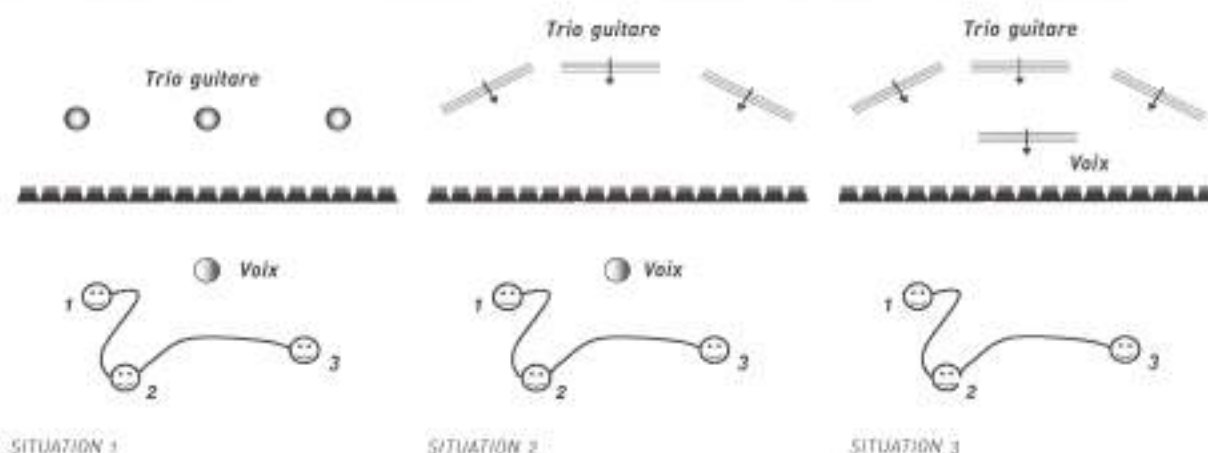
- L'installation sonore peut alors « visiter » chacune des sources sonores en se rapprochant *physiquement* d'une des sources sonores de la scène. La deuxième situation typique consiste à laisser la voix à une distance holophonique faible et à synthétiser les guitares sous forme d'ondes planes (distance holophonique « infinie »). Quelle que soit la position de l'auditeur, les trois guitares semblent alors avoir une répartition angulaire identique et forment un plan figé qui « glisse » sur les haut-parleurs et « suit » l'auditeur lors de ses déplacements. La voix, au contraire, reste à une position fixe et l'auditeur peut alors choisir le point de vue qu'il souhaite adopter vis-à-vis d'elle. La troisième situation consiste à reproduire toutes les sources sonores sous forme d'ondes planes. On offre ainsi une perspective identique pour n'importe quel point d'écoute. C'est alors l'ensemble de la scène qui suit l'auditeur lors de ces déplacements. Il est intéressant de constater que les trois exemples sont a priori perçus de manière parfaitement identique au centre de la pièce, la répartition

angulaire des sources sonores étant la même. La distance holophonique permet donc de reproduire les effets de parallaxe naturels liés à la position physique des sources sonores et est un paramètre qui s'apprécie principalement lors des mouvements de l'auditeur.

Présence vs. Distance holophonique

La distance holophonique ne donne pas *a priori* d'indice perceptif fiable pour l'appréciation de la sensation d'éloignement de la source sonore sauf en grande proximité où un effet de coloration peut être perçu. Néanmoins, ce paramètre est intimement lié avec celui de présence dans notre expérience des situations réelles. Manipuler les deux paramètres indépendamment peut donc conduire, à des conflits perceptifs.

Afin d'apporter des éléments de réponse sur ce point, un test perceptif interactif a été réalisé à l'IRCAM [19]. Au cours de ce test, la situation présentée dans la partie précédente (trois guitares+voix) a été proposée suivant différentes variantes. Le trio de guitares est reproduit avec



une distance holophonique et un niveau de présence donné et constitue donc un plan de référence de la scène sonore virtuelle. Deux variantes de ce plan de référence sont présentées aux sujets dans un ordre aléatoire correspondant à une situation proche (faible distance holophonique, forte présence des sources) et à une situation lointaine (forte distance holophonique, faible présence). Les sujets invités lors de ces expériences sont des ingénieurs du son auxquels on propose de manipuler la voix afin d'obtenir une scène sonore « cohérente ».

L'organisation générale du test consiste à :

→ Imposer différentes valeurs de la présence de la source et permettre l'ajustement de la distance holophonique.

→ Imposer différentes distances holophoniques et permettre la manipulation de la présence de la source sonore.

Ces situations sont présentées dans un ordre aléatoire sans informer le sujet de la nature du paramètre qu'il manipule. Le sujet a en effet à sa disposition un fader MIDI portable qui est automatiquement assigné au paramètre choisi pour l'expérience. L'ingénieur du son a la possibilité de se déplacer librement dans l'installation sonore afin de pouvoir estimer correctement les informations de distance holophonique.

Bien que limité vis-à-vis des situations et du matériau sonore employé, ce test a permis de montrer, dans ce cadre pourtant très référencé, que les ingénieurs du son avaient tendance à gérer indépendamment les paramètres de distance holophonique et de présence de la source sonore.

WFS et image

Dans l'utilisation du son en relation avec l'image, il convient de différencier deux situations :

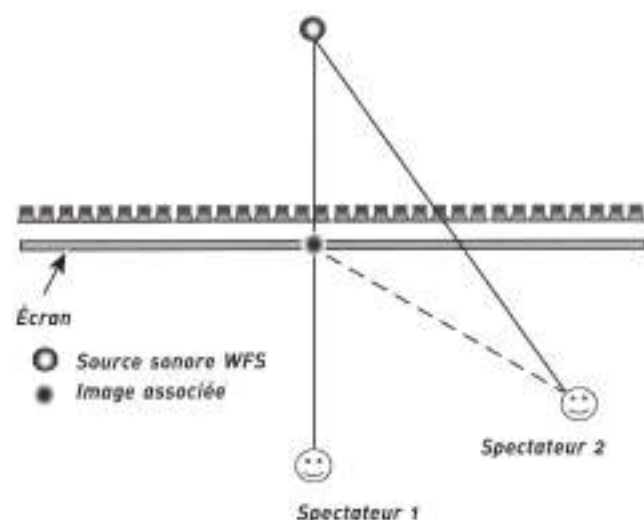
→ Les sons référencés avec l'image (le « in »).
→ Les sons sans relation évidente avec les objets présents à l'écran (le « off », les effets, la musique, ...)
Pour le « in », la position des sources sonores est dictée par la position des objets à l'écran.

L'utilisation d'effets de perspective sonore par la manipulation de la distance holophonique devient alors problématique puisque, *a priori*, la seule distance holophonique « valable » est dictée par la position de l'écran dans la salle de projection [20]. C'est un cas tout à fait défavorable pour la WFS car cela revient à attribuer la reproduction de la source virtuelle à un unique haut-parleur (celui le plus proche de la source virtuelle). La WFS s'appuie généralement sur une combinaison d'un grand nombre de haut-parleurs disposant chacun d'une faible puissance. Or, dans le cas où la source virtuelle est très proche d'un des haut-parleurs, la plus importante contribution provient de celui-ci. On ne peut donc plus réellement parler de WFS et la puissance rayonnée risque donc d'être largement insuffisante.

Néanmoins, deux phénomènes perceptifs peuvent être utilisés afin de conserver une certaine liberté d'utilisation :

→ La précision de localisation du système auditif humain est au mieux de 2 à 3 degrés.

→ On assiste généralement à un phénomène de fusion lorsque deux stimuli acoustiques et visuels sont présentés simultanément à des positions différentes. Le son a alors tendance à fusionner avec l'image et la localisation perçue est celle



SALLE 1



SALLE 2



du stimulus visuel. Ce phénomène est connu sous le nom d'effet ventriloque.

D'autre part, la taille de l'écran varie généralement suivant la taille de la pièce de projection. Ceci est pris en compte au niveau de l'image par l'adaptation de la focale du projecteur. Il convient, de manière similaire, de modifier la description de la scène sonore afin de s'adapter à la taille de l'écran. Se pose, plus généralement, la question de la validité de la description de la scène sonore vis-à-vis du système de diffusion auquel on s'adresse. Le cas d'une source intérieure permet d'illustrer ce problème. En effet, le fait de reproduire une source à l'intérieur de la pièce peut être considéré comme une volonté du « compositeur ».

Néanmoins, une source n'est intérieure qu'en regard de la taille de la pièce de reproduction et du dispositif utilisé. Sur un autre dispositif et dans une autre salle d'écoute, cette source

référéncée par une position « absolue », pourrait se retrouver soit en dehors de la pièce d'écoute, soit au milieu du public (situation défavorable car pour ce type de source, le champ sonore reproduit entre les haut-parleurs et la source n'est pas valable...). Ce problème est directement lié à l'utilisation des effets de perspective liés à la « distance holophonique ». Une « mise à l'échelle » de la scène sonore est donc nécessaire afin de transférer les effets produits d'un dispositif de reproduction à l'autre. En ce qui concerne le « off », les informations sonores n'étant pas directement liées avec des événements visuels, il y a, *a priori*, toute liberté vis-à-vis de la composition de la scène sonore associée. Néanmoins, il conviendrait de vérifier que les liens sémantiques liant le « in » et le « off » ne demandent pas une certaine cohérence dans la disposition des sources virtuelles associées.

Virtual Panning Spot

La WFS demande à priori d'utiliser autant de canaux de transmission qu'il y a de sources sonores dans la scène que l'on veut transmettre.

À chaque source sonore doit être associé un signal capté en proximité avec les problèmes de coloration que cela peut poser. Chaque source sonore est reproduite sous la forme d'une source virtuelle ponctuelle sur le système WFS. Il est donc possible de faire le constat suivant :

→ Dans le cas d'ensembles orchestraux, le nombre de canaux de transmission nécessaires peut être très élevé. La précision du rendu de chaque source semble disproportionnée par rapport à la

→ Les sources sonores reproduites n'ont pas d'extension spatiale. Est-il concevable de reproduire un piano, un chœur ou un orgue en utilisant une seule source virtuelle ?

Afin d'apporter une réponse à ces problèmes, la technique des Virtual Panning Spots (VPS) a été proposée par Gunter Theile et Helmut Wittek de l'IRT de Munich (Institut für RundfunkTechnik) au cours du projet Carrouso [21]. Cette technique consiste à réintroduire des principes stéréophoniques dans la WFS.

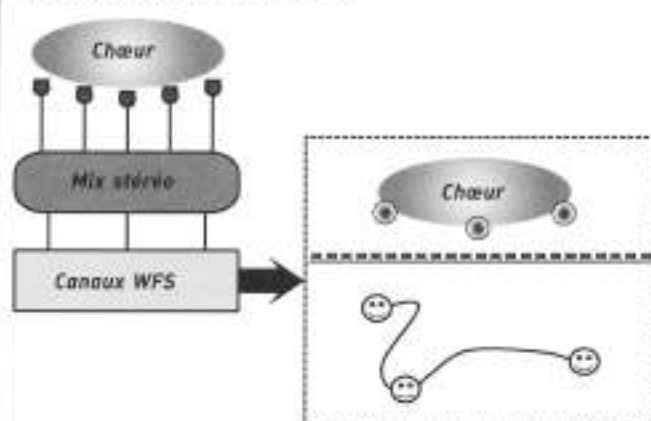
Les VPS constituent un ensemble de sources virtuelles (haut-parleurs virtuels) reproduites sur le système WFS dont la position est déterminée

Réduire le nombre de canaux



● Virtual Panning Spot (VPS)

Reproduire les sources étendues



perception que l'on peut en avoir lors d'un concert. On est en général plus sensible à la présence d'ensembles instrumentaux apparaissant chacun comme une unique masse sonore positionnée dans une « zone » de l'espace.

par le créateur de contenu. Chacun des signaux sonores est alors réparti sur un ensemble de VPS en utilisant des techniques de panoramique stéréophonique classiques (intensité, temps, simulations de microphones principaux, ...).



{...} associer à un ensemble de signaux sonores des informations spatiales afin de synthétiser les sources virtuelles (VPS) permettant de reproduire le son direct et un effet de salle décrit par des paramètres géométriques, perceptifs, ou bien des mesures {...}

revient donc à associer à un ensemble de signaux sonores des informations spatiales afin de synthétiser les sources virtuelles (VPS) permettant de reproduire le son direct et un effet de salle décrit par des paramètres géométriques, perceptifs, ou bien des mesures.

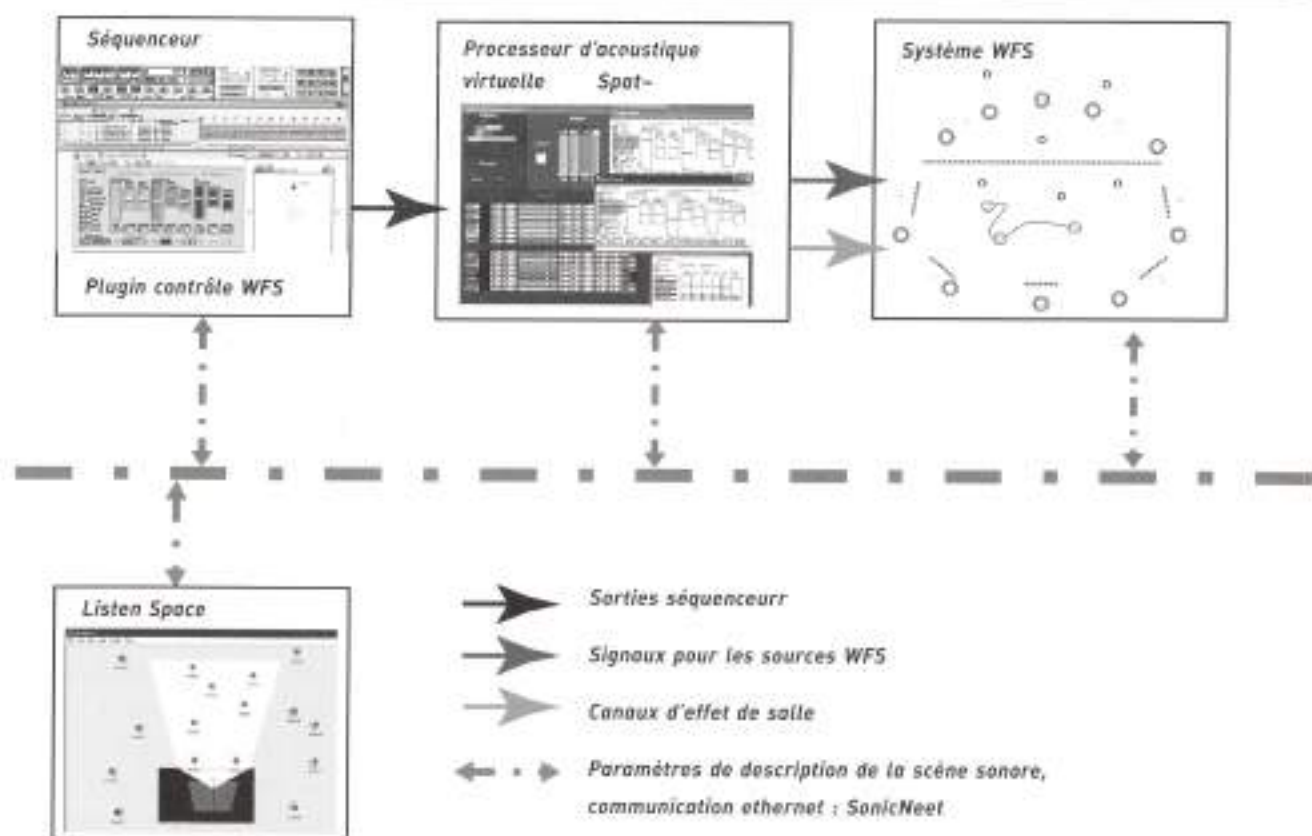
- Le signal sonore est ainsi diffusé par une source fantôme synthétisée par un ensemble de haut-parleurs virtuels sur le système WFS.

La disposition des VPS crée ainsi une zone de répartition stéréophonique à l'intérieur de laquelle on va pouvoir placer des sources fantômes par répartition sur les différents VPS. Une localisation précise peut être obtenue par mixage exclusif sur un des VPS. D'autre part, l'utilisation de haut-parleurs virtuels peu espacés étend la zone de validité des effets de type stéréophonique. Les canaux à transmettre sont alors les signaux associés à chacun des VPS auxquels on applique les paramètres de spatialisation des sources Mpeg-4 (caractéristiques de rayonnement, orientation, effet de salle associé). L'utilisation de techniques stéréophoniques crée un certain « flou » sur la localisation des sources sonores permettant de régler la largeur apparente de la source. Ainsi, la reproduction de sources étendues est effectuée de manière similaire en utilisant un certain nombre de microphones de proximité qui sont répartis sur un ensemble de VPS. Un chœur composé de 50 chanteurs peut ainsi être transmis à l'aide de 3 à 5 canaux tout en conservant l'impression d'extension spatiale de l'ensemble.

Chaîne de production WFS

Au cours de cet article, on a exposé les différents enjeux et techniques mises en œuvre dans le cadre de la reproduction sonore Wave Field Synthesis. Créer une scène sonore pour la Wave Field Synthesis

Les signaux sonores à spatialiser sous forme de VPS correspondent aux sorties de la carte son d'un ordinateur sur lequel on utilise un séquenceur. Toutes les fonctionnalités classiques du séquenceur sont ainsi disponibles (égalisation, compressions,...). Les panoramiques stéréophoniques sont utilisés afin de répartir les différentes pistes sur les sorties du séquenceur et de les reproduire comme sources fantômes dans la zone de répartition stéréophonique VPS. Les paramètres de description de la scène sont réglables grâce à un « plugin » donnant accès à la position des sources sonores (distance holophonique, angle de provenance) ainsi qu'à l'ensemble des paramètres perceptifs Mpeg-4. Ces paramètres sont entièrement automatisables, ce qui permet un suivi temporel précis des événements de spatialisation et de les synchroniser précisément avec des événements sonores. Le créateur de contenu peut choisir un mode de rendu pour le son direct (synthèse des VPS) soit sous forme de source virtuelle WFS, soit par panoramique d'intensité entre les différents canaux d'effet de salle. Ceci permet d'augmenter le nombre de sources reproductibles sur le dispositif WFS sans augmenter la puissance de calcul nécessaire. De manière plus pragmatique, si l'on dispose d'un dispositif WFS complet (banc de haut-



parleurs ininterrompu) uniquement dans le secteur frontal, on peut ainsi disposer des sources sonores sur les côtés et à l'arrière.

Les paramètres de spatialisation sont partagés et accessibles aux autres éléments de la chaîne de reproduction par l'intermédiaire d'une base de donnée répartie sur un réseau appelé sonicNet développé par la société sonicEmotion³. Un grand nombre de paramètres est ainsi disponible en tout point de l'installation par une connexion de type ethernet. Ce réseau permet d'avoir une latence très faible (de l'ordre de 10 ms) permettant

de mettre à jour les paramètres en tout point de l'installation quel que soit l'endroit auquel ils ont été modifiés.

Ainsi, les paramètres de spatialisation sont disponibles sur l'interface ListenSpace qui peut être installée sur un « tablet PC » portable relié par une connexion ethernet sans fil. Ceci permet donc au créateur de contenu de modifier les paramètres de spatialisation tout en se déplaçant librement dans l'installation sonore.

Le processeur d'acoustique virtuelle utilisé est le Spat- développé sous MAX/MSP à l'IRCAM. Dans

³ <http://www.sonicEmotion.com>

- le mode WFS, le Spat- crée l'ensemble des canaux d'effet de salle. Le son direct est, soit transmis au système WFS pour une synthèse de type « source virtuelle », soit réparti sur les canaux d'effet de salle par panoramique d'intensité. L'interface créée permet d'accéder à l'ensemble des paramètres de description de la scène sonores. Elle permet aussi des opérations simples de mixage (réglage de niveau, routing, mute, solo, ...). Elle comprend un lecteur de fichiers sons multipiste synchronisé avec un séquenceur MIDI. Ceci permet de fonctionner indépendamment du séquenceur. Les paramètres de spatialisation sont alors stockés sous forme de valeurs de contrôleurs MIDI. Associés aux fichiers sons multipiste, les fichiers MIDI constituent un codage par le contenu de la scène sonore.

Conclusion

La WFS est une technique de reproduction sonore qui vise la reproduction des caractéristiques physiques des champs sonores. Cette technique se base sur la reproduction de sources virtuelles (hologrammes sonores) à l'aide de bancs de haut-parleurs disposés autour de l'espace de repro-

duction. Elle s'appuie donc sur un codage par le contenu des scènes sonores dont le format Mpeg-4 est un exemple.

La création de scènes sonores pour la Wave Field Synthesis peut s'effectuer à l'aide d'outils conventionnels (séquenceur, processeur d'acoustique virtuelle, ...) auxquels des outils supplémentaires sont ajoutés permettant la manipulation et le stockage des paramètres liés à l'espace.

Les applications visées sont relativement larges :

- salles de concert (diffusion de parties électro-acoustiques et/ou traitement temps réel, création d'effet de salle virtuel ; compensation active de l'acoustique de la salle);
- installations muséographiques (diffusion de commentaires d'œuvres);
- cinéma ;
- visioconférence ;
- installations sonores/multimédias interactives ;
- remplaçant du « home cinéma » (à terme...).

À la suite du projet Carrouso, deux solutions commerciales ont été mises en œuvre. L'une est proposée par le Fraunhofer Institut⁴ utilisant des haut-parleurs conventionnels; l'autre est proposée par sonicEmotion⁵ utilisant des haut-parleurs MAP■

ÉTIENNE CORTEEL

Est thésard de l'équipe acoustique des salles de l'IRCAM. Sa thèse porte sur les techniques d'égalisation de champs sonores dans le cadre de la Wave Field Synthesis ; en considérant d'une part, l'égalisation du champ sonore émis par le banc de haut-parleurs et d'autre part l'acoustique de la pièce de restitution. Il a obtenu en 2000, le titre d'ingénieur de l'École nationale supérieure des Télécommunications de Bretagne et en 2001, le diplôme du DEA ATIAM. Il fut impliqué, tout d'abord à STUDER puis à l'IRCAM, dans le projet Carrouso au cours duquel il a pu mettre en œuvre des techniques d'égalisation dédiées à l'utilisation des haut-parleurs MAP pour la Wave Field Synthesis. Ses centres d'intérêt se portent sur la capture, la manipulation, la reproduction et la perception des caractéristiques spatiales des champs sonores.

4

<http://www.iosono-sound.de/>

5

<http://www.sonicEmotion.com/>

BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

Articles de référence WFS

- [1] Berkhout A. J., *A Holographic Approach to Acoustic Control*, Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 36, N° 12, December 1988, pp. 977-995.
 [2] Berkhout, A.J., de Vries, D., and Vogel, P., *Acoustic control by wave field synthesis*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 93, pp. 2764-2778.

Thèses de référence WFS

- [3] Start, E.W., *Direct Sound Enhancement by Wave Field Synthesis*, thèse, Université technologique de Delft, 1997.
 [4] R. Nicol, *Restitution sonore spatialisée sur une zone étendue : Application à la téléprésence*, Thèse, Université du Maine, Le Mans, France, 1999 (http://gyronima.free.fr/audio3D/Guests/RozennNicol_Phd.html).

Carrouso

- [5] S. Brix et al., *Carrouso, A European approach to 3D audio*, 110^e convention de l'AES, Amsterdam, 2001.

Mpeg-4, ListenSpace

- [6] Väänänen R., Warusfel O., Emerit M., *Encoding and Rendering of perceptual sound scenes in the Carrouso Project*, 22^e conférence de l'AES, Espoo, Finlande, 2002.
 [7] Delerue O., *Authoring of Virtual Sound Scenes in the Context of the LISTEN Project*, 22^e conférence de l'AES, Espoo, Finlande, 2002.

Enregistrement

- [8] Theile G., *Multichannel Natural Music Recording Based on Psychoacoustic Principles*, téléchargeable depuis <http://www.hauptmikrofon.de/theile.htm>
 [9] Hulsebos E., Schuurmans T., de Vries D., Boone R., *Circular microphone array for discrete multichannel audio recording*, 114^e conférence de l'AES, Amsterdam, 2003.
 [10] Daniel J., Moreau S., *Design refinement of high order ambisonics microphones – Experiments with a 4th order prototype*, CFA/DAGA 04, Strasbourg, 2004.
 [11] Laborie A., Bruno R., Montoya S., *A new comprehensive Approach of Surround Sound Recording*, 114^e convention de l'AES, Amsterdam, 2003.

Effet de salle

- [12] J.P. Jullien, *Structured model for the representation and the control of room acoustical quality*, In Proceedings of the 15th International Conference on Acoustics, 1995, pp. 517-520.
 [13] Jot, J.-M., and Warusfel, O. 1995. «A real-time spatial sound processor for music and virtual reality applications». Proc. 1995 ICMC.
 [14] Hulsebos E., de Vries D., *Parameterization and reproduction of concert hall acoustics measured with a circular microphone array*, 112^e conférence de l'AES, Amsterdam, 2002.
 [15] Pellegrini, R., *Perception-Based Design of Virtual Rooms for Sound Reproduction*, Audio Engineering Society, conference paper No. 245, presented at the 22nd International Conference on Virtual, Synthetic and Entertainment Audio, Espoo, Finland, June 15-17, 2002.

Égalisation, compensation effet de salle de restitution

- [16] Corteel E., Horbach U., Pellegrini R., *Multichannel Inverse Filtering of Distributed Mode Loudspeakers for Wave Field Synthesis*, preprint no 561, 112^e Convention de l'AES, Munich, 2002.
 [17] Van Zan R., Corteel E., de Vries D., Warusfel O., *Multi-Actuator Panel (MAP) loudspeakers : how to compensate for their mutual reflections?*, 116^e convention de l'AES, Berlin, 2004.
 [18] Corteel, E. Nicol, R., *Listening Room Compensation for Wave Field Synthesis. What can be done?*, 23^e Conférence de l'AES, Copenhagen, Danemark, 2003.

Gestion de la distance en WFS

- [19] Nogués M., Corteel E., Warusfel O., *Monitoring Distance Effect with Wave Field Synthesis*, DAFX03, Londres, 2003.

WFS et image

- [20] Melchior F., Brix S., Sporer T., Röder T., Klehs B., *Wave Field Synthesis in combination with 2D Video Projection*, 24^e conférence de l'AES, Banff, 2003.

WPS

- [21] Theile G., Wittek H., Reisinger M., *Potential Wave Field Synthesis Application in the Multichannel Stereophonic World*, 24^e conférence de l'AES, Banff, Canada, 2003.

Cet article s'inscrit (dans le programme de nos travaux) dans le cadre de nos efforts de réalité sonore, on d'onde (WFS) et des ambisoniques d'ordre supérieur (développées) grâce aux systèmes à une scène (sonore)(de)(manière) de (déc)rire) précisément (tous les éléments acoustiques) du lieu. Ainsi, ces

» Description spatiale du contenu d'enregistrements stéréophoniques

Alexandra Carr-Brown | Maximilien Colcy | Nicolas Delatte

Résumé Cet article s'inscrit dans le programme de recherche de l'ENS Louis-Lumière sur la spatialisation sonore pour lequel nous travaillons dans le cadre de nos mémoires. Grâce aux avancées technologiques, les principes de l'holophonie, visant à recréer un effet de réalité sonore, ont pu être concrétisés avec l'apparition, entre autres, de la synthèse de front d'onde (WFS) et des ambisoniques d'ordre supérieur (HOA). Ces nouvelles méthodes de diffusion se sont notamment développées grâce aux systèmes de description par le contenu tels que la norme Mpeg-4. En effet, afin de restituer une scène sonore de manière réaliste il convient d'en maîtriser tous les aspects : il faut être en mesure de décrire précisément tous les éléments qui la constituent, signaux sources, positions de ces sources et caractéristiques acoustiques du lieu. Ainsi, ces systèmes exigent non plus une captation sonore au sens classique du terme mais une véritable campagne de mesure, incluant, entre autre une prise de son fractionnée de chacune des sources présentes. Nous pensons qu'il n'est pas pertinent de négliger la prise de son traditionnelle et qu'il est possible de penser autrement les méthodes actuelles. Afin de permettre la synthèse de scènes sonores par ces nouveaux systèmes sans pour autant bouleverser radicalement les habitudes du terrain, nous proposons plusieurs pistes. Nous pensons qu'il est possible d'extraire les nombreuses informations que contient un signal stéréophonique sur la spatialisation, à savoir celles relatives aux sources, à leurs positions et au lieu de la captation. Pour cela, nous proposons de procéder d'abord à un découpage fréquentiel puis d'appliquer à chaque bande des méthodes d'estimation d'indices spatiaux basées sur des outils statistiques. En conséquence, notre travail de recherche s'intitule description spatiale du contenu d'enregistrements stéréophoniques.

Abstract This article is part of the École Louis-Lumière research program on spatialized sound in which we are involved as final year graduate students. It is now possible to transmit sound events in a realistic manner thanks to recent technical advancements such as Wave Field Synthesis and High Order Ambisonics. The development of these new reproduction systems relies a great deal on object-based coding methods such as Mpeg-4. Indeed, to render a sound event realistically, all its characteristics need to be mastered: source signals, source positions and room acoustics. Therefore, these systems no longer require a classical microphone configuration but actual laboratory-oriented measurements, including separate recording of the different source signals. There is no need to overrule traditional sound taking and we believe present methods are still quite effective. Indeed, synthesising sound scenes through these new systems does not mean the sound engineer's expertise is redundant; we propose several possible compromises. We believe it is possible to extract a great deal of spatial information concerning sources, source positions and room response from a stereophonic signal. We propose to compute filter banks analysis and process each resulting filtered signal with statistic-based tools to estimate spatial clues. Our research program is therefore devoted to the spatial description of stereophonic recordings.

À la recherche des informations perdues dans les enregistrements « classiques »

Quel que soit le domaine dans lequel il œuvre, l'une des tâches principales de l'ingénieur du son consiste à disposer une ou plusieurs sources sonores dans un espace de diffusion. Pour le montrer, nous avons décidé de commencer cet article par un bref historique de la spatialisation sonore, thème de recherche à l'École nationale supérieure Louis-Lumière dans lequel s'inscrivent nos mémoires de fin d'études.

En monophonie, seul le paramètre de profondeur est modulable. On peut, à la prise de son, ajuster l'éloignement et le positionnement du microphone afin de changer la distance apparente des sources. Par exemple, plus le microphone est positionné loin de la source, plus on entend l'environnement acoustique : la source paraît ainsi plus lointaine. Au mixage, on pouvait régler la « balance », c'est-à-dire le niveau relatif de chacune des sources et recréer ainsi une sensation de distance. De plus, grâce aux chambres de réverbérations naturelles, réverbérations mécaniques ou numériques ou, plus récemment, à convolution, il est devenu possible de créer du son réverbéré *a posteriori*, en studio. Ces outils de réverbération souffrent malheureusement des limitations suivantes : dans un cas on réalise une « cuisine » à partir de quelques types de réverbérations et de filtres connus, dans l'autre cas on doit mettre en œuvre des outils de mesure que seuls les acousticiens possèdent.

Partant de la capacité de l'être humain à localiser des sources latéralisées dans un cône frontal de

présence¹, l'objet de la stéréophonie, apparue dans les années trente, a été de rendre compte, par la diffusion à deux haut-parleurs, des placements – et déplacements – des sources dans le champ de diffusion. Ainsi, à la condition que l'auditeur soit proche du « sweet-spot » (sommet du triangle équilatéral qu'il forme avec les deux enceintes), un retard (noté par la suite Δt) et/ou une différence de niveau (ΔE) entre les deux canaux, provoquera l'apparition de sources virtuelles placées entre les haut-parleurs. À la prise de son, on peut créer ces ΔE et Δt en jouant respectivement sur l'angle et la distance entre les deux microphones (formant le couple stéréophonique). Il est également possible, au mixage, de produire ces différences par l'emploi de potentiomètres panoramiques dans un cas et de dispositifs de retards dans l'autre.

L'utilisation de ces techniques stéréophoniques, pourtant largement répandues, présente plusieurs inconvénients. Tout d'abord, la stéréophonie à la prise de son est très rigide, dans la mesure où elle est difficilement modifiable *a posteriori*. Le problème tient au fait que, face à la multitude de configurations possibles de couples stéréophoniques, on ne dispose que de deux outils de latéralisation (panoramique d'intensité et retard) en postproduction, outils qui ne correspondent qu'à deux configurations microphoniques bien particulières. Par ailleurs, chercher à recréer des déplacements naturels à partir de sources monophoniques en mixage relève souvent de la virtuosité, l'emploi des panoramiques d'intensité et des retards étant toujours manuel. Leur utilisation conjointe – stéréophonie de mixage superposée à la stéréophonie de prise de son – requiert donc beaucoup d'expérience et de temps. En effet, à partir d'une

¹

J. Blauert, *Spatial Hearing*, MIT Press
Cambridge, Massachusetts, 2000.

prise de son au couple stéréophonique, il est impossible, sans autre information, de connaître précisément les indices de placements, déplacements et l'environnement des sources, données qui garantiraient une superposition optimale.

Le principe de la stéréophonie fut vite étendu à plus de deux canaux, dès les années 1970 avec la quadriphonie et plus récemment avec le format « multicanal » dit « 5.1 ». On imagine bien que l'ajout de haut-parleurs ne simplifie en rien les points cités plus haut. Au contraire, en plus des contraintes liées à la manipulation, surgissent des problèmes d'incertitude d'ordre perceptif dans les zones latérales et arrières. De plus la position de l'auditeur est encore plus critique que dans le cas de la stéréophonie, puisque le « sweet-spot » est délimité par l'intersection des axes de chaque enceinte.

Ces problèmes tendraient à être en partie résolus par le système WFS (Wave Field Synthesis ou Synthèse par Front d'Onde)². Ce système n'est plus basé sur l'apparition de sources virtuelles mais recrée, dans une certaine mesure, des sources « perçues comme réelles », y compris à l'intérieur de la zone de diffusion. Ces sources sont manipulables à souhait par le biais d'interfaces évoluées qui constituent une véritable avancée par rapport aux moyens rudimentaires précédemment cités. Par ces interfaces, l'utilisateur fait intervenir les notions de positions et d'environnement. Ceci pose le problème du type de signaux qu'il faut fournir à de tels systèmes. En effet, il n'existe pas de système de prise de son directement adapté : puisque notamment le son n'est pas capté par autant de microphones qu'il y a d'enceintes de

restitution (parfois plusieurs dizaines) comme c'était le cas pour la stéréophonie ou le multicanal. En réalité, il ne faut plus considérer le nombre de signaux à fournir mais les informations nécessaires pour décrire la scène sonore à restituer. Tout d'abord, il faut renseigner le programme sur les paramètres liés aux positions des sources et au lieu dans lequel se déroule la scène. Cette description par le contenu est notamment permise par la norme Mpeg-4³. Les positions et les trajectoires des sources sont toujours recrées manuellement, c'est-à-dire tracées ou programmées via un spatialisateur. Le rendu est souvent rigide et manque parfois de naturel. Ensuite, pour l'environnement acoustique, la démarche reste lourde à mettre en œuvre car il est nécessaire d'effectuer une campagne de mesures dans les lieux à simuler. Enfin, il est nécessaire de capter chaque source séparément.

Ceci nous conduit à envisager un système qui permettrait de déduire de manière automatique ces informations : signaux de sources, positions des sources et caractérisation de lieux, à partir d'enregistrements classiques. Par la nature même des objets étudiés, l'élaboration d'un tel système ne peut pas être le résultat d'une approche dissociant les trois informations, celles-ci étant largement interdépendantes car mélangées dans un même signal audio.

Nous avons aussi choisi de conserver les outils de captation largement utilisés dans le domaine professionnel : des systèmes de microphones traditionnels et comprenant un nombre restreint de microphones. Il existe déjà, avec ces systèmes, une pratique de la captation issue de la recherche ►

² *Further investigations of high order ambisonics and wavefield synthesis for holophonic sound imaging*, AES convention paper 5788, Daniel Nicol, Moreau, 2003.

³ *Overview of the Koehn, Mpeg-4 standard*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 [Coding of moving pictures and audio], 2001.

- expérimentale et utilisant des antennes de microphones (systèmes à haute résolution spatiale)⁴. Mais elle reste lourde à mettre en œuvre et nécessite des traitements complexes. Par ailleurs, les signaux ainsi captés ne sont pas directement exploitables au sens traditionnel du terme.

Nous supposons que les enregistrements traditionnels contiennent des informations non exploitées jusqu'à présent, concernant l'espace sonore. Le but de notre travail est d'améliorer l'utilisation que l'on fait des systèmes de prises de son classiques à des fins de description spatiale. En effet, nous souhaitons conserver une approche pratique proche des habitudes des ingénieurs du son.

Après ces constats préliminaires, nous proposons de discuter la question de l'analyse de l'espace sonore. Dans un premier paragraphe, nous recenserons les résultats disponibles concernant la description spatiale, ce qui nous permettra de préciser le cadre général de notre étude. Ainsi, nous discuterons un protocole expérimental et la création d'une base de données audio qui devrait nous permettre d'élaborer, pas à pas, un algorithme dans les meilleures conditions possibles. Nous étudions ensuite comment, à partir de la conception des systèmes de prise de son stéréophoniques, une résolution géométrique simple nous donne, sous réserve de certaines hypothèses, accès à la localisation des sources. Dans le quatrième paragraphe, nous introduisons des outils d'analyse liés à la recherche des indices (retard et gain) de spatialisation, susceptibles d'être utilisés en fonction de leur compatibilité avec les contraintes et les objectifs choisis pour ce travail.

1_État de l'art en matière de description spatiale

Le travail que nous effectuons est le prolongement direct du mémoire de fin d'étude de Nicolas Boyer⁵. Cet étudiant de l'ENS Louis-Lumière avait pour objectif de proposer un algorithme de traitement du signal stéréophonique permettant d'éliminer les composantes hors de l'angle utile de prise de son. La finalité de cette recherche était de présenter un outil permettant d'isoler les sources d'une prise de son stéréophonique. Il a obtenu des résultats préliminaires intéressants et a pu conclure que la transformée en ondelettes produisait moins d'artefacts que les autres méthodes dans le cas d'une annulation totale.

S'il n'a pas fourni d'outils de traitement du signal exploitables simplement, son travail précurseur constituera pourtant notre point de départ. Par exemple, il semble judicieux d'éliminer certains outils d'analyse qu'il a employés, comme les FFT glissantes et l'algorithme Mallat⁶ de transformées en ondelettes, qui posaient des problèmes de reconstruction gênants en termes de rendu sonore. Une autre question importante soulevée par Boyer est celle du découpage en bandes de fréquences. Sa réponse était un découpage dyadique : la bande $[0, F_s/2]$ est découpée en deux, puis la bande inférieure $[0, F_s/4]$ est à son tour scindée en deux, puis la bande $[0, F_s/8]$,... Mais ce découpage ne correspond ni aux habitudes de travail, ni au « langage » des ingénieurs du son.

Sa méthode est néanmoins intéressante dans l'optique de l'isolement des sources. En effet, il semble probable que l'on puisse combiner

⁴ Labadie, Montoya, Bruno, *High Spatial Resolution Multichannel Recording*, AES Convention Paper 6116, Berlin 2004.

⁵ Nicolas Boyer, mémoire de fin d'étude, *Traitement des signaux stéréophoniques : élimination des composantes extérieures à l'angle de prise de son utile*, ENS Louis-Lumière, 2001.

⁶ Mallat, *Une exploration des signaux en ondelettes*, Éditions de l'École Polytechnique, 2000.

les signaux traités pour isoler des secteurs angulaires. La recherche et l'extraction de ces secteurs contenant une ou plusieurs sources, plutôt que celle des signaux de sources monophoniques, est indispensable pour rendre compte de la largeur des sources et ne pas perdre l'intérêt de la prise de son stéréophonique.

Baskind⁷, dans sa thèse de doctorat, fait l'estimation des retards et gains entre les voies grâce à des outils statistiques d'ordre deux (corrélation ou cohérence) et l'emploi d'outils de représentation fréquentielle comme la transformée de Fourier rapide à court terme. Cette méthode lui permet de détecter la présence et l'incidence d'une source, et de caractériser la présence et l'enveloppe de la réverbération tardive. Mais son étude, notamment parce qu'elle s'applique uniquement aux systèmes binauraux et à une source monoïdique unique (par opposition à polyphonique), ne correspond pas entièrement aux objectifs que nous nous sommes fixés dans le cadre de cette étude. En effet notre finalité est de fournir des outils utilisables par les praticiens de la prise de son et/ou de la post-production audiovisuelle et musicale. Cependant, il nous paraît impossible d'ignorer ses méthodes d'estimation de retards et de gains, car les outils mathématiques qu'il a utilisés sont relativement simples et nous paraissent donc faciles à mettre en œuvre en même temps qu'efficaces en termes de vitesse de calcul – paramètre secondaire mais incontournable.

Avendano et Jot⁸, quant à eux, ont notamment participé à l'élaboration de systèmes de traitement des signaux stéréophoniques en vue d'un remixage vers des systèmes de diffusion multicanale (upmix).

Pour cela, ils proposent une méthode de détection de la position angulaire de plusieurs sources ponctuelles dans le cadre de la monophonie dirigée, et une méthode de séparation des signaux sources et de l'ambiance (bruit de fond à la captation et réverbération). Ils distinguent deux cas de figure : les signaux stéréophoniques issus d'enregistrements en direct (studio ou spectacle vivant) et ceux issus d'enregistrements en « re-recording » où chaque source est enregistrée l'une après l'autre, ce qui réduit considérablement voire totalement la diaphonie.

Par des outils statistiques similaires à ceux de Baskind (cohérence), ils obtiennent plusieurs indices pouvant évoluer au cours du temps. Par exemple, le « panning index » renseigne sur la latéralisation instantanée de la source dans le mixage. La succession des index est représentée sur un « panoramme » qui rend compte de l'évolution du placement de la source. L'intégration de ces indices dans le temps donne une position moyenne de la source. Ceci permet notamment d'isoler la portion angulaire dans laquelle est inscrite la source afin de la replacer grossièrement dans le mixage.

Notre démarche se rapproche nécessairement de la leur et nous nous appuyerons également sur ces travaux. Cependant, les lois de panoramiques employées (linéaires) ne correspondent pas aux lois courantes et les modèles de signaux introduits ne sont applicables qu'au cas de la spatialisation de sources utilisant des panoramiques d'intensité et des réverbérations.

Ainsi, chacune de ces méthodes présente des intérêts et des inconvénients, par rapport au cadre ►

⁷ Baskind, thèse de doctorat université Paris VI, *Modèles et méthodes de description spatiale de scène sonore*, 2003.

⁸ Avendano and Jot, *Frequency domain techniques for stereo to multichannel upmix*, AES 121st International conference, 2004.

- de notre travail. Après avoir précisé plus avant nos hypothèses, nous serons amenés à choisir les éléments, outils et méthodes à conserver pour l'application qui nous intéresse.

2_Cadre général de l'étude

Nous proposons d'analyser des signaux stéréophoniques issus d'abord de productions en monophonie dirigée, puis de prises de son stéréophoniques réalisées avec des systèmes dont toutes les caractéristiques sont connues. Les systèmes que nous étudierons ici seront le couple ΔE pur, le Δt pur à 2 et 3 microphones, voire un système mixte (AB/ORTF par exemple).

En ce qui concerne le type de sources, nous procéderons par étapes. Dans un premier temps, il s'agira de sources de synthèse dont nous maîtrisons toutes les caractéristiques. Ensuite, nous nous intéresserons au cas de sources réelles simples monodiques pour, finalement, étendre l'étude au cas des sources complexes polyphoniques. La première étape de l'étude se fera avec une source unique et fixe. En effet, en présence de bruit de fond ou de réverbération (décorrélation des voies), il s'agit d'abord de détecter les moments où une source est active pour pouvoir en estimer les indices de positionnement. Par la suite, nous envisagerons l'extension de l'étude au cas d'une source mobile (ce qui pose le problème du temps de l'analyse) et au cas de plusieurs sources (problème du profil spectral caractérisant chaque source). L'ensemble de ces études permettrait en dernier lieu de traiter des scènes sonores dont on ne connaît aucune caractéristique, hormis le type de système utilisé, dans le cas d'une prise de son.

En ce qui concerne les caractéristiques acoustiques, les scènes sonores étudiées doivent être situées dans un lieu unique. Soit l'enregistrement est directement issu d'une seule captation microphonique soit il s'agit d'une production en monophonie dirigée n'utilisant qu'une seule réverbération artificielle. Les travaux débiteront avec une source synthétique unique, « mono dirigée » et placée dans un espace artificiel, de synthèse lui aussi. Ces caractéristiques ne seront extractibles que si elles émergent suffisamment en niveau et en temps.

Il va de soi que nous ne considérons que le cas de signaux non traités par un système de réduction de débit puisque la compression de données, par exemple le mp3⁹, altère notablement le rendu stéréophonique.

3_Validation expérimentale

Pour valider les algorithmes nous aurons besoin d'une bibliothèque aussi exhaustive que possible de fichiers audio contenant des sources à des positions connues et captées par des systèmes dont les caractéristiques (distance entre les microphones, type de capsule, etc.) sont connues elles aussi. En fonction des moyens techniques couramment disponibles, nous avons fait le choix des systèmes suivants :

- Δt pur (37,5 cm, capsules SCHOEPS MK5);
- ΔE pur (90°, capsules NEUMAN KM184);
- AB/ORTF («Colette» SCHOEPS);
- un troisième microphone omnidirectionnel (MK5, à 70 cm de la capsule droite et 60 cm de la capsule gauche).

⁹ Audio and multimedia
Mpeg Layer 3.
Fraunhofer IIS
(<http://www.iis.c.de>).

Dans un premier temps, nous avons placé, à 1,70 m du sol, plusieurs couples placés de manière concentrique au milieu du studio et nous avons effectué la campagne de prises de son suivante : 3 voix, claves et harmonica, seuls et ensembles, à des positions fixes et en suivant des trajectoires (circulaires et droites) continûment. Le choix des « axes principaux » s'est fait en regard de l'étude sur les systèmes de captation. Les points remarquables de cette expérience sont tracés en Figure 1. Ainsi, par exemple, l'axe A5 correspond à la limite théorique de « l'angle de prise de son » arrière du couple ΔE pur cardioïde à 90°.

Tous les paramètres de ces prises de son sont donc connus mais ces enregistrements constituent déjà des scènes complexes qu'on ne pourra aborder qu'à la fin de notre étude. En effet, ces éléments sonores constituent l'objet final de la validation car ils rassemblent l'ensemble des conditions qui rendent notre étude délicate, à savoir, réverbération, bruit de fond, sources mobiles, aux profils dynamiques complexes et dont les profils spectraux sont similaires.

4_Principe d'utilisation des retards et des gains issus de l'analyse des signaux

4.1_Modèles microphoniques

Les premières informations dont nous avons besoin, pour construire nos outils, concernent les modèles théoriques, approchés puisque correspondant à l'hypothèse d'une source en champ lointain, qui permettent d'étudier le comportement des capsules microphoniques utilisées par les ingénieurs de son.

On représente couramment la directivité au moyen d'une fonction polaire du type

$$N = \lambda + \mu \cdot \cos(\alpha)$$

où N désigne le niveau électrique fourni par le microphone, λ et μ sont des facteurs dépendant de la fréquence et α est l'angle d'incidence par rapport à l'axe du microphone. Les valeurs de λ et μ , uniquement valables en champ lointain, peuvent être déduites des données constructeurs. Elles sont souvent constantes jusqu'à une certaine fréquence (de l'ordre de 1 kHz).

Ainsi, les valeurs de λ et μ définissent différents types de directivités classiques : ▶

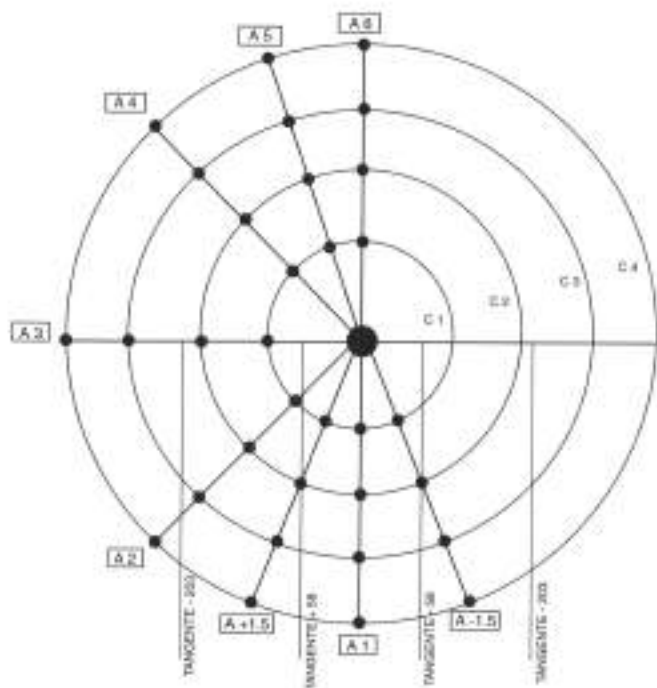


FIGURE 1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL DE VALIDATION POUR LES SCÈNES COMPLEXES

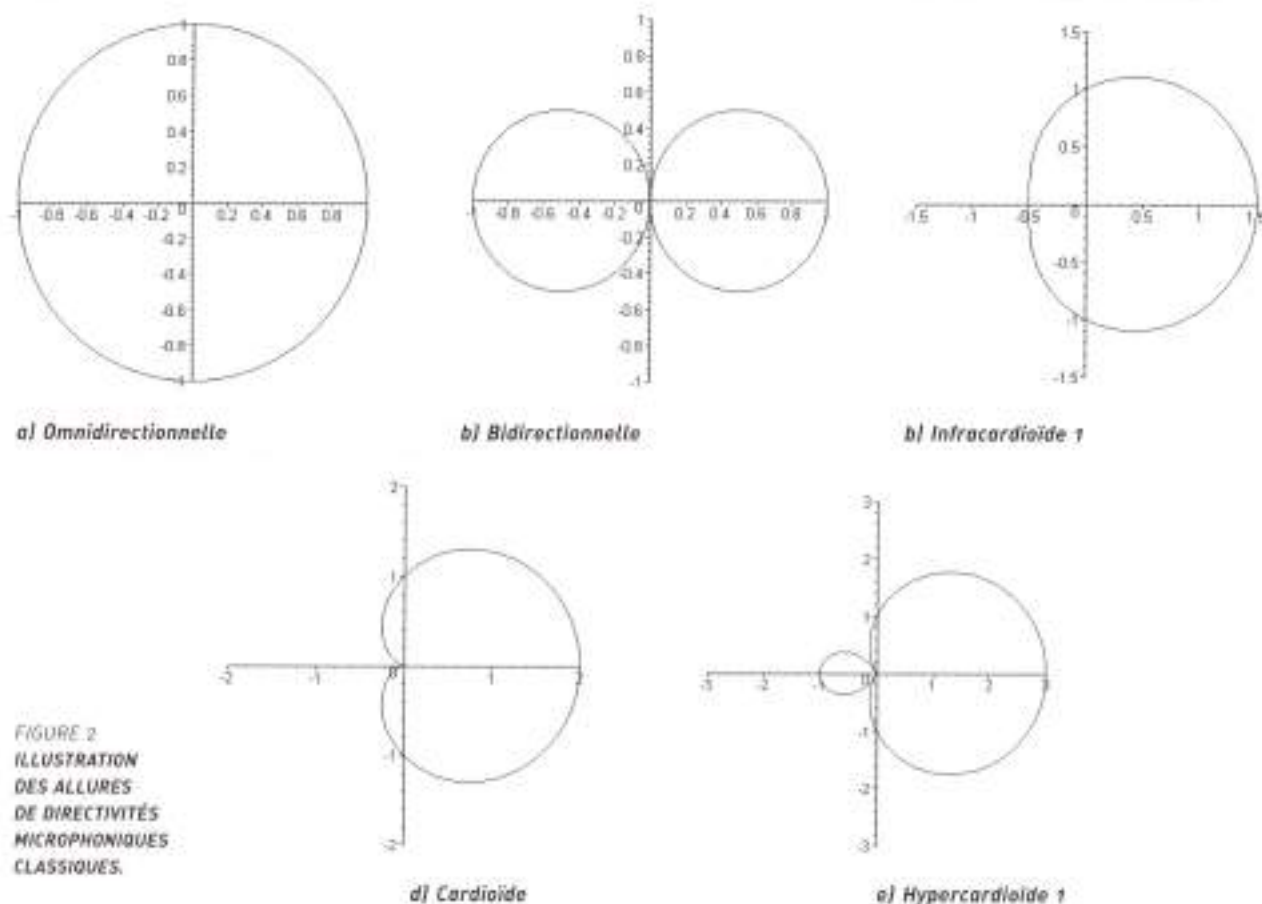


FIGURE 2
ILLUSTRATION
DES ALLURES
DE DIRECTIVITÉS
MICROPHONIQUES
CLASSIQUES.

- $\mu = 0$, omnidirectionnelle, le niveau est indépendant de l'incidence;
- $\lambda = 0$, bidirectionnelle;
- $\lambda > \mu$, infra cardioïdes;
- $\lambda = \mu$, cardioïde;
- $\lambda < \mu$, hyper cardioïdes.

Nous précisons, dans le paragraphe suivant, la terminologie que nous avons adoptée pour décrire les problèmes posés par la stéréophonie.

4.2 Terminologie concernant la stéréophonie

Dans ce paragraphe nous donnons la définition des paramètres, critères et notions nécessaires dans la suite de la discussion.

SYSTÈME ÉLECTRO-ACOUSTIQUE DE RESTITUTION

Des études sur la psychophysiologie de l'audition¹⁰ ont montré que dans la zone frontale de -30° à $+30^\circ$ la localisation des sons est la plus précise. C'est pourquoi on a normalisé l'emplacement des enceintes de telle sorte qu'elles forment un

¹⁰
Henri Mertens,
Directional Hearing
in Stereophony, Revue
de l'EBU, 1960.

triangle équilatéral avec l'auditeur.

CRITÈRES SUFFISANTS DE LATÉRALISATION EXTRÊME

En écoute stéréophonique, selon le type de source, une différence de niveau de 15 à 22 dB entre les canaux gauche et droit suffit à donner l'impression à l'auditeur que la source est complètement latéralisée* (c'est-à-dire qu'elle est perçue dans le haut-parleur). La même sensation sera produite par un retard de 0,8 à 1,8 ms entre les signaux gauche et droit.

ANGLE DE PRISE DE SON D'UN COUPLE STÉRÉOPHONIQUE

L'angle ou la distance entre les microphones déterminent les incidences pour lesquelles on a une différence de 15 dB à 22 dB ou un retard de 0,8 à 1,8 ms entre les signaux. Ces incidences définissent deux angles physiques appelés angle de prise de son avant et arrière. Toutes les sources captées à l'intérieur de ces angles deviennent des sources virtuelles entre les deux enceintes. Les sources situées hors de ces angles sont alors exclusivement perçues dans les haut-parleurs.

Notons qu'il existe des configurations de microphones ne permettant pas d'obtenir 15 dB de ΔE ou 0,8 ms de Δt , citons notamment le couple de capsules infra cardioïdes.

RAPPORT D'ANAMORPHOSE

Il désigne le rapport entre l'angle de prise de son et l'angle de restitution. Dans les cas courants, l'angle de prise de son n'est pas de 60° et on observe une distorsion de la perspective. Sur la Figure 4, on illustre le repli du champ stéréophonique arrière sur la zone frontale de diffusion.

Ces quelques conventions introduites, nous pouvons maintenant étudier le problème de la détection de l'incidence d'une source.

4_3_Détection de l'incidence d'une source

HYPOTHÈSES

Dans toute l'étude de l'incidence d'une source, il faut, dans un premier temps, simplifier le problème en ne considérant qu'une seule source, ponctuelle et en champ libre (pas de réverbération). Rappelons qu'une telle source, aussi appelée monopole, est supposée omnidirectionnelle et produire des ondes sphériques. Deux cas simples peuvent être tout d'abord distingués, le couple ΔE pur et le couple Δt pur.



FIGURE 3
ZONES REMARQUABLES
EN CAPTATION
STÉRÉOPHONIQUES.
LE CENTRE DU CERCLE
CORRESPOND AU COUPLE
STÉRÉOPHONIQUE.



FIGURE 4
REPLI DES DIFFÉRENTES
ZONES DE CAPTATION
SUR LE CHAMP
DE DIFFUSION
STÉRÉOPHONIQUE.

*
Carl Coen,
La stéréophonie,
à la RTB, 1969.

► **A_CAS DU COUPLE ΔE PUR**

Si le système de captation est composé de deux microphones coincidents alors on parle de couple ΔE. En effet, en raison de la directivité des capsules, la seule différence constatée entre les signaux « gauche » et « droit » issus de chacun des transducteurs est une différence de niveau résultant de l'angulation des microphones.

L'angle physique entre les microphones est noté φ. Le rapport des tensions issues de chaque microphone est noté R. On a alors :

$$R = \frac{\lambda + \mu \cdot \cos(a - \frac{\varphi}{2})}{\lambda + \mu \cdot \cos(a + \frac{\varphi}{2})} \quad (1)$$

$$\text{et } \Delta E = 20 \cdot \log(R)$$

φ étant connu, on obtient deux angles d'incidence possibles de la source pour un rapport de tensions donné entre les deux signaux.

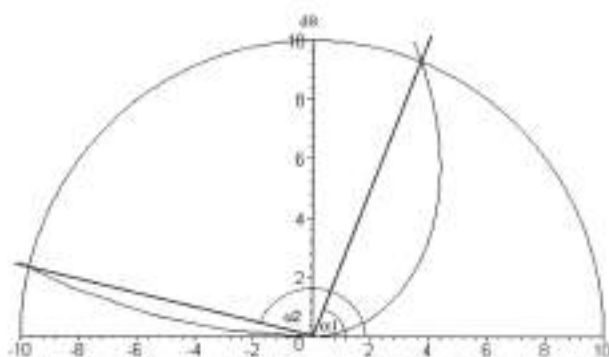


FIGURE 5 : DÉTERMINATION GRAPHIQUE DES ANGLES D'INCIDENCE POSSIBLES D'UNE SOURCE DANS LE CAS D'UN SYSTÈME XY CARDIOÏDES POUR ΔE = 10 DB. ICI, LES SOLUTIONS SONT A1 = 66° ET A2 = 167°.

La résolution de (1) n'est pas directe, car on obtient une équation de la forme :

$$\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \frac{1+R}{1-R} + \frac{\lambda}{\mu \cdot \cos(\frac{\varphi}{2})} = 0 \quad (2)$$

Mais il suffit de résoudre cette équation pour obtenir deux angles d'incidence possibles de la source de manière précise.

La loi de panoramique utilisée pour la latéralisation en postproduction correspond à un cas particulier des systèmes ΔE. Il s'agit du système Stéréosonic constitué de deux capsules bidirectionnelles formant un angle de 90°. Notons que ce système est souvent pris comme référence pour les tests de prise de son stéréophonique. Si on ne considère que les zones en phase, voir Figure 6, on obtient une puissance stéréophonique constante, c'est-à-dire une loi de répartition homogène de la puissance. Cette même loi de répartition est utilisée dans la conception des panoramiques d'intensité.

Dans ce cas, l'équation (2) devient :

$$\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \frac{1+R}{1-R} = 0$$

Ce qui donne directement :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R-1}{R+1}\right)$$

Ainsi, dans le cas d'une source latéralisée au panoramique d'intensité, la détection de l'incidence d'une source est directe. Il faut toutefois ramener l'incidence déduite par le calcul à l'incidence perçue à la restitution, c'est-à-dire dans les -30°, +30° du triangle stéréophonique normalisé.

En conclusion, on retiendra que dans le cas d'un couple ΔE pur la différence de niveau ΔE entre les

deux capsules donne deux incidences possibles de la source. Et dans celui de la monophonie dirigée utilisant le pan pot d'intensité, on obtient directement l'angle d'incidence.

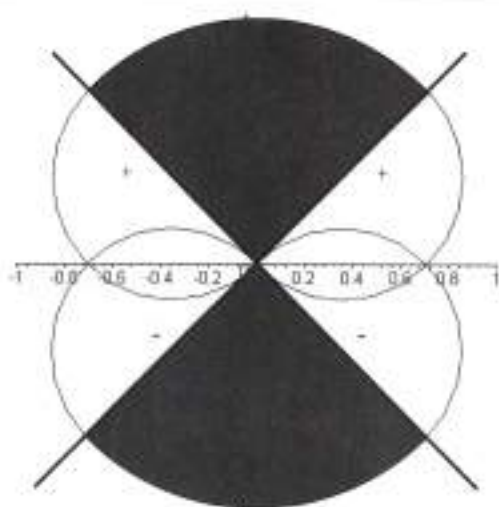


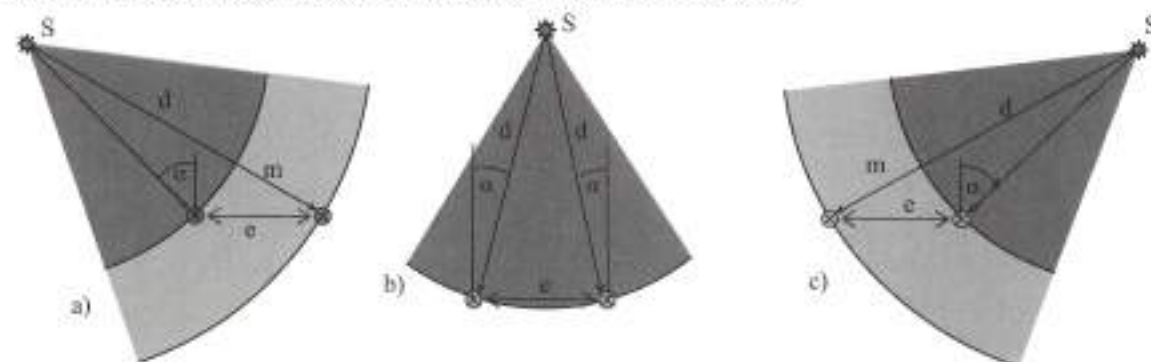
FIGURE 6 ANALOGIE ENTRE LOI DE PAN POT ET COUPLE STÉRÉOSONIC

Nous pouvons maintenant voir ce que permet le couple du Δt pur.

B_CAS DU COUPLE ΔT PUR

Si le système de captation est composé de deux microphones omnidirectionnels espacés d'une distance e , alors on parle de couple Δt pur. On note la différence de temps d'arrivée sur les capsules gauche et droite. Les signaux (gauche et droit) diffèrent par un retard dû à la différence de marche de l'onde incidente entre les deux capsules (cf. Figure 7). Mais, il n'existe pas de capsule réellement omnidirectionnelle sur tout le spectre puisque, par exemple, le corps du microphone provoqué des interférences aux hautes fréquences et on ne peut plus alors considérer le microphone comme omnidirectionnel. Un placement judicieux des microphones (perpendiculaires au plan d'observation) permet néanmoins de rendre plus homogène la directivité de la capsule sur tout le spectre.

FIGURE 7 ILLUSTRATION DES TROIS CAS DE FIGURES POUR LE PLACEMENT D'UNE SOURCE



a) Le signal G précède le signal D, $\Delta t(G, D) > 0$, la source est dans le demi-plan gauche.

b) Le signal D se confond avec le signal G, $\Delta t(G, D) = 0$, la source est dans l'axe.

c) Le signal D précède le signal G, $\Delta t(G, D) < 0$, la source est dans le demi-plan droit.

- Dans la suite, « l'axe de la capsule A pour un couple A-B » désigne la droite passant par A et perpendiculaire à (AB), A et B étant les lieux respectifs des capsules gauche et droite. Soit d la distance de la source à une des deux capsules, m la différence de marche de l'onde de la capsule A à la capsule B, e l'écartement des microphones et α l'angle d'incidence par rapport à l'axe de cette capsule, toujours selon les hypothèses de départ, on remarque alors que l'on a :

$$\Delta t = \frac{m}{c(T)}$$

avec c la célérité du son et T la température.

$$(d + m)^2 = d^2 + e^2 - 2d \cdot e \cdot \cos(\alpha + \frac{\pi}{2})$$

(Pythagore généralisé)

Deux approches sont ainsi possibles suivant que l'on connaît le retard Δt ou l'angle d'incidence. Pour une même différence de marche et un même écartement des microphones, si on dispose du retard Δt , on montre que l'angle d'incidence vérifie la relation :

$$\alpha_{m,e}(d) = \arcsin\left(\frac{(d + m)^2 - d^2 - e^2}{2ed}\right) \quad (3)$$

Inversement, on peut calculer la distance en fonction de l'angle d'incidence et en utilisant la relation :

$$d_{m,e}(d) = \frac{m^2 - e^2}{2e \sin \alpha - 2m} \quad (4)$$

Comme $m \leq e$, il s'agit de l'équation d'une hyperbole. Cette hyperbole définit un lieu de points pour un e et un m donnés. Enfin, le signe de Δt détermine la première capsule atteinte par l'onde sonore (prise comme référence). Par conséquent, la seule branche de l'hyperbole à prendre en compte est celle dont le foyer est cette capsule.

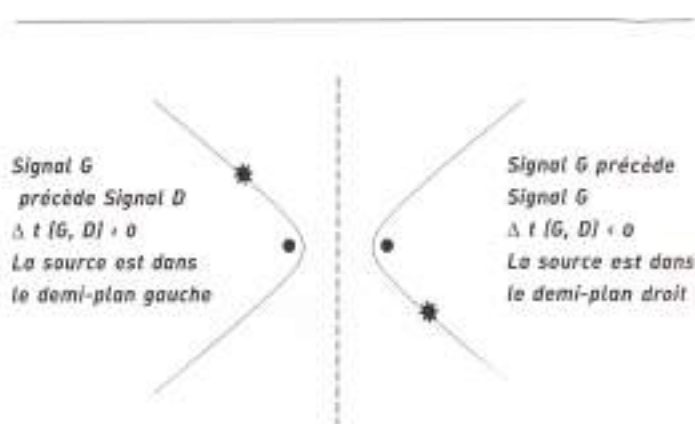


FIGURE 8 LIEU DES POINTS POUR UNE DIFFÉRENCE DE MARCHÉ DE 30 CM DANS LE CAS D'UN SYSTÈME DE MICROPHONES ÉCARTÉS DE $E = 40$ CM.

Remarque : à partir d'une certaine distance, on constate que l'on a

$$\lim_{d \rightarrow +\infty} \alpha_{m,e}(d) = \arcsin\left(\frac{m}{e}\right)$$

Dans le cas du couple Δt pur, le retard entre les canaux nous permet seulement de déduire le lieu des positions possibles de la source. Notons tout de même qu'au-delà d'une certaine distance, nous pouvons estimer deux directions limites dans les demi-plans avant et arrière.

Observons ce que devient maintenant la différence de niveau entre les voies gauche et droite, toujours dans le cas du couple Δt pur.

Différence de niveau due à la différence de marche

Nous n'utiliserons qu'un modèle simple de l'atténuation géométrique d'une onde sonore. Dans ce modèle, l'onde est toujours considérée sphérique

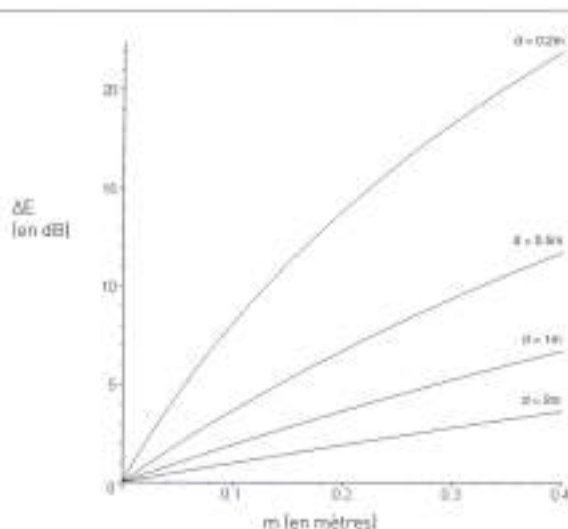


FIGURE 9 DIFFÉRENCE DE NIVEAU EN FONCTION DE LA DIFFÉRENCE DE MARCHE

entre les distances d_1 et d_2 vaut $\| 20 \log (d_1/d_2) \|$.

Ainsi, dans le cas d'un couple Δt pur, la différence de niveau entre les deux capsules vaut $\| 20 \log [(d+m)/d] \|$. La figure 9 montre clairement que la différence de niveau devient importante pour des petites distances et des différences de marche importantes (α et e grands).

Pour l'application qui nous concerne, la différence de niveau due à la différence de marche paraît non négligeable. Ceci nous conduit à une approche systématique de tous les couples en Δt et ΔE , y compris ceux communément appelés couples Δt purs.

Maintenant, nous pouvons aussi considérer le cas d'un système stéréophonique mixte.

C_CAS DES SYSTÈMES MIXTES

Nous appellerons systèmes mixtes tous les systèmes conjuguant une angulation des capsules et un écartement. En «stéréophonie», pour calculer l'angle de prise de son d'un système, on considère que les capsules sont coincidentes. Cette approximation n'est pas satisfaisante dans le cas qui nous concerne. Pour illustrer cela on introduit l'angle α_{BA} , désignant l'angle d'incidence de la source par rapport à l'axe de la capsule B dans le couple A-B. On obtient alors l'expression:

$$e' = d_A' + (d_A + m)^2 - 2.d_A.(d_A + m).\cos(\alpha_{BA} - \alpha_{AB}) \quad (7)$$

La résolution de l'équation nous donne alors

$$d_A' = \frac{1}{2} \left(-m + \sqrt{m^2 + 2 \cdot \frac{e' - m^2}{1 - \cos(\alpha_{BA} - \alpha_{AB})}} \right)$$

et ainsi

$$\alpha_{BA} - \alpha_{AB} = \arccos \left(\frac{d_A'^2 + (d_A + m)^2 - e'}{2.d_A.(d_A + m)} \right)$$

$\alpha_{BA} - \alpha_{AB}$, la différence des incidences de l'onde source sur A et B, est donc liée à la différence de niveau «ajoutée» par rapport au cas des capsules coincidentes. On voit grâce à la figure 10 que ces différences deviennent très importantes quand la différence de marche et/ou la distance diminuent. ►

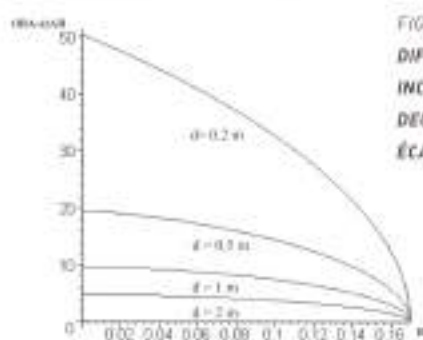


FIGURE 10 DIFFÉRENCE DES INCIDENCES SUR DEUX CAPSULES ÉCARTÉES DE 17 CM

- Ainsi, pour un système mixte, les différences de niveau observées entre les canaux du fait des différences d'incidences sur les capsules ne peuvent plus être interprétées comme dans le cas du Δt pur, puisque celles-ci ne sont plus coïncidentes.

Une autre alternative, puisque l'extension au cas des systèmes mixtes pose quelques problèmes, consiste à recueillir des informations supplémentaires, par exemple, en insérant une troisième capsule microphonique.

0_SYSTÈME Δt « PUR » À TROIS MICROPHONES

On a vu que, dans le cas du couple Δt à deux microphones A-B, bien qu'il soit possible de trouver l'incidence de la source, celle-ci dépend de la distance. Par conséquent, il reste une indétermination quant à la position exacte de la source par rapport au système.

L'ajout d'un troisième microphone C règle ce problème car on obtient alors une triangulation parfaite par rapport à la source. En effet, chaque paire de microphones forme un couple stéréophonique. Selon les hypothèses de départ, on peut alors, en théorie, déterminer trois incidences qui se recoupent exactement à la position de la source.

α_{AB} désigne l'angle d'incidence par rapport à l'axe de la capsule A pour le couple A-B.

m_{AB} désigne la différence de marche de la capsule A à la capsule B. La première capsule indiquée correspond au premier microphone atteint.

e_{AB} désigne l'écartement entre les microphones A et B.

d désigne la distance à la capsule commune aux deux couples considérés.

Deux incidences suffisent *a priori* pour déterminer la position. Ainsi, on obtient à partir de deux différences de marche m_{AB} et m_{AC} , deux angles d'incidence α_{AB} et α_{AC} . On obtient alors l'expression :

$$\alpha_{AC} - \alpha_{AB} = \arcsin\left(\frac{2 \cdot d \cdot m_{AC} - e_{AC}^2 + m_{AC}^2}{2 \cdot d \cdot e_{AC}}\right) - \arcsin\left(\frac{2 \cdot d \cdot m_{AB} - e_{AB}^2 + m_{AB}^2}{2 \cdot d \cdot e_{AB}}\right) \quad (5)$$

Par ailleurs, on connaît l'expression de $\alpha_{AC} - \alpha_{AB}$ en fonction des écartements

$$\alpha_{AC} - \alpha_{AB} = \arccos\left(\frac{e_{AB}^2 + e_{AC}^2 - e_{BC}^2}{2 \cdot e_{AB} \cdot e_{AC}}\right) \quad (6)$$

La résolution de l'équation $(\|5\|) = (6)$ nous donne d la distance à la capsule A. On détermine ainsi α_{AB} et d , autrement dit on connaît alors la position de la source.

Ainsi, l'ajout d'un troisième microphone permet de lever l'indétermination sur la position de la source, car on peut déterminer à la fois son incidence et sa distance.

CONCLUSION

L'approche géométrique permet d'obtenir deux incidences mais mène à une impasse pour l'estimation de la position de la source dans le cas de systèmes à deux microphones. Il faut donc poser le problème autrement, si l'on ne veut pas recourir à l'utilisation d'un troisième microphone. De plus, nos hypothèses de départ sont très restrictives, notamment celles concernant l'influence de l'acoustique, du bruit de fond, du type et du nombre de sources. Il faudrait par exemple faire intervenir l'action du champ réverbéré dans les formules utilisées ici.

Après avoir passé en revue les modèles de couples, il reste à étudier les méthodes et/ou les outils pour analyser des signaux stéréophoniques.

5_ Quels outils pour l'analyse de signaux stéréophoniques ?

La question des outils et des méthodes d'analyse reste posée. Or, ces outils conditionnent directement les résultats de l'estimation des indices spatiaux et le rendu sonore issu des traitements (isolation des sources, extraction des caractéristiques du lieu).

L'utilisation de la corrélation sur des signaux d'énergie finie permettrait d'estimer, au cours du temps, le gain et le retard qui existent entre les voies gauche et droite. La formule d'intercorrélation entre deux signaux correspond en fait à la convolution d'un signal par l'autre, « inversé » temporellement. Par conséquent, l'un de nos objectifs pour ces outils d'intercorrélation sera de développer des algorithmes de convolution rapide. Il est important de comprendre qu'il ne s'agit pas d'effectuer ce type de calcul sur toute la durée des signaux. En effet, l'intercorrélation sert d'abord à la détection des instants où une ou plusieurs sources sont actives. Elle doit donc être calculée pour des intervalles successifs des signaux. Selon qu'une source est active ou non, on peut interpréter les résultats obtenus par intercorrélation afin d'estimer la position de la source et/ou obtenir des indices relatifs à l'acoustique du lieu. Il conviendra donc de traiter la question du moment de l'analyse et de la longueur de la fenêtre d'analyse associée.

Nous pensons, par ailleurs, que les calculs d'intercorrélation effectués entre deux mêmes bandes fréquentielles des signaux gauche et droit pourraient peut-être permettre la détection de

plusieurs sources latéralisées aux profils fréquentiels suffisamment différents. Cette hypothèse devra être testée.

En ce qui concerne les découpages en bandes de fréquences il en existe de nombreux et, parmi ceux-ci, certains présentent plus d'avantages ou sont plus pertinents que d'autres.

Le découpage en sous octaves fréquentielles (dyadique), obtenu en partant de la fréquence de Nyquist (moitié de la fréquence d'échantillonnage), constitue une approche classique, car très simple à mettre en œuvre, en traitement du signal ou des images, mais ce découpage ne correspond pas aux habitudes des ingénieurs du son. Le découpage en tiers d'octaves donne, quant à lui, un trop grand nombre de bandes. Celui-ci n'est donc pas compatible avec notre optique « temps réel » dans laquelle les objets et les outils de l'analyse doivent être les plus légers possibles. Quant aux découpages en bandes critiques (Bark, ERB)¹², ils ont le plus souvent été établis avec des signaux dits de « laboratoire », (sinusoides, impulsions, bruits), qui ne correspondent pas aux signaux « réels » rencontrés dans le cadre du travail d'ingénieur du son. De plus, ces découpages ne prennent pas en compte le problème de la spatialisation des sources puisqu'ils ont été élaborés à partir d'expériences n'utilisant que des sources coïncidentes. Le découpage « Leipp »¹³ (IDS) a été obtenu en utilisant des signaux réels, c'est-à-dire des voix humaines et des instruments de musique, et des sujets travaillant dans les métiers du son (musiciens, ingénieurs du son principalement). Ce découpage conduit à l'adoption de 8 bandes, qui ne recouvrent pas l'intégralité du domaine des fréquences audio : il ne prend en compte que

¹² Zwicker & Feldtkeller, *Psychophysologie de l'acoustique*, 1967.

¹³ Leipp, *Intégration à densité spectrale*, G.A.M., 1977.



**La pratique de la
spatialisation sonore
est limitée par le manque
d'outils de description
spatiale permettant
une cartographie
des sources, l'extraction
des signaux sources
et des caractéristiques
acoustiques du lieu.**

- les fréquences comprises entre 50 et 15 000 Hz. Ainsi, on pourrait considérer une extension de ce découpage introduisant une bande haute (de 15 000 Hz à la fréquence de Nyquist) et une bande basse (du continu à 50 Hz); une telle méthode se rapproche du découpage en octaves classique (dit audio) qui s'intéresse aux sous-octaves de la bande 0-16 000 Hz. On se propose donc d'opter pour deux découpages simples, de type audio et Leipp (étendu) et de comparer les résultats qu'ils fournissent.

Précisons que nous considérons ces deux découpages fréquentiels sous l'angle d'une analyse par banc de filtres numériques. Un point important, concernant la construction de ces bancs de filtres, consiste à rechercher, de manière systématique, la linéarité de leur réponse en phase, car nous avons montré que le retard entre les signaux de chaque canal constitue une information cruciale pour la détermination de la position des sources. Notons que, là encore, nous aurons besoin d'un outil de convolution rapide pour obtenir chacune des bandes fréquentielles constituant l'analyse des voies gauche et droite.

Dans le cadre de notre projet, il faut à la fois pouvoir traiter un flux de signal audio en temps réel et des fichiers de données en temps différé, mais suffisamment rapidement. En effet, pour la cartographie dynamique, une analyse de flux pourrait aboutir à un outil de visualisation « temps réel » des positions des sources. Dans ce cas, des outils de représentation fréquentielle, par exemple de type FFT glissante, sont peut-

être à envisager, car ils permettent un traitement rapide. Une analyse différée est aussi envisageable pour obtenir rapidement (sans avoir à « jouer » le fichier) les coordonnées des différentes sources en fonction du temps.

Pour les autres traitements, caractérisation de l'acoustique et extraction de secteurs angulaires, un calcul en temps différé semble être la première étape avant d'envisager une extension au cas du temps réel. D'ailleurs, nous pensons que c'est plutôt la totalité du signal qui permettrait d'obtenir la meilleure modélisation de la salle. De même, l'extraction de secteurs angulaires a pour finalité l'obtention de signaux sources et, sauf dans le cas d'une re-spatialisation directe, le temps différé pourrait suffire. Il convient de préciser que, pour ces traitements, la question du rendu sonore se pose de manière cruciale (contrairement à la cartographie). Or le type d'outil de traitement peut grandement influencer sur la qualité du rendu sonore, ainsi que Boyer l'expose dans son mémoire¹⁴. Ainsi, nous n'utiliserons pas d'outils basés sur la FFT glissante mais nous partirons plutôt d'une représentation temporelle des signaux sans transformées.

Toutes ces contraintes conduisent à rechercher un environnement de programmation qui puisse gérer à la fois des flux audio temps-réel et des fichiers, en « temps plus ou moins différé ». Pour ces raisons, nous avons choisi d'adopter un environnement unique de travail et notre choix s'est porté sur l'environnement logiciel MAX/MSP.

¹⁴ Nicolas Boyer, mémoire de fin d'étude, *Traitement des signaux stéréophoniques : élimination des composantes extérieures à l'angle de prise de son utile*, ENS Louis-Lumière, 2001.

6 Conclusion

La pratique de la spatialisation sonore est limitée par le manque d'outils de description spatiale permettant une cartographie des sources, l'extraction des signaux sources et des caractéristiques acoustiques du lieu. De plus, l'emploi de systèmes de captation sophistiqués n'est souvent pas adapté aux conditions réelles de production.

Ceci explique pourquoi les outils de description spatiale que nous nous proposons de développer concerneront *in fine* les enregistrements stéréophoniques, même si nous commencerons par l'étude d'enregistrements stéréophoniques de synthèse.

Les méthodes déjà développées, pour l'étude de scènes sonores, constitueront la base de notre étude mais devront vraisemblablement être adaptées pour traiter le cas des enregistrements stéréophoniques. L'exposé des hypothèses concernant la cartographie (estimation des positions des sources) qui constitue pour l'instant la partie la plus avancée de notre recherche nous permet d'ores et déjà d'affirmer que l'approche géomé-

trique ne suffira pas.

Nous travaillons maintenant à la collecte des résultats expérimentaux nécessaires, afin de constituer une base de données suffisante, et à l'élaboration des outils d'analyse. Pour ceux-ci, nous étudions la pertinence de l'utilisation d'un unique environnement de développement logiciel, MAX/MSP, qui devrait permettre de traiter les cas où le temps réel est indispensable mais aussi ceux où il n'est pas utile ou possible. C'est seulement après la réalisation de cette phase, expérimentale et de programmation, que nous pourrons discuter de la pertinence des hypothèses adoptées et préciser les choix concernant les méthodes (type d'outils d'analyse et de traitement).

Il conviendra alors, pour juger de la validité de la méthode proposée, de considérer le cas d'enregistrements réels, extraits de notre base de données, pour lesquels seule la nature du système stéréophonique de prise de son est connue.

Si la méthode proposée s'avère pertinente, elle pourrait alors être intégrée dans une chaîne de production sonore ■

Nicolas Delatte, 23 ans, a suivi les enseignements MP des classes préparatoires au lycée Louis-Thuillier, à Amiens. Il a ensuite obtenu un DEUG « M.I.A.S. » en 2001 de l'Université de Picardie Jules-Verno, à Amiens également.

Maximilien Colcy, 22 ans, a suivi les enseignements PSI des classes préparatoires au lycée Faidherbe, à Lille.

Alexandra Carr-Brown, 23 ans, a obtenu un DEUG « S.P.I. » à l'Université Paris VI en 2000. Elle a ensuite suivi les cours de DEUG « Arts du spectacle » à l'Université Paris I.

Tous trois sont diplômés 2004 de la section « son » de l'ENS Louis-Lumière.



» Questionnement sur le sens de l'acoustique

Laurent Millot

Résumé La définition de l'Acoustique repose sur le principe de propagation d'ondes. En utilisant ce principe, de nombreux résultats intéressants peuvent être trouvés mais il subsiste des résultats expérimentaux qui ne sont toujours pas expliqués par la propagation d'ondes. En reconsidérant les origines de l'Acoustique, nous proposons un principe plus général qui devrait permettre d'expliquer ces phénomènes : les écoulements acoustiques. Mais, avec une approche aussi différente, la définition et les équations de l'Acoustique doivent être réexaminées et des principes doivent être abandonnés : principe de superposition, réponse impulsionnelle, fonction de transfert, modes propres, ... De plus, la comparaison avec les autres branches de la Physique, nous conduit à penser que la dualité ondes-carpuscules pourrait ne pas être pertinente : les ondes pourraient ne représenter, sous certaines conditions, qu'une approximation locale des phénomènes physiques, y compris peut-être en Mécanique Quantique !

Abstract The definition of Acoustics is based on the principle of wave propagation. Using such a principle, lots of interesting results can be derived but some experimental phenomena remain still undescribed using wave propagation. Considering the origins of Acoustics, we propose a rather general principle which may explain these phenomena: acoustical flows. But, with this rather different approach, definition and equations of Acoustics are to be reconsidered and some principles are to be banished : principle of superposition, impulse response, transfert function, eigen modes... Moreover, comparison with other branches of Physics let us think that the duality between waves and particles may not be relevant : waves may only represent, in certain conditions, a local approximation of the physical phenomena, perhaps even in Quantum Mechanics!

► L'acoustique est peut-être une des sciences les plus anciennes puisque dès l'Antiquité, par exemple, le problème de la corde vibrante constitue une question importante à résoudre pour les penseurs. Pour autant, malgré cette ancienneté, on ne sait toujours pas traiter de manière satisfaisante ce problème, surtout lorsque l'on prend en compte l'environnement direct de la corde, environnement qui participe directement à la production du « son de corde » : instrumentiste équipé ou non d'un plectre ou d'un archet ; présence d'un manche, d'un chevalet, d'une table d'harmonie percée d'ouïes ou d'une rosace, d'une cavité que l'on suppose accordée ; transmission de l'énergie de l'instrument à corde à l'espace ambiant grâce aux phénomènes de rayonnement. Il en va de même pour l'ensemble des instruments de musique (et des autres dispositifs sonores) puisque la facture instrumentale a permis au travers de sa lente évolution, parfois sur plusieurs centaines d'années, d'arriver à des instruments aussi optimisés que possible, dont l'Acoustique (musicale) ne sait pas ou peu rendre compte. De plus, lorsqu'on adopte une approche métiers du son, avec ou sans image, on se heurte aux mêmes limitations et/ou insuffisances de la connaissance acoustique puisque, notamment, les règles pratiques de construction ou de (re)synthèse de l'espace sonore s'écartent souvent, de manière conséquente, des règles théoriques : pour obtenir une impression chez l'auditeur de doublement d'une distance à un objet acoustique, les résultats de plusieurs tests décrits par Blauert¹, indiquent qu'il faut introduire une atténuation de l'ordre de 20 dB SPL alors que le modèle théo-

rique, disponible, prévoit une atténuation de seulement 6 dB SPL... Nous reviendrons sur cet exemple dans le cadre de cet article, puisqu'il est, pour nous, assez représentatif des problèmes d'espaces sonores perçus et théoriquement objectifs.

Au travers de cette contribution nous proposons donc de réexplorer les définitions et les principes de l'Acoustique, ceci afin de mettre en évidence des difficultés qui nous apparaissent de nature à remettre en question ses hypothèses. Il s'agit donc de discuter l'opportunité de modifier les définitions et/ou les approches de l'Acoustique, ou tout du moins de contribuer à éclaircir les zones d'ombres qui existent au sein même de ses fondements. Même si, dans le futur, les définitions et les méthodes de l'Acoustique restaient inchangées, le but de cet article serait atteint si les ambiguïtés et les problèmes soulevés se dissipaient grâce à une clarification des fondements de l'Acoustique : en (re)visitant périodiquement les fondements d'une théorie on contribue à la rendre plus solide ou à son remplacement par une autre théorie, moins particulière, permettant d'insérer les phénomènes en désaccord avec l'ancienne théorie. Cet article s'attache ainsi à (re)discuter le sens de l'Acoustique, dans quelle direction conduire son étude mais aussi son essence en ne perdant pas de vue que l'Acoustique s'adresse en particulier à un de nos sens, l'audition.

Afin de structurer au mieux notre proposition, nous avons adopté le découpage suivant. Dans un premier temps, nous nous attacherons à donner le cadre classique de l'Acoustique et à indiquer quels en sont les succès et/ou les forces. Ensuite

¹ J. Blauert, *Spatial Hearing: the psychophysics of human sound localization*, Springer, 2001, p. 122.

nous mettrons en évidence des problèmes d'acoustique qui pour autant sortent du cadre de l'acoustique classique, en montrant que ces problèmes sont, de notre point de vue, loin d'être marginaux. Une approche différente sera esquissée, avec un premier inventaire d'expériences à mener pour tester sa pertinence. Enfin, une mise en perspective de nos propositions permettra de montrer que cette approche pourrait sortir du cadre « limité » de l'Acoustique car, de manière surprenante ou logique suivant le point de vue que l'on adopte, on constate que les autres sciences de la Physique reposent souvent sur un jeu d'hypothèses similaires.

Les succès du paradigme ondulatoire

L'Acoustique s'intéresse à la production, la propagation et la perception du son. Or, lorsque l'on parcourt les traités ou les cours d'Acoustique, introductifs ou de haut niveau, et que l'on s'intéresse aux principes et définitions de base, un constat s'impose : le son, objet d'étude pour l'Acoustique, n'est pas souvent défini et, quand il est défini, la définition n'est pas toujours précise. Ainsi, pour Lévy¹, « le son est produit par une vibration qui se propage dans le milieu ambiant par excitation des molécules de proche en proche (il ne peut donc se propager dans le vide). L'acoustique (mot grec signifiant « écouter ») est la science physique qui se rapporte à la production, à la propagation et à la perception des sons. Comme elle concerne essentiellement l'étude des ondes, elle est généralement considérée comme une branche de la mécanique ». Pour Fischetti², « une onde acoustique n'est pas du vent... De la même façon, considérons une molécule qui compose l'air. Sous l'action du

vent, elle subit un déplacement global, analogue à celui d'un bouchon placé dans un courant. Tandis que si elle est soumise à une onde sonore, elle ne fait qu'osciller de part et d'autre de sa position moyenne (même en absence d'onde sonore, les molécules sont agitées d'un mouvement chaotique, qu'on appelle « mouvement brownien » ; la vibration produite par le son se superpose à ce mouvement) ». Pour Jouhaneau³, « en présence de perturbations acoustiques, on considérera que les déformations du fluide sont assez petites pour que les phénomènes soient correctement décrits par les termes du premier ordre (conditions de l'acoustique linéaire) ». Pour Bruneau⁴, « le principe de la transmission repose sur l'existence de « particules » dont la position d'équilibre est susceptible de pouvoir être modifiée. Les déplacements dus à d'autres causes que celles relatives à la grandeur transmise ne sont généralement pas à prendre en compte (par exemple le mouvement brownien dans le gaz n'est pas directement pris en considération)... Le mouvement des particules peut correspondre ou non à un mouvement acoustique (c'est-à-dire à un son audible ou non par exemple). En général, deux mouvements se superposent, un mouvement qualifié d'acoustique (A) et un mouvement « inacoustique » qualifié d'entraînement (E); ainsi si g désigne une grandeur associée au phénomène (pression, déplacement, vitesse, température, entropie, masse volumique, etc.), elle peut être écrite sous la forme: $g(x,t) = g_{(A)}(x,t) + g_{(E)}(x,t)$ ». Pour Kergomard⁵, « quelles grandeurs physiques sont-elles affectées par le son, et comment les mesurer? Nous avons écrit « l'air vibre » ; en fait à l'échelle microscopique les molécules s'agitent dans tous les sens, mais, en moyenne, à l'échelle macroscopique, les « particules », espèces de molécules

¹ S. Lévy, *Acoustique industrielle et aéroacoustique*, Hermès, 2007, p. 25.

² A. Fischetti, *Initiation à l'acoustique*, Sciences Belin Sup, 2001, p. 8.

³ J. Jouhaneau, *Notions élémentaires d'acoustique - Electroacoustique*, Lavoisier Tec & Doc, 1994, p. 109.

⁴ M. Bruneau, *Manuel d'acoustique fondamentale*, Hermès, 1998, p. 24-25.

⁵ J. Kergomard, « le monde des sons », dossier hors-série de *Pour la Science* – juillet/octobre 2001, p. 3.

► moyennes, se déplacent avec une vitesse dite « particulière ». Pour le son, ces particules oscillent autour d'une position d'équilibre, et la vitesse particulière est dite acoustique. Différente de la vitesse du son, elle est souvent bien inférieure : au seuil de l'audition, elle peut être dix milliards de fois plus petite. On ne risque pas ainsi de confondre le mouvement du corps lui-même avec la propagation de ce mouvement, c'est-à-dire de l'onde... D'autres grandeurs physiques sont modifiées par le son : la pression, la température, la masse volumique, qui oscillent toutes très faiblement autour de leur valeur moyenne. La variation d'une grandeur autour de la moyenne est nommée « grandeur acoustique »⁷. Mais pour Hofmans⁷ si, historiquement, le son est défini comme des fluctuations de pression perceptibles par l'oreille humaine, sa définition devient très difficile quand on s'intéresse à sa génération dans les écoulements. Selon Liénard et François⁸, « sous son aspect physique, le son est un ébranlement élastique des éléments du milieu où il se propage, ce milieu étant un gaz (atmosphère), un liquide ou un solide... Le son le plus général est encore représenté, en chaque point de l'espace, par une pression fonction du temps, $p(t)$, périodique ou aléatoire, mais dont les valeurs sont bornées entre deux valeurs extrêmes. En acoustique linéaire, c'est-à-dire dans le cas de fluctuations p petites par rapport à la pression atmosphérique, la valeur moyenne $p_m(t)$ est nulle ». Plus loin (p. 38), on peut encore lire que « les paragraphes précédents ont admis un certain nombre d'hypothèses, groupées sous le nom « d'hypothèse acoustique » : milieu de propagation immobile en moyenne, mouvements petits, gaz parfait non visqueux, transformations adiabatiques, absence de sources de masse, forces ou tenseurs

de contrainte. Bien que cela semble très restrictif, les résultats obtenus sont valables dans la majorité des cas pratiques. Il y a cependant des circonstances où ces hypothèses ne sont plus admissibles : par exemple s'il existe un mouvement d'ensemble (cas de conduites de fluides), ou bien des sources sonores dans l'espace en étude, ou bien si les pressions et vitesses vibratoires ont des valeurs élevées, ce qui interdit les linéarisations faites dans les calculs précédents. L'acoustique non linéaire est un domaine physique important, l'acoustique pratique linéaire n'étant qu'un cas particulier, heureusement le plus fréquent ». Ainsi, dans le cadre de l'Acoustique que nous qualifierons de classique, ces quelques définitions conduisent à envisager le son comme la perception de vibrations de particules gazeuses ou solides autour d'une position de repos, vibrations envisagées comme des perturbations (d'ordre supérieur à un), et à se focaliser sur l'étude de la propagation d'ondes sonores. Rappelons, que pour Einstein et Infeld⁹, « le vent qui passe sur un champ de blé fait naître une onde qui se propage à travers tout le champ. Ici de même nous devons distinguer entre le mouvement de l'onde et le mouvement des épis séparés, qui ne subissent que de petites oscillations... Le mouvement de l'onde est celui d'un état de la matière et non de la matière même ». Dans cette première partie, nous adoptons donc le point de vue classique, celui de la propagation d'onde afin de passer en revue son intérêt et ses succès.

Le premier intérêt de l'utilisation du formalisme ondulatoire réside dans la possibilité de développer des calculs analytiques à partir de modèles simplifiés de configurations acoustiques. Ces calculs permettent d'obtenir des résultats qui

⁷ E.C.J. Hofmans, *Vortex sound in confined flows*, PhD of Eindhoven Technical University, 1998, p. 1 : « Sound has been (historically) defined as pressure fluctuations p' which can be detected by the human hear. When the study of sound is extended to its generation in flows one is considering aerodynamics and sound suddenly becomes hard to define ».

⁸ P. Liénard et P. François, *Acoustique industrielle et environnement*, 1. *Acoustique physique et perceptive*, Eyrolles, 1983, p. 3.

⁹ A. Einstein et L. Infeld, *L'évolution des idées en physique : des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*, Flammarion, 1983, p. 97.

peuvent servir comme point de départ pour la conception de systèmes de captation (microphones), de diffusion (haut-parleurs et réseaux de haut-parleurs), de programmes informatiques dédiés à l'étude de l'acoustique des salles mais aussi à l'étude de quelques aspects du fonctionnement des instruments de musique. On notera notamment l'introduction de deux types d'ondes (théoriques) extrêmes: l'onde plane absolument directive et l'onde sphérique, au contraire, absolument non directive; si l'on néglige les phénomènes visqueux, l'onde plane ne s'atténue pas tandis que l'onde sphérique fait apparaître un facteur d'atténuation géométrique souvent dit « d'atténuation à -6 dB (SPL) par doublement de distance ». On remarquera aussi, que lorsqu'on est en champ lointain, l'onde sphérique apparaît localement plane à un observateur, ce qui explique que ces deux types d'ondes constituent souvent l'architecture des modèles acoustiques, y compris dans le cadre des questions liées aux métiers du son.

Une caractéristique fondamentale de l'Acoustique (classique) est l'hypothèse de linéarité qui permet d'envisager la synthèse d'un champ sonore comme la superposition des champs acoustiques associés à une distribution spatiale de sources élémentaires (monopôles et dipôles principalement) elles-mêmes éventuellement constituées d'associations de sources monopôlares. En utilisant le principe de Huygens, on peut ainsi réaliser une approximation d'un champ acoustique à partir de sources secondaires situées sur une surface de contrôle entourant (virtuellement ou réellement) une source (primaire). C'est cette approche qui est adoptée dans le cadre de la synthèse par front d'onde (Wave Field Synthesis)¹⁰ et qui permet de recons-

truire une approximation des fronts d'ondes réels. On parle d'ailleurs d'holophonie pour qualifier cette technique de diffusion sonore et il est vrai que cette technique donne à vivre des sensations sonores intéressantes et permet aussi, notamment, d'élargir la zone d'écoute qui ne se réduit plus alors à un simple « sweet spot ». Une approche concurrente, ou complémentaire, consiste à associer des clusters de sources à directivité contrôlée, soit par construction géométrique soit par traitement du signal, afin d'assurer une distribution sonore homogène en niveau dans une salle. Mais on peut aussi utiliser la technique de superposition afin d'atténuer fortement un champ sonore gênant en diffusant un champ supplémentaire théoriquement en opposition de phase ou bien pour modifier le comportement vibratoire d'un instrument de musique et ainsi obtenir une chimère musicale¹¹.

Un autre aspect séduisant de l'Acoustique réside dans le recours à la notion de filtre linéaire qui permet de sculpter un son préexistant, en modifiant la balance harmonique initiale, mais ne participe qu'indirectement, ou dans le cadre d'une chaîne de rétro-action, à la création du son initial. On se trouve ainsi confronté à une analyse de type source/filtre où la source est censée concentrer la totalité des phénomènes non linéaires. Cette approche se révèle féconde puisqu'elle permet d'aborder les problèmes de la synthèse de la parole, de l'acoustique des salles, de l'étude du corps des instruments de musique. Cette approche peut apparaître sous la forme : de fonctions de Green ; de réponses impulsionnelles ; de fonctions de transferts associées ou non à l'écoute binaurale comme les Head Related ►

¹⁰ Voir pour plus de détails les pages du projet Carrouso sur le site de l'Ircam, www.ircam.fr

¹¹ Pour plus de précisions, se reporter aux travaux sur le contrôle actif des instruments de musique entrepris par C. Besnainou au Laboratoire d'Acoustique Musicale, de l'Université Pierre-et-Marie-Curie.

- **Transfert Functions** par exemple ; d'impédances ou d'admittances ramenées ou de charge (problème du rayonnement) ou d'onde pour relier pression et vitesse (ou débit) acoustique. Le principe de filtre linéaire permet d'ailleurs de mesurer ou calculer l'une ou l'autre des caractéristiques de ce filtre en utilisant, notamment, des excitations monochromatiques (sons purs ne comportant qu'une unique fréquence). On notera que ce principe de linéarité dispense, théoriquement, de réaliser les mesures à des niveaux différents d'excitation puisqu'on devrait alors simplement obtenir la même caractéristique multipliée par le gain relatif introduit entre les deux mesures. De plus, l'approche filtre linéaire permet aussi d'introduire le principe des modes propres, associés aux ondes stationnaires satisfaisant aux conditions limites (spatiales et temporelles), qui permettent d'analyser, d'approcher voire de prédire le champ sonore dans un corps d'instrument ou bien encore une salle. D'ailleurs la connaissance des modes propres d'une salle, qui sont souvent perçus comme gênants, permet d'envisager leur traitement afin de diminuer leur influence lorsque leur élimination n'est pas physiquement possible. Mais, si l'approche ondulatoire (ou propagative) semble séduisante, elle reste impuissante face à quelques problèmes, que nous pensons importants.

Les problèmes du paradigme ondulatoire

Si on considère le modèle d'ondes sphériques, à la base d'une bonne partie des modèles acoustiques, on constate qu'il présente une singularité à l'endroit de la source puisqu'il prévoit une pression infinie. Cette singularité gênante peut

à l'occasion disparaître dans le cas d'ondes stationnaires (au sommet clos d'un cône correspondant à une caricature de corps de saxophone) mais elle s'explique puisque l'on se place dans le cadre de « l'hypothèse acoustique », introduite par Liénard et François, qui ne prend pas en compte les sources, quelle que soit leur nature. Or, la singularité évoquée apparaît précisément au droit de la source théorique...

Un deuxième problème émerge quand on considère les modes propres puisque leur dérivation ne peut tenir compte de la présence d'une source alors que la source constitue une des limites du domaine. On travaille donc, pour obtenir les modes propres, à partir de l'hypothèse de la présence d'ondes stationnaires sans prise en compte du ou des mécanismes leur donnant naissance. De plus, la connaissance des autres conditions limites est souvent insuffisante ce qui conduit à l'utilisation de conditions limites caricaturales, seule solution pour pouvoir mener un calcul.

Un troisième problème est encore lié aux modes propres puisqu'ils indiquent les voisinages spatiaux et fréquentiels où l'énergie est susceptible de se distribuer. En effet, les modes propres (filtres linéaires), seuls, ne permettent pas de déterminer où on rencontrera réellement de l'énergie puisqu'ils sculptent le spectre du signal sonore créé par la source (non linéaire). On peut ainsi envisager la notion de mode propre comme une indication de la probabilité de trouver de l'énergie sur un ensemble quantifié mais théoriquement infini de fréquences.

Un quatrième problème, toujours lié aux modes propres mais aussi au principe de filtre linéaire,

tient à l'hypothèse de linéarité ou de superposition. En effet, même si cette hypothèse est souvent mise en avant, notamment en Acoustique des salles, elle n'est plus satisfaisante dès que l'on utilise un instrument de musique ou une salle dans des conditions courantes avec des niveaux moyens à très élevés. Les instruments de musique présentent, comme les salles selon les ingénieurs du son, des mécanismes de saturation non linéaires qui font que leur réponse à une excitation dépend du niveau de cette excitation : cette particularité est fort bien illustrée par le mécanisme du cuivrage du son dans le cas de la trompette, par exemple. Nous pensons ainsi que ces mécanismes de saturation sont directement responsables de la génération de fréquences voisines de fréquences propres. Ainsi les fréquences présentes dans le spectre correspondraient à des harmoniques créées par les phénomènes de saturation dans la salle ou dans le corps de l'instrument. Le recours au principe de saturation non linéaire d'un signal pourrait expliquer, lui aussi, l'aspect quantifié des fréquences générées.

Un autre champ de problèmes concerne l'étude de la spatialisation du son. Ainsi, Blauert est amené à distinguer le concept de source sonore du concept d'évènement auditif et indique que les résultats en terme de perception de l'espace sonore varient suivant le concept qui est étudié dans les expériences perceptives. Si nous reconsidérons l'exemple de l'atténuation à apporter à une source pour donner l'impression que l'évènement auditif¹⁸ voit sa distance à l'auditeur doubler, on constate un écart significatif entre la prédiction théorique (-6 dB SPL) et le résultat expérimental (de l'ordre de -20 dB SPL). Blauert, avec prudence¹⁹,

indique que la prédiction théorique est associée à un modèle de propagation d'ondes sphériques en champ libre, condition qui n'est que rarement satisfaite dans le cadre des situations normales d'écoute. Puisque l'onde sphérique ne constitue qu'un cas de figure peu susceptible d'être rencontré dans les configurations pratiques, on peut se demander si ce référent est vraiment pertinent pour étudier les capsules microphoniques constituant les systèmes de prise de son, surtout que les modèles de directivité utilisés pour qualifier les différentes capsules microphoniques ne sont valables qu'en champ lointain. L'élaboration d'un autre système d'appréciation du champ sonore, ne faisant pas appel au modèle d'ondes sphériques, serait peut-être de nature à rapprocher la prédiction théorique du résultat expérimental.

Mais de notre point de vue, le champ principal des problèmes découle de l'adoption de l'hypothèse de propagation d'ondes. Ainsi, en adoptant la description ondulatoire, on est amené à considérer que les particules gazeuses (ou solides) vibrent autour d'une position d'équilibre. En suivant ce principe, on est alors confronté à un paradoxe dans le cas des instruments à vent : puisque les particules gazeuses vibrent autour de leur position d'équilibre, l'air, provenant des poumons du musicien et qu'il souffle dans l'embouchure doit disparaître dans celle-ci ! En effet, dans l'approche propagative, l'air vibre autour de sa position d'équilibre et seules des ondes se propagent dans le résonateur ce qui empêche, théoriquement, l'échappement de l'air apporté par le musicien dans l'embouchure. Comme cette situation est gênante, les modèles d'instruments introduisent un écoulement au

¹⁸ J. Blauert, *Spatial Hearing: the psycho-physics of human sound localization*, Springer, 2001, p. 2.

¹⁹ *Ibid.*, p. 119 : « It should also be borne in mind that the $1/r$ law that is the basis for these equations applies to the propagation of spherical waves in a free sound field. This condition, too, is often not fulfilled for spatial hearing in normal environments ».

- travers de l'embouchure couplé à une description du résonateur par une fonction de réflexion. Or, cette description du résonateur n'est valable que dans le cadre de l'approche propagative qui, comme nous le montrerons dans la suite, ne prend pas du tout en compte les problèmes d'écoulement... ce qui revient à coupler deux descriptions antagonistes entre-elles afin d'étudier le fonctionnement de l'instrument. Sans compter le fait que les niveaux sonores rencontrés à l'intérieur des instruments à vent peuvent être très importants et ne pas correspondre au cadre de « l'hypothèse acoustique » de Liénard et François : par exemple plus de 150 dB SPL « en moyenne » à l'intérieur d'un canal d'harmonica diatonique dans le cas de notes de niveau moyen¹⁴. Mais, si l'approche propagative peut s'avérer discutable à l'intérieur des instruments de musique, il en va de même à l'extérieur de ces instruments comme l'illustre les visualisations présentées en figure 1, dans le cas d'une anche d'harmonica.

On peut noter la présence de jets latéraux et frontaux dont l'orientation change au cours du temps et qui se dissipent par turbulence (présence de tourbillons) en s'éloignant de l'anche. Ces visualisations illustrent le fait que la génération du son n'est pas de nature ondulatoire mais liée à un écoulement variable au cours du temps, caractérisé ici par l'existence de jets libres oscillants. Ces phénomènes acoustiques, qui ne rentrent pas dans le cadre de l'approche propagative, sont courants dans le cas des instruments à vent. Un autre exemple de phénomène d'écoulement est illustré dans le cas d'un évent de haut-parleur monté en « bass-reflex » en figure 2. Là encore, le phénomène observé n'est pas de nature ondulatoire mais

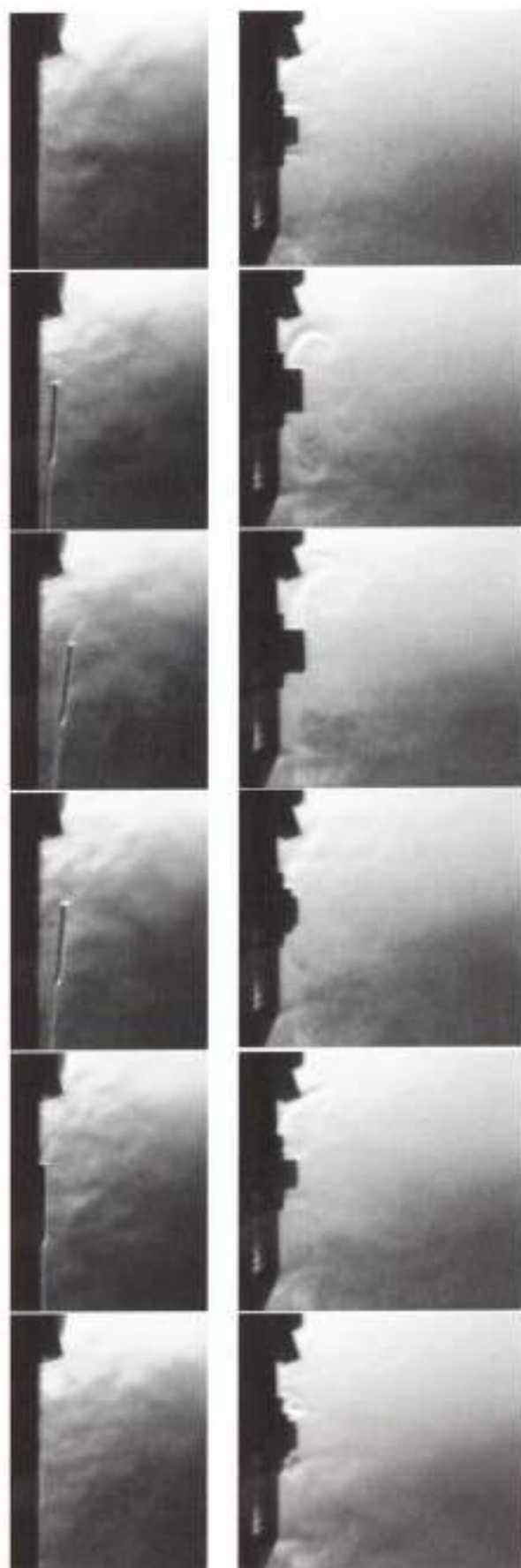


FIGURE 1 VUES TRANSVERSALES (à gauche) ET LONGITUDINALES (à droite) DE L'ÉCOULEMENT AU TRAVERS DE L'OUVERTURE D'UNE ANCHE POUR UN HARMONICA STANDARD¹⁵.

¹⁴ L. Millot, *Étude des instabilités des vagues : application à l'harmonica diatonique*, Doctorat de l'Université Pierre-et-Marie-Curie, 1999.

¹⁵ B. Fabre et A. Hirschberg, « From sound synthesis to instrument making: an overview of recent researches on woodwinds », proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9, 2003 (SMAC 03), Stockholm, Sweden, p. 239-242.

correspond à un écoulement avec dissipation du jet libre par turbulence : les particules ne vibrent décidément pas autour d'une position d'équilibre. Nous pensons que l'ajout d'une mousse devant un haut-parleur sera de nature à faire disparaître ce phénomène par transformation du jet en turbulence quasiment en sortie d'évent, de manière



FIGURE 3
VISUALISATION
DE L'ÉCOULEMENT
EN SORTIE D'UN ÉVENT
DE HAUT-PARLEUR
PENDANT LA PHASE
DE FLUX SORTANT¹⁶

analogue à l'effet d'une bonnette anti-vent entourant un système de prise de son pour des prises de son en extérieur. Si l'ajout d'une mousse de protection devant un haut-parleur précipite effectivement la transformation de l'écoulement en turbulence, on peut se demander si cet effet est désirable dans le cadre de la sonorisation : l'utilisation de mousse devrait favoriser l'homogénéisation du niveau sonore pour des distances faibles au système de diffusion.

Les phénomènes d'écoulement acoustique permettent de comprendre pourquoi le pavillon exponentiel, censé être optimal en termes d'adaptation d'impédance dans le cadre de l'approche propagative, ne se comporte pas de manière satisfaisante quand le niveau sonore est élevé : on observe l'apparition d'un bruit gênant riche en hautes fréquences. En effet, l'évolution trop rapide du profil du pavillon conduit à générer à l'intérieur

du pavillon un jet libre qui se dissipe en turbulence à l'intérieur du pavillon. De plus, compte tenu de la nature du profil du pavillon, le point où l'écoulement se décolle des parois est susceptible de se déplacer au cours du temps, ce qui correspond à la situation la plus gênante en termes de génération de bruit. Sur la base de ce constat, on peut proposer d'autres profils qui permettent de retarder la formation du jet libre en sortie d'évent avec des vitesses faibles mais une pression acoustique importante (principe de transformation de l'énergie cinétique du jet en pression acoustique). L'utilisation de tels principes permet de construire des sources très basses fréquences¹⁷, de très faible encombrement et de plus directives, y compris en basse fréquence¹⁸... Ce qui reste difficile à justifier si on reste dans le cadre de l'Acoustique classique. Forts de ces constats de mise en échec de l'explication ondulatoire pour plusieurs situations courantes, nous pouvons maintenant réfléchir à l'opportunité d'une extension de l'acoustique et de ses outils.

Extension de l'acoustique

Dans cette partie, nous introduisons d'abord les extensions possibles pour la définition de l'Acoustique puis nous proposons quelques pistes pour vérifier la portée de ces modifications.

1 Proposition d'une extension de la définition

Afin de mieux cerner l'origine des propositions que nous formulons, il s'avère nécessaire d'étudier de plus près les conditions d'obtention des bases de l'approche ondulatoire, c'est-à-dire de l'équation de propagation des ondes. ►

¹⁶ G. Pellerin, Laboratoire d'Acoustique Musicale, Université Pierre-et-Marie-Curie, communication privée, février 2004.

¹⁷ G. Pellerin, J.-D. Polack et J.-E. Markerken, « Loudspeaker Design in the Very Low Frequency Domain », 116^e Convention of the Audio Engineering Society, Berlin, 8-11 may 2004, paper 6157.

¹⁸ G. Pellerin, J.-D. Polack, J.-P. Markerken et B. Parry, « Vented Box Geometry and Low-Frequency Reproduction: The Aerodynamical Approach », 112^e Convention of the Audio Engineering Society, Munich, 10-13 may 2002, paper 5521.

- Pour trouver l'équation des ondes, nous devons partir, par exemple, du jeu d'équations locales suivantes :

→ équation de Navier-Stokes, en lieu et place de l'équation d'Euler, qui fait apparaître les termes de pertes, un terme de source et surtout le terme de convection (terme non linéaire associé au brassage du fluide)

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} = -\text{grad } p + \rho \vec{f} + \mu(\Delta \vec{v} + \frac{1}{3} \text{grad } \text{div } \vec{v})$$

→ conservation de la masse avec source éventuelle

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = \rho q$$

→ nature de la transformation (non obligatoirement adiabatique)

$$p = p(\rho, s)$$

Normalement, pour pouvoir décrire le problème sous tous ses aspects, il faudrait aussi introduire une équation d'état, par exemple celle pour un gaz parfait, et d'autres équations complémentaires permettant de décrire les problèmes d'entropie et de température. Ici, les trois premières équations sont suffisantes pour obtenir les conditions de validité de l'équation de propagation des ondes, vérifiée par la pression

$$\Delta p - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

La démarche, analogue à celle utilisée dans le cadre de « l'hypothèse acoustique » consiste à essayer d'éliminer les termes associés à la vitesse en

utilisant l'hypothèse de l'indépendance des variables temporelle et spatiales. Cette hypothèse permettra ici l'utilisation de la permutation des dérivations par rapport au temps et aux variables d'espace :

$$\frac{\partial}{\partial t} \text{div}(\rho \vec{v}) = \text{div} \left(\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) \right)$$

En cherchant à éliminer les termes précédents de l'équation de conservation de la masse et de l'équation de Navier-Stokes, on aboutit après quelques calculs à l'équation suivante :

$$\Delta p = \text{div} \left(\rho \vec{f} + \frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} - \rho(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} + \mu(\Delta \vec{v} + \frac{1}{3} \text{grad } \text{div } \vec{v}) \right) - \frac{\partial}{\partial t} (\rho q) + \frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho$$

Afin de faire apparaître une équation de propagation pour la pression au membre de gauche il convient de retrancher le terme suivant de chaque membre :

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

On obtient alors une équation de propagation vérifiée par la pression qui comporte de nombreux termes au second membre, termes que l'on appelle parfois termes de source :

$$\Delta p - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \text{div} \left(\rho \vec{f} + \frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} - \rho(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} + \mu(\Delta \vec{v} + \frac{1}{3} \text{grad } \text{div } \vec{v}) \right) - \frac{\partial}{\partial t} (\rho q) + \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\rho - \frac{p}{c_0^2} \right)$$

L'équation précédente ne devient l'équation de propagation des ondes de pression que si :

- il n'y a pas de source de force volumique (premier terme du membre de droite);
- il n'y a pas de terme

conséquent de variation de masse (deuxième terme);
 → il n'y a pas de phénomène de brassage par convection (troisième terme);
 → on ne prend pas en compte les phénomènes de viscosité (quatrième terme);
 → il n'y a pas de source de masse (cinquième terme);
 → la transformation est adiabatique (sixième et dernier terme).

On peut, souvent, supposer réalisée la condition de transformation adiabatique voire modifier les ondes pour intégrer les phénomènes de viscosité. On peut aussi supposer que les sources sont éloignées et se focaliser, comme dans le cadre de l'approche classique, uniquement sur ce qui se passe loin des sources. Mais, la question de l'incidence du brassage de fluide par convection reste posée. En fait, on constate que l'équation trouvée ne correspondra à l'équation de propagation des ondes que dans les cas où le brassage est assez lent pour que l'on puisse le négliger. Bien évidemment, cette approximation devient critiquable dès que l'on considère le voisinage d'une source primaire voire secondaire (au sens de Huygens).

Ainsi, nous considérons que l'approche ondulatoire ne constitue qu'une approximation des phénomènes acoustiques, valable uniquement en dehors de la zone d'influence de tous les termes apparaissant au second membre de l'équation trouvée. En particulier, là où les phénomènes de brassage d'écoulement sont conséquents, il nous semble hors de question d'utiliser cette approximation ondulatoire. Ceci signifie qu'il ne peut être question d'ondes sonores dans l'axe de débit du fluide, à proximité de la source, à proximité des obstacles quels qu'ils soient, ou encore dans la zone de mélange turbulent.

Au vu de ces limitations, on peut se demander si l'utilisation de l'approche ondulatoire est pertinente pour étudier la spatialisation et la perception du son, les sources sonores, les configurations de captation et/ou de diffusion, ou les instruments de musique. En effet, on constate que les outils introduits, dans le cadre de « l'hypothèse classique », ne se révèlent pas toujours faciles à mettre en œuvre et qu'il n'est pas sûr que des approximations plus réalistes, dérivées du jeu d'équations locales, soient plus difficiles à utiliser.

Afin de tenter de rendre compte de manière satisfaisante des problèmes qui résistent à l'approche classique, il semble intéressant de tester la pertinence des propositions suivantes :

→ Le phénomène sonore correspond à une perception des phénomènes de brassage de fluide, le milieu, éventuellement à cause d'une mise en mouvement de structures solides. Le son est donc considéré comme la perception des évolutions temporelles du brassage du fluide.

→ La pression et la vitesse acoustiques correspondent respectivement à la pression et à la vitesse des « particules fluides », au sens de la définition de Kergomard. On considère ainsi les grandeurs physiques moyennes d'un ensemble conséquent de particules gazeuses, il s'agit donc d'une observation qui n'est ni macroscopique ni microscopique.

→ On n'impose pas à la pression acoustique d'avoir une moyenne nulle. Sa moyenne mathématique peut éventuellement être nulle mais cela ne correspond pas au cas général si on considère par exemple les signaux de pression mesurés à l'intérieur des harmonicas diatoniques.

→ On n'introduit pas de distinction entre l'écoulement et l'acoustique car nous considérons que ►

- l'écoulement est acoustique.
 - On n'impose pas de limite basse fréquence *a priori* pour le son et on suggère de donner à entendre le phénomène physique complet.
 - Puisque l'approche retenue est fondamentalement non linéaire, elle ne permet plus l'utilisation du principe de superposition. Ceci signifie que le travail en monochromatique ne doit plus être la règle.
 - On doit donc éviter de s'appuyer sur les notions de filtre linéaire ou de mode propre pour expliquer les phénomènes sonores.
 - L'approche ondulatoire (linéaire) ne constitue donc plus qu'une approximation ou une méthode d'analyse du phénomène sonore, par exemple grâce à la mesure de « modes propres »¹⁹.
 - Les « fréquences propres » sont supposées être la conséquence de phénomènes de saturation non linéaires et leur détermination ne peut provenir que d'une modélisation correcte des saturations. Il reste à voir comment utiliser et tester la pertinence du cadre, entièrement corpusculaire, proposé.

2 Propositions d'expériences de validation et pistes pour les simulations

Plusieurs expériences semblent d'ores et déjà intéressantes à mener pour tester la pertinence des propositions formulées.

La première série d'expériences consisterait en des mesures de pression, de vitesse et/ou de débit acoustiques (selon la nouvelle définition) en utilisant une chaîne d'acquisition (capteurs, carte d'acquisition) qui permette d'enregistrer les évolutions temporelles de 0 Hz à 20 kHz (par exemple). Un tel matériel est disponible sur le marché de la mesure et nous avons déjà eu l'occasion de réaliser des mesures de pression, dans cette

gamme de fréquences, à l'occasion de nos travaux sur l'harmonica diatonique²⁰.

La deuxième série d'expériences concerne l'étude de l'hypothèse selon laquelle on ne peut imposer de limite basse fréquence *a priori* pour le son. Pour mettre en évidence une telle limite, éventuelle, il conviendra de réaliser des tests où, en cours d'écoute, on diffusera en alternance le signal avec basses fréquences et celui sans basses fréquences sans en avertir le ou les sujets. Ceci signifie qu'il faudrait disposer d'un système de diffusion qui soit à même de diffuser de 0 à 20 kHz, système de diffusion difficilement disponible à ce jour. Même si ce test indiquait que les basses fréquences ne participent pas à la sensation sonore, nous considérons qu'il ne faudrait pas pour autant les éliminer du signal car elles participent activement à l'élaboration physique du phénomène sonore (cf. par exemple le cas de l'harmonica diatonique). On propose donc de donner à entendre systématiquement le phénomène physique complet, ou tout du moins la totalité du signal capté.

Le recours à la visualisation des phénomènes acoustiques pourrait constituer un troisième champ expérimental afin de recenser les situations où les phénomènes de type écoulement (ou turbulence) prennent une part importante dans l'élaboration ou la manifestation des phénomènes acoustiques. Ceci permettrait la détermination des situations acoustiques les plus informatives dans l'optique d'une extension de l'acoustique.

Nous pensons que l'étude de tubes couplés avec une anche libre ou un haut-parleur est susceptible d'apporter des informations pertinentes.

¹⁹ On ne peut plus à proprement parler de modes propres puisque leur existence est maintenant supposée due à l'effet de mécanismes non linéaires.

²⁰ L. Millot, « Free reed instruments: clues for a physical model », Proceedings of Stockholm Music Acoustics Conference 2003 (SMAC 03), August 6-9 2003, 329-332.

L'utilisation d'anches libres nous semble à ce jour plus facile car un modèle simple des mécanismes d'écoulement au travers de l'anche est disponible ; la modélisation du mouvement des membranes de haut-parleurs est aussi beaucoup plus complexe et elle reposerait directement sur l'utilisation de nombreux modes propres alors que les mesures sur les anches libres conduisent à un mouvement d'anche sinusoïdal associé à un écoulement non linéaire. Nous pensons qu'il serait très intéressant d'étudier les phénomènes se produisant dans les tubes de petits diamètres, de longueur inférieure à 10 centimètres (comme dans le cas de certains événements) et de profil géométrique divers. Selon nous, l'utilisation de tubes courts devrait mettre clairement en évidence la présence des phénomènes d'écoulement et de brassage par turbulence là où les tubes longs permettent d'observer un retour à un écoulement laminaire, après une zone de mélange turbulent, qui peut être étudié à l'aide d'une approximation ondulatoire dans le cas des excitations de faible niveau. Des simulations numériques du cas d'une anche libre chargée par un tube cylindrique très court (5 centimètres) en utilisant une approche écoulement acoustique ou une approche ondulatoire ont été réalisées. Ces simulations conduisent à rejeter l'approche ondulatoire, rejet confirmé par l'écoute des sons générés et l'étude de leurs caractéristiques temporelles et fréquentielles, mais seule la confrontation avec l'expérience permettra de valider cette conclusion « numérique » et théorique.

Nous suggérons que l'on étudie les problèmes de charge et de rayonnement des haut-parleurs (et des sources composées) avec ou sans la présence de mousse en tenant compte dans

les mesures des composantes fréquentielles proches du continu. Il serait d'ailleurs intéressant de tester à cette occasion l'hypothèse selon laquelle précipiter la disparition de l'écoulement de type jet libre permettrait d'obtenir une homogénéisation en niveau plus rapidement dans la salle.

Des expériences sur les problèmes de spatialisation et de la perception de l'espace acoustique pourraient être menées en adoptant le point de vue acoustique étendu. On pourrait ainsi constater si le nouveau point de vue acoustique permet de rapprocher l'explication et la mesure des phénomènes de leur perception. Une étude préliminaire de ces problèmes fait actuellement l'objet de travaux de fin d'études d'étudiants et le lecteur pourra trouver plus de détails dans la communication de Carr-Brown, Colcy et Delatte.

Une autre série d'expériences servirait à étudier l'impact de l'utilisation de sources réelles (voix et musiques principalement) sur la caractérisation des systèmes de captation, de diffusion et sur le comportement acoustique des salles. Pour les systèmes de captation et de diffusion nous pensons notamment étudier l'intérêt d'une mesure de directivité par bandes de fréquences et non plus monochromatique comme c'est l'usage. Nous pensons en effet que la connaissance de la directivité par bandes de fréquences serait plus informative pour les praticiens du son puisque plus proche des conditions réelles de travail. Cette hypothèse de travail est déjà utilisée par certains preneurs du son²¹. On pourrait même envisager d'étudier l'intérêt pour l'ingénieur du son de réaliser une mesure (qualitative ?) de cette directivité en utilisant son système de diffusion, son système de

²¹ M. Williams, communication privée, 2004.

- captation, son espace de travail de référence et ses stimuli sonores de référence. Une réflexion sur les outils d'analyse nécessaires à ce travail est en cours²² avec comme contraintes principales d'utiliser des sources réelles, un découpage fréquentiel aussi compatible que possible avec la perception sonore, une analyse n'introduisant pas ou peu de distorsions et permettant d'écouter tout ou partie des signaux enregistrés.

Une expérience sur le comportement des salles pourrait permettre de trancher « l'opposition » entre praticiens et théoriciens des salles quant à la nature linéaire de la réponse des salles et mettre en évidence l'hypothèse du brassage non linéaire dans les salles. Il s'agirait de tester, dans plusieurs salles, en utilisant des sources réelles et les méthodes d'analyse précédentes, le protocole suivant :

- mise en place d'une source connue dans une salle;
- présence d'un capteur de pression juste devant cette source dans l'axe;
- présence d'au moins un autre capteur de pression dans la salle (idéalement il serait intéressant d'en disposer plusieurs dans la salle et en particulier un dans l'axe de la source et un autre derrière la source);
- enregistrement simultané de tous les signaux captés pour une grande plage de niveaux d'excitations;
- comparaisons de l'évolution de la balance énergétique globale entre le signal numérique de référence et les signaux captés devant le haut-parleur pour caractériser d'éventuelles non-linéarités de la chaîne de diffusion;
- comparaisons de l'évolution de la balance énergétique globale entre les signaux juste devant et loin de la source afin de mettre en évidence

l'introduction éventuelle de non-linéarités dues au comportement acoustique de la salle;

- répétition de ce protocole pour plusieurs natures de sources numériques (bruits, voix, différents extraits musicaux empruntés à différents styles musicaux).

Cette expérience pourrait même être réalisée en utilisant des microphones au lieu des capteurs de pression afin de mettre en évidence, de manière qualitative et non plus quantitative, la réponse linéaire ou non linéaire des salles. Comme nous l'avons suggéré, on pourrait tout à fait imaginer que les ingénieurs du son réalisent cette expérience dans leur local de référence, avec leur matériel de référence et leur disque de référence, afin d'obtenir une caractérisation qualitative de leur installation. Il serait d'ailleurs intéressant d'étudier si la caractérisation trouvée se rapproche ou non de leur analyse perceptive de leur installation sonore.

Enfin, il serait bon de passer à nouveau en revue l'ensemble des phénomènes acoustiques classiques (réflexion, réfraction, transmission, diffraction, diffusion, rayonnement), expliqués d'habitude par l'approche ondulatoire, afin de voir, sur la base de nouvelles expériences, s'il est effectivement possible de décrire et d'expliquer ces phénomènes classiques dans le cadre d'une approche corpusculaire. Ceci devrait être plus ou moins facile si l'approche ondulatoire ne constitue qu'un cas particulier, qu'une approximation, de l'approche corpusculaire.

En parallèle de ces séries d'expériences, il serait intéressant aussi de (re)travailler sur les modèles des phénomènes acoustiques et de chercher à simuler numériquement leur comportement,

²² L. Millot, « Some clues to build a sound analysis relevant to hearing », 116^e Convention of the Audio Engineering Society, Berlin 8-11 May 2004, paper 223.

puisque les simulations numériques peuvent être moins chères à mettre en œuvre. Nous pensons qu'il serait intéressant de ne pas chercher à raccorder des modèles de propagation d'ondes acoustiques et des modèles d'écoulements acoustiques, car les raccordements sont souvent complexes à réaliser. Nous proposons de ne considérer que des modèles d'écoulements acoustiques. Nous envisageons, à ce jour, trois pistes d'approches complémentaires pour bâtir des modèles et des simulations numériques.

La première approche consisterait à essayer de traiter le problème de la simulation numérique en utilisant les équations, qui nous ont servi à mettre en évidence les conditions d'obtention de l'équation de propagation des ondes, en les numérisant grâce aux schémas classiques de numérisation et de maillage. Évidemment cette méthode nécessiterait une puissance de calcul importante dès lors qu'il s'agirait d'étudier le problème d'une salle ou d'un instrument acoustique. Suivant la qualité du maillage et des schémas numériques utilisés, on pourrait obtenir une précision importante. La démocratisation balbutiante des solutions de calculs distribués devrait permettre le recours intensif à cette méthode dans les prochaines années. Précisons que cette méthode permettrait d'obtenir une approximation de l'évolution spatiale et temporelle des phénomènes sonores. Il ne saurait être question de calcul temps-réel pour l'instant compte tenu de la complexité et du nombre de ces calculs.

La deuxième approche consisterait à adopter un formalisme différent : celui des réseaux de Boltzmann gazeux. Il s'agirait alors d'adopter une

description statistique des champs acoustiques en calculant la probabilité de chocs entre particules dans un mélange gazeux. Cette approche devrait aussi nécessiter une puissance de calcul importante surtout si on doit multiplier les noeuds spatiaux ou considérer les chocs afin d'obtenir une précision suffisante. Cette approche commence à être utilisée en acoustique mais elle ne devrait pas non plus être temps-réel dans un avenir proche.

La dernière approche, que nous envisageons pour le moment, consisterait à généraliser la méthode qui a été utilisée pour rendre compte du jeu chromatique sur un instrument diatonique et de l'appliquer notamment aux configurations de spatialisation du son et de sa perception. Cette approche est basée sur une utilisation intégrée des relations locales. Nous pensons qu'il serait intéressant de considérer des principes de types bilans d'énergie (équations de Bernoulli incluant pertes et turbulence, qui ressemblent beaucoup à une version du premier principe de la Thermodynamique) et de masse principalement. Il s'agit donc de chercher à construire et/ou à utiliser une approche de type Thermodynamique Acoustique ne retenant que les phénomènes les plus pertinents, donc nécessitant de comprendre et de prendre en compte les phénomènes vraiment significatifs. Avec ce genre d'approche, on pourrait calculer une approximation des phénomènes sonores pour des points significatifs. On peut remarquer que le recours à une approche de type Thermodynamique, donc plutôt de nature statistique, n'est pas incompatible avec l'Acoustique puisque les équations qui nous ont permis d'aboutir à l'équation de propagation mettent en œuvre des « particules » au sens de la définition ►

- de Kergomard : on n'accède qu'à des pressions, vitesses, températures, masses volumiques moyennes pour un grand nombre de molécules gazeuses.

Il reste maintenant à voir quelles sont les perspectives offertes par les propositions d'extension de l'Acoustique, en dehors notamment du champ de l'Acoustique.

3_Conclusion et perspectives

Nous nous sommes efforcés de faire le point sur les fondements de l'Acoustique ce qui nous a conduit à mettre en évidence des problèmes non expliqués par le formalisme classique lié aux aspects corpusculaires et à proposer une extension de l'Acoustique. Finalement, le sens de l'Acoustique (classique) se trouve potentiellement modifié puisque nous proposons de ne plus nous inscrire dans une approche ondulatoire mais dans une approche corpusculaire en considérant que l'acoustique est principalement un problème de perception des évolutions temporelles d'écoulements acoustiques : l'approche ondulatoire devient alors une approximation qui ne reste valide que dans les cas où les phénomènes de brassage de fluide sont si peu importants qu'il est alors possible de ne pas en tenir compte. En conséquence, il convient de changer la gamme des fréquences à étudier puisqu'il faut mettre en évidence le rôle exact des très basses fréquences. Une autre conséquence importante tient à l'hypothèse que ce sont des mécanismes de saturation non linéaires qui induisent les « modes propres » et les « fréquences propres » et qu'il n'est alors plus question de travailler en excitation monochromatique, ni dans le cadre du principe de superposition, ni d'utiliser les concepts de type source/filtre. Nous avons aussi

esquisé trois approches pour bâtir les modèles physiques et nous pensons privilégier, vu nos moyens mais aussi parce qu'elle se focalise sur la détermination des phénomènes principaux, une approche de type Thermodynamique Acoustique, plus facile à mettre en œuvre. Nous avons aussi présenté un certain nombre d'expériences ou de champs d'expériences qui devraient permettre de tester la pertinence de nos propositions. Un certain nombre de ces expériences pourraient être menées rapidement au moins de manière qualitative en utilisant des microphones en lieu et place de capteurs de pression.

Mais la discussion précédente pourrait sortir du strict cadre de l'Acoustique (linéaire ou non linéaire). En effet, lorsque l'on s'intéresse aux autres branches de la Physique, on constate que le formalisme ondulatoire est souvent présent : en Optique, en Électromagnétisme, en Mécanique Relativiste, en Mécanique Quantique ou Ondulatoire par exemple. Or, cette présence du formalisme ondulatoire n'est pas fortuite puisque les références aux ondes sonores ne sont pas rares dans les ouvrages consacrés aux autres sciences. De Closets⁴⁹ écrit ainsi que « l'onde sonore, évidente à notre oreille, est un fouillis d'ondes élémentaires. Elle s'accompagne d'harmoniques qui sont des multiples entiers, une fois, deux fois, trois fois, de la fréquence fondamentale. Le caractère ondulatoire crée des phénomènes d'interférence avec des phases d'annihilation et d'amplification. Or les physiciens ont établi les lois qui permettent de décomposer et de recomposer les systèmes complexes d'ondes. Ne peut-on, à partir de ces outils mathématiques, se donner une équation qui rende compte des états d'énergie de l'électron,

⁴⁹ F. de Closets, *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit dire*, Seuil, 2004, p. 333.



Nous avons vu que l'approche ondulatoire pose des problèmes en Acoustique et qu'elle pourrait bien ne constituer qu'une approximation locale de phénomènes corpusculaires. Nous pensons qu'il pourrait peut-être en être de même pour les autres branches de la Physique.

de ses émissions lumineuses ? Schrödinger tourne autour de cette hypothèse en liaison avec Einstein et l'intuition géniale lui vient dans une station de ski à l'hiver 1925. » Plus loin [p. 361], de Closets évoque l'utilisation de « l'effet cocktail party » pour donner une image du principe de superposition des états quantiques. À propos de l'équation des cordes vibrantes, Mourier²⁴ écrit « peut-être n'apporte-t-elle pas beaucoup à l'art des luthiers dans l'immédiat, mais on verra qu'elle est appelée à un grand avenir par ses généralisations et les développements considérables auxquels elle donne lieu ». Ailleurs, Lambert²⁵ écrit « ...Maxwell lui-même, pensait que les ondes électromagnétiques devaient être des vibrations élastiques d'un milieu matériel, de la même façon que les ondes acoustiques sont faites par les vibrations de l'air par exemple. Il fallut le génie original et audacieux de Einstein, pour penser que ce support, l'éther, n'existait pas, et donc que les ondes électromagnétiques n'avaient aucun support matériel ». Ailleurs encore, Ortolì et Pharabod²⁶ écrivent que « de même qu'un son, par exemple, résulte de la superposition d'un ensemble d'ondes (l'onde fondamentale et les harmoniques), l'onde de De Broglie doit être considérée comme un ensemble de longueurs d'onde encadrant $\lambda = h/p$ et allant d'un minimum λ_{\min} à un maximum λ_{\max} ».

Or, nous avons vu que l'approche ondulatoire pose des problèmes en Acoustique et qu'elle pourrait bien ne constituer qu'une approximation locale de phénomènes corpusculaires. Nous pensons qu'il

pourrait peut-être en être de même pour les autres branches de la Physique.

Ainsi selon Auffray²⁷, la transformation dite de Lorentz, mais vraisemblablement introduite par Voigt, présente la particularité de laisser invariante l'équation de propagation des ondes : cette

invariance correspond même à une des contraintes imposées pour sa construction. Mais, si on décide d'introduire un terme de convection non linéaire, l'invariance de l'équation obtenue disparaît. Or, la relativité restreinte s'appuie sur cette transformation. Dans l'édition de 1973 de *La Physique nouvelle et les quanta*²⁸, de Broglie écrit « j'ai exposé les premiers principes de la mécanique ondulatoire dans les trois Notes aux Comptes rendus en septembre-octobre 1923, puis d'une façon plus développée dans la thèse de doctorat soutenue le 25 novembre 1924. Mon idée essentielle était d'étendre à toutes les particules la coexistence des ondes et des particules découverte par Einstein en 1905 dans le cas de la lumière et des photons. Conformément aux idées claires de la Physique classique, je cherchais à me représenter une onde physique réelle transportant de très petits objets localisés dans l'espace au cours du temps... Après ma thèse, on a souvent interprété faussement mes idées en disant que, d'après moi, l'électron était une onde, ce qui escamotait la particule. C'est, semble-t-il, en adoptant cette idée que Schrödinger, en 1926, dans de très beaux travaux, a écrit le premier pour l'électron, mais seulement à l'approximation newtonienne et sans tenir compte du spin, l'équation de propagation d'une onde... Appelé en 1928 à des fonctions d'enseignement, j'ai exposé les idées ►

²⁴ G. Mourier, *Les Ondes en Physique : de Pythagore à nos jours*, Ellipses 2002, p. 45.

²⁵ M. Lambert, *Introduction à la Mécanique Quantique*, Ellipses, 1998, p. 11.

²⁶ S. Ortolì et J.-F. Pharabod, *Le cantique des quantiques, La découverte*, Coll. Essais, 1998, p. 31.

²⁷ J.-P. Auffray, *Einstein et Poincaré sur les traces de la relativité*, éd. Le Pommier, 1999, p. 58.

²⁸ L. de Broglie, *La physique nouvelle et les quanta*, Flammarion, 1998, p. 11-15.

- *qui avaient prévalu en mécanique quantique et, pendant de longues années, j'ai renoncé à développer mes idées primitives. Mais depuis environ vingt ans j'ai été de nouveau convaincu qu'il fallait revenir à l'idée que la particule est un très petit objet localisé décrivant une trajectoire. Comme je l'ai montré dans toute une série de travaux de plus en plus approfondis, c'est ce que permet de faire, tout en conservant la signification statistique de l'onde ψ normée, ma conception du guidage de la particule par son onde quand on la complète par une Thermodynamique cachée dont le développement ouvre des perspectives très nouvelles... Il est important de remarquer combien il est étonnant qu'en optique de la lumière et des particules, on puisse prévoir, avec une extrême précision, un nombre énorme de phénomènes en partant de propagation d'ondes sans faire nullement intervenir la structure corpusculaire, cependant certaine, de l'énergie qu'elles transportent... En conclusion, je pense que mes idées primitives, telles que je les ai reprises et développées dans ces dernières années, permettent de comprendre la véritable nature de la coexistence des ondes et des particules dont la Mécanique quantique usuelle et ses prolongements ne nous donnent qu'une vue vue statistique exacte sans nous en révéler la véritable nature ». Ailleurs, Lochak²⁹ écrit « Dès le mois de janvier 1952, de Broglie publia une nouvelle note qui détermina les dernières trente années de sa carrière : il annonçait son retour à la théorie de la double solution. Mais il ne le faisait qu'à une seule condition : il supposait maintenant que les équations de la mécanique ondulatoire ne devaient pas être les bonnes pour parvenir à ses fins et qu'il fallait chercher pour cela de nouvelles équations qui devraient être non linéaires comme le sont les équations d'Einstein*

de la relativité générale ». Et plus loin (p. 213) Lochak cite de Broglie disant qu'il estimait « permis de penser (contre le credo orthodoxe) que les problèmes posés par la physique quantique et la coexistence des ondes et des particules ne trouveront leur véritable interprétation que dans le cadre de théories à caractère non linéaire » puis Einstein à propos de la théorie des champs : « Je ne vois dans cette méthode qu'une tentative pour rendre compte de relations ayant un caractère non linéaire à l'aide d'une théorie linéaire ».

Ces quelques extraits montrent que la démarche que nous proposons n'est peut être pas très éloignée de celles réclamées par De Broglie ou Einstein, par exemple, quand ils appellent de leurs vœux l'élaboration de théories non linéaires. En particulier, concernant la Mécanique Quantique ou Ondulatoire, nous pensons qu'il serait bon d'étudier ce que donnerait l'introduction d'un terme non linéaire similaire à la convection dans l'équation de Schrödinger. Après tout, l'introduction d'un tel terme ne serait pas moins arbitraire que l'idée de se restreindre à l'utilisation d'une équation d'onde simple associée à la description classique de l'énergie et à la relation $p=h/\lambda$ de De Broglie, comme on le fait pour obtenir l'équation d'onde de Schrödinger. L'introduction d'un terme non linéaire devrait ainsi conduire au remplacement du principe de superposition des états par l'idée d'un phénomène de saturation non linéaire, à même d'expliquer et de prédire les fréquences quantifiées ainsi que leurs poids respectifs : il n'y aurait alors plus de notion de probabilité de présence d'états quantiques ; on retrouverait exactement le même cas de figure que pour les « modes propres », à savoir que ces

²⁹ G. Lochak, Louis de Broglie, Champs Flammarion, 1995, p. 195-196.

états ne correspondraient plus qu'à une manière d'analyser l'état réel. On pourrait ainsi peut-être abandonner la notion d'onde de probabilité au profit d'une description corpusculaire et constater que le formalisme ondulatoire ne correspond en fait qu'à une approximation locale des phénomènes quantiques, comme en Acoustique.

Si cette démarche devait se révéler intéressante elle signifierait la disparition (temporaire?) de la dualité ondes-corpuscules au profit de la seule réalité corpusculaire... et avec elle le retour de la causalité en Mécanique Quantique et/ou Ondulatoire, rejetée par l'école de Copenhague! ■

LAURENT MILLOT

Ingénieur Arts et Métiers (ENSAM) et Docteur en Mécanique Énergétique/Acoustique de l'Université Paris 6 (thèse et travaux complémentaires concernant la physique des instruments à anches libres et, notamment, le jeu chromatique sur un harmonica diatonique).

Enseigne le Traitement du Signal et l'Acoustique, à l'ENS Louis-Lumière et à la Formation Supérieure aux Métiers du Son du Conservatoire National Supérieur de Musique et Danse de Paris.

PUBLICATIONS RÉCENTES OU À VENIR

- L. Millot et G. Pelé, *La sensation d'espace dans le spectacle audiovisuel*, Cahiers Champs Visuels, L'Harmattan, à paraître.
- L. Millot, *Clues for a minimal model of free reeds*, accepté sous réserve de corrections pour une publication dans *Acta Acustica*.
- L. Millot, *Some clues to build a sound analysis relevant to hearing*, 16^e Convention of the Audio Engineering Society, Berlin 8-11 May 2004, paper 223.
- L. Millot et J. Harriot, *Jouer chromatiquement sur un harmonica diatonique*, Conférence d'Acoustique Musicale du Conservatoire National Supérieur de Musique et Danse de Paris, 9 mars 2004 (conférence invitée).
- L. Millot, *Free reed instruments: clues for a physical model*, Proceedings of Stockholm Music Acoustics Conference 2003 (SMAC 03), Stockholm August 6-9 2003, p. 329-332.
- L. Millot and D. Ambroise, *From time domain simulation of diatonic harmonica, proposal of a minimal free reed model*, 134th Meeting of the Acoustical Society of America, Pittsburgh, June 3-7 2002, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 111, No. 5, Pt. 2, p. 2376 (conférence invitée).
- L. Millot, Ch. Cuesta and Cl. Valette, *Experimental results when playing chromatically on a diatonic harmonica*, *Acta Acustica*, Vol. 87 (2001), p. 262-270.

» Déroutes

Gérard Pelé – Bénédicte Roy

Résumé « Au début des années 60, dans chaque station de métro, une affichette officielle de la RATP avertissait « Messieurs les inventeurs d'épaves » que celles-ci, après avoir été remises à qui de droit, leur reviendraient finalement, en cas de non-réclamation, au bout d'un an et un jour. » Ainsi commence la préface à la réédition de 1990 de la *TOPOGRAPHIE ANECDOTÉE* DU HASARD* de Daniel Spoerri, rédigée par Roland Topor le 5/2/1990. Ainsi ont été trouvés – inventés – les objets perdus – les épaves – qui suivent, dont les espaces manifestement vandalisés ont été remplis de la même manière par ces photographies de fond de tiroir que l'on invente à chaque dépollution de nos sites domestiques, comme également nous le faisons dans la pratique maniaque du recyclage des déchets notés dans les livres qui nous procure aussi l'impression d'« inventer » le sens du mot « art » : la deuxième définition – *pleroma*, mot grec dans le texte en anglais, signifiant « ce qui est à propos, moment opportun » – et la sixième définition – C'est le jeu gratuit d'un enfant – qu'en donne Iannis Xenakis dans *Formalized Music*, et dont nous offrons l'extrait « intégral » ci-dessous – dispositif adopté pour éviter le naufrage définitif dont la traduction nous aurait menacés autant que le sens ancien du terme « anecdote » : *anekdotas* voulant dire « inédit » comme le faisait justement remarquer Pierre Restany dans une lettre à Daniel Spoerri datée du 30/12/1961 et devenue, pour partie une note [d'où l'astérisque « * » apposé au mot « ANECDOTÉE »], pour partie la postface de la réédition de 1990 de la « *TOPOGRAPHIE...* » [op. cit.].

Abstract « I would like to propose what, to my mind, covers the term « music » : 1. It is a sort of compartment necessary for whoever thinks it and makes it ; 2. It is an individual *pleroma*, a realization ; 3. It is a fixing in sound of imagined virtualities (cosmological, philosophical, ..., arguments) ; 4. It is normative, that is, unconsciously it is a model for being or for doing by a sympathetic drive ; 5. It is catalytic ; its mere presence permits internal psychics or mental transformations in the same way as the crystal ball of the hypnotist ; 6. It is the gratuitous play of a child ; 7. It is a mystical (but atheistic) asceticism. Consequently expressions of sadness, joy, love, and dramatic situations are only very limited particular instances. »



Ils se sont rencontrés au hasard des images : une fois accepté d'en recevoir l'irréremédiable miracle, tout était dit. Rien dans leurs vies où tout était rouge de son sang vidé partout ne les avait prédisposés à cette rencontre, à ce télescopage des existences, rien sauf l'emprise de son contact terrestre, coulant écarlate et recouvrant tout ce qu'elle pouvait embrasser. Les circonstances les ont réunis un instant seulement par le regard car tout le reste a été vécu hors du temps qu'ils se sont enlacés et embrassés et des lieux qu'ils ont fréquentés en fantômes. Et leurs corps se sont pénétrés jusqu'à toucher de la tête et des pieds les deux murs de la cabane. Alors qu'ils étaient enlacés, une première fois, un jour quelque part, ils se sont embrassés. Chacun des corps était également toute la rencontre et elle en perdait l'esprit dans l'autre car elle était réellement contenue dans ces deux bouches du plaisir touchées qui la faisait pleurer des sanglots secs. Elle était enfin heureuse et enfin elle pouvait faire sortir son sang encore, trouver sa propre réalité tant qu'il en restait. Dehors, ils n'étaient pas très beaux car tout ce sang devait s'écouler quelque part ; ni laids d'ailleurs, lui les yeux foncés (elle ne les a jamais vus, mais elle le croit) et les cheveux courts, comme elle à part la couleur de ses yeux, bleue. On aurait juste pu se retourner sur eux comme on se fond dans un engagement unique à cause du léger vent dans les vêtements. Dans la croyance d'un dieu ils n'étaient pas très différents, juste l'âge croyait-elle, car elle avait tout laissé, tout abandonné dans le sillage de cet être beaucoup plus vieux. Mais cela n'a pas eu d'importance, il suffisait de tout ignorer au-delà et en deçà de ce lien nouveau pour que le miracle ait lieu. Ils s'étaient présentés au monde déguisés dans le dessein d'être et c'était elle qui avait tout déclenché. Elle avait décidé de cette rencontre et ils subissaient comme les hommes le temps qui passe et les inconcevables inte-



réactions du dehors. Parfois même ils s'imposaient le jeu de leurs vies antérieures où ils ne savaient pas leurs existences respectives.

Toute sa vie avait été tournée vers ce but ultime, l'embrasser et son désir alors devenait incandescent, l'aimer et elle ne voulait plus rien que se vautrer avec lui, le tuer dans une luxure annoncée et déchirer son ventre pour faire naître encore du plaisir tout autour d'eux et partout en eux. Elle pensait à tout cela depuis longtemps, depuis qu'elle avait pu dans un moment de clairvoyance se donner le plaisir du sexe, mais aussi celui de la bouche et des mots ; deviner le paradigme de son propre plaisir. Elle savait sa propre condition, celui de toute la peau du corps lorsqu'ils se touchaient entièrement, le front, la bouche, les épaules, les bras et les mains, les poitrines, le ventre, le sexe, les jambes jusqu'au bout, et qu'il ne pourrait la voir que si elle le désirait, que si elle le touchait, que si elle signifiait son arrivée parmi son monde. Tout était prêt donc, et elle aimait le respirez lorsqu'ils étaient comme cela rien ne pouvait échapper à l'inéluctable de son sourire et elle aurait voulu conserver son odeur comme elle regardait les photographies de sa peau douce, d'une douceur de plume. Elle jouait de cette peau qu'elle avait de lui avec innocence, comme de ses yeux nus elle savait regarder. Toujours elle voulait avoir sa peau contre elle, et mille détails étaient là, derrière son front dont elle ne pouvait plus se séparer. Et de sentir parfois le désir qui animait son corps et tout ce qui le touchait et tout ce à quoi il touchait faisait à son serpe, la marquait au fer, ressassant l'impatience et la nécessité de se saisir de lui comme de son propre désir.

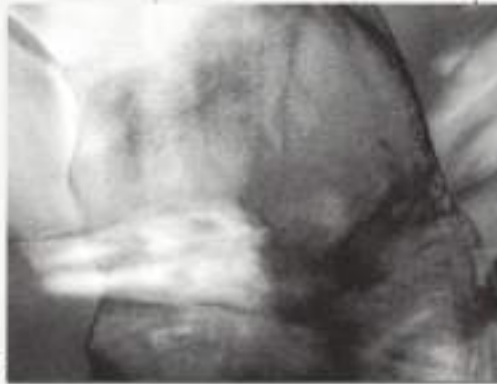
C'est dans ces dispositions qu'ils ont connu des plaisirs. Le véritable enjeu de leur rencontre s'est révélé un jour qu'ils s'étaient longuement enlacés, soumis au secret des autres em-

désir parce qu'ils ne voyaient plus que cette peau-là était plus douce encore que les plaisirs des ~~filles~~. D'ailleurs leurs corps finissaient par se ressembler dans l'étrange déformation de la maigreur d'enfants aux yeux creusés ; les poitrines aussi à part ses seins, la peau rouge ou bleue selon le sang qui circulait dans leurs veines. Ils préféraient ~~ent~~ tout prendre leurs corps selon leurs désirs mais était-ce encore du sang ? elle en avait tellement fait couler.

Lui donnait sa jouissance au hasard, et ils ne mangeaient plus. Le plaisir hypnotique d'apercevoir doucement la jouissance retirée d'elle, mouillée comme la vie retirée d'un regard fixe laissé au bord de l'abîme, cet accident de la jouissance des ~~filles~~ était l'hypnose du plaisir. Ils vivaient ~~ainsi dans la possession, au moment de leurs sexes, les corps~~ ~~leurs corps leurs sexes, les seules à travers les peaux si fines qu'elles se déchiraient parfois laissant apparaître l'intérieur blafard de ces êtres qui jouissaient si fort : si fort qu'ils en perdaient parfois connaissance, ne laissant comme trace de leurs vies, qu'un peu d'alcool qui remontait jusqu'aux lèvres et souillait les draps déjà raidis par tous leurs plaisirs. Il vomissait tout cet alcool et elle s'en peignait les seins. Elle avait le regard fixe comme si la vie s'était brusquement retirée d'elle, et elle jouissait tout doucement, sans s'en apercevoir, avec l'application d'une colle ~~à la peau~~. Elle aimait par-dessus tout aspirer tout son corps et tout son plaisir par ce sexe tendu et ne voulait jamais s'en détacher, mais sans jamais rien abandonner de leur destruction programmée, de la luture dont ils s'étaient fait un art ~~de vivre~~. Elle faisait des creux dans sa bouche comme dans leurs ventres, elle voulait tout prendre en donnant tout et entendre les soubresauts de leurs ports toucher ses muscles qui avaient les spasmes de la douleur et les râles de l'épouvan-
tion.~~



Peu à peu, leurs sexes devenaient approximatifs, ils ne distinguaient plus rien au-delà de la chambre, plus le bruit, plus les images, tout était flou et inconsistant sauf le sang qui battait encore dans leurs ventres : leur perception se bornait à la surface occupée par leurs épaves mouillées sa peau contre ses cuisses, plus froide qu'un serpent et rude comme une lime. Et, encore, mettant tout son sens dans sa bouche et le léchant lentement sans jamais rien concéder à la souffrance des chairs, elle continuait de se livrer entièrement pour assouvir leur présent, pour aimer encore cet être car le désir ne se tarissait pas. Par sa façon de se replacer dans le lit elle voulait lui signifier des ombres discrètes dans le monde, invisible son ultime. Elle était prostrée et il la léchait sans qu'elle s'en rende compte, et elle s'étala dessus complètement, bouche contre bouche, poitrine sur poitrine. Le désir était même exacerbé par l'extrême fragilité de la peau à laquelle il ne fallait qu'un souffle pour faire naître l'envie de son sexe, encore, alors il l'étalait ; et ses yeux tout à coup prirent une clarté d'étoiles ; ses cheveux s'allongèrent comme les rais du soleil ; le souffle de ses narines avait la douceur des roses ; un nuage d'encens s'éleva du foyer ; les flots chantaient. Ils n'avaient pas vécu jusqu'à se retrouver et ils mettaient leurs dernières forces dans la réalisation du miracle. Le matin ni le soir n'existaient plus depuis longtemps, parfois au crépuscule ils déliraient, hébétés ou trembants, ils se rendaient tous car tout fraîchit et ils se baïsaient pour se réchauffer. Rafiés, ils tentaient par les caresses de redonner un peu de sang à leurs ventres, cependant une abondance de délices, une joie surhumaine descendait comme une inondation dans son âme. Mais elle avait tout fait couler, elle l'avait percé et leurs ventres restaient blancs malgré tout, et celui dont les bras se seraient toujours grandissait, grandissait.



GÉRARD PELÉ

Docteur habilité à diriger des recherches en art et sciences de l'art, Maître de conférences à l'École nationale supérieure Louis-Lumière et chercheur à l'Institut d'esthétique des arts contemporains.

Principaux ouvrages :

- Le festin de l'ange*, Éditions L'Harmattan, 1999.
Art, informatique et mimétisme, Éditions L'Harmattan, 2002.
Inesthétiques musicales au XX^e siècle, à paraître aux Éditions L'Harmattan.

BÉNÉDICTE ROY

Diplômée de l'École nationale supérieure
Louis-Lumière, opérateur du son à Radio France,
enseigne la prise de son cinématographique
et la postproduction audionumérique à l'Université
de Paris 1. Poursuit une recherche en musique –
participation à Musicora, intervention
en tant qu'ingénieur du son au colloque
« Gestes, formes et processus signifiants en musique
et sémiotique Inter arts ».

Cahier Louis-Lumière

n° 2 | Automne 2004

Revue annuelle

Directeur de publication

Jacques Arlandis,

Directeur de l'ENS Louis-Lumière

Rédacteur en chef (n°2 – Automne 2004)

Gérard Pelé

Enseignant à l'ENS Louis-Lumière

Ont participé à la rédaction

de ce numéro

Claude Balblé, Alexandra Carr-Brown,

Dominique Chateau, Maximilien Colcy,

Etienne Coiteux, Nicolas Delatte,

Stéphanie Katz, Dominique Lambert,

Laurent Millot, Gérard Pelé, Bénédicte Roy

Contact

Méhdî AÏ-Kacimi

{m.akkacimi@ens-louis-lumiere.fr

et 01 48 15 02 09}

Responsable Communication

et Développement

Création graphique et maquette

Magdalena Holtz

Impression (1 000 ex)

Imprimerie du Marais

Credits photographiques

COUVERTURE

Camille Bauzeau dans le cadre de travaux
sous la direction de Claire Bras, Bernard
Lemelle et Franck Mairdon.

ARTICLE D'ETIENNE COITEUX

© IRCAM

ARTICLE D'ALEXANDRA CARR-BROWN, MAXIMILIEN COLCY ET NICOLAS DELATTE

© ENS Louis-Lumière

ARTICLE DE LAURENT MILLOT

Fig 1 : B. Fabro et A. Henschberg,
« From sound synthesis to instrument
making: an overview of recent
researches on woodwinds » proceedings
of the Stockholm Music Acoustics
Conference, August 6-9 2003 (SMAC 03),
Stockholm, Sweden, p. 239-242

Fig 2 : G. Peléris, Laboratoire
d'acoustique musicale, Université
Pierre-et-Marie-Curie, communication
privée 2004

ARTICLE DE GÉRARD PELÉ ET BÉNÉDICTE ROY

© Gérard Pelé et Bénédicte Roy

Illustrations reproduites avec l'aimable
autorisation des ayants-droits.

Copyright

Chaque auteur pour sa contribution,
L'ENS Louis-Lumière pour l'ensemble.

Remerciements

Claire Ivas, Bernard Lamelle,
Franck Maindon et les élèves photo-
de la promotion 2005 pour la
réalisation des photos du sommaire
et des pages 195-197 ; Antoine Barret,
Olivier Barrière, Camille Boultou,
Arnaud Delrue, Yasmine Did-Sabbé,
Emma Geraud, Mélanie Poudat,
Rozenn Quéré, Yoann Stockel,
Fabien Tilmant.

Imprimé en France
par l'imprimerie du Marais (Paris)

Achévé d'imprimer en septembre 2004
Dépôt légal : Septembre 2004
ISBN : 2-9530267-1-8
ISSN : 1763-4261

Toute reproduction, même partielle
de cet ouvrage est interdite. Sa copie
ou sa reproduction par quelque
procédé que ce soit, photocopie,
microfilm, bande magnétique, disque
ou autre, constitue une contrefaçon
passible des peines prévues par la loi
du 11 mars 1957 sur la protection
des droits d'auteur.

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE LOUIS-LUMIÈRE

L'ENS Louis-Lumière propose une formation à la fois théorique et pratique, technique et artistique, propre à satisfaire les attentes des professions de l'image et du son. Placée sous la tutelle du ministère de l'Éducation nationale, l'École est un établissement public d'enseignement supérieur qui recrute à bac +2. Elle dispense un enseignement dans le cadre de trois sections – Photo (options « prise de vue » et « traitement des images »); Cinéma, Son – sanctionné par un diplôme de niveau bac +5 dont la valeur est solidement reconnue.

La politique de l'école s'articule autour de trois axes :

- affirmer son statut d'école nationale supérieure, en recherchant l'excellence d'un enseignement financièrement accessible à tous ;
- valoriser sa capacité d'insertion professionnelle, en ajustant les partis pris pédagogiques aux exigences des métiers ;
- favoriser la création, la recherche, la diffusion des savoir-faire de l'école ainsi que son rayonnement culturel au plan national, européen et international.





École nationale supérieure Louis-Lumière

7, allée du Promontoire - BP 22

93161 Noisy-le-Grand Cédex

01 48 15 40 10 - www.ens-louis-lumiere.fr



heures par paquets passées sur la terre
années par dizaines à errer dans ce rêve