

Trois points sur la Perception sonore :
« images sonores », masquage et « illusions sonores »

Núria Giménez Comas

Index

Introduction aux trois points	p. 1
1.- Images sonores	
- Introduction	p. 3
- <u>Analyse de <i>Fragments de lune</i></u>	p. 3
- Forme globale: le timbre (interpolations) et passages entre différents états de perceptions	p. 4
- Analyse plus détaillée et plus « personnelle »	p. 4
- Synthétiseurs FM et séquences initial et final	p. 7
Exemples graphiques	p. 9
- Perception et imaginaire sonore	p. 15
2.- Perception et masquage	
- Introduction	p. 19
- Définition et termes générales du masquage	p. 19
- Masquage comme calcul de la sonie	p. 21
- <u>Conditions dans lesquelles s'exercent les phénomènes de masquage</u>	p. 22
- Masquage de sons sinusoïdales (pure) par des sons bruités	p. 22
- Masquage de sons sinusoïdales (pure) par des sons (sinusoïdales et sons complexes)	p. 25
- Orchestration-Instrumentation / Conclusion	p. 29
3.- Illusions sonores et sons paradoxaux	
- Introduction à illusion sonore	p. 31
- Illusions de regroupement de notes	p. 32
- Illusions de hauteur	p. 34
- « Sons paradoxaux » et la figure de J.C. Risset	p. 36
- Pertinence de la recherche pour l'écoute – effets et espace (laboratoire et concert)	p. 37
Conclusion - Réflexion	p. 38
Appoint finale	p. 39
Conclusion plus personnelle et liaison avec un petit texte sur <i>Recovery Zones</i>	p. 40
Bibliographie	p. 43

Introduction aux trois points:

Déjà dans l'idée initiale de faire la recherche sur le sujet de la perception sonore (aussi dans le champ de la psychoacoustique), j'ai été confrontée à la nécessité de faire une sélection (que dans quelques aspects pourrait être aussi une sorte de synthèse des sujets qui étaient pour moi les plus importants).

Le **trois points**-sujets choisis pour constituer les trois chapitres du travail ont été choisis donc pour des raisons de sélection et aussi des raisons de « proximité ».

Comme j'explique aussi dans l'introduction au premier chapitre, la découverte de la pièce *Fragments de lune* de Philippe Hurel, même si ce n'est pas la pièce à lui plus connue, a été un peu un point de départ où une sorte de trouvaille-découverte (pendant que je cherchait de l'information pour mon travail de bachelor il y a 2 ans). M'a éveillé une envie d'approfondissement sur ce sujet (global) et aussi sur le concept d'**image sonore** et les passages entre « types » de perception, comme je vais aussi citer au début du chapitre. Le premier point est basé sur l'analyse de la pièce d'Hurel avec des extraits sonores (CD) et quelques images de la partition. Après il suit une petite réflexion sur différents théories liés au concept d'image sonore.

Le deuxième chapitre par contre a été choisi après la lecture et l'expérimentation pendant les deux années de master, donc après aussi quelques travaux (liés à des pièces) avec des outils comme Orchidée et de manipulation et analyse des multiphoniques. J'ai eu donc un intérêt croissant sur le sujet spécifique du masquage (dans la mesure que je lisait la large documentation qui existe aujourd'hui) surtout des sons complexes, in-harmoniques ou bruités. La connaissance de ces variables pourrait surement aider à la utilisation, combinaison ou orchestration de ces sons avec plus de précision et maîtrise (soit dans la musique acousmatique, mixte ou instrumentale), comme je vais aussi citer dans les conclusions du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre était aussi une idée initial, la curiosité et intérêt pour le sujet des 'illusions sonores' (peut-être aujourd'hui assez commune), cela c'est vu complété et enrichie par le rencontre de Jean Claude Risset cette année à Genève avec des master-classes et un concert autour de lui. Les conférences et les travaux du compositeur sont basiques pour l'exploration de ce domaine et peuvent beaucoup éclaircir grâce à son indéniable recherche mais aussi grâce à ses nombreuses expériences musicales liés aux sujet (sa vision à la fois scientifique et musicale).

La méthodologie utilisée pour le premier chapitre à été surtout basé sur l'analyse de la pièce de P. Hurel, avec l'aide de toute la documentation lié à cette pièce que j'ai trouvé (enregistrement, partition, fiche technique sur la pièce, entretien avec le compositeur). Pour les autres sujets je me suis servie de documentation variée (donc de différentes sources, auteurs, théories différentes, par fois contrastés..). Pour la fin j'ai du faire une grande sélection de la documentation sur Risset comme conséquence de la grande quantité d'écrits à lui, sur lui, des entretiens, etc. qui existe aujourd'hui.

1.- Images sonores

- Introduction

La découverte du travail de P. Hurel sur *Fragment de lune* inhérente à une recherche psychoacoustique et à quelques concepts liés à la perception, surtout sur la notion de « **image auditive** » m'a beaucoup attiré et rempli de d'intérêt et curiosité sur ce sujet.

Hurel c'est intéressé aux travaux psychoacoustiques de formation d'**images auditives**, des **flots** et aussi à la théorie des **groupements** dans la perception auditive (desquels on en parlera aussi au dernier chapitre).

Ces recherches il les mets en relation avec des processus de transformation de la perception. En généralisant l'idée d'interpolation, Hurel imagine des transitions de structures entières telles que:

structure, timbre, mixture → mélodies, polyphonie

Le compositeur remarque l'importance de ces expériences dans le domaine de la psychoacoustique pour faire basculer la perception et pouvoir la « interpoler ». Elles nous indiqueront donc les paramètres qu'il faudra varier et le « seuils » de perception¹.

- **Analyse de *Fragment de lune*** : connexions avec les phénomènes psychoacoustiques, "images sonores" et leurs évolutions (spectralisme)

- **Breve introduction à la musique de P. Hurel**: dans son entretien avec Guy Lelong² le compositeur reconnaît que ce sont surtout les influences « indirectes » de la musique de jazz qui l'ont marqué (plutôt comme ressource que dans l'utilisation du matériau). Et dans la musique classique, c'est la plus récente qui exerce une réelle influence: sérialisme-spectralisme, donc il n'y a pas de références au passé dans sa musique. Le travail de la temporalité a été pour lui assez lié à la littérature (Proust), ainsi que le travail des motifs (Thomas Mann et Wagner). D'autres lectures l'ont beaucoup marqué : l'oeuvre de Claude Simon, *Ulysse* de Joyce, *Jaques le fataliste* de Diderot..

La pièce *Fragment de Lune* est une pièce de la première époque de composition (1985) de P. Hurel et elle est très lié aux expériences psychoacoustiques qu'il a réalisé au même moment ainsi qu'au courant spectral, d'où l'utilisation constante et claire de processus.

1 HUREL, Philippe et VANDENHEEDE, Jan: *Fragment de lune*, Documentation musicale, IRCAM

2 [HUREL, Philippe](#), Les Cahiers de l'Ircam Paris, Éditions Ircam-Centre Georges-Pompidou, 1994, coll. "Compositeurs d'aujourd'hui"

Fragment de lune: pour 2 flûtes, hautbois, 2 clarinettes, saxophone alto, basson, 2 cors, trompette, trombone, 2 claviers midi, 2 percussions, électronique (max MIDI, avec deux Macintosh à l'époque) (1985-86) 18'30

- **Forme globale: le timbre (interpolations) et passages entre différents états de perceptions.**
(D'après la documentation du propre compositeur sur la pièce³):

Les différents passages sont tous constitués par des processus liés à des phénomènes d'interpolations timbriques et/ou d'interpolations entre différents types de perceptions. Les principales sections selon le compositeur sont:

- de la C à la F : mixture qui lentement sera perçue comme une polyphonie à 6 voix, grâce à l'accélération et à ce que les notes conjointes des mélodies seront jouées progressivement par le même instrument (connexion avec les seuils de perception, images auditives).
- De F à G : les mélodies des vents deviennent balayages d'harmoniques et fusionnent en un seul timbre (à cause d'une accélération maximum) dont le synthétiseur émet la fondamentale.
- De la J à la K apparaît une mélodie de timbres qui est répétée plusieurs fois et qui sera traitée comme une « fréquence porteuse » et modulée par deux fréquences (au départ le double de la fréquence porteuse) qui varient au cours du temps (avec une fonction linéaire). Par conséquent chaque note de la mélodie va générer des autres notes à chaque répétition, par la technique de Modulation de Fréquence (appelé aussi FM) appliquée ici de manière symbolique. Au même temps les claviers réaliseront une interpolation de timbres réalisée par un synthétiseur FM.
- De la M à la O : on trouve des formes de patterns répétés qui génèrent ensuite, avec des accents, une deuxième couche mélodique plus lente avec le même pattern (abcdebgd), technique très utilisée après dans toutes les pièces d'Hurel. Cette harmonie générale dévient progressivement un agrégat résonance (par un processus) -qui est d'ailleurs la base de la mélodie des gongs thaïlandais qui apparaît plusieurs fois dans la pièce-. Les accents des patterns joués par les vents sont ensuite joués isolément par la percussion et les claviers MIDI. Le timbre des claviers interpole progressivement d'un son de clavier-perc.) au son des gongs thaïlandais (deuxième processus parallèle). Les deux processus se rencontrent quand les gongs fusionnent avec les vents qui ont la fonction de résonance.
- De la O à la Q : formation progressive de mélodies (comme de C à F) est considéré pour le compositeur comme un « négatif » de la section précédente (lettre M).

- **Analyse plus détaillée et plus « personnelle »** (avec quelques exemples graphiques et sonores):

Dans cette « deuxième couche » de l'analyse on va garder les sections déjà décrites brièvement,

3 HUREL, Philippe et VANDENHEEDE, Jan: *Fragment de lune*, Documentation musicale, IRCAM

on va rajouter des détails, on va parler des sections qui n'ont pas été évoquées et on va essayer d'établir quelques liens entre elles:

- Début jusqu'à la C (jusqu'à 1'45") : la pièce commence avec un geste instrumental qui lance la première séquence (son des claviers), composée avec des patterns mélodiques très rapides et articulés (séquence initial qu'on va voir plus tard avec l'analyse de l'électronique). Après la séquence il ne reste que des notes tenues des claviers qui continuent dans cette texture lisse même après l'entrée de la percussion. Juste avant cette entrée est lancée la première interpolation des claviers électroniques qui produisent peu à peu des attaques comme aussi la texture des instruments à percussion. À partir d'ici on pourrait considérer que s'initie le premier pas du processus de C (création d'une texture polyphonique). Dans cette partie, comme préparation, les instruments à percussion-claviers passent de notes tenues à une sorte de mélodie fragmentée répartie entre les instruments (grâce à une accélération). Cette mélodie ne sera pas perçue comme mélodie de timbres car les timbres sont trop fusionnés (à la différence de J – bois).

- De C à J (1'45" – 6'40") : mixture des notes tenues aux bois qui font fonction de résonance de la texture presque « polyphonique » de la percussion et claviers. Le processus de passage des notes tenues à la polyphonie à six voix est assez rapide même si perceptuellement c'est difficile de savoir à partir de quel point on commence à interpréter les fragments de mélodies comme une polyphonie (plus ou moins claire). Jusqu'à la mesure 41 il y a un premier pas du processus dans lequel lentement quelques notes de la percussion-clavier passent au bois. La mesure 41 est un élément clef car les claviers s'arrêtent et les formules passent aux vents, encore comme éléments fragmentés. Mais à ce moment là, la texture à l'écoute est déjà beaucoup plus polyphonique à cause des spectres très différenciés des bois. Après il y un instant (j'imagine un peu différent dans chaque perception, chaque personne) ou la texture devient clairement polyphonique à l'audition. Les claviers développent des gestes vifs descendants-ascendants qui se transforment en gestes plutôt harmoniques et qui sont transmis petit à petit aussi aux cuivres avec la forme d'un nouvel élément de notes répétées et qui ressort avec force de la texture globale. **Figure 2.1 (pag. 10-11) et 3.1 (pag. 12)**

À partir de F la texture des bois qui était déjà très accélérée se convertit vraiment en une sorte d'agrégat harmonique ascendant (ou balayage, comme les geste « anticipé » de cuivres) et continue les geste des notes répétées aux cuivres alternée avec des notes tenues. Ça nous conduit à une sorte de point culminant à la mesure 75. **Exemple sonore (1): écoute de la évolution dès C jusqu'à ce point culminant. (CD annexe)**

Ensuite la texture se dilue un peu, les gestes descendants-ascendants des bois se décomposent et les cuivres perdent les gestes de notes répétées et gardent les notes ténues. Lentement la sonorité globale perd de sa force. À la mesure 100, l'entrée de la percussion, (avec des attaques dispersés) marque, à mon avis, la fin du processus et le début d'un autre. Les gestes des bois qui perdent des notes progressivement, se convertissent en notes tenues et les attaques de la percussion gagneront petit à petit de l'importance.

- De J à K (6'40" – 8'17") : deux processus similaires (par transformation FM) et parallèles mais qui affectent des aspects très différents: complexification de l'harmonie, dans une mélodie répétée (vents) ainsi que la transformation du timbre (claviers) mais qui à mon avis se renforcent l'un l'autre et aident à la compréhension de l'écoute. Dans la figure 1.1 on a écrit les premiers pas de la transformation (FM) de la mélodie de timbres initial. Chaque note génère plusieurs notes à chaque répétition de la mélodie qui finalement est une sorte de mélodie-harmonie beaucoup plus complexe. Aussi dans ce cas l'arrêt de la percussion marque la fin du processus (m. 133).

Exemple sonore (2) passage entier. (CD annexe)

- De K à M (8'17" – 10'59") : cette partie pourrait être considéré comme une sorte de passage entre des processus plus structurels de la pièce (tout en rappelant des gestes déjà connus). Elle commence avec une alternance du même accord avec deux timbres différents joués au début au clavier 2 et après repris par les bois (comme une sorte de réponse), par la percussion et par les cuivres (dans cet ordre d'apparition). Il y a toujours cette alternance timbrique, alternance en l'instrumentation dans le cas des instruments acoustiques, qui est renforcée par une alternance aussi panoramique à cause de la sonorisation des groupes d'instruments (gauche-droite). Une grande phrase est formée par un processus d'accélération de cette alternance des accords avec une ampliation finale de l'harmonie. Ce geste finalement se répand dans accord tenu plus ample qui est suivi du geste vif des vents descendant-ascendant (qui nous rappelle à F). Cette sorte de large phrase est répétée plusieurs fois, les répétitions des accords ainsi que les entrées successives sont chaque fois plus rapides et proches entre elles jusqu'à la mesure 178 où elles se trouvent presque fondues et où le geste de balayages (plus complexifié) nous amène à l'entrée d'un nouveau processus à M.

- De M à O (10'59" – 14') : le processus de conversion du geste vif et harmonique (patterns répétés) des bois à une sorte d'agrégat résonance est amené avec une progression linéale dans différents aspects: descente du geste, rapprochement des intervalles du balayage initial et diminution de la vitesse du rythme.

Le processus parallèle d'interpolation timbrique des claviers (claviers -> gongs thaïlandais) arrive à une culmination perceptive quand, après quatre mesures d'arrêt, la percussion rentre aussi avec les gongs thaïlandais (m.199) et fusionne avec les claviers. **Figure 4.1 (pag. 13) et 5.1 (pag. 14) : de l'état initial et l'état finale de la texture des vents.**

* La mélodie des gongs de la mesure 208 est formée par les mêmes notes de l'agrégat résonance de O (vents), et a une semblance avec la mélodie de timbres de J. Cette mélodie avait déjà été annoncée à B pour le clavier 1 et on trouve aussi à la toute fin dans une version plus courte (**voir fig. 1.1, pag. 9**)

- De O à la « Coda » (14' – 17'45") : dans cette section, qui est considéré comme le « négatif » de la section précédente par le compositeur, mais aussi comme une variation de la première section de l'œuvre, il y a plusieurs éléments de la pièce qui réapparaissent (il pourrait être donc déjà une

sorte de coda). D'abord, il y a l'interpolation timbrique inversée par les claviers et beaucoup plus accélérée qui part de la mélodie des gongs thaïlandais* (gongs -> claviers, m. 220-224). À la fin de cette interpolation réapparaît une texture des notes ténues aux bois avec fonction de résonance (semblant à C). Les deux types de mélodies (bois et claviers-percussion) fragmentés par les différents instruments, forment un processus d'accélération et de regroupement de notes (comme le processus du début et de C). Ce-là sera perçue d'abord sur les claviers-percussion comme polyphonie (approx. m.230) et plus tard avec les bois aussi (vers X, juste avant la fin de la section). Au milieu réapparaissent les gestes vifs descendants-ascendants (déjà complexifiés en F, L) ainsi que les notes répétées aux cuivres (déjà présentes aussi à F).

- La Coda: séquence final avec de rythmes répétitifs (patterns) en descendant qui se convertie juste à la fin en timbre de gongs (avec une interpolation assez rapide). Ça finie avec l'apparition de la mélodie de gongs plus un accord tenu (voir explication plus concrète de la séquence dans l'explication de l'électronique).

- **Synthétiseurs FM et séquences initial et final** (selon les indications de Jan Vandenheede⁴):

Calcul des pas des interpolations (60 états intermédiaires, il est prouvé que c'est suffisant pour obtenir des gradations continues de timbre à la perception) entre les sons préparés à l'avance, pour seulement envoyer les valeurs pendant la performance. Chaque interpolation a une barre de défilement qui doit être parcourue en suivant la battue du chef.

On va voir brièvement la séquence initiale et la séquence finale lancés par les claviers parce que elles illustrent assez bien quelques techniques utilisées par le compositeur.

La première, très simple, est composée de trois boucles superposées (du type **abcdebgd**), ou chaque voix a un groupe de notes différentes. Chaque voix parcourt les notes du groupe avec un tempo différent (100, 120 et 140 ms par note). Après quelques boucles apparaissent des accents toutes les 5 notes et la vitesse de chaque voix ralentit. Après 151 notes chaque boucle s'arrête.

La dernière est plus complexe, cette fois ce sont 3 voix mais les agrégats harmoniques changent pendant la séquence (descente). Chaque voix suit aussi des patterns (**abcdebgd**). Les voix partagent les notes des agrégats mais elles sont joués en différents ordres:

La voix 1 utilise les sons de 7 à 12 (numérotés du bas en haut), la voix médiane les sons de 4 à 9 et la voix basse les sons de 1 à 6. Les notes des patterns **b** et **d** sont pré-configurés différemment pour chaque voix et les autres lettres sont choisies aléatoirement dans le petit groupe (sans répéter).

4 *Ibidem*.

A musical score for two staves (treble and bass clef) showing measures 1 through 10. The notation is dense, featuring complex chords and rhythmic patterns. The notes are primarily eighth notes, with some accents. The key signature changes throughout the sequence, indicated by various sharps and flats.

A musical score for two staves (treble and bass clef) showing measures 11 through 14. The notation continues the complex harmonic and rhythmic patterns from the previous measures, with a focus on the final notes of the sequence.

Les notes sont jouées en rythmes de demi-croches (noire 60) mais les entrées sont canoniques, et la durée de chaque voix sur le même agrégat harmonique est aussi différente et change pour chaque agrégat. Chaque 5 notes est accentuée jusqu'à qu'ils restent seulement les accents sur les notes **b** et **d**. À ce moment-là les autres notes diminuent peu à peu et juste quand on reconnaît la mélodie de gongs (non entière dans les accents de B et d), il apparaît l'accord de la fin (au début superposé à les notes accentués). **Exemple sonore (3): séquence final, complexité dans le processus versus simplicité « relative » à l'écoute. (CD annexe)**

Figure 1.1

Fragment de lune

Agrégat résonance (m. 205)

J - mélodie de timbres

Figure 2.1

The image shows a handwritten musical score for a symphony orchestra. The score is arranged in a standard format with staves for various instruments. At the top, there are staves for Flute 1 (Fl. 1), Flute 2 (Fl. 2), Oboe (Hob.), Clarinet 1 (Cl. 1), Clarinet 2 (Cl. 2), Bassoon (Basson), and Saxophone (Sax.). Below these are staves for Cor 1, Cor 2, Trumpet (Tpt.), and Trombone (Tbn.). The bottom section of the score includes Percussion (Perc.) and Claviers 1 and 2 (Claviers 1, Claviers 2). A large number '3' is written at the top of the woodwind section, with colored lines (pink, red, orange) connecting notes across staves, indicating a specific musical motif or analysis. The score is written in a standard musical notation with various dynamics like 'mp' and 'f'. There are also some handwritten annotations and markings throughout the score.

PRO PHOTO PARIS
REPRODUCTION MUSICALE
2 828 39 76

G. 4 3 2 1 B

Figure 3.1 : juste après F

5 2 3 3 3 5

Fl₁
Fl₂
Cl₁
Cl₂
Sax
Tromp
Tromb
Perc₁
Perc₂
Vib
Cym

sonorisation ->
chavier 1: gauche/cadre
chavier 2: droite/cadre

PRO PHOTO PARIS
REPRODUCTION MUSICALE
© 1993 38 78

G.4321B
- 22 -

Figure 4.1

A handwritten musical score for a woodwind and brass ensemble. The score is written on ten staves, each labeled with an instrument: Fl₁, Fl₂, Hrb, Cl₁, Cl₂, Basson, Sax, Cor₁, Cor₂, Vclle, and Trombe. The notation includes complex rhythmic patterns, often with triplets and sixteenth notes. Dynamic markings such as *sfz*, *p*, and *sempre p* are used throughout. A large letter 'M' is written in a box on the Sax staff. The score is divided into two systems by a vertical line. The overall style is that of a professional manuscript.

Figure 5.1 : juste avant O

The image displays a handwritten musical score for a symphony, titled "Figure 5.1 : juste avant O". The score is arranged in a standard orchestral layout with multiple staves for different instruments. The instruments listed on the left include Flute 1 (Fl₁), Flute 2 (Fl₂), Bassoon (Bbb), Clarinet 1 (cl₁), Clarinet 2 (cl₂), Bassoon (Basson), Saxophone (Sax), Horn 1 (Cor 1), Horn 2 (Cor 2), Trumpet (Trompe), Trombone (Trombe), Gong (Gong), Percussion (Perc), Clarinets 1 (clarinet 1), and Clarinets 2 (clarinet 2). The score is written in a single system with four measures. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 2/4. The music is characterized by rapid sixteenth-note passages, often with slurs and accents. Dynamic markings include *pp* (pianissimo), *p* (piano), and *f* (forte). Performance instructions are written in French: "Jouer le plus détaché possible" appears above the Clarinet 1 staff in the second measure, and "Jouer le plus détaché possible" appears above the Trombone staff in the third measure. The Percussion part includes a Gong and is marked with *f*. The Clarinets 1 and 2 parts also feature *f* markings. The score is signed "PRO PHOTO PARIS REPRODUCTION MUSICALE © 1998 39 76" at the bottom left. The page number "70" is written in the center at the bottom.

3

Handwritten musical score for a symphony orchestra and piano. The score is written on 20 staves. The instruments listed on the left are: fl₁, fl₂, Clarinet in Bb (Cl₁), Clarinet in A (Cl₂), Bassoon, Saxophone (Sax), Violin I (Viol₁), Violin II (Viol₂), Viola, Violoncello (Vcllo), Double Bass (Basse), Percussion 1 (Perc 1), Percussion 2 (Perc 2), Clarinet in C (Clarin₁), and Clarinet in Bb (Clarin₂). The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings. Key markings include 'ff possible' in the Saxophone part, '205' in a box in the Violin I part, 'sempre ff' in the Violin II part, and 'sempre f' in the Percussion 2 part. The Percussion 1 and 2 parts feature complex rhythmic patterns with triplets and quintuplets. The woodwind parts are mostly silent, with some notes in the Saxophone and Clarinet in Bb parts.

PRO PHOTO PARIS
REPRODUCTION MUSICALE
© 828 39 76

2 4 5 2 1 8

-71-

- Perception et imaginaire sonore :

Perception et aperception dans l'imaginaire sonore

Du livre *Musical Imaginery* on n'a sorti un extrait « Relation of perception and apperception to musical imaginery » où l'auteur revendique (après quelques expériences liés à l'imaginaire musical avec des sons harmoniques et des sons inharmoniques) sa thèse que « dans l'écoute actuelle, les connaissances stockées dans la mémoire sont activés pour donner support à la formation d'images que représentent des objets musicaux »⁵. La théorie repose sur l'idée de que l'écoute d'une musique nouvelle et inconnue se base en la détection des caractéristiques du stimule et après il rajoute que ça ne peut pas se dissocier des connaissances déjà acquises.

Une idée intéressante qui lance l'auteur c'est que l'auditeur utilise souvint des formes géométriques (comme des contours mélodiques) comme représentations d'objets en un espace Euclidien.

Déjà en liaison avec la théorie de la psychoacoustique écologique dans laquelle en fera une brève incursion, Schneider commente l'importance de l'auditeur de pouvoir garder et se concentrer en l'essentiel pour pouvoir « saisir » la musique à l'écoute.

Psychoacoustique écologique: nous écoutons des évènements, pas des sons

L'auteur de *Ecological Pshycoacoustics* décrit les raisons sur lesquelles s'appuie sa théorie de que la perception non-parlé est basé sur des événements distales (éloignés) primitives.⁶

Décrit aussi après quelques expériences que même des auditeurs non-expérimentes sont capables de repérer des propertés assez subtiles de sons déjà connus et de sons nouveaux (identité, cause, taille, forme et matériaux involuclés à ces événements). Aussi il nous cite comme singularité qu'il y a une littérature qui démontre la précision des auditeurs d'anticipation de la trajectoire des sources qui se rapprochent.

L'auteur dédie un chapitre à la longue discussion sur comment les jugements de hauteur peuvent influencer les jugements d'intensité (Doppler shift) mais ne mets pas en évidence la particularité de que les auditeurs discernent les changements d'intensité plus grandes pour les incréments d'intensités que pour les équivalents de baisse d'intensité.

Ainsi il nous commente que d'une façon plus générale il y a une théorie de la psychophysique qui argumente que tous les jugements sensoriels sont basés sur primitives expériences ambiantes ou physiques.

Les conclusions du chapitre « To understand information, understand events » sont:

« 1. We hear events, not sounds. Perception corresponds more closely to events primitives than properties of the surface acoustics.

5 *Musical Imaginery*. Swets & Zeitlinger. Complex Inharmonic Sounds, Perceptual Ambiguity and Musical Imaginery, Albert Schneider, page 112-113

6 NEUHOFF, John G. (2004). *Ecological Psychoacoustics*. California: Elsevier Academic Press.

2. To understand information, understand events. The most fruitful descriptions of acoustic information are informed by a thorough understanding of the event mechanics that structure the acoustics. Event-informed informational descriptions reveal a salience of time-varying, higher order acoustics properties.
3. Audition serves a multimodal brain. Multimodal perception is primary, and, in a important way, perception might not care from which modality the information comes. This interpretation implies that the most accurate descriptions of perceptual information are modality neutral. »

Cette théorie qu'on considère très intéressante et que nous donne quelques points de lumière sur le fonctionnement de la perception sonore lié à la musique pourrait nous amener à en dédier vraiment un chapitre entier (mais lequel s'éloignerait un peu du sujet centrale).

2.- Perception et masquage

- Introduction

Ce sujet pourrait également être traité dans le chapitre suivant (illusions sonores) mais en raison de sa spécificité, nous avons choisi de le traiter comme matière à part. Aussi parce que nous considérons que c'est un sujet d'une grande importance dans des aspects de base de la composition (instrumentation, orchestration, disposition instrumentale, électronique, musique mixte, etc.).

- Définition et termes générales du masquage

Définition: On parle de masquage quand un son pur parmi d'autres sons écoutés en même temps, est plus difficile ou impossible d'entendre à cause de la présence des autres sons.

On parlera de son pur ou composante fréquentielle 'masquée', et de son pur ou composante fréquentielle 'masquante'. L'extension possible du masquage dépendra surtout de les fréquences et les amplitudes des deux sons (masquant et masqué).

Si on parle en termes psycho-acoustiques, le seuil d'écoute de la fréquence masquée est déplacée avec la présence de la fréquence masquante, donc le masquage pourra être mesuré comme un déplacement du seuil de la courbe d'écoute de l'auditeur causée par la présence de la fréquence masquante.

On peut penser aussi au masquage, pour bien comprendre les graphiques qui vont suivre, comme un filtre dont l'action sur une composante à sa fréquence centrale (masquée) et augmentée par la présence d'une autre composante (masquante).

Comme le montre clairement la première figure 1-1, il y a une asymétrie importante entre la pente de la ligne qui est au-dessus de la fréquence de masquage celle en-dessous. On peut donc constater d'une façon générale que le « grave masque l'aigu ». Il faut aussi constater par la figure 2-2 que l'asymétrie est claire dans les amplitudes fortes, mais quand les niveaux sont faibles, la courbe a une tendance à la symétrie. Il faudra souligner donc, que l'amplitude de la fréquence masquante a une forte importance dans l'effet de masquage.

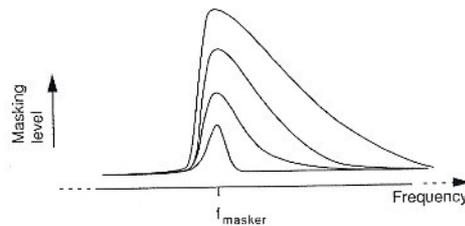


Fig 1-2 Forme du niveau de masquage avec des freq. masquantes de différents niveaux d'une fréquence $f_{\text{masquante}}$ (Hz)

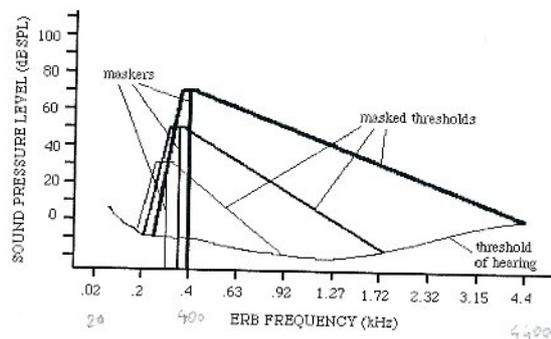


Fig 2-2 Seuils du masqué idéalisés avec des masquantes sinusoïdales de 300 Hz, 350 Hz et 400 Hz à 50 dB, 70 dB et 90 dB respectivement, tracés dans une échelle de fréquence espacée de bande critique

Quand on parle des sons instrumentales les effets de masquage sont souvent analysés par les composantes individuelles de chaque son. Avec des sons comme bruits blancs ou bruits de bande (colorés) les composantes de toutes les fréquences sont masquées d'une façon linéale. Pour poser un exemple de cette linéarité on peut déjà citer que l'incrément de 10 dB du bruit blanc fait accroître l'effet de masquage de 10 dB aussi.

L'effet de masquage plus souvent traité c'est quand il y a une simultanéité des sons masquante est masquée, mais il a aussi deux types de masquage dans lesquels les sons/composantes ne sonnent pas au même moment. Ça sont le 'post-masquage' et le 'pre-masquage', dans le post-masquage un son peut masquer un autre son qui commence quand le premier (masquante) est déjà fini. Et à l'inverse dans le pre-masquage un son peut être masqué pour un autre son qui commence quand le premier (masqué) est déjà fini.

Le post-masquage peut avoir lieu quand le temps entre la fin du premier son et le début du deuxième (masqué) est inférieur à 30 ms; et dans le pre-masquage, un son peut être masqué pour un autre si entre la fin du premier et le début du deuxième (masquante) il y a moins de 10 ms. De toute façon il faut signaler qu'ils existent de variations importantes entre les différents auditeurs par rapport aux temps du pre et post-masquage.

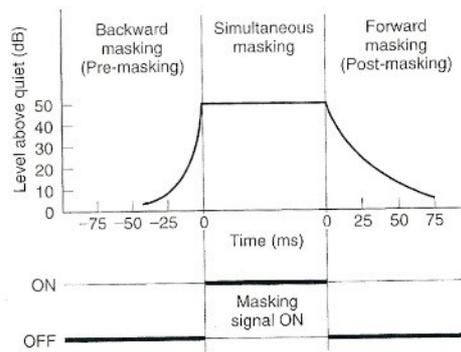


Fig 3-2 Illustration idéalisée du masquage simultané et non-simultané

Observations de Moore qu'on a évalué d'une grande importance sur le masquage non-simultané:

- « - Le pre-masquage est considéré amoindri (à zéro en quelques cas) avec la pratique
- le taux de récupération du post-masquage est plus grande dans les niveaux plus hauts
- le post-masquage disparaît 100-200 ms après le masquage cesse
- l'effet de post-masquage augmente pour les durées des masquage jusqu'à environ 50 ms »¹

- Le masquage comme calcul de la sonie

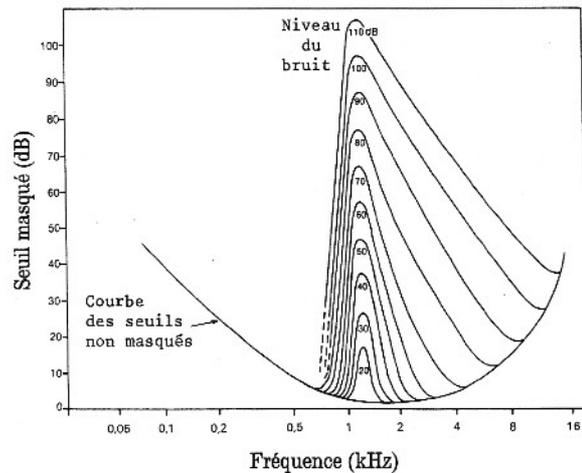
Le masquage a été aussi utilisé pour calculer la « sonie », le modèle de calcul développé par Zwicker (1956, 1970) repose sur deux hypothèses fondamentales: « 1- le pattern du masquage exercé par un son de fréquence donnée sur les sons de fréquences différentes reflète l'étendue et l'amplitude de l'excitation évoquée par ce son masquant dans le système auditif lorsqu'il est présenté seul; 2- la quantité d'excitation détermine sa sonie »².

Comme on avait déjà annoncé la représentation des seuils obtenus avec la présence d'une bande de bruit filtré peuvent aussi être considérés comme des filtres *passband* la puissance desquels va nous donner la sonie de ces sons bruités. Comme Zwicker annonce, il convertit le pattern de masquage en pattern d'excitation.

¹ HOWARD, David et ANGUS, Jamie (year) *Acoustics and Psychoacoustics*. Woburn: Focal Press, Music Technology. Hearing timbre and deceiving the ear, page 234.

² M.C. BOTTE, G. CANÉVET, L. DEMANY, C. SORIN (1988). *Psychoacoustique et perception auditive*. Éditions ENSERM, série audition. 1- Perception de l'intensité sonore M-C Botte, page 27

Fig 4-2 Représentation schématique des seuils normaux (courbe inférieure) et des seuils obtenus en présence d'une bande de bruit filtré entre 1000 et 1300 Hz à différents niveaux de pression acoustique.



Après il faut une conversion du pattern d'excitation à pattern de sonie, duquel on va pas entrer en détail car s'éloigne du sujet central, mais on va présenter les graphiques du résultats qui servent aussi à mieux comprendre quelques caractéristiques du masquage. Donc le premier phénomène déjà partiellement cité:

«- à un niveau donné, un son masquant exerce plus efficacement un masquage *total* sur les sons dont la fréquence est supérieure à la sienne que sur ceux dont la fréquence est inférieure à la sienne ; au contraire, le masquage *partiel* est plus grand du côté des fréquences inférieures à celle du masquant

- quand on abaisse le niveau d'un masquant de fréquence donnée, la sonie d'un son partiellement masqué de plus haute fréquence croît plus vite que celle d'un son partiellement masqué de plus basse fréquence. »

- Conditions dans lesquelles s'exercent les phénomènes de masquage

(Masquage simultané et bandes critiques)

On commence à analyser le masquage produit par les sons bruités, même si on les trouve moins souvent dans une situation instrumentale pour la raison de que c'est une situation plus claire, surtout dans les graphiques, et on a pensé que ça pourrait aider à comprendre mieux les autres sortes de masquage (plus complexes et souvent aussi moins « objectifs », calculables).

- Masquage de sons sinusoïdales (pure) par des sons bruités

1- Masquage de sons sinusoïdales par du bruit blanc:

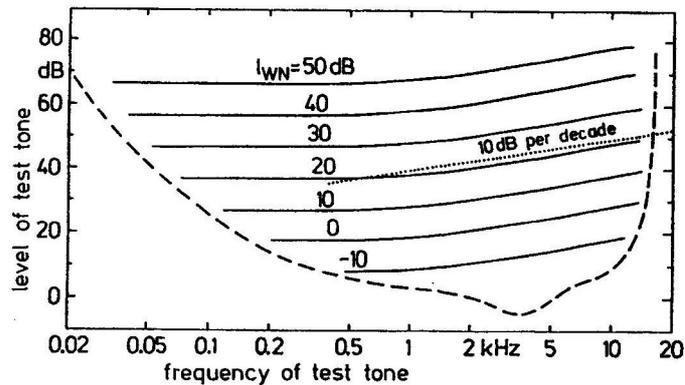
On commence par le cas qu'on avait déjà mentionnés à cause de sa forte linéarité.

Le bruit blanc est défini par avoir une densité spectrale indépendante de la fréquence. On montra donc le graphique des seuils du 'son d'essai'³ (son pure) comme une fonction de sa fréquence

³ Ou 'son étalon' ("sound test" en anglais)

avec la présence d'un bruit blanc à différents niveaux de densités.

Fig 5-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un bruit blanc d'une densité donnée I_{WN} , comme fonction de la fréquence du son d'essai. La courbe pointée représente le seuil en repos⁴.



Comme on peut apercevoir quand on incrémente de 10 dB la densité du bruit blanc la courbe du seuil incrémente dans toutes les fréquences aussi de 10 dB. À part cette linéarité on peut aussi observer que la fonction est plane jusqu'à plus ou moins les 500 kHz, moment où commence une légère inclinaison, malgré la indépendance de la densité du bruit blanc avec les fréquences. On peut aussi remarquer que le seuil dans les graves est 17 dB par dessous du niveau de densité du bruit et que même les niveaux négatifs de densités provoquent masquage.

Pour obtenir un bruit qui puisse effectuer un masquage complètement linéaire (bruit de masquage uniforme) il faut atténuer les aigus du bruit blanc, c'est à dire que ne sera plus un son blanc car sa densité ne sera indépendante de les fréquences. On montre le graphique ici dont en haut il y a la courbe d'atténuation du bruit.

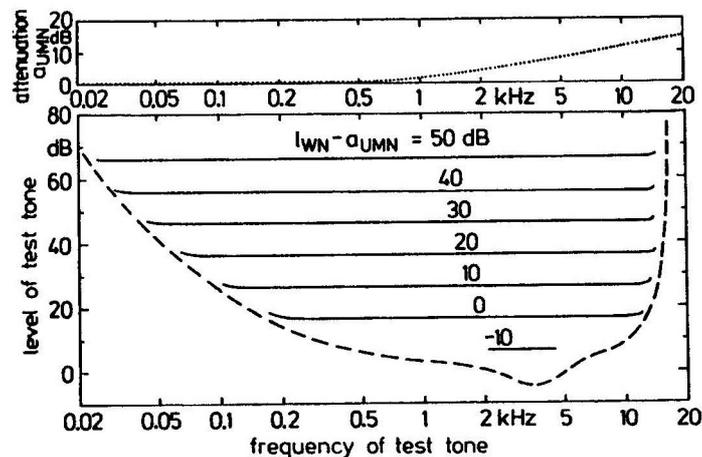


Fig 6-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un bruit blanc d'une densité donnée I_{WN} , comme fonction de la fréquence du son d'essai. La courbe pointée montre l'atténuation nécessaire pour produire un bruit de masquage uniforme à partir du bruit blanc.

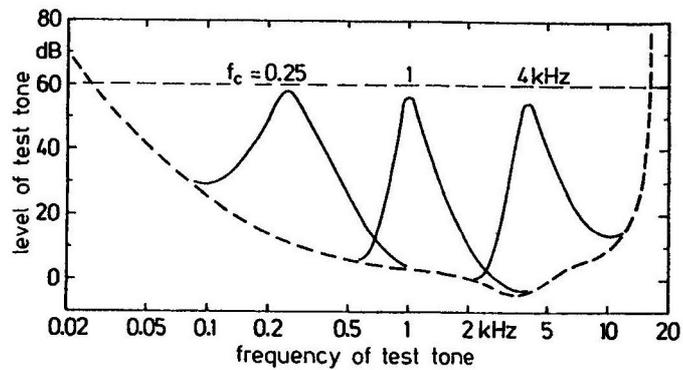
2- Masquage de sons sinusoïdaux par du bruit de bande étroite

⁴ E. ZWICKER, H. FASTL (any). *Psychoacoustics. Facts and Models*. Springer. 4. Masking, page 72

On comprends un bruit de bande étroite, en ce contexte, comme un bruit avec une largeur de bande égale ou plus petite que la largeur de bande critique.

Dans le suivant graphique on observe les fonctions du seuils des sons d'essai avec trois bruits de bande différents, de 0,25, 1 et 4 kHz. Les sons masquants qui ont un niveau de 60 dB, on des largeurs de bandes de 100, 160 et 700 Hz respectivement.

Fig 7-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un bruit large de bande critique avec un niveau de 60 dB et fréquences centrales 0.24, 1 et 4 kHz.



Dans les courbes de chaque fonction qui ont des pentes très marqués, on peut remarquer une similarité avec celles des bruits plus aigus (1 et 4kHz) à différence de la plus grave. On peut aussi repérer que le niveau maximale du seuil des sons d'essai est chaque fois plus petit quand on va vers l'aigu bien que les niveaux des bruits de bande sont égales. Ainsi que les pentes plus raides du côté des graves (montée de la fonction) que dans le côté des aigus (descente) par rapport à chaque fréquence centrale.

La suivante graphique montre la forte dépendance du seuil du masqué (et des fréquences autour, surtout par dessus) avec le niveau du son masquante.

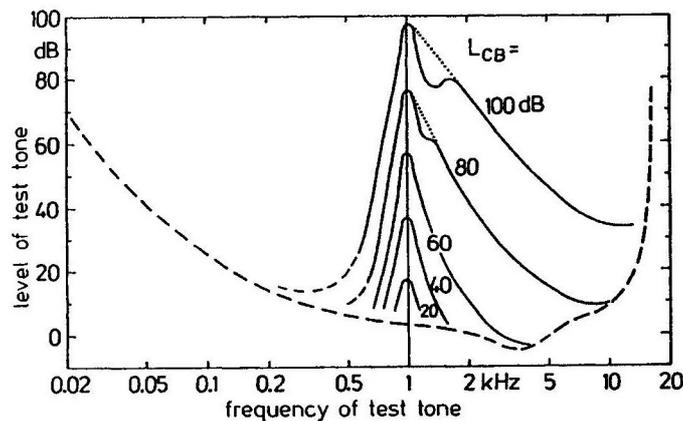


Fig 8-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un bruit large de bande critique avec une fréquence centrale d'un 1 kHz et différents niveaux comme fonction de la fréquence du son d'essai

3- Masquage de sons sinusoïdaux par des bruits pass-bas et pass-haut

La figure suivante nous montre les seuils des sons d'essai masqués par un bruit pass-bas (ligne

continue) et par un bruit pass-haut (ligne pointée). Comme on peut observer rapidement dans le graphique, juste après ou avant les fréquences de coupures des bruits les pentes des seuils sont pareils que dans les graphiques antérieurs (bande) et la ligne inclinée des seuils pendant le bruit de la bande passante est égal à la ligne des seuils des bruits blanc.

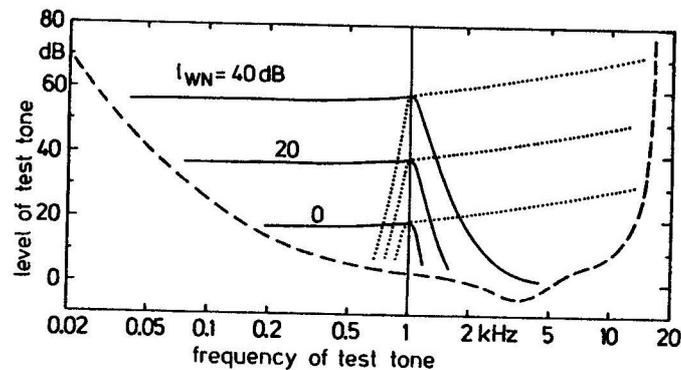


Fig 9-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un bruit pass-bas (courbes solides) et pass-haut (courbes pointées) pour différents niveaux de densité des bruits comme fonction de la fréquence du son d'essai. Les fréquences de coupures du bruit pass-haut et pass-bas sont 0.9 et 1.1 kHz respectivement.

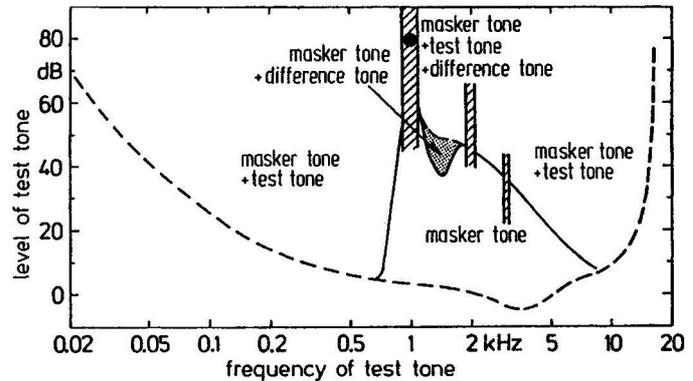
- Masquage de sons sinusoïdales (pure) par des sons (sinusoïdales et sons complexes)

1- Masquage de sons sinusoïdales par des sons sinusoïdales

Il faut d'abord observer quelques difficultés dans les expériences avec des différents auditeurs pour le masquage de sons pures par des sons pures (battements, sons différentiels..), les résultats changent assez s'ils sont des auditeurs plus « expérimentés » ou moins.

Dans le suivant graphique on examine le seuil d'un son pure masqué par un son pure de 1kHz avec un niveau de 80 dB, on constate les zones de battements autour de 1kHz, et aussi de 2 kHz et 3 kHz (zone raillées). Près de la fréquence de 1.4 kHz on perçoit les sons différentiels, c'est dans ces cas surtout que des auditeurs peu expérimentés n'arrivent pas à écouter le son masqué mais seulement le son différentiel (plus le son masquante). Mais par contre des auditeurs avec plus d'expérience (dans ce sortes de expériences) arrivent à écouter et différencier les trois sons avec des niveaux différents. On pourrait compléter en disant que les sons différentiels sont produits à travers de distorsions non-linéaires qui proviennent de notre propre système auditif et qu'ils sont perçus seulement avec des niveaux supérieurs à 50 dB.

Fig 10-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un son sinusoïdale (1kHz, 80 dB) comme fonction de la fréquence du son d'essai. Les zones raillées sont zones avec des battements.

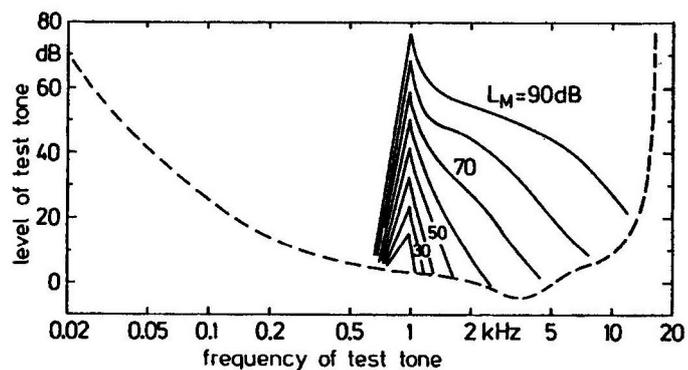


Les commentaires des sons qui pourrait être entendus dans chaque zone du graphique nous aident à mieux comprendre le tracé, et la complexité de ce sorte de masquage (surtout en comparaison avec celui des bruits blancs).

De toute façon, avec des équipements pour réduire les sons différentiels et avec des auditeurs très expérimentés on peut arriver à calculer ou quand même estimer des résultats plus claires.

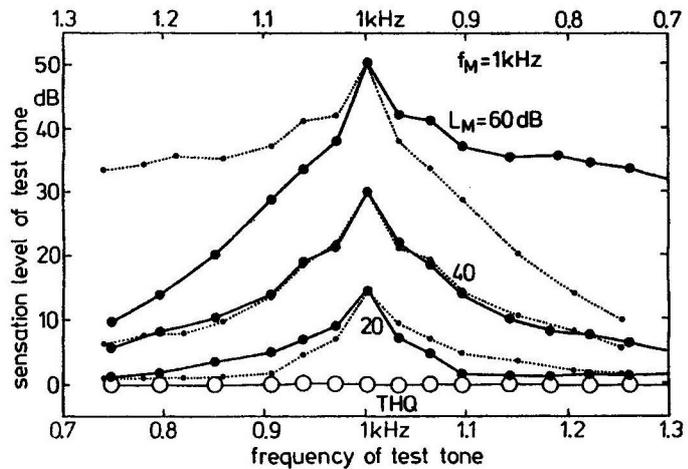
Même si les battements on peut pas les enlever, il y a un point centrale, juste à 1kHz qui peut être mesuré. Avec le graphique suivant, on trouve quelques différences avec les estimations des masquantes bruités. Même si on trouve de semblances avec les graphiques des masquantes bruités des bandes étroites, les niveaux maximum des seuils avec des masquantes non-bruités sont réduits. Aussi contrairement aux antérieurs graphiques on peut observer que dans celui-ci les pentes vers les graves sont plus raides quand on monte le niveau, mais pour les aigus c'est plus semblant les courbes chaque fois plus amples quand on monte le niveau.

Fig 11-2 Niveau du son d'essai masqué par sons sinusoïdales d'1 kHz et de différents niveaux comme fonction de la fréquence du son d'essai. L'inclinaison des courbes autour d'1 kHz peuvent seulement être estimés.



En fait, on peut additionner que le masquage dans des niveaux faibles est plus répandu vers les graves (chose qui ne succédait avec les sons bruités) et dans les niveaux forts plus répandus dans les aigus comme ils nous montre le suivant graphique de façon plus exacte:

Fig 12-2 Sensation du niveau du son d'essai (lignes solides) masqué par sons sinusoïdales d'1 kHz et de différents niveaux comme fonction de la fréquence du son d'essai. Les lignes pointées sont les mêmes données que les lignes solides mais avec un échelle fréquentiel inversée, avec l'axe du miroir à 1 kHz.



Comme l'auteur de *Psychoacoustics* nous décrit: « Les résultats de ces graphiques sont aussi applicables à des autres fréquences du son masquant si on on choisi la gamme appropriée. Ici, les effets montrés avec les bruits masquants de bande étroite apparaissent une autre fois: à exception des fréquences de masquante inférieures de 500 kHz où le seuil du masqué comme fonction de la fréquence du son d'essai apparaisse plus large, la forme des courbes peuvent être prédites si on déplace l'ensemble des courbes horizontalement jusqu'à le maximum apparaisse à la fréquence masquante »⁵.

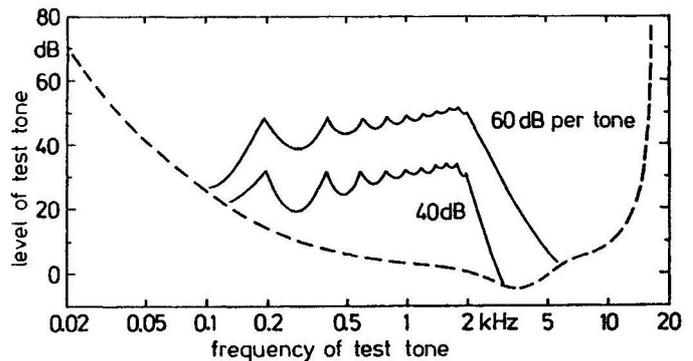
1- Masquage de sons sinusoïdales par des sons tonales complexes

On pourrait dire qu'on arrive au cas que nous intéresse le plus, puisque c'est le plus commun dans la musique instrumentale. De toute façon les semblances et relations avec les cas antérieurs vont nous être d'une grande aide pour mieux comprendre les caractéristiques du masquage par de sons tonales complexes. On va traiter pour l'instant que les sons harmoniques.

Dans le prochain graphique on trouve la même fonction du seuil du masqué par un son tonale complexe composé par une fondamentale de 200 kHz plus neuve harmoniques avec la même dynamique mais avec la phase aléatoire. Dans le graphique on montre les fonctions obtenus par les sons masquants de 60 dB et de 40 dB. Comme on connaît déjà l'échelle algorithmique fait que les harmoniques soient chaque fois plus proches vers l'aigu, et il faut aussi constater (comme on peut observer) les déclivités sont aussi chaque fois plus petites jusqu'à arriver à très peu de distance entre le maximum et le minimum de la pente.

5 *Ibidem.* page 70

Fig 13-2 Niveau du son d'essai masqué par dix harmoniques de 200 Hz comme fonction de la fréquence du son d'essai. Les dix harmoniques ont le même niveau.



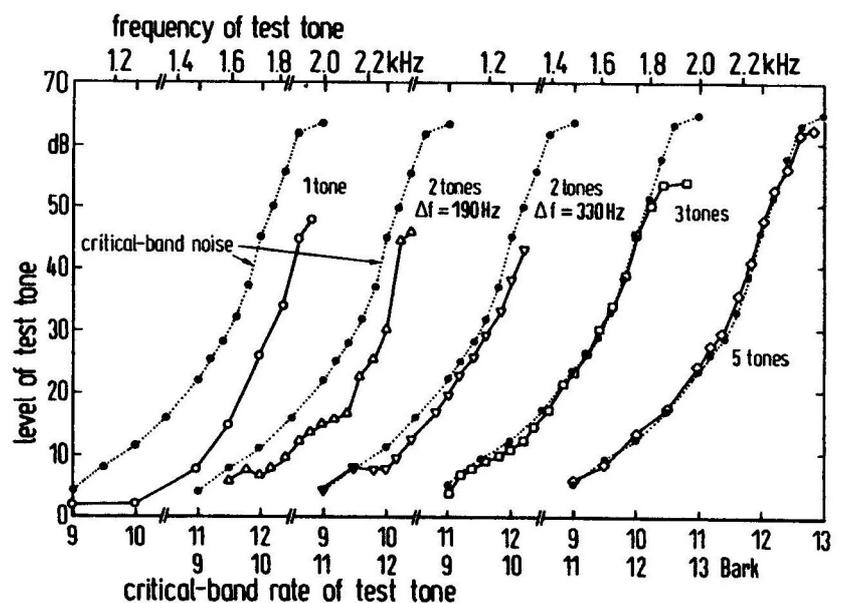
Il faut aussi constater que dans les fréquences plus aigus que le dernier harmonique (2kHz), avec les niveaux plus fortes la courbe est plus répandue vers les aigus d'une façon claire.

Dans les sons instrumentales, composés normalement par beaucoup plus d'harmoniques la forme est similaire à celle-ci mais les déclivités sont encore plus petites vers l'aigu puisque la densité d'harmoniques est plus grande.

Comme on avait déjà commenté le comportement du masquage vers le graves est assez différente entre un masquante bruité de bande étroite et un masquante tonale. Pour mieux expliquer ces différences on va éclaircir avec un petit expérience qui va consister en comparer le masquage d'un son bruité de bande étroite et un son tonale qui est composé chaque fois pour plus de sons sinusoïdales autour d'une même fréquence du même niveau (comme approximation à ce son bruité).

En fait, pour un son par exemple comme celui-ci de 2 kHz et 70 dB la largeur de bande critique est de 330 Hz. On va commencer la comparaison donc avec seulement un son sinusoïdale de 2kHz aussi, on va suivre avec deux sons de 1910 et 2100 Hz, après avec deux de 1870 et 2170 Hz, après trois et on va finir par cinq de 1840, 1915, 2000, 2080 et 2170 Hz. L'effet de masquage vers les graves produit par ces sons et combinaisons de sons est symbolisé par les lignes de symboles unis.

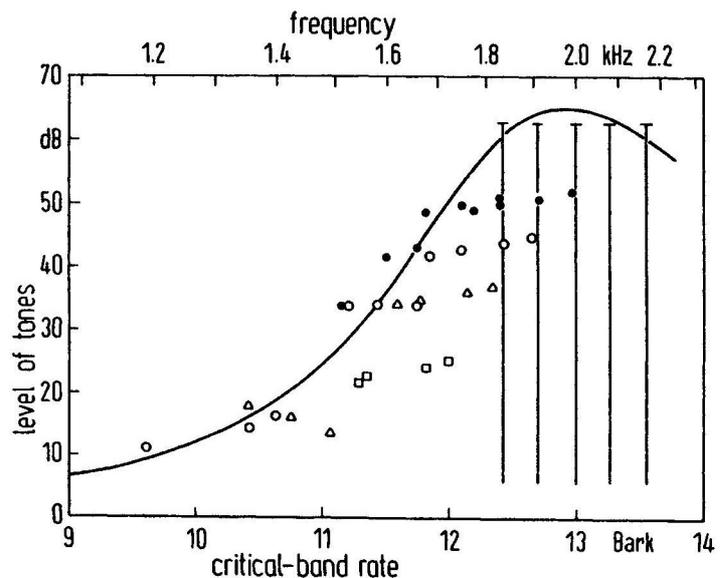
Fig 14-2 Niveau du son d'essai seulement masqué par un nombre de sons sinusoïdales dans la bande critique de 2kHz comme fonction de la fréquence (échelle supérieure) et taux de bande critique (échelle inférieure) du son d'essai. Le niveau totale des masquantes est toujours 70 dB. Les lignes pointées indiquent les données mesurés avec un bruit ample de bande critique comme masquante.



On voit clairement que l'approximation d'un son sinusoïdale avec le bruit de bande étroite est vraiment éloigné, mais déjà avec deux sons l'approximation est beaucoup plus proche. De fait, si la distance entre ce deux sons pures est proche à la largeur de bande critique (330Hz) l'approximation est encore plus fine. De toute façon la frange par dessous de 7dB reste encore éloignée du son bruité et le maximum est assez inférieur. Si on observe la courbe des 5 sons on peut remarquer qu'elle est presque pareille à la courbe du son bruité de bande étroite.

Cette grande différence de comportement entre le masquage d'un son et de cinq sons (ou le bruit de bande étroite) peut être expliquée par l'existence de sons différentiels comme on peut examiner dans le graphique suivant. La ligne solide montre le seuil du son masqué par 5 sons sinusoïdales proches des 2 kHz et avec le même niveau (représentés par les lignes verticales à droite du graphique). « La comparaison entre fréquence et niveaux des sons différentiels d'un côté, et les seuils masquantes de l'autre, suggère que les seuils du masqué dans la région entre 1300 et 1700 Hz est due aux sons différentiels qui font aussi de masquage »⁶.

Fig 15-2 Modèle de masquage et sons différentiels. La courbe solide indique le niveau du son d'essai seulement masqué pour 5 sons sinusoïdales, chaque avec un SPL de 60 dB autour de 2 kHz (lignes verticales), comme fonction de la fréquence (échelle supérieure) ou taux de bande critique (échelle inférieure). Les symboles indiquent niveaux et fréquences de quelques sons différentiels.



- Orchestration-Instrumentation / Conclusion

Avec cet bref passage pour les différentes typologies de masquage où on a pu approuver la complexité du phénomène mais aussi l'importance qui pourrait avoir même dans la musique instrumentale que dans la musique mixte et la musique acousmatique.

Dans la instrumentation (soit instrumentale, acousmatique ou mixte - combinaison d'instrumentale

6 *Ibidem*. Page 74

et électronique), orchestration, dans la recherche de clarté pour certains harmoniques, etc.

Ainsi que la utilité d'une bonne connaissance du phénomène pour pouvoir (à l'inverse) provoquer des effets de masquage recherchés, du masquage partiel (changement de timbre du son masqué), des apparitions des sons qui sont cachés (masqués)...

On voudrait souligner les nouvelles expériences / recherches du logiciel Orchis qui sont déjà très intéressants dans le point de vue de mélange timbrique comme sommation de timbres instrumentales, surtout dans la recreation de sons plus complexes (électroniques, acousmatiques, sons instrumentales inharmoniques / multiphoniques).

Néanmoins on voudrait accentuer l'intérêt d'une recherche en incorporant des éléments basiques de la musique contemporaine, sons complexes et sons bruités, donc des sons (comme les multiphoniques) qui peuvent avoir déjà eux mêmes des effets de masquage, des battements et des sons différentiels, mais que la combinaison contrôlée desquels pourrait faire des effets encore plus intéressants.

3.- Illusions sonores et sons paradoxaux

- Introduction à illusion sonore

L'expression d'illusion sonore est une sorte de parallélisme aux illusions visuelles et fait référence à une recherche d'une certaine « magie sonore », qui consiste à surprendre l'auditeur avec des stimuli sonores inattendus en prenant compte la situation acoustique donnée (instruments, salle, etc.).

Dans différents livres on trouve des descriptions d'illusions sonores ou effets, comme par exemple dans le titre d'un chapitre du *Son musical*, « Perception, Illusion et effets ».

Dans *Acoustics and Psychoacoustics* on trouve au chapitre « Hearing timbre and deceiving the ear » une sorte de définition de ces sons qui « trompent » l'oreille: « sons qui provoquent une perception psycho-acoustique qui n'est pas celle qui serait attendue de par ses caractéristiques acoustiques. En autres mots, les réalisations subjectives et objectives du son ne peuvent pas être toujours directement associées »¹.

On pourrait donc inclure dans cette définition: le masquage, les sons différentiels ou sons « subjectifs », battements, illusions de hauteur ou de regroupement de notes.. et aussi les illusions de localisation du son.

On peut trouver toute sorte d'effets dans la nature, dans les situation instrumentales classiques, mais c'est claire que les capacités de l'ordinateur ont permis de mieux comprendre et d'enrichir les possibilités de reproduction, contrôle, synthèse ou d'analyse de tous ces effets d'une façon nouvelle.

Diana Deutsch (*Scientific American*) souligne que les aptitudes à percevoir de l'auditeur peuvent le limiter aussi (détecter certaines subtilités et d'autres pas, créer des erreurs, des illusions), et considère que les « illusions musicales » ont été utiles pour faire lumière sur les facultés de perception du son. (*Le son musicale*)².

- Illusions de regroupement de notes

Avant le début du paragraphe consacré aux illusions de regroupement de notes, on doit clarifier le

¹ HOWARD, David et ANGUS, Jamie (year) *Acoustics and Psychoacoustics*. Woburn: Focal Press, Music Technology. Hearing timbre and deceiving the ear, page 228.

² J.PIERCE(2000) *Le son musicale*. Paris: Belin. Perception, illusion et effets, page 193 - 195

fait que les battements peuvent être aussi considérés dans ce chapitre comme illusions de hauteur : donc deux sons sinusoïdaux ne sont pas perçus comme deux sons quand la différence fréquentielle entre eux est plus petite que la largeur de bande critique. Il est possible d'arriver à percevoir les deux sons mais difficilement simultanément puisque ce qu'on perçoit c'est surtout la rugosité d'un son.

Parfois ces situations sonores inattendues sont aussi le résultat de notre façon (intuitive, naturelle) d'analyser ces sons. C'est surtout le cas des regroupements de notes. Différentes expériences de Diana Deutsch l'ont conduit à trouver des principes qui font aussi partie de l'École psychologique de la Gestalt, ce sont les principes de « bonne continuité », de « proximité » et de « similarité ». Elle les décrit de la façon suivante :

- « - regroupement par bonne continuation – 'les éléments qui se suivent dans une direction donnée sont perçus comme un mixage d'ensemble.
- regroupement par proximité – 'les éléments plus proches sont groupés de préférence ensemble par rapport aux éléments qui sont plus espacés.
- regroupement par similarité – 'les éléments qui se ressemblent sont groupés ensemble'«³.

Deux exemples des expériences de Deutsch (1974) sont illustrées dans la figure suivante en utilisant des sons ou figures différents pour l'oreille gauche et pour la droite. La première consiste en alterner des sons sinusoïdaux de 400 et 800 Hz, donc avec une octave de différence, de la façon qui est décrite dans le graphique. La perception d'une grande partie des auditeurs a été l'alternance d'octave entre l'oreille gauche et droite, et en plus selon Deutsch la majorité écoutait l'octave aiguë à l'oreille droite (phénomène que l'auteur pense être en relation avec la distribution des instruments sur la scène).

Une autre de ses expériences est celle représentée en bas du graphique. Dans ce cas il y a les notes de la gamme de Do réparties entre les deux oreilles : le regroupement le plus fréquent est constitué de mouvements conjoints en prenant la première note de chaque oreille (le do aigu pour la gauche et le do grave pour la droite) du début à la fin.

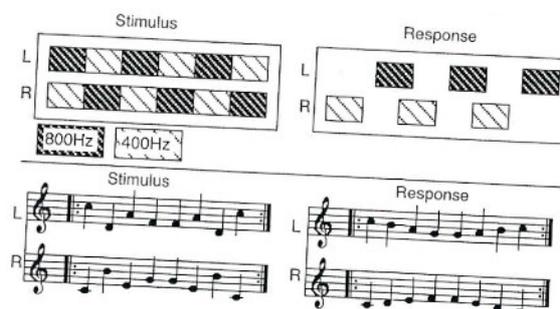


Fig 1-3 Représentation graphique du stimulus de la réponse plus commune de l'illusion d'octave (en haut) et de l'illusion de gamme (en bas) décrites par Deutsch

3 *Ibidem* (1), page 237

Un exemple de regroupement par continuité dans la musique pourrait être l'instrument solo qui par son jeu donne l'illusion d'une perception de multiples voix séparées, comme par exemple les Partitas et Sonatas pour violon solo de J.S. Bach. Dans l'illustration suivante on montre un fragment de la partition en relation avec les voix perçues grâce au regroupement par continuité.

Fig 2-3 De la mesure 45 à la 50 de la Partita en Mi M de J.S. Bach pour Violon, en haut la partition jouée et en bas les trois parties normalement perçues par répartition des notes par niveaux.



On peut trouver aussi des expériences de regroupements par timbre. Comme Pierce (1992) nous décrit un exemple décrit déjà par David L. Wessel le 1978. Comme on peut voir dans la figure suivante, le test assez simple, consistait à faire écouter un arpège ascendant répété une fois avec toutes les notes du même timbre et une fois avec des timbres alternés. La réponse des auditeurs était, celle qui est noté dans graphique de droite, c'est à dire deux séquences différentes qui regroupent les notes du même timbre (ce n'est plus un arpège ascendant).

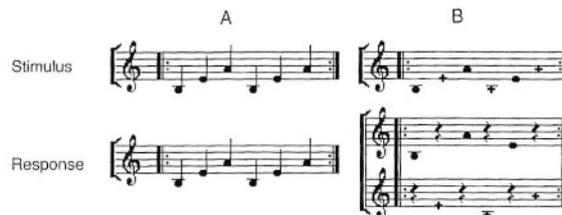
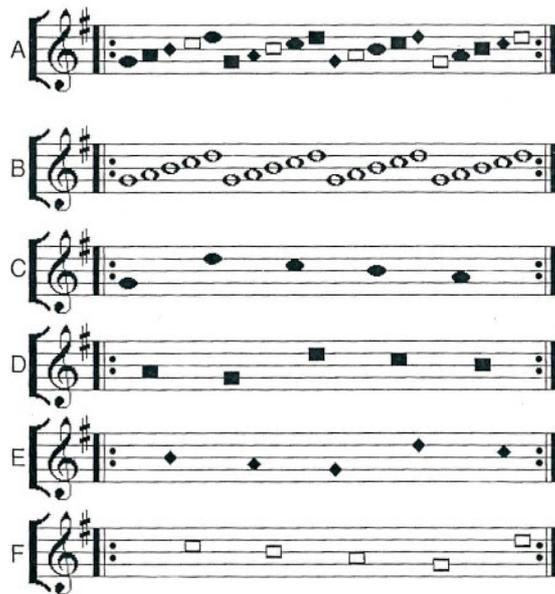


Fig 3-3 Stimuli et réponse plus commune de regroupement par timbre, expérience de Wessel décrite par Pierce. Les différents timbres dans B sont représentés par les différentes figures

Assez semblable est la démonstration montrée dans le graphique suivant, où la vitesse des notes de différents timbres est très importante pour le regroupement. Les timbres sont représentés avec les figures différentes, la réponse B est donnée si la vitesse est lente et le reste des réponses est donnée si la vitesse est plus élevée (par exemple plus de dix notes par seconde).

Fig 4-3 Stimuli (A) utilisé dans l'expérience de regroupement par timbre et ordre de notes dans lequel chaque figure représente un timbre différent. Dans vitesses lentes l'ordre initial est perçu (B), dans plus grandes vitesses on perçoit le regroupement par timbres.

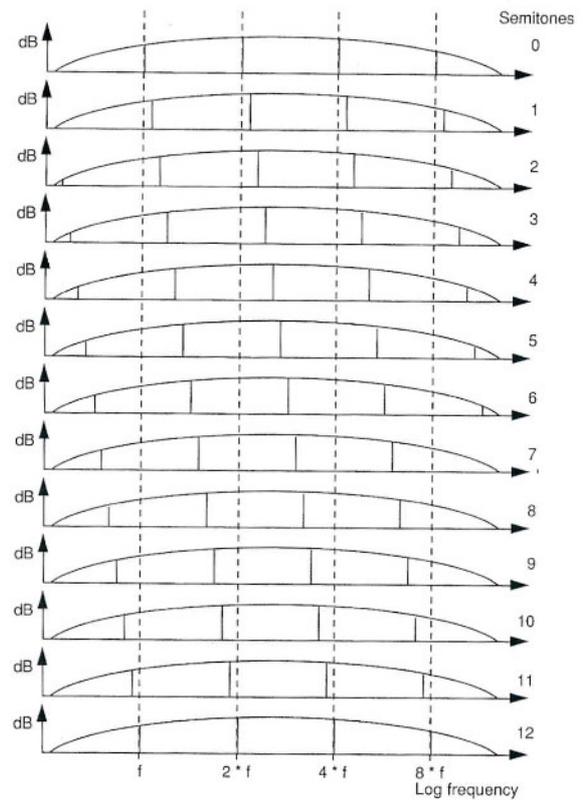


- Illusions de hauteur

Un exemple d'illusion de hauteur est par exemple celle les « Shepard tons », démontrée par Shepard (1964). Souvent comparée aux escaliers continus des dessins de Escher, l'illusion produit la sensation d'une gamme qui monte infiniment par demi-tons.

Après une gamme entière de 12 demi-tons, le spectre du ton suivant est exactement celui du ton avec lequel on a commencé la gamme, donc la gamme ne monte pas, elle se répète exactement pareil. Les sons sont formés par la fondamentale et des harmoniques d'octave, comme montre le graphique suivant:

Fig 5-3 Graphique du spectre du stimuli qui produit le son de la gamme de montée infinie de Shephard



les amplitudes sont signalées par la courbe d'enveloppe du graphique : chaque fois qu'on monte d'un demi-ton les harmoniques aigus descendent suivant la courbe jusqu'à leur disparition, et à l'inverse pour l'apparition des « harmoniques » ou fondamentales graves chaque fois que la gamme monte d'un demi-ton.

Risset a imaginé à partir de cette illusion un son continu qui monte ou descend infiniment. Il l'a utilisé dans sa pièce *Little Boy* avec le texte de Pierre Halet dont le sujet de la pièce est la répétition du bombardement d'Hiroshima, dans le cauchemar d'un pilote d'avion où la bombe tombe « indéfiniment » comme une sorte de chute sans fin.

Risset a aussi pu démontrer un paradoxe de hauteur, un son qui descend la gamme quand les fréquences sont chaque fois doublés (une octave plus hautes). Dans le graphique suivant on peut voir l'explication de ce « son paradoxal ». Les lignes verticales nous indiquent les partiels du son gradués sur une échelle d'octaves. Tous les partiels sont séparés de 1,1 octave. En A on représente le son de bande originale, en B le son une fois doublées les fréquences.

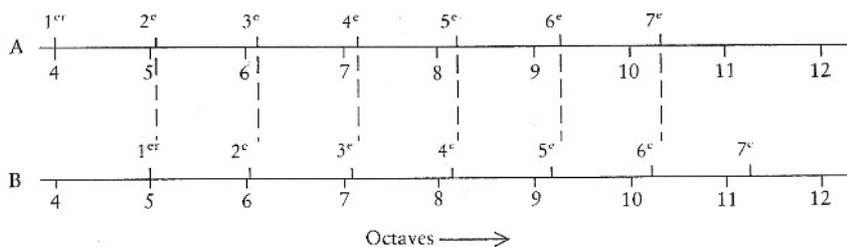


Fig 6-3 Graphique de l'évolution du spectre du stimuli qui produit le son de montée infinie de Risset

On peut constater donc que dans le son B la plupart des partiels sont « remplacés » par des partiels d'un dixième de ton plus bas (le fait que le premier partiel qui est assez faible disparaisse passe inaperçu à notre oreille).

D'autres exemples de sons paradoxaux produits par J.C. Risset sont des sons qui accélèrent constamment mais qui en fait se ralentissent.

On pourrait aussi parler aussi des illusions de mouvement dans ce chapitre, illusions que l'auteur du *Son musical*⁴ considère les plus efficaces des effets produits par ordinateur. Ici il faut remarquer les expériences faites par John Chowning mais dans lesquelles on va pas entrer en détail car on pourrait vraiment s'étendre beaucoup vu l'intérêt et l'extension du sujet .

- « Sons paradoxaux » et la figure de J.C. Risset

- Synthèse et perception

Pendant son étape aux États Unis, aux Laboratoires Bell, face aux problèmes de la synthèse (surtout de sons instrumentaux) Risset se rend compte de la liaison entre les problèmes de synthèse et l'étude de la perception. Il précise le besoin d'une étude approfondie de la fonction auditive et met surtout en évidence un certain nombre de caractéristiques de l'audition.

Risset comprend l'importance qu'ont eu les études de la psychophysique (Weber et Fechner, XIXe siècle), où on met en évidence l'importance de la mesure de la sensation. Ce qui compte pour pouvoir mesurer la sensation c'est la proportion. Dans ces expériences ils ont trouvé que lorsque les paramètres augmentent en raison géométrique, la sensation augmente de manière arithmétique.

Risset souligne la sensibilité de la perception à la gamme logarithmique en musique.

Pour le compositeur ça a été une découverte pour pouvoir créer des illusions de localisations, ou par exemple suggérer des impressions de sons intenses (pas amplifiés, mais émis avec énergie). Il constate donc que pour pouvoir atteindre la suggestion d'un monde physique illusoire, il faut tirer partie des nos sens et leur particularités. Les mécanismes produits pour interpréter ces sons acoustiques sont donc la base pour une synthèse riche.

Comme exemple Risset cite aussi la capacité de démêlage des sons simultanés: Chowning s'est aperçu que s'il imposait à un sous-ensemble de composantes de fréquence une même modulation, ces composantes fusionnaient en une seule entité sonore que l'oreille distinguait du reste du son (...)⁵.

4 J.PIERCE(2000) *Le son musicale*. Paris: Belin. Perception, illusion et effets, page 193 - 195

5 J.C. RISSET, M. GUILLOT (2008). *du songe au son Jean-Claude Risset*. Paris: L'Harmattan. La double culture scientifique et musicale. Recherches aux Etats-Unis. Scenes auditives, page 45

- Pertinence de la recherche pour l'écoute – effets et espace (laboratoire et concert)

Néanmoins Risset souligne l'importance de ces « effets » qui doivent être robustes pour pouvoir avoir une place dans une idée musicale et remarque la valeur de l'analyse de la pertinence à l'utilisation musicale. Il faut aussi remarquer les différences importantes d'écoutes qui existent entre le laboratoire et la situation de concert et qu'il faut absolument avoir présent à l'esprit au moment de l'utilisation de ces sortes d'illusions ou effets. Comme exemple on peut citer les doutes que constate le compositeur sur les expériences de Diana Deutsch.

À partir des expériences de Chowning sur les illusions de mouvement dans l'espace, on voulait citer la possibilité très intéressante que nous ouvre Risset comme conséquence du travail dans ce domaine: utiliser l'espace comme structure (élément structurel) musicale.

- Paramètres et perception sensible – a propos de Pierre Schaeffer

Après la musique sérielle et sa construction rigoureuse à travers le contrôle des paramètres, on a essayé d'une façon encore plus stricte d'organiser dans la musique électronique tous les paramètres physiques. Mais comme dit Risset, « ce qui compte pour la musique, ce ne sont pas les paramètres physiques du son, mais les relations entre les attributs perceptifs»⁶ comme exemple il cite que « l'oreille entend les relations entre les hauteurs perçues plutôt qu'entre les fréquences ».

Le compositeur nous cite comme exemple Pierre Schaeffer, dont « la musique est un jeu d'attributs perceptifs et non de paramètres. Les relations physiques doivent être plongées dans un univers sensible, et ce sont les résultats de cette immersion qui comptent pour la musique ».

Inharmonique

Risset nous raconte sur sa pièce *Inharmonique* (1977) (Lorrain, 1980) un effet singulier qu'il nomme « fusion-dispersion » toujours dans la dialectique harmonie-timbre:

« j'avais formé un corpus de sons inharmoniques, chacun n'étant caractérisé que par la donnée des fréquences, des intensités et des durées pour un certain nombre de composantes (entre 6 et 16). Si je synthétisais un son en imposant à toutes les composantes une même enveloppe de type percussif (attaque rapide suivie d'une décroissance graduelle), le résultat évoquait une cloche - mais composée comme un accord - en tout cas, un objet sonore unique. Remplaçant cette enveloppe par une autre plus douce, croissant puis décroissant pour atteindre son maximum par exemple à mi-durée, j'obtenais, au lieu d'un objet sonore fusionné, une texture fluide évolutive : à l'image d'un faisceau lumineux décomposé en arc-en-ciel par un prisme, les composantes, de durées différentes, émergent en succession, atteignant leur maximum à des instants différents. La pièce joue sur cette dialectique fusion-dispersion. »⁷

6 *Ibidem*, page 117

7 RISSSET, Jean Claude. *Perception, environnement, musiques*. In Harmoniques n° 3, mars 1988 : *Musique et*

- Conclusion: nouveaux « Effets »

On reprend la « définition » des « effets » avec un article de Pierre-Albert Castanet « Voyages en Nouvelle Atlantide, Art, Science, Technologie dans l'œuvre musicale de Jean-Claude Risset»⁸. Il nous parle aussi d'« illusion auditive » quand « chaque fois que notre perception du son est en désaccord avec sa description physique au acousmatique ». Il commente ce que Risset décrit comme « les illusions, erreurs du sens » (en utilisant une citation d'un physiologiste du XIXème) comme des « vérités de la perception » et continue en constatant que « Nombre d'illusions d'optique sont connues depuis longtemps. C'est grâce à la possibilité de calculer directement des structures sonores complexes, bien calibrées, avec une précision et une reproductibilité sans précédent, qu'on peut mettre en scène des illusions auditives. Ces illusions éclairent certains aspects de l'organisation perceptive et permettent de nouveaux effets musicaux ».

L'auteur nous parle du compositeur surtout connu comme créateur des nouveaux « effets », inouïs et spectaculaires. Il compare aussi les illusions rythmiques et paradoxes acoustiques à les gravures de Escher et aussi aux expériences baroques de Francis Bacon. L'auteur cite Bacon dans *New Atlantis* de 1627 avec une phrase vraiment visionnaire: « Nous avons de diverses et curieuses Horloges, et d'autres qui produisent des Mouvements Alternatifs... Et nous avons aussi des Maisons consacrées aux erreurs des sens, où nous réalisons avec succès tout genre de manipulations, Fausses Apparitions, Impostures et Illusions... Ce sont là, mon fils, les richesses de la maison de Salomon ».

L'auteur nous cite Hugues Dufourt qui pense que cette attitude vindicative sur les anciennes entités théoriques et croyances acoustiques de Risset a provoqué une vrai « crise de fondements ».

Castanet accentue cette « magie sonore » de Risset appliquée à sa propre musique, en soulignant l'introduction de la notion de timbre par synthèse. Nous finissons le chapitre avec la citation de Laurent Fichet qui découvre dans la musique de Risset un univers de « sonorités que l'on perçoit d'abord comme timbre (où donc les différents éléments « fusionnent » pour donner une impression globale), puis comme accords, parce que ces éléments se « cristallisent » en composantes individuels ».

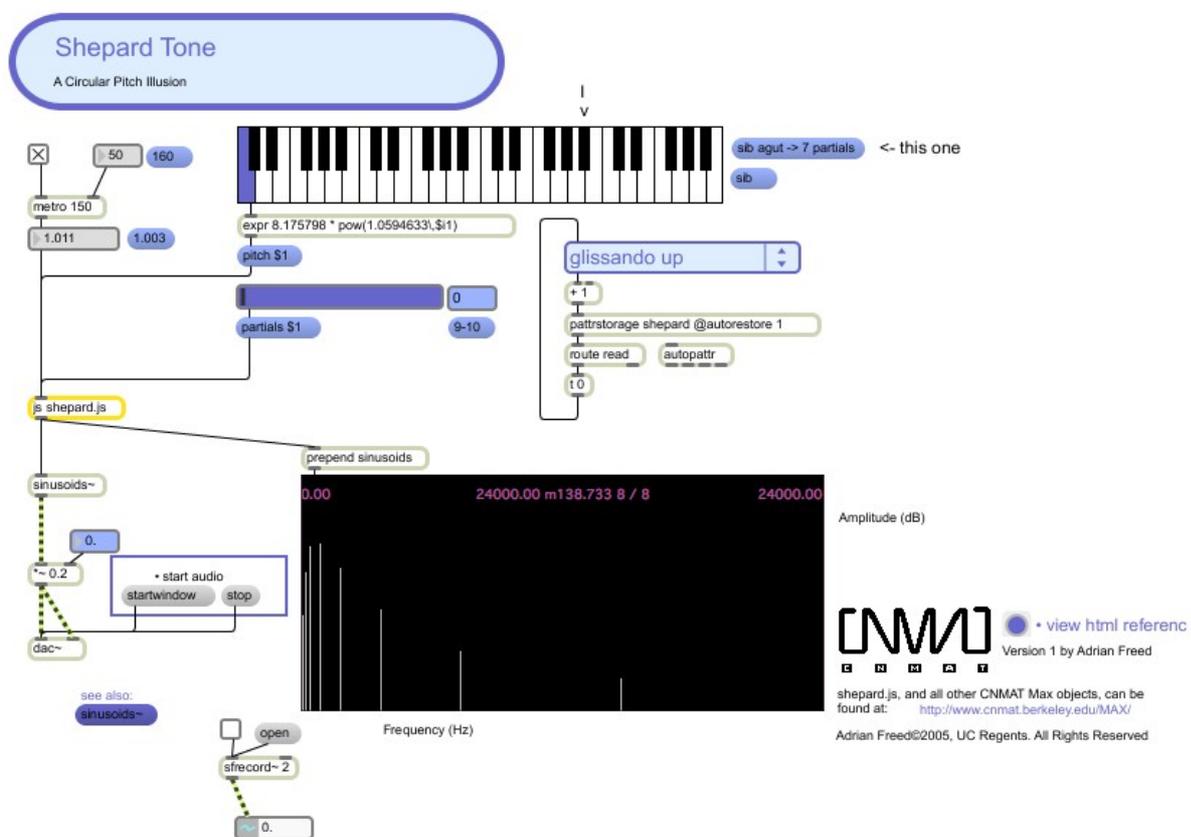
Perception. Ircam - Centre Georges-Pompidou

⁸ *Jean Claude Risset. Portraits polychromes*. Paris (2011): Coédition Ina-GRM / Cdmc. Voyages en Nouvelle Atlantide, Art, Science, Technologie dans l'œuvre musicale de Jean-Claude Risset par Pierre-Albert Castanet, page 13-14

Conclusion finale

Grâce à l'apport de l'ordinateur et de la puissance croissante de tous les outils informatiques on peut arriver de plus en plus à créer un monde sonore illusoire plus « réel » et à créer des « illusions » ou effets sonores (essayer de « tromper » ou surprendre l'oreille) de façon plus facile ou accessible.

Nous montrons, comme exemple, un patch Max qui permet faire très facilement le Shepard tones à partir d'une note, soit avec la gamme chromatique, soit avec un glissando continu (avec une représentation graphique de ces partiels qui apparaissent et disparaissent de façon récurrente):



Ces mondes sonores peuvent être aussi mis en valeur par des illusions d'espaces sonores ou des illusions de localisation des sons, qui sont perceptibles grâce à cette aptitude de localisation de l'oreille très développée (même plus que la vue) et par lesquelles on trouve chaque fois des outils très puissants liés à des études de perception (comme par exemple le *spat* de l'Ircam).

Conclusion plus personnelle et liaison avec ma pièce *Recovery Zones*

Cette exploration a influencé (sur mon travail compositionnel) d'une façon plutôt intuitive, c'est à dire plus précisément comme influence indirecte liée aussi à une procédure de recherche d'une harmonie et d'une couleur timbrique inharmonique et complexe comme opposition à une harmonicité et clarté sonores.

J'ai utilisé d'Orchis avec des sons multiphoniques et l'analyse de ces sons pour générer le matériel harmonique déjà dans deux pièces antérieures mais aussi dans la pièce d'orchestre *Recovery Zones*. J'ai utilisé ces analyses comme du matériel harmonique par exemple dans le quintette à vents que j'ai écrit cette année. Dans cette pièce la structure harmonique était une interpolation entre un matériel harmonique et le matériel inharmonique (extrait du multiphonique). Aussi la découverte de quelques illusions sonores m'a poussé à faire des petites expériences dans les dernières pièces (effet de regroupement de notes par timbres ou par exemple le glissando continu de Risset). Et certainement, comme j'ai déjà cité dans l'introduction, la découverte (déjà depuis plus de deux ans) et l'exploration du concept d'image sonore m'a fait repenser quelques notions qui étaient peut-être déjà dans ma musique mais que j'ai pu développer (événements sonores conçus comme des 'images' et processus de transformation de ces images comme discours). Pour la pièce d'orchestre, pendant cette année je me suis plus centré sur l'approfondissement du phénomène du masquage puisque qu'il était plus lié au concept d'orchestration. J'ai fait les deux travaux un peu parallèlement (écriture et recherche), donc j'ai pu faire finalement avoir une réflexion plus profonde à la fin quand je travaillait déjà avec l'électronique, moment pendant lequel j'ai pu vraiment essayer et tester quelques effets de masquages.

Pour relier ce travail avec la pièce d'orchestre, même s'il n'y a pas une connexion directe avec le sujet du travail, on pourrait dire que la opposition de zones timbriquement et harmoniquement contrastées (deux concepts qui sont très associés dernièrement) a été certainement le point de départ. Ceci était aussi lié à une poétique qui essaye d'évoquer dans chaque partie un « monde » sonore distinct, monde que j'ai lié à une couleur comme **évocation** (donc il n'y a pas un calcul précis dans ce sens là) d'une idée de translation des spectres des couleurs au monde sonore (par exemple avec des zones plus denses et moins denses dans le champ harmonique). « Réveil » (ou zone jaune) *Nitido et lontano*, comme une sorte d'éveil mais qui est bientôt activé dans une rythmique de fond qui nous amènera à la deuxième partie à travers un petit arrêt avec un accord ténu qui représente un fondu entre les mondes harmoniques (et aussi timbriques).

Avec le nom de « Zone rouge », et grâce à la découverte de l'utilisation de cette appellation en France pour donner nom à une zone dévasté après la Première Guerre mondiale, dénomination qui a coïncidé (dans un sens conceptuel) avec l'idée initial pour cette partie. Dans *Energico* commence une partie avec une articulation continue et irrégulière, chaque fois plus abrupte comme si ce monde qui vient juste de se réveiller commençait déjà à se délabrer ou se corrompre.. C'est dans cette partie où le matériel harmonique (mais aussi timbrique) est constitué par l'analyse de quelques multiphoniques de hautbois, clarinette basse et basson.

Après une transition reprise par l'électronique toute ce matériau timbrique et harmonique un peu « saturé » fait de la place à une atmosphère plus claire et calme. « Uns instants davant del mar » (Quelques instants devant la mer) ou Zone bleue, est comme une sorte de réflexion ou retraite devant l'immensité. Le matériel harmonique utilisé est basé sur le spectre du *sol3* du violon analysé vraiment jusqu'à les fréquences non audibles. Le violon solo joue un rôle qui alterne avec des moments solistiques mais pas dans le sens virtuose, plutôt comme cette sorte de méditation (avec des solos étendus) qui ressort de temps en temps au milieu de la masse sonore. À la fin apparaît un thème répétitif qui nous conduira à la dernière partie, « Nous sommes embarqués » ou Zone grise, petite coda inspirée en partie avec la fin du film *Les Ailes du désir* (*Der Himmel über Berlin*). Harmoniquement assez dense (avec des clusters), l'élément de la masse (aussi harmonique que gestuel: *Très délicat, intérieur, comme des murmures*), est confronté à l'élément mélodique.

BIBLIOGRAPHIE

M.C. BOTTE, G. CANÉVET, L. DEMANY, C. SORIN (1988). *Psychoacoustique et perception auditive*. Éditions ENSERM, série audition.

COLLECTIF. *Musical Imaginery*. Lisse (Netherlands): Swets & Zeitlinger.

COLLECTIF. *Jean Claude Risset. Portraits polychromes*. Paris (2011): Coédition Ina-GRM / Cdmc.

E. ZWICKER, H. FASTL (1990). *Psychoacoustics. Facts and Models*. Urbana (USA) : Springer.

HOWARD, David et ANGUS, Jamie (1996) *Acoustics and Psychoacoustics*. Woburn: Focal Press, Music Technology.

[HUREL, Philippe](#), Les Cahiers de l'Ircam Paris, Éditions Ircam-Centre Georges-Pompidou, 1994, coll. "Compositeurs d'aujourd'hui"

HUREL, Philippe et VANDENHEEDE, Jan: *Fragment de lune*, Documentation musicale, IRCAM (Paris)

NEUHOFF, John G. (2004). *Ecological Psychoacoustics*. California: Elsevier Academic Press.

J. PIERCE (2000) *Le son musicale*. Paris: Belin.

J.C. RISSET, M. GUILLOT (2008). *du songe au son Jean-Claude Risset*. Paris: L'Harmattan. La double culture scientifique et musicale.

RISSET, Jean Claude. *Perception, environnement, musiques*. In Harmoniques n° 3, mars 1988 : *Musique et Perception*. Ircam - Centre Georges-Pompidou.