

Damien HENRY
Suivi par **Philippe GATIGNOL**
Filière **AVI**
U.T.C.

Printemps 1998

Projet TN10

Etude psychoacoustique sur le bruit des PC.

**Laboratoire National d'Essais, 1 rue Gaston Boissier,
75014 PARIS**

Responsable du projet : M. Patrick CELLARD

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier ici toutes les personnes qui ont bien voulu participer aux tests sur les bruits des PC. Sans leur volontariat, toute cette étude n'aurait pas été possible.

Je tiens à remercier toutes les personnes des unités techniques Bruits des matériels, Qualité image et son, Métrologie acoustique et sécurité électrique, pour leur bonne humeur, et pour m'avoir accepté dans leur cercle.

Je souhaite également remercier M. Gérard De MONTILLE, responsable de la division Matériels électriques, électroniques et Multimédia, pour l'intérêt et le soutien qu'il a apporté à cette étude.

Enfin, je remercie M. Patrick CELLARD, suiveur de stage et responsable de l'unité technique "Bruits des matériels" pour le soutien, le suivi et la confiance qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ce projet.

INTRODUCTION : Positionnement du problème

Après avoir porté leurs efforts sur le design, c'est logiquement que les entreprises se penchent sur les images auditives de leurs produits. Mais pour l'étude de ces dernières, il est souvent nécessaire de rechercher une relation qui relie le bruit émis, un signal objectif enregistrable, et la sensation qu'il provoque. L'idéal serait de mesurer des données objectives pour prévoir l'impact subjectif d'un produit.

La psychoacoustique travaille depuis 20 ans à la mise en place d'indicateurs qui mesurent certains aspects des sons en rapport avec notre perception, comme la sensation de niveau ou de hauteur. On peut désormais, dans des cas particuliers, relier ces indicateurs à des notions plus abstraites telle que la gêne produite par des objets peu bruyant.

L'étude réalisée au L.N.E. dans le cadre d'un projet de fin de scolarité montre comment, et avec quels outils on peut chercher et trouver des indicateurs robustes, pour caractériser, mesurer et prévoir une perception auditive. Pour cela nous avons utilisé des mesures réalisées en laboratoire ainsi que des résultats d'analyse de données subjectives. La démarche suivie nous a amené à trouver des moyens de conduite des tests et de représentations des résultats. ceci permet d'une part de comprendre les phénomènes, et d'une autre, si nécessaire, de choisir parmi les indicateurs psychoacoustiques courants, lesquels sont significatifs.

Cette étude a permis également de créer des outils facilement utilisable qui, après une phase d'apprentissage, positionnent des sons sur une échelle subjective sans passer à chaque fois par un jury et une analyse de leur réponses subjectives, cette dernière méthode étant très coûteuse. Une simple prise de son suffit alors à tester des prototypes.

Pour expliquer le déroulement de ce projet, je commencerai par présenter le LNE qui a bien voulu m'accueillir et m'encadrer. Je développerai ensuite la première des deux grandes parties de mon travail : la recherche d'une méthodologie, basée sur des recherches biographiques. Cette étude s'est accompagnée du développement d'un outil en Visual Basic dont le programme sera présenté en annexe. Enfin je montrerai une application de la méthodologie et des outils développés, en présentant l'étude concrète sur le bruit des PC.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
INTRODUCTION : Positionnement du problème.....	3
SOMMAIRE	4
1.PRESENTATION DU CONTEXTE : LE LNE.....	5
1.1.Le Laboratoire National d'Essais.....	5
1.2.Le C.Q.P.E.....	7
1.3.La division équipements et composants industriels.	8
1.4.L'unité technique "bruits des matériels".....	8
2.MISE EN PLACE D'UNE METHODOLOGIE	10
2.1.Vers une méthode basée sur la catégorisation libre	10
2.2.Mise en place du protocole de test.....	13
2.3.L'Analyse des résultats	14
2.4.La recherche d'indicateurs	17
3.LES RESULTAS : trois cas concrets.....	19
3.1.Analyse des bruits du tiroir de lecteurs de CD-ROM.	20
3.2.Les accès disque dur : mode Random.....	24
3.3.Les bruits stationnaires : mode Idle.....	29
3.4.La recherche d'indicateurs	33
SYNTHESE GENERALE.....	37
CONCLUSION.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39
ANNEXE 1 : Le L.N.E.	
ANNEXE 2 : Présentation du 22 juillet pour Hewlett Packard	

1. PRESENTATION DU CONTEXTE : LE LNE

Le Laboratoire National d'Essais (LNE) est caractérisé par son statut d'Établissement Public à caractère industriel et commercial, qui lui confère une autorité et une indépendance dans des secteurs extrêmement diversifiés. C'est aussi un lieu de haute technicité qui allie services publics et essais pour des entreprises privées. La confiance que des revues telles que 60 Millions de Consommateurs, Que Choisir ?,... lui accordent pour de multiples enquêtes, la participation aux actions de normalisations française et internationale, attestent des compétences et de la reconnaissance du laboratoire.

Nous allons décrire successivement différents niveaux du LNE, en partant du plus général et en arrivant à l'unité technique dans laquelle j'ai travaillé : le LNE, le CQPE, la division "Équipement et composant industriels" et enfin l'unité technique "Bruits des matériels"

1.1. Le Laboratoire National d'Essais

Créé en 1901, Le Laboratoire National d'Essais (LNE) connaît depuis près de 10 ans un nouveau et important développement dû à l'émergence, chez l'ensemble des partenaires économiques, d'exigences croissantes en matière de qualité et de sécurité des produits et équipements industriels.

Aujourd'hui, le LNE comporte près de 600 personnes (dont 390 ingénieurs et techniciens), 40 000 m² de laboratoires, 4 délégations régionales (LNE-Nord à Douai, LNE-Sud à Nîmes, LNE-Est à Strasbourg, LNE-Ouest à Poitiers) et réalise 30MF d'investissements par an en équipements de mesure et d'essais.

Le statut d'Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial qui lui a été conféré, garantit à la fois son indépendance, son impartialité et un mode de fonctionnement adapté à la réalisation de prestations de services très diversifiés :

- consommation
- santé
- environnement
- travail
- budget
- industrie
- Éducation Nationale

1.1.1. Les activités du LNE

- **Étalonner et mesurer** : Construire la qualité, c'est tout d'abord savoir la mesurer et donc disposer de moyens métrologiques et de matériels de mesure adaptés et raccordés au système international de mesure. Le LNE est l'un des cinq laboratoires de base du Bureau National de Métrologie (BNM) de France. A ce titre, le LNE contribue à la conservation et à l'amélioration des références nationales dans le domaine des unités mécaniques et thermiques : longueurs, masses, forces, pressions, températures, etc...
- **Essayer et analyser** : Les essais sont de plus en plus recherchés comme une partie intégrante d'une démarche qualité volontaire de la part des industriels. Ils sont aussi nécessaires dans les relations clients-fournisseurs ou pour vérifier le respect des réglementations.
- **Qualifier et certifier** : La certification par tierce partie s'est répandue dans le monde comme une forme efficace et fiable de qualification des produits industriels à des fins réglementaires ou commerciales.

- **Normaliser** : Sur la collection de plus de 12 000 normes françaises, près de la moitié comporte des méthodes d'essais. Or la mise au point de ces méthodes nécessite le plus souvent des études en laboratoire destinées à arrêter les principes de mesure et à en évaluer la représentativité et la reproductibilité.
- **Métrologie et instrumentation** : La métrologie et l'évaluation des performances des instruments de mesure sont des activités traditionnelles du LNE qui ont connu un développement important au cours de la dernière décennie.

1.1.2. Les partenaires économiques

Près de 3 000 clients s'adressent chaque année au LNE avec des motivations diverses :

- **Les entreprises industrielles** afin de faire évaluer ou obtenir une assistance technique pour la mise au point de produits nouveaux, pour faire étalonner leurs moyens métrologiques de référence, pour faire vérifier la conformité de leur production à une réglementation, ou encore pour faire effectuer des mesures sur site.
- **Les entreprises de distribution**, pour sélectionner leurs fournisseurs et contrôler le maintien dans le temps des qualités des produits qui leur sont fournis.
- **Les organisations de consommateurs** pour faire des études sur la sécurité des produits ou réaliser des essais comparatifs.
- **Les collectivités locales**, pour des mesures concernant la protection de l'environnement ou l'exploitation d'infrastructures collectives.
- **Les tribunaux, les experts judiciaires et les compagnies d'assurances** pour procéder à des analyses ayant trait au règlement des litiges dus à des accidents ou à des défauts de fabrication.
- **Les administrations** pour faire effectuer des études techniques préalables à la mise en œuvre de réglementations techniques.

1.1.3. L'organisation interne du LNE

Le LNE est structuré autour de 4 centres :

- **CMI** : Métrologie et instruments de mesure,
- **CEMATE** : Matériaux, énergie et environnement.
- ⇒ **CQPE** : Centre de qualification des produits et équipement.
- **CLE** : Centre logistique et emballage.

1.1.4. Procédures budgétaires

Le LNE possède un statut particulier d'Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC). Par conséquent, la séparation ordonnateur/comptable est très importante. Concrètement, celui qui décide d'une dépense n'est pas celui qui la paye. Le LNE dispose également d'un Agent Comptable, dont la responsabilité est engagée sur ses biens personnels.

Ce statut engendre de nombreux contrôles en plus des contrôles classiques d'entreprises privées tels que les contrôles de l'URSSAF (cotisations patronales), de la TVA, des douanes. Parmi ceux-ci :

- le contrôle d'état réalisé sur les dépenses à posteriori.
- le contrôle de l'Inspection Générale des Finances.
- le contrôle périodique de la Cour des Comptes tous les 4 à 5 ans.
- le contrôle du Trésor qui s'occupe uniquement de l'Agence Comptable .
- le contrôle de la Commission Interministérielle de la Coordination des Salaires (CISC) tous les ans.

Le LNE bénéficie d'une exonération d'impôts sur les sociétés et de la taxe professionnelle. Les salaires suivent les augmentations du fonctionnariat et dépendent également d'un accord interne Conditions Générales de Recrutement d'Emploi et de Rémunération du personnel (CGRER). Par contre, son statut lui interdit tout découvert bancaire, sauf autorisations des Directions de la Comptabilité Publique et du Budget.

Son budget s'équilibre sur 2/3 par les prestations commerciales qu'il propose et sur 1/3 par les subventions de fonctionnement et d'investissement de l'État pour ses actions publiques. Il dispose d'une comptabilité analytique (c'est une analyse par destinations, on recherche les coûts des activités) qui se traduit par des fiches d'heures remplies tous les mois par le personnel et par un retour périodique d'informations vers les départements et les sections.

Les budgets sont gérés de la manière suivante : on établit l'État des Prévisions des Recettes et Dépenses (EPRD) en automne pour l'année qui suit. S'il y a lieu, on applique des Décisions de Modifications en cours d'année, puis, en fin d'année, on étudie le Compte Financier.

L'EPRD est fixé à la suite des réunions Objectifs et Bilan-Programme. Les salaires représentent une grande part du budget puisque l'entreprise n'offre, en majeure partie, que des services et que le turn-over (renouvellement du personnel) est réduit (le nombre de carrières longues est élevé, ce qui augmente la charge salariale).

1.2. Le Centre de Qualification des Produits et Équipements.

Le centre CQPE se compose de quatre divisions opérationnelles :

- Produits de consommation et équipements grand public,
⇒ Équipements et composants industriels,
- Matériels électriques et électroniques,
- Dispositifs médicaux.

Deux réunions annuelles "Bilan-Programme" et "Objectifs" sont organisées. Au cours de "Bilan-Programme" on expose les chiffres de chaque division. On y évoque ce qui se fait dans chaque division, ce qui va s'y faire, les améliorations apportées ou à apporter, les différents investissements... Y participent : les chefs de divisions, de centre, les directeurs financier, technique, de la certification et le Comptable ainsi que le Directeur Général. C'est l'occasion de s'entretenir assez longuement avec ce dernier puisqu'on passe à peu près une heure sur chaque division. "Objectifs" est une réunion de début d'année. Elle consiste en une présentation de l'activité par le responsable du centre et par les responsables de chaque division.

1.3. La division équipements et composants industriels.

Elle regroupe environ 30 personnes et contient quatre unités techniques :

⇒ Bruit des matériels (4 personnes + 1 stagiaire, auteur de ce rapport)

- Appareils à pression (4 personnes)
- Résistance mécanique (7 personnes)
- Fatigue - Mécanisme (8 personnes)

Le reste du personnel étant fonctionnel (secrétaires, assurance qualité, ...)

Chaque unité technique est en pratique indépendante. Depuis la recherche de la clientèle jusqu'au classement du dossier. Le LNE encourage les synergies entre unité technique, divisions et centres.

1.4. L'unité technique "bruits des matériels"

Cette unité est structurée selon trois axes :

- **La mesure du bruit des machines** s'effectue dans un cadre très souvent réglementé par :
 - un Arrêté de 1972 pour l'homologation de certains engins de chantier,
 - 8 directives européennes pour l'examen de type des engins de chantier les plus répandus et les tondeuses à gazon,
 - la directive "Machines",
 - une directive à venir qui couvrira tous les matériels utilisables en extérieur.
- **La mesure du bruit en milieu de travail** s'effectue conformément aux arrêtés des 4 janvier 1988 et 7 janvier 1991 sur une période d'essai assez longue pour prendre en compte les différents cycles des machines.
- **La mise au point de codes d'essai** : le LNE est agréé par le Ministère de l'Environnement pour délivrer des homologations et des examens de type CE dans le cadre des réglementations pour le bruit des engins de chantier et des tondeuses à gazon. A ce titre, des ingénieurs de la division "Bruits des matériels" participent à de nombreuses instances nationales et internationales pour mettre au point des essais, établir des normes (CEN, CEI, ISO,...) et mènent des études pour le Ministère de l'Environnement (sur des appareils électroménagers, sur du matériel de jardinage...). Ainsi, le LNE, a participé au développement d'une méthode d'essai pour des conteneurs à verre usagé, une méthode de mesure du bruit émis par le brise-roche et fait l'inventaire des méthodes existantes, le choix de codes d'essai en vue de la mise en place d'une réglementation concernant le bruit du matériel de jardinage ainsi que sur le bruit émis par les panneaux radiants.

En pratique les essais acoustiques pratiqués dans la division "Équipements et Composants Industriels" peuvent être répartis en deux catégories :

- **Bruit des machines** : ces mesures visent, en particulier, les engins de chantier, l'outillage électroportatif et pneumatique, les machines de production et équipements industriels, les matériels de jardinage, d'entretien d'espaces verts ou de voirie, bennes à ordures, conteneurs à verre usagé... Ceux-ci sont souvent considérés comme bruyants et il existe des directives (directive "machines" pour le marquage CE, directives européennes engins de chantier, tondeuses à gazon...) qui réglementent les déclarations de niveaux émis et les seuils admissibles. Les essais se déroulent généralement sur les sites de Persan-Beaumont ou de Trappes, mais peuvent aussi avoir lieu ailleurs, chez des clients, en France ou à l'étranger, grâce à des véhicules-laboratoires, ou même un dispositif de mesure transportable à la main (sonomètres + PC portable avec un logiciel adapté).
- **Qualité acoustique** : tout type de matériel est concerné du moment que le fabricant se soucie du bruit émis par son appareil. On voit des mesures sur du matériel électronique,

informatique, bureautique, des appareils électrodomestiques, des équipements industriels, des composants, appareils de chauffage, luminaires, jouets, alarmes... Dans ce cas, il s'agit plutôt du confort pour les consommateurs et d'un argument commercial pour les fabricants. Les essais ont souvent lieu dans la salle anéchoïque (semi-anéchoïque si on lui ajoute un plancher) ou dans la salle réverbérante spéciale.

Cette branche de l'acoustique est actuellement en expansion. C'est d'ailleurs ici que mon travail a pris place au sein du CQPE.

Le service cherche lui-même sa clientèle. C'est souvent le Chef de Service, Monsieur P. Cellard, qui gère les relations avec la clientèle et c'est lui qui fixe les dates d'essais. Il informe ensuite les techniciens et les ingénieurs des dates prévues, des clients demandeurs et des produits à tester.

La section utilise par ailleurs un affichage situé dans un des bureaux. Il s'agit d'un planning jour par jour des essais, mais aussi des indisponibilités éventuelles des personnes (congrés, formation, déplacements...) sur les trois mois consécutifs. En plus des dates et des produits à tester, un grand nombre d'informations diverses concernant les essais circulent (informations verbales, notes laissées sur un bureau, messages par mailing sur le réseau interne du laboratoire...).

2. MISE EN PLACE D'UNE METHODOLOGIE

Cette partie a pour but d'introduire puis d'expliquer la méthode que l'on a utilisée pour faire notre analyse. En effet, collecter puis analyser des réponses subjectives demande beaucoup de rigueur et de méthode, pour ne pas polluer les résultats d'une part, et pour leur bonne interprétation d'autre part. Nous commencerons par justifier le choix de la méthode que nous avons choisie : la catégorisation prototypique. Nous présenterons ensuite la mise en place du protocole de test.

2.1. Vers une méthode basée sur la catégorisation libre

Notre objectif étant d'intégrer des paramètres subjectifs à des études sur le bruit des matériels, nous avons étudié les différentes méthodes d'analyse de paramètres subjectifs existantes. Ces méthodes ont été développées pour les problèmes de qualité acoustique, ou d'évaluation de la gêne causée par les sons. Cette liste n'aura, bien sûr, pas la prétention d'être exhaustive, mais permettra de situer la méthode choisie parmi les autres existantes.

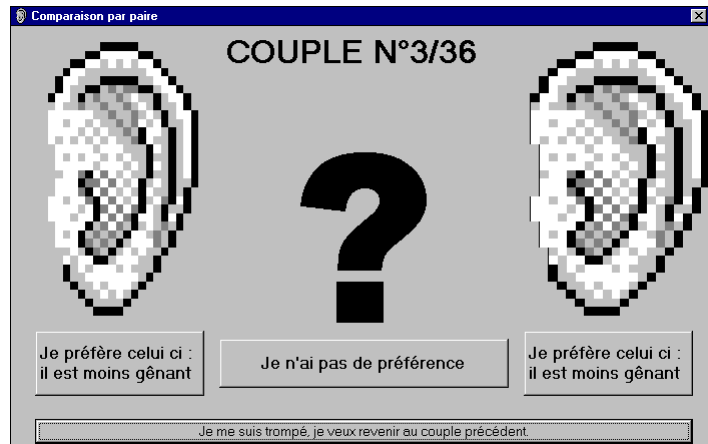
2.1.1. Les différentes méthodes existantes

Chaque humain porte en lui sa façon, unique, de voir le monde et de l'interpréter. Bien sûr, le langage permet la communication entre les individus, mais, en contrepartie, il tend à masquer l'existence de ce qu'il ne décrit pas. Les musiques africaines, par exemple, étaient dépréciées en Europe car leur simple notation sur partition donnait l'impression de musiques pauvres à des musiciens férus de solfège qui assimilaient ces musiques à leur notation. De même, le langage tend à déformer la perception pour la limiter à un vocabulaire. Malgré le langage qui balise le monde réel pour permettre à des individus de communiquer et uniformise en conséquence les perceptions, il est évident que l'appréciation psychophysique d'un même objet varie d'un individu à un autre. Par exemple, les mots "froid" et "chaud" seront prononcés pour des stimuli différents suivant les latitudes. Pour étudier ce que ressentent les gens, ce qui leur plaît ou ce qui leur est désagréable vis-à-vis d'un objet donné, il faut donc travailler sur des ensembles d'individus, que nous appellerons à partir de maintenant les "panélistes". Les panélistes sont les personnes auxquelles nous allons faire passer un certain nombre de tests, afin d'avoir des renseignements sur ce qu'elles ressentent quant aux sons des objets étudiés.

A ma connaissance, il existe au moins 6 méthodes pour intégrer l'avis subjectif des panélistes. Ces méthodes sont basées sur des hypothèses quant à la façon dont nous percevons les sons. Nous présenterons ces différentes méthodes en leur soumettant la question : "**Comment analyser les avis subjectifs d'un panel d'individu ?**"

- **Méthode 0** : En demandant au panel ce qu'il pense de chaque son. C'est-à-dire en lui faisant rédiger un petit texte sur les sons qu'il entend. Cette méthode a l'avantage d'être très ouverte mais, en contrepartie, les résultats sont très difficiles, voire impossibles à dépouiller. En effet notre vocabulaire sur les sons est très flou et varie considérablement d'une personne à une autre. Se posent alors des problèmes liés à l'interprétation des réponses et à leur intégration dans une réponse moyenne ou type. L'analyse est en fait subjective.
- **Méthode 1** : En demandant au panel de classer les sons par ordre de préférences. Cette méthode a pour avantage d'être plus facile à dépouiller objectivement, et pour inconvénient d'être difficile pour le panéliste, en particulier dans les cas où les sons sont proches. De plus, ce classement ne fournit pas d'information sur la distance entre les sons.

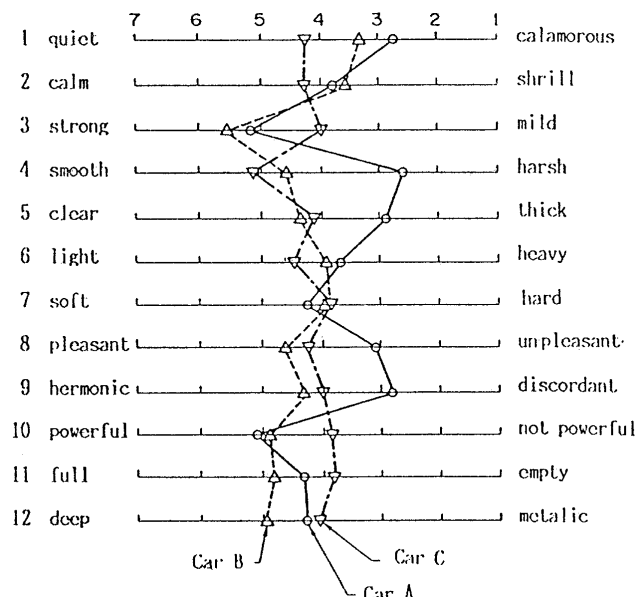
- **Méthode 2** : En demandant au panel de comparer des sons présentés par paire. [KB,39] Il s'agit en fait de faciliter à la fois le travail du panéliste et de l'analyste. Les données peuvent être traitées par un algorithme qui fournit un classement entre les différents sons donnés à écouter. Cette méthode performante de classement est probablement la plus utilisée actuellement.



- **Méthode 3** : En demandant au panel de mettre une note à chaque son en fonction d'une référence. Premièrement, cette méthode est délicate à mettre en œuvre pour un jury non préparé. En effet, il n'est pas évident de noter des sons. Cela suppose une bonne mémorisation de la référence et des sons précédents si l'on veut calibrer son échelle de notation. Mais surtout, même si elle est efficace pour choisir "le meilleur son", elle est inadaptée quand il s'agit de savoir ce qui plaît ou déplaît à l'intérieur d'un son.

En fait les trois méthodes précédentes sont mono-critère, c'est-à-dire qu'elles positionnent les échantillons selon une seule échelle. Alors qu'un son peut plaire pour une raison et déplaire pour une autre. Notons que cette méthode est couramment utilisée pour l'évaluation des enceintes acoustiques.

- **Méthode 4** : En demandant au panel de noter chaque son selon un profil. Un profil est en fait une liste de couples opposés comme : rugueux-lisse ou fort-faible. Pour chaque son, les panélistes doivent évaluer dans quelle mesure celui-ci est proche de l'un des qualificatifs d'un couple. Cette méthode est multi-critères, c'est-à-dire qu'elle peut positionner un son sur une échelle multidimensionnelle. Elle est aussi appelée "Méthode du différenciateur sémantique". Le principal défaut de cette méthode est qu'elle suppose une interdépendance nulle entre les différents critères. Elle n'est donc pas à même d'étudier les phénomènes interdépendants. De plus elle enferme les panélistes dans un vocabulaire et surtout elle est fermée aux découvertes de nouveaux paramètres influençant pourtant la perception des sons testés.



- **Méthode 5** : En demandant au panel de classer les sons en différentes catégories suivant un processus de catégorisation libre : sans contrainte de nombre de catégories ou de mots servant à les définir. [GF96b] Cette approche permet de résoudre les problèmes précédents : elle laisse la possibilité aux panélistes d'organiser les sons suivant leurs désirs. Le

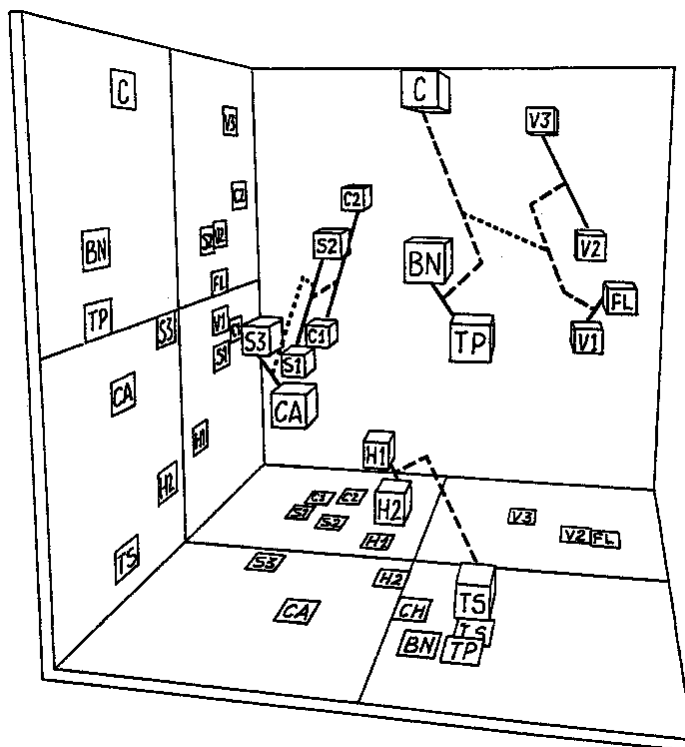
dépouillement peut alors faire apparaître des critères de différenciation entre les sons que n'aurait pas forcément envisagé l'auteur de l'étude, mais que les panélistes ont dégagé comme importants.

C'est cette méthode que nous avons choisie de mettre en œuvre. Une présentation plus complète s'impose.

2.1.2. La catégorisation prototypique

Le concept de catégorisation prototypique, comme on le connaît actuellement, est dû à Rosch E. [RO78]. "Percevoir, c'est catégoriser" [FG96]. Toute chose sensible est aussitôt comparée à une liste de prototypes, puis classée et étiquetée, éventuellement mémorisée. Un prototype est l'élément le plus représentatif d'un type d'objet sensible. La catégorisation prototypique est donc le processus selon lequel nous transformons un monde sensible en un monde intérieur.

Toute méthode d'analyse de données subjectives est basée sur la notion de similarité perçue entre les sons. En effet, un modèle doit en premier lieu pouvoir restituer ces similarités par des "distances" entre stimuli. Les modèles multidimensionnels [SM91] admettent que ces distances sont métriques : il existe un espace de dimension n , muni de n échelles linéaires et indépendantes qui permettent de positionner l'ensemble des stimuli possibles sans ambiguïté. Ce modèle a l'avantage d'être facile à interpréter, car il réduit le stimuli en une liste finie de paramètres. C'est à Grey [GR75] que nous devons l'application la plus célèbre de ce modèle :



l'espace des timbres.

Abréviations :

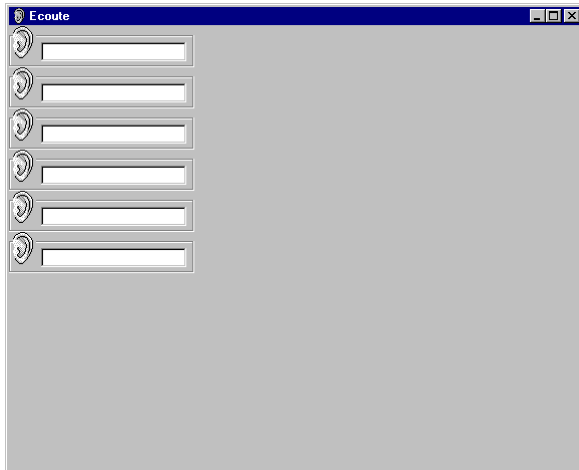
H1, H2 hautbois
C1, C2 Clarinettes
S1, S2, S3
 Saxophones
CA Cor anglais
C Cor
V1, V2, V3 Cordes
TP Trompette
TM Trombone
FL Flûte
BN Basson

Le modèle du contraste permet d'aller plus loin en supprimant du modèle multidimensionnel un certain nombre d'hypothèses mises en défaut par l'expérience comme l'existence d'échelles linéaires indépendantes. Ce modèle ne réfute pas la possibilité de l'existence de ces échelles, mais il n'a pas besoin de leur existence comme hypothèse. Il suppose qu'il existe des attributs qui permettent de différencier les stimuli. C'est ce modèle qui est utilisé par notre méthode où les panélistes sont considérés comme les attributs et

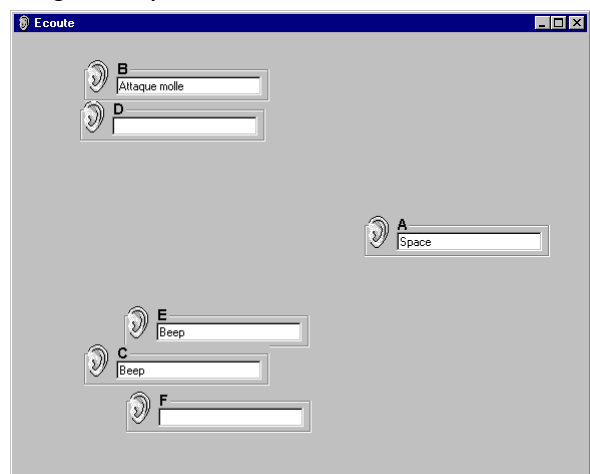
justifient donc la distance entre deux stimuli : la proximité entre deux stimuli est proportionnelle au nombre de personnes qui les ont considérés comme proches.

C'est ce modèle qui a décidé à la fois du protocole de test et de la méthode d'analyse. Pour le test, nous demandons aux panélistes de rassembler les sons qui se ressemblent : de créer des catégories, le nombre de catégories et les critères de différenciation étant complètement libres. Nous appelons ce test : "catégorisation libre". Les panélistes sont donc amenés à écouter des sons qui sont symbolisés par des icônes. Ils peuvent éventuellement noter un petit commentaire autour de chaque son pour poser leurs

propres repères visuels. On leur demande alors de créer des catégories, de rapprocher les sons qui se ressemblent. Pour cela, ils ont la possibilité de déplacer les icônes à l'écran afin de matérialiser les groupements. Ils organisent leur espace visuel comme bon leur semble. Chaque panéliste fournit, en fin de test, la liste des catégories qu'il a formées.



Voici l'interface utilisée pour nos essais : La figure de gauche montre l'écran au début du test, avant que le panéliste ne commence à écouter les sons, la figure de droite montre l'écran à la fin d'un test, le panéliste à fait ici trois catégories : B,D A et E,C,F.



Pour analyser la somme de ces multiples regroupements et donc faire un moyennage des catégories de plusieurs individus, nous avons utilisé tout naturellement la méthode d'analyse développée par J.P. Barthélemy et A. Guénoche (1988) et adaptée à l'acoustique par D. Dubois. Nous avons apporté également quelques améliorations à ce modèle dont les détails seront présentés plus loin.

2.2. Mise en place du protocole de test

Nous allons présenter ici la méthodologie de réalisation de mesures de qualité acoustique. Nous verrons en particulier comment choisir les sons à enregistrer ainsi que le panel et comment mettre au point un protocole de test.

Le choix des sons à analyser est crucial : les produits modernes sont souvent des sources de bruits très complexes. Les modes d'utilisation, les phases de fonctionnement sont autant de causes de la diversité sonore générée par un produit. Faisons une parenthèse en rendant hommage à Pierre Schaeffer, inventeur de la musique concrète qui, le premier, a essayé de classer les sons et d'en rechercher les caractéristiques principales. Il a défini notamment la notion de corps et d'objets sonores. Un corps sonore est un objet qui peut produire différents sons suivant son mode d'excitation. Un objet sonore est un son fixé sur un support média. Notre problème revient en fait à passer d'un corps sonore qui a un potentiel de production de sons, à un objet sonore qui doit être le plus représentatif possible du corps sonore étudié. On choisira, bien sûr, d'enregistrer les sons qui correspondent à une utilisation normale ou classique des produits. En particulier, ceux qui sont reconnus comme

représentatifs de qualité : c'est le cas des portières de voitures. Le bon sens, se mettre à la place d'une personne qui découvre puis utilise régulièrement un produit est, comme souvent, une excellente méthode d'investigation.

Le nombre de produits qui doivent être enregistrés doit, lui aussi, être choisi avec soin. Plus un nombre important de sons est présenté aux panélistes, plus il faudra du temps pour mener à bien le test. Un test trop long fatiguerait le panel et fausserait les résultats. La longueur du test dépend du panel visé (de son degré d'expertise), de la proximité entre les sons choisis (des sons très proches seront plus difficiles à répartir en plusieurs catégories). Enfin, la longueur du test augmente avec le nombre d'échantillons présentés et ce, dans des proportions exponentielles.

Rappelons ici que la qualité acoustique est un domaine à cheval entre la psycho-acoustique et l'ergonomie des produits. Il n'est donc pas étonnant de rapprocher un service de qualité acoustique et un service de marketing. Cette remarque prend toute son importance pour le choix des personnes qui passeront le test. Les panélistes doivent en effet correspondre à la cible visée par le service marketing.

Maintenant que nous avons défini les objets (les sons à analyser) et les sujets (les panélistes), il nous faut une interface pour mettre en relation les uns avec les autres. Une telle interface se doit d'être informatisée : on ne demande plus aux panélistes d'utiliser un magnétophone à bande, un lecteur DAT ou même un lecteur de CD. La mémoire des sons étant très limitée (même chez les musiciens : mémoire du son ne veut pas dire mémoire des hauteurs), l'outil doit permettre aux panélistes d'écouter les sons aussi longtemps et souvent qu'ils le désirent, de regrouper les sons qui se ressemblent, de créer des catégories. L'interface doit également être facile à utiliser et permettre de passer rapidement d'un son à un autre. Elle doit également tenir compte des personnes à qui elle présente les sons : pour ne pas les dérouter si elles ne se sentent pas à l'aise devant un ordinateur ou si, au contraire, l'ordinateur étant leur outil de travail, pour ne pas modifier leurs habitudes. Enfin l'interface doit être fonction des sons à restituer : sons brefs, stationnaires, englobants (enregistrement binaural - restitution au casque), ou provenant d'une source ponctuelle (objet enregistré en mono et restitué par une enceinte électroacoustique).

L'étape suivante consiste à faire passer le test aux panélistes. Cette partie de l'étude est cruciale. Il est en effet extrêmement facile d'influencer les gens, quant à leurs réponses subjectives. La subjectivité d'une personne dépend de son humeur, du cadre dans lequel elle se trouve. Sa perception même varie en fonction de ses intentions. Il est donc très important de faire attention à la façon dont on présente le test aux panélistes. Donner un exemple, montrer les résultats d'une autre personne sont autant d'éléments qui guideraient beaucoup trop les panélistes. La pratique montre que, pour une analyse réussie, il faut dire les mêmes choses à chaque personne, faire les mêmes gestes. Au cours d'une étude, l'écart entre les réponses des différents panélistes commence par être chaotique, puis se stabilise une fois la présentation du test bien mise en place. La présentation du test aux panélistes doit être un véritable automatisme.

2.3. L'Analyse des résultats

Une fois que les panélistes ont procédé aux tests, nous nous trouvons devant une masse d'information brute à traiter. Pour analyser ces résultats, c'est-à-dire pour les présenter de façon synthétique, nous avons utilisé un outil de représentation des distances : la représentation arborée. Cette méthode est basée sur les travaux de J.-P. Barthélemy et A. Guenoche. L'utilisation de cet outil pour des études acoustiques est due à D. Dubois.

2.3.1. La représentation arborée

Nous commencerons par poser les bases en nous intéressant à la notion de graphe et d'arbre. Nous nous intéresserons ensuite au processus qui permet de transformer nos données en un arbre et nous étudierons comment interpréter les résultats. Après cette approche théorique, nous nous intéresserons à l'analyse des données concernant notre étude en particulier : le bruit des PC.

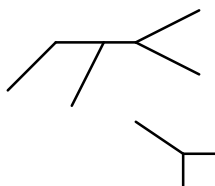
2.3.1.1. Graphes, arbres et distances

Nous allons donner ici des notions sur les arbres pour la bonne compréhension du texte qui va suivre. Nous invitons le lecteur curieux à consulter les ouvrages suivants :

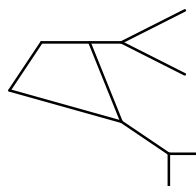
- "Algorithmes et structure de donnée" pour s'initier aux graphes et aux arbres.
- "Les arbres et les représentations des proximités" pour étudier la méthode de calcul que nous avons utilisée dans nos programmes.

Sans rentrer dans les définitions formelles, voici quelques définitions :

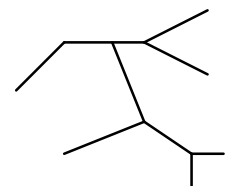
- *Un graphe est un ensemble de sommets et d'arêtes. Deux sommets d'une même arête sont dit adjacents. Pour un sommet donné, l'ensemble des sommets qui lui sont adjacents constituent son voisinage et le nombre de ces sommets son degré.*
- *Un chemin est un ensemble arête deux à deux jointes, qui relie un sommet à un autre.*
- *Un graphe est dit connexe quand, quel que soit un couple de points, il existe un chemin pour les relier.*
- *Un graphe est dit valué quand on associe une notion de distance à chacune de ses arêtes.*



Graphe non connexe



**Graphe connexe
mais avec un cycle**



**Graphe connexe
sans cycle : un arbre**

- *Un arbre est un graphe connexe et sans cycle. C'est un graphe qui, quelque soit un couple de points, il existe un chemin et un seul pour les relier.*
- *Un N-Arbre est un arbre dont tous les sommets ont un degré inférieur ou égal à N.*
- *Un arbre est dit planté quand il possède un sommet privilégié appelé racine. Chaque sommet peut être alors plus proche ou éloigné qu'un autre de la racine. Cette racine permet donc de hiérarchiser un arbre par rapport à une référence.*

Pour notre étude où nous cherchons à représenter des distances entre des sons, et où nous ne saurions nous contenter d'une échelle multidimensionnelle préétablie, les X-Arbres valués seront un outil efficace. En effet, nous utiliserons la propriété principale des arbres : l'existence d'un chemin unique entre chaque point. Ce chemin étant valué, nous lui attribuerons comme valeur la distance entre deux sons, cette distance étant, elle aussi, unique. Notons ici que nous avons fait l'hypothèse d'une distance symétrique, mais que les arbres peuvent être valués par des distances asymétriques, ils sont alors dits "généralisés".

Nous allons utiliser les X-Arbres valués plantés comme outil de représentation des distances entre les sons. Nous allons maintenant nous intéresser à la mesure de ces distances et à leur transformation en X-Arbres valués.

2.3.1.2. Données brutes, matrice de proximité, et arbres

Les données brutes sont sous la forme d'une liste de catégories dont chacune appartient à un panéliste et contient un certain nombre d'échantillons. Par exemple :

- le panéliste 1 a mis les échantillons A B C et D E F ensemble.
- le panéliste 2 a regroupé les échantillons A B, C D et E F.

Soit $f(a,b,p)=1$ si le panéliste p a mis l'échantillon a dans la même catégorie que l'échantillon b , et zéro sinon.

La matrice de proximité est définie comme suit :

$$M(a,b) = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{p=1}^{NbP} f(a,b,p)}{NbP} \right)$$

Cette matrice contient toutes les distances entre les sons. Elle peut se lire comme un tableau dont les en-têtes de lignes et colonnes sont le nom des échantillons. L'intersection entre une ligne et une colonne contient la distance entre l'échantillon de la ligne et l'échantillon de la colonne. La notion de distance entre deux échantillons a et b ($= M(a,b)$) s'interprète comme suit :

- ♦ Si $M(a,b) < M(c,d)$ cela signifie qu'un nombre supérieur de personnes a mis le couple (c,d) dans une même catégorie que le couple (a,b) .
- ♦ Une distance de 100 entre a et b ($M(a,b) = 100$) signifie qu'aucun des panélistes n'a mis a et b dans une même catégorie.
- ♦ Une distance de 0 entre a et b ($M(a,b) = 0$) signifie que tous les panélistes ont mis a et b dans une même catégorie.

Cette matrice contient de façon synthétique toute l'information qui nous intéresse : on ne perd que l'influence de chaque individu par rapport au résultat, on extrait une distance relative entre les divers échantillons. C'est à partir de la matrice de proximité que nous allons travailler à présent. Il ne nous sera donc pas nécessaire de consulter à nouveau les réponses des panélistes pour calculer l'arbre. Par calcul de l'arbre, on entend le calcul de sa structure : attache et longueur des arêtes. On ne détaillera pas ici les problèmes liés à l'affichage des arbres.

La première étape du calcul consiste à calculer une matrice des scores qui représente, pour chaque couple d'échantillons, sa proximité relative par rapport aux autres échantillons. Le principe de l'algorithme de construction d'un arbre est simple :

- ♦ **Calculer la matrice des scores.**
- ♦ **Grouper les échantillons ayant un score supérieur à un seuil.**
- ♦ **Remplacer ces échantillons par un nœud.**
- ♦ **Abaissier le seuil et recommencer jusqu'à ce que tous les éléments soient reliés par un dernier nœud (la racine).**

Tous les détails concernant cet algorithme se trouvent dans "Les arbres et les représentation de proximités" de J-P Barthélemy et A. Guenoche. C'est pourquoi nous ne nous y attarderons pas.

2.3.1.3. Interprétation d'un arbre

Maintenant que nous avons un outil capable de calculer des arbres, de traiter nos données brutes afin de les présenter sous une forme visuelle, il nous faut apprendre à lire ce nouveau type de représentation.

En premier lieu, rappelons qu'il s'agit d'une représentation de distances. Pour connaître la distance entre deux sommets de l'arbre, il faut additionner les longueurs des arêtes qui forment le chemin entre ces deux points. Les angles entre une branche et une autre n'ont donc pas d'importance.

La première lecture que l'on peut faire d'un arbre est donc une lecture des distances : tel son est plus ou moins proche de tel autre... Mais l'algorithme de J.P. Barthélemy et A. Guenoche va plus loin : le calcul des scores permet de regrouper les sommets en catégories, les nœuds devenant alors des prototypes virtuels. On peut donc assimiler les branches à des propriétés du son sensible. Par exemple, on peut avoir une branche pour les sons franchement désagréables, une autre pour les sons plutôt graves et une autre encore pour les sons plutôt aigus. Si on arrive à identifier la propriété de chaque branche, on saura pourquoi un son est placé à un endroit plutôt qu'à un autre. Dans certains cas, on peut trouver deux branches dont les propriétés sont opposées, comme aigu avec grave ou fort avec faible. On peut appeler l'ensemble de ces deux branches un axe. En effet, si l'on se déplace de l'extrémité d'une branche à une autre, on passera successivement sur des sons dont le niveau augmente ou diminue, suivant le sens de parcours.

Un arbre permet donc de regrouper les sons selon leurs caractéristiques principales et de les trier selon certaines de leurs propriétés.

Pour mieux comprendre toutes les finesses qui permettent d'extraire le maximum d'informations d'un arbre, vous pouvez vous reporter au chapitre 3 dans lequel nous présentons des études de cas concrets.

2.4. La recherche d'indicateurs

Nous l'avons vu, il existe des modèles de représentation des sensations : le modèle géométrique, et le modèle du contraste. Or le modèle géométrique offre une multitude d'avantages quant à son utilisation : il permet de coller un indicateur aux caractéristiques principales des sons, et donc de positionner un son sans avoir besoin de panélistes. Les limites de ce modèle ne sont pas restrictives quand on travaille sur des cas particuliers suffisamment simples. Il est donc souvent intéressant de rechercher quels sont les indicateurs qui permettraient de passer d'un arbre à un espace à n dimensions, et définir dans cet espace, quelles sont les zones ressenties comme agréables.

La technique utilisée consiste à chercher les axes principaux d'un arbre et à les corrélérer avec des indicateurs de psychoacoustique. Ces indicateurs ont été définis dans le but d'avoir des renseignements robustes sur un son, comme son niveau perçu ou la sensation de hauteur qu'il dégage.

Voici les principaux indicateurs :

- Le niveau en dBA
- La sonie
- L'acuité
- La rugosité

Il existe même des indicateurs qui ont la prétention de donner directement la valeur de la gêne de n'importe quelle source sonore, de façon globale. C'est le cas de "Unbiased Annoyance" (UBA), un indicateur créé par Zwicker qui fournit un résultat en "Annoyance Unit" (au).

Rechercher un indicateur va en fait consister à choisir celui qui corrèle le mieux la sensation de gêne parmi la liste ci dessus. Pour cela, nous nous aiderons des arbres et des différents groupes d'échantillons pour essayer de dégager quels sont les indicateurs les plus caractéristiques. La validité des indicateurs peut être vérifiée à l'aide d'un test de comparaison par paire.

Il serait également possible d'imaginer de nouveaux indicateurs, qui pourraient, pourquoi pas être basés sur le modèle ARMA pour mesurer la prévisibilité d'un signal. Mais la recherche d'indicateurs strictement nouveaux (non basés sur des combinaisons linéaires des plus classiques) sort du cadre de cette étude. En effet, il faut des moyens importants pour valider et comprendre ce que peut mesurer un indicateur.

3. LES RESULTATS : trois cas concrets

Dans cette partie, à titre d'application de la précédente, nous allons présenter une campagne d'investigation traitant du bruit des PC.

La première étape a consisté à choisir les sons qui allaient être enregistrés. Nous avons commencé par dresser la liste des éléments bruyants constituant un PC :

- le disque dur
- le lecteur de disquettes
- le lecteur de CD-ROM
- le ou les ventilateurs
- le clavier
- la souris (les clics)
- l'écran

Nous avons éliminé le clavier, la souris et l'écran, car ces sources sonores sont faibles et surtout, personne ne se plaint jamais du bruit de sa souris. Une étude rapide sur le comportement des gens devant ou à côté d'un PC nous a permis d'isoler trois types de sons bien particuliers :

- **Le mode de repos de l'ordinateur** c'est-à-dire le disque dur en rotation sans accès disque, et les ventilateurs en marche. Nous appellerons ce mode de fonctionnement, le mode idle. Ces sons étant produits en permanence, ils peuvent constituer une gêne pour les personnes travaillant longtemps dans une pièce où réside un ou plusieurs ordinateurs.
- Nous étudierons ensuite **le bruit de différents disques durs en fonctionnement**, pendant les accès disques. Nous avons choisi ce type de bruits car ils sont intéressants sous plusieurs aspects : ils sont le plus souvent réaction de l'ordinateur par rapport à l'utilisateur, et de nature différente des sons produits par le mode idle : ils ne sont pas stationnaires.
- Enfin, nous avons choisi de nous intéresser **au bruit de l'ouverture et de la fermeture d'un tiroir de CD-ROM**. Ces bruits sont d'origine mécanique et nous avons supposé qu'ils étaient mieux à même de renseigner un utilisateur sur la qualité du produit car les panélistes ont plus facilement des référents, et donc un vocabulaire, lié aux phénomènes mécaniques : ça grince, frotte, ou coince. Cette partie de l'étude est aussi un clin d'œil aux autres études de qualité acoustique qui traitent du bruit des portières de voitures.

Ces sons ont été enregistrés à l'aide d'un DAT portable dans la chambre sourde à l'aide du matériel suivant (faisant référence au matériel du LNE) :

- le microphone Brüel et Kjær n° 3 avec son pré ampli et son câble.
- le pré ampli Brüel et Kjær.
- le DAT Sony.
- un calibre.
- une série de câbles pour relier le DAT au pré ampli.

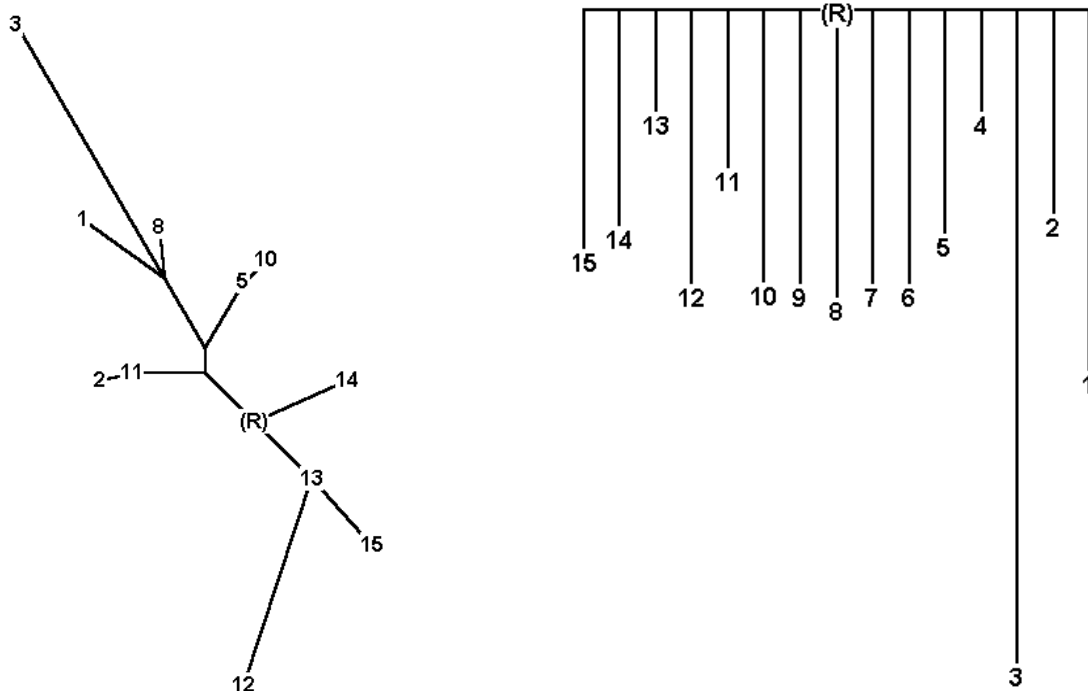
Tous ont été enregistrés à 30 cm de la source selon un procédé proche de la norme ISO 77 79.

3.1. Analyse des bruits de l'ouverture et de la fermeture du tiroir de lecteurs de CD-ROM.

Nous ne fournirons pas ici la liste des lecteurs de CD-ROM pour des raisons de confidentialité. Il reste important de savoir que tous ces lecteurs utilisent des tiroirs dont la face avant sert de porte pour garantir une étanchéité à la poussière. Ils sont montés dans leur ordinateur d'origine. Le son des lecteurs est en fait coloré par la caisse dans laquelle ils sont montés. Pour étudier objectivement chaque lecteur, nous aurions dû l'installer sur un support neutre. En fait ces remarques sortent du cadre de notre étude qui s'intitule "la qualité acoustique des PC". On s'intéresse aux PC, il est donc logique d'en écouter les différents éléments dans leur contexte.

3.1.1. L'arbre des panélistes

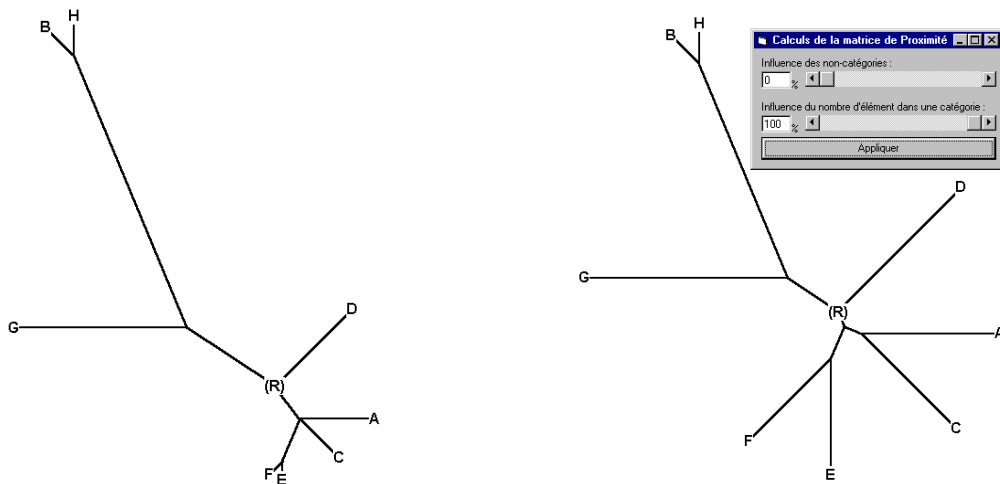
Pour analyser les sons produits par 8 lecteurs de CD-ROM, nous avons demandé à 15 personnes différentes de classer ces sons selon les règles de la catégorisation libre. Les personnes 6, 7 et 10 ont donné le même résultat, (elles n'ont créé que deux catégories). Nous avons commencé par calculer l'arbre de proximité entre panélistes. A gauche un arbre valué en représentation radiale, à droite, un arbre calculé avec un seuil de regroupement très faible, tracé en mode hiérarchique, permet de visualiser la distance des panélistes par rapport à un hypothétique sujet moyen.



Le panéliste n° 3 se dégage nettement des autres par le choix de ses catégories. Nous l'avons donc écarté de la suite de l'analyse.

3.1.2. L'arbre des échantillons

Intéressons-nous maintenant à la représentation arborée des résultats : la distance perçue entre les différents sons.



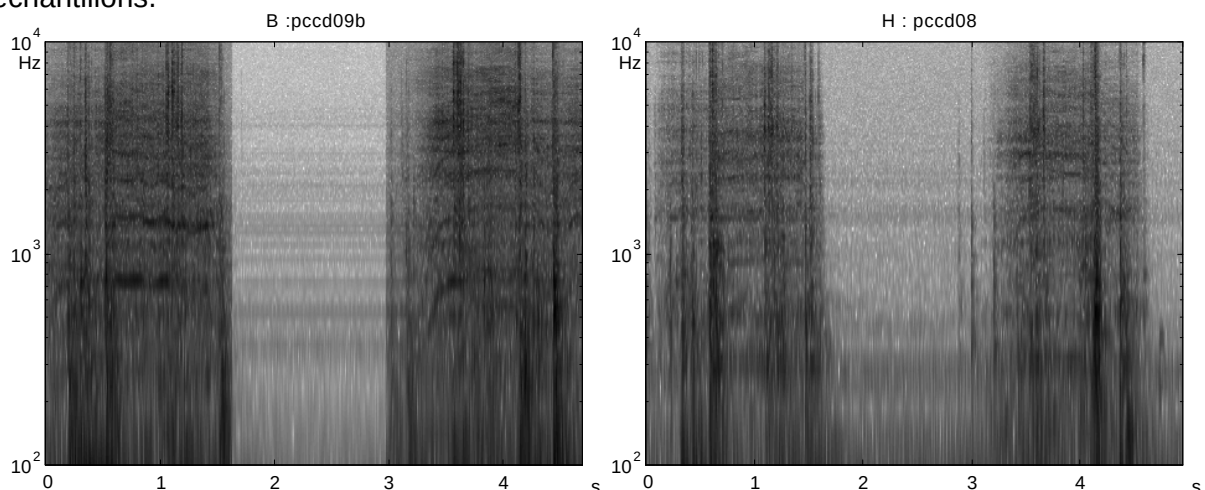
Deux couples de points se distinguent très nettement : B,H et F,E. Une analyse plus fine, jouant sur l'influence du nombre d'éléments dans chaque catégorie, fait apparaître que le couple F,E n'est pas aussi fort qu'on pouvait le penser au départ. En fait, beaucoup de panélistes ont isolé B,H dans une catégorie ; beaucoup ont également mis F et E dans une même catégorie, mais celles-ci sont souvent des catégories "fourre-tout", avec un grand nombre d'éléments. Voilà la lecture que nous ferons de ces arbres : B et H se distinguent très nettement de tous les autres. G et D se détachent également chacun de leur côté (G se rapprochant de B,H, D se rapprochant du peloton). Enfin A,C,E,F constituent les bruits qui ne sortent pas du lot, qui ne se font pas remarquer par une caractéristique particulière.

3.1.3. Les échantillons

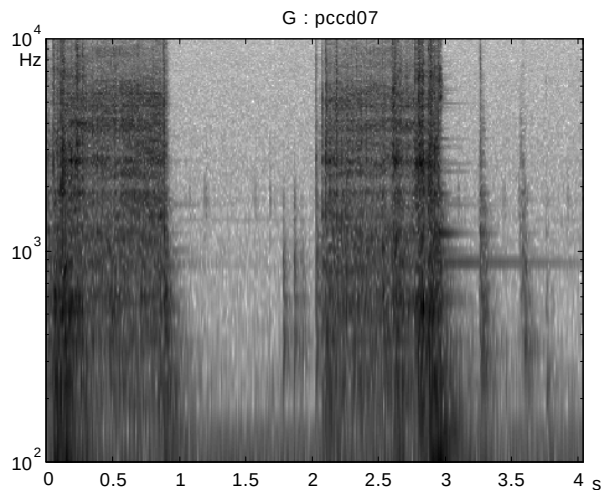
Maintenant que nous avons extrait les catégories principales de nos arbres, nous allons essayer d'expliquer pourquoi les échantillons se sont répartis de cette façon et pas d'une autre. Pour cela nous allons commencer par regarder les commentaires que les panélistes ont associé à chaque catégorie.

Pour les sons B et H :

Ces sons sont considérés comme plutôt agréables (4 fois), peu stressants, doux (4 fois), peu bruyants, supportables et lisses. Mais ils donnent l'impression que le moteur est faible, lent (3 fois). On note également : bruit des engrenages prédominant, métallique, système de vérins. Ce qui ressort de la lecture des commentaires, c'est que le son est plutôt agréable, mais l'image dégagée par le produit est assez négative. Les personnes ayant considéré le son pour lui-même lui trouvent des qualités, alors que les personnes ayant considéré le son comme moyen d'information sur un appareil trouvent des défauts à l'appareil ! Ces remarques sont relatives et à comparer avec les remarques faites sur les autres échantillons.



La lecture des sonagrammes de ces deux sons confirme les remarques faites par les différents panélistes. On retrouve bien la lenteur (4,5 s au lieu de 3 pour les autres) et une faible intensité. Ces deux sons ont également la particularité de contenir toute une série de petits cliquetis (les raies verticales très fines et rapprochées). Les commentaires montrent que ces petits "clics" n'ont pas attiré l'attention des panélistes qui pourtant ont été très nombreux à regrouper ces deux sons.

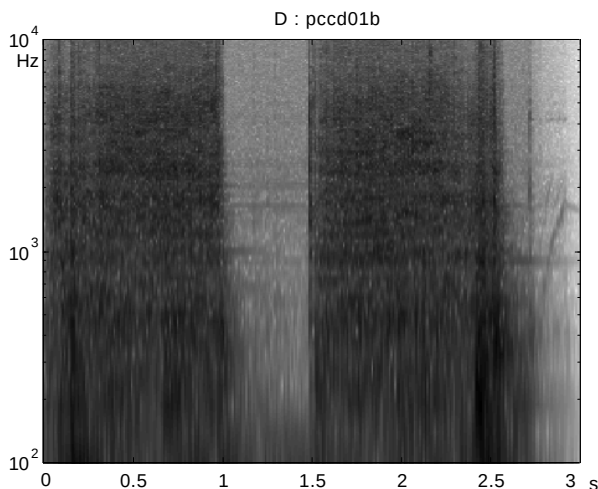


Le son G :

Voici les remarques que les panélistes lui ont associé :

Résonance, sans bruit, bruit fort, un peu sec, énervant, peu rapide, bruit de porte, impression de clonk, bruit à la fermeture. Le point qui revient le plus souvent est celui qui fait référence au bruit de fermeture finale de la porte. La porte de ce lecteur se referme avec un bruit qui résonne. Cette résonance est jugée désagréable par la majorité des panélistes.

En effet on peut observer sur le sonagramme plusieurs traînées très nettes : ce sont les différents partiels d'une résonance. La fréquence principale étant autour de 1000 Hz, la zone la plus sensible de l'oreille, elle est nettement audible.



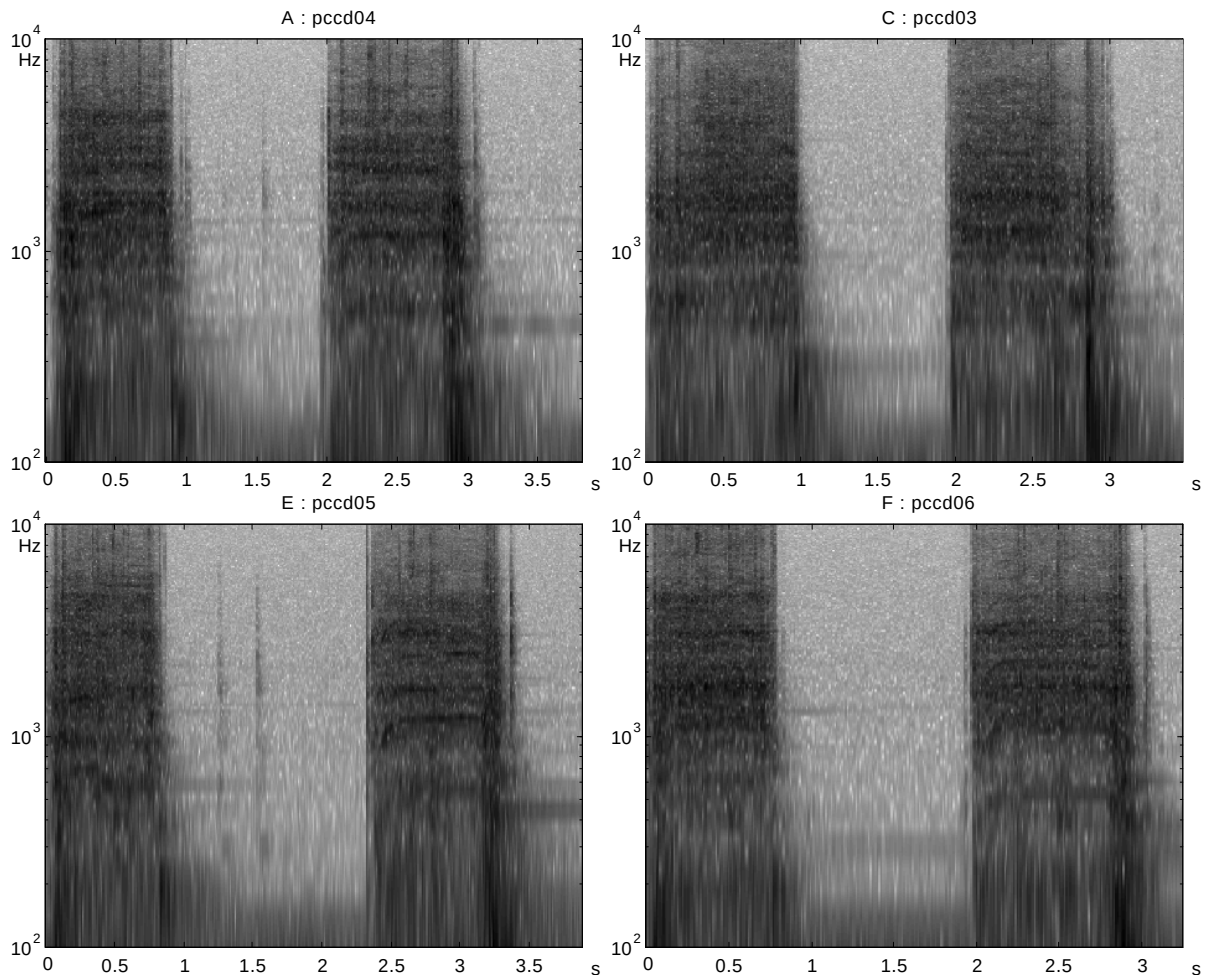
Le son D :

Il est toujours qualifié par rapport au groupe A,C,E,F : il paraît plus fort pour quatre panélistes et plus aigu pour un seul. L'arbre calculé en tenant compte du nombre d'éléments dans chaque catégorie le montre plus proche du groupe A,C,E,F, dont il fait presque partie.

Le sonagramme montre toutefois qu'il est plus dense que ses homologues A,C,E,F. Il est en fait plus bruyant, et c'est ce qui l'écarte un petit peu des autres.

Les sons A,C,E,F :

Ils sont le plus souvent mis ensemble dans une catégorie plus grande que les autres. En effet, à l'écoute, il est difficile d'exprimer leurs faibles différences : Même type de fermeture, peut-être une légère résonance pour E. Même type de vitesse d'ouverture et de fermeture.



Les sonagrammes sont d'ailleurs assez proches les uns des autres.

3.1.4. Synthèse

Cette étude a permis de mettre en évidence certains facteurs qui entrent en jeu pour l'appréciation du bruit de l'ouverture et de la fermeture de la porte d'un lecteur de CD-ROM.

- **Le niveau de bruit :** les panélistes attendent un certain silence du mécanisme. En effet un niveau important est le plus souvent synonyme de gêne. Il existe également une explication culturelle de ce phénomène : le temps n'est plus aux locomotives à vapeur mais bien aux TGV. Le bruit a été synonyme de puissance pendant bien des années et, même si certaines personnes recherchent encore des niveaux de bruits élevés pour des produits comme les motos, actuellement, le bruit devient synonyme de puissance mal maîtrisée. Ce qui impressionne, c'est la puissance silencieuse. Le silence d'un produit mécanique motorisé donne l'impression que l'entreprise qui l'a créé en maîtrise tous les paramètres. Le produit est docile et de qualité. Pour s'en convaincre et élargir cette étude, il suffit de se poser la question sur le niveau de bruit et la qualité des produits dans une gare, dans le métro, devant une voiture, un film de science fiction ou un ordinateur.

- **La Rapidité :** Les différents tiroirs s'ouvrent et se ferment à différentes vitesses et ça s'entend ! En fait, le critère de temps d'ouverture d'une porte est important pour l'utilisateur, indépendamment du bruit : c'est une perte de temps. En informatique, toutes les pertes de temps, même infimes, comme 0.5 s avant l'apparition d'un menu, peuvent être ressenties comme une gêne. Le temps d'ouverture et de fermeture n'est d'ailleurs pas le plus significatif. En effet, ce qui frappe en utilisant ces différents lecteurs, ce sont les différences de temps entre le moment où l'on appuie sur le bouton d'ouverture et l'ouverture du tiroir. Certains lecteurs s'en sortent très bien avec une ouverture ou fermeture instantanée très

agréable, et d'autres mettent plusieurs secondes avant de réagir : privé de retour d'information de la machine, l'utilisateur a tendance à appuyer plusieurs fois sur le bouton. Pendant quelques secondes l'appareil donne l'impression qu'il est défectueux.

- **Le bruit de fermeture** : Le son G a été écarté des sons moyens car il résonne à la fermeture. D'une part la fréquence de résonance était située autour de 1000 Hz, une zone du spectre où les sons purs sont particulièrement audibles. D'autre part, le son d'un tiroir ou d'une porte qui ne se termine pas de façon nette et franche ne procure pas une impression de fiabilité. De façon générale le son d'un produit doit coller au plus près aux fonctions du produit. Quand une porte est fermée, elle est fermée. Un son qui continue après la fermeture laisse entendre que le tiroir du lecteur n'est pas encore très bien fermé ou mal fermé. Une résonance sous-entend une conséquence sur le reste de la structure du produit, ce qui ne fait pas partie de sa fonctionnalité première.

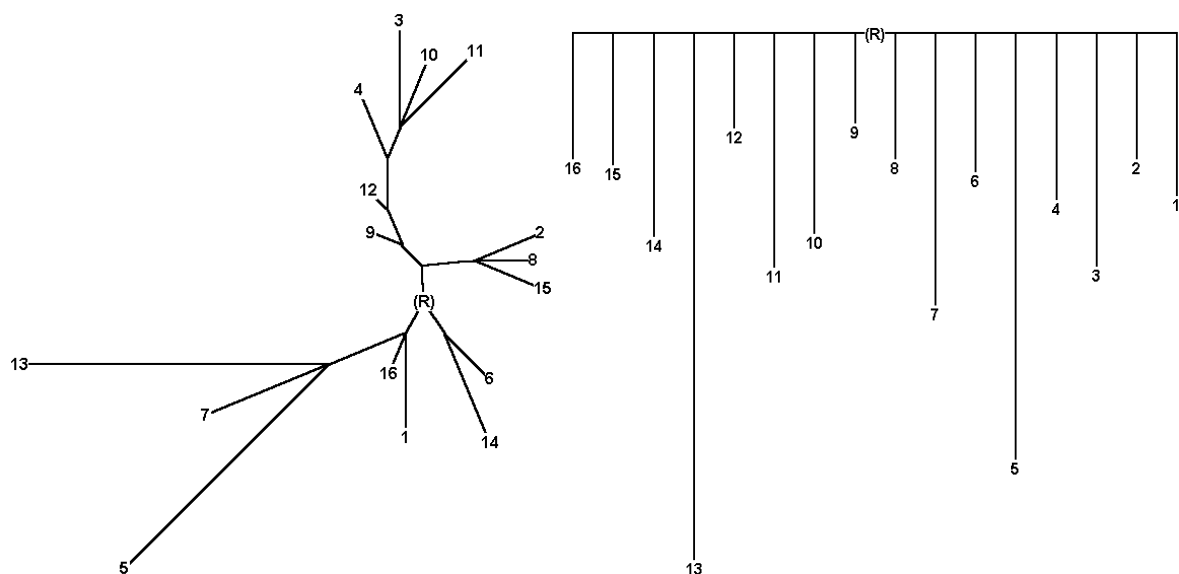
Améliorer le bruit, et l'image perçue d'un lecteur de CD-ROM, consiste donc à travailler les trois points. Les deux premiers, le niveau et la vitesse, peuvent être traités de façon purement objective. On dispose d'indicateurs (les dBA et les secondes) pour mesurer leurs performances. Pour traiter le troisième, on dispose du sonagramme qui permet de rechercher diverses résonances ou sons parasites après la fermeture.

3.2. Les accès disque dur : mode Random

Nous avons également enregistré, toujours dans les mêmes conditions (Cf. annexe 3), des bruits de disques durs. Tous ces disques faisant des accès aléatoires à l'aide d'un même programme sous DOS. Ici aussi les disques sont montés dans leur ordinateur correspondant. Précisons que les autres parties bruyantes de l'ordinateur (ventilateurs), ont été systématiquement déconnectés. D'autre part, nous serons amenés à parler du rythme de ces différents sons. En effet ces sons contiennent des pulsations, plus ou moins régulières et rapides, qui sont dues aux bras des différents disques.

3.2.1. L'arbre des panélistes

Voici la représentation axiale et hiérarchique de notre arbre.

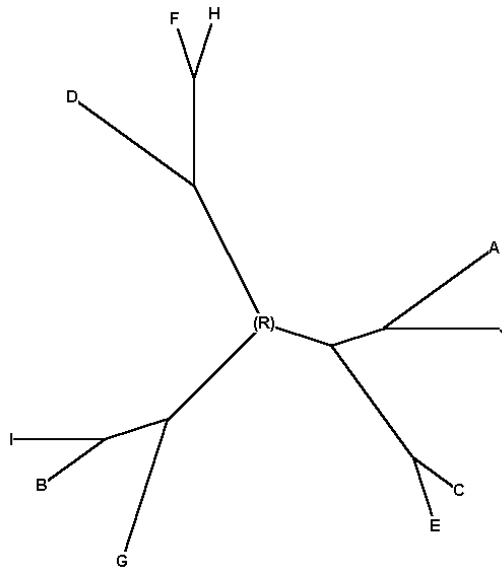


Comme pour l'exemple précédent, l'arbre hiérarchique est calculé avec un seuil d'itération suffisamment bas pour que la première itération regroupe tous les panélistes en la racine. Ce qui permet de représenter les panélistes selon leur distance par rapport au panéliste moyen.

Nous avons supprimé de l'analyse les sujets 5 et 13 pour leurs réponses un peu en marge du reste du panel.

3.2.2. L'arbre des échantillons

Voici l'arbre des échantillons tel qu'il est directement calculé par notre programme :



Nous avons également calculé l'arbre en tenant compte du nombre d'éléments par catégorie. Cet arbre n'est pas représenté car il est identique à celui ci-dessus, à quelques faibles variations de longueurs d'arêtes près. Cela signifie que le panel a répondu de façon homogène.

Cet arbre est très lisible : trois branches principales séparent les échantillons en trois grandes catégories. On peut même nuancer ces différentes catégories : des couples forts apparaissent sur l'arbre comme IB au sein de la catégorie IBG. Ces couples seront notés **en gras**.

Les voici :

- **I B**, G
- **A J**, **C E**
- D, **F G**

Nous allons maintenant nous pencher sur les échantillons pour expliquer ces groupements.

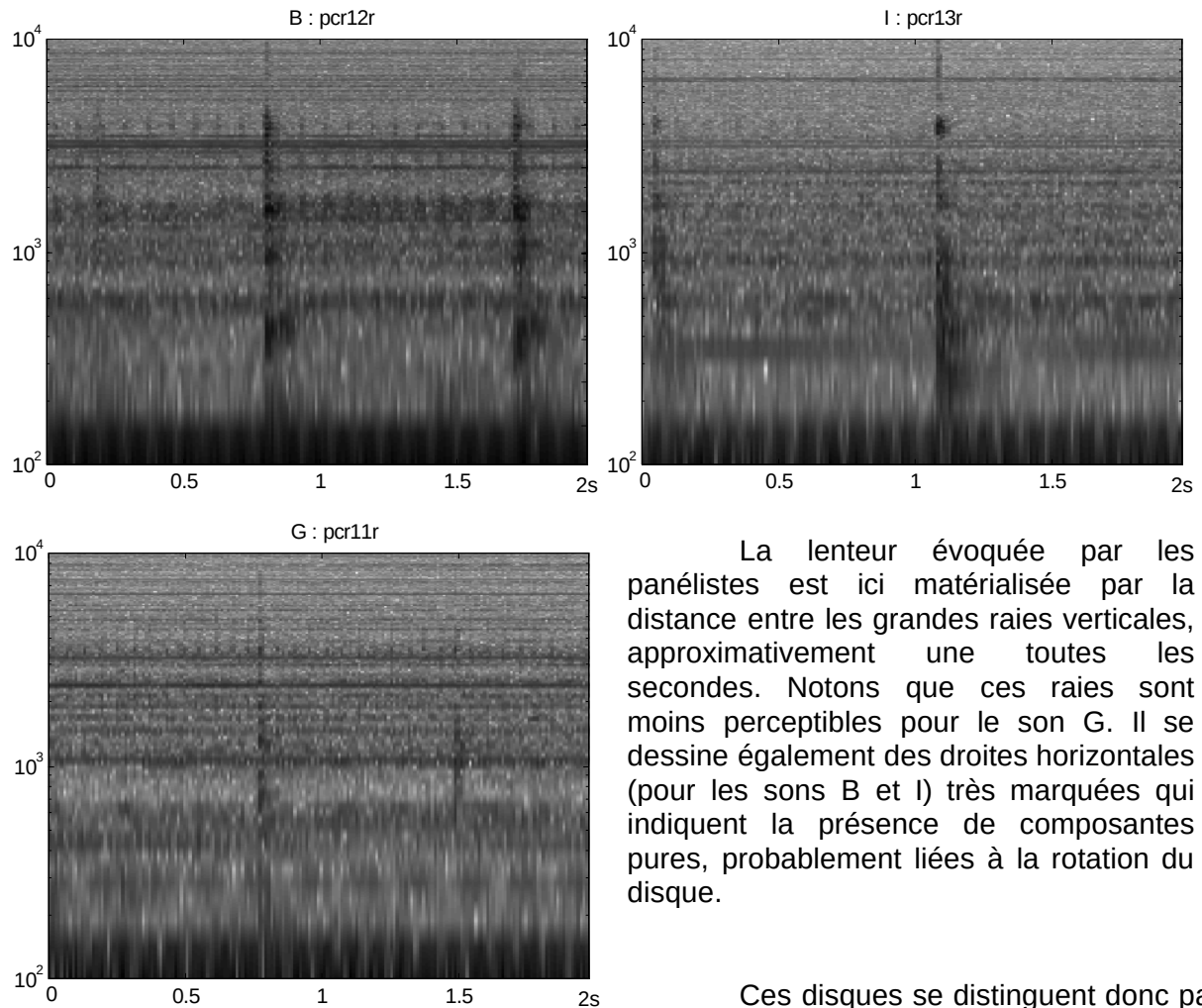
3.2.3. Les échantillons

Nous allons présenter les échantillons suivant les catégories qui ont été définies plus haut.

3.2.3.1. IBG

Ce sont les trois disques durs les plus récents. Ils sont qualifiés par les panélistes de : lents (3 fois), silencieux (5 fois), agréables (2 fois), calmes, reposants, horloge (6 fois). C'est la catégorie la plus appréciée des panélistes.

Nous avons mesuré leur niveau en dBA à l'enregistrement. Cela donne 33 dBA pour I, 34 dBA pour B et 31dBA pour G.



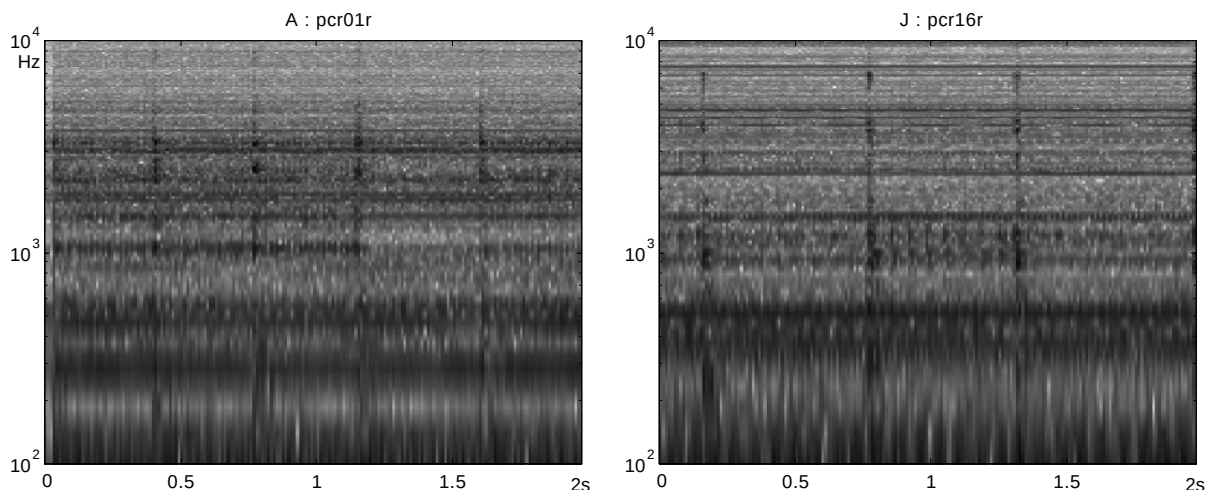
La lenteur évoquée par les panélistes est ici matérialisée par la distance entre les grandes raies verticales, approximativement une toutes les secondes. Notons que ces raies sont moins perceptibles pour le son G. Il se dessine également des droites horizontales (pour les sons B et I) très marquées qui indiquent la présence de composantes pures, probablement liées à la rotation du disque.

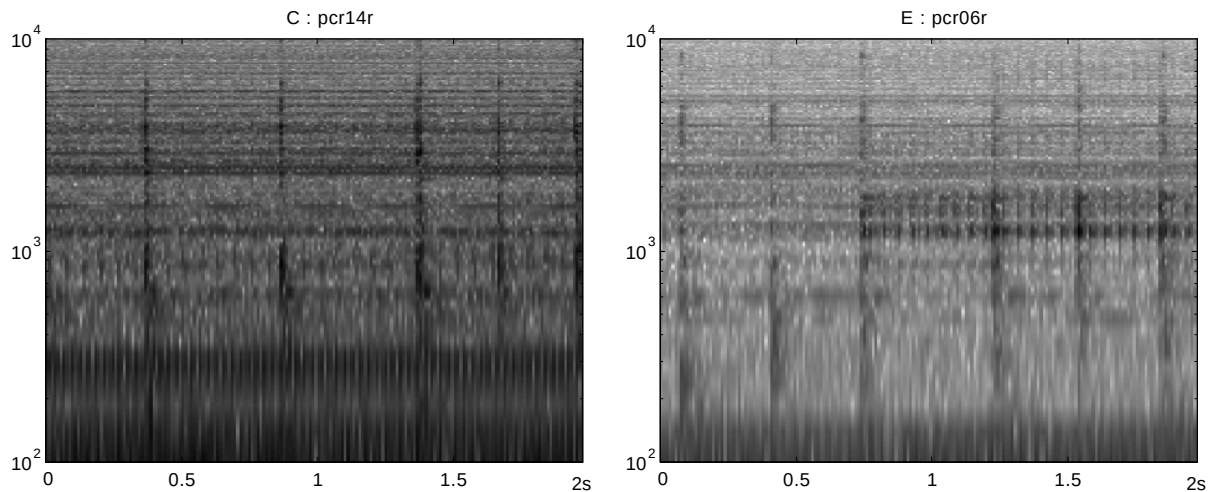
Ces disques se distinguent donc par la lenteur de leur rythme, et la faiblesse de

leur niveau sonore.

3.2.3.2. AJCE

Commençons par rechercher les remarques qui reviennent le plus souvent : bruyant (2 fois), assez agréable, crépitements rapides, clacs aléatoires, acceptable, bruit rapide (3 fois). Ces remarques montrent un avis plus partagé sur cette catégorie de sons. Ils sont considérés moins agréables que les précédents, plus bruyants. Leur rythme est plutôt rapide. Leurs niveaux (39 dBA pour A, 36 dBA pour J, 34 dBA pour C et 36 dBA pour E) montrent qu'ils sont objectivement plus bruyants que les précédents. Ces disques sont moins récents. Leur capacité moyenne est comprise entre un et deux gigabytes. Voici leur sonagramme.

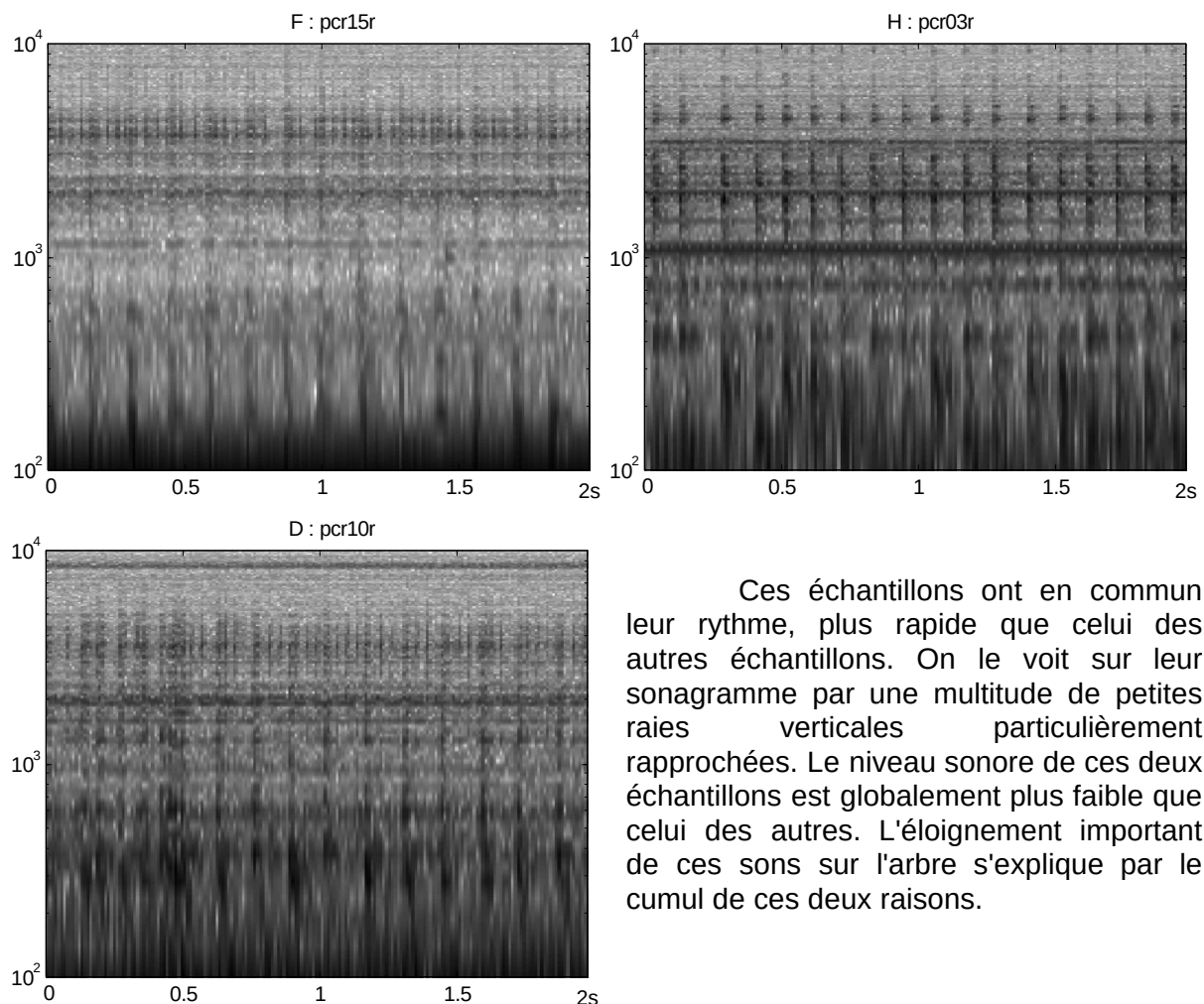




On observe un rapprochement des raies verticales : le rythme est effectivement plus rapide. Les panélistes ne mentionnent plus les bruits liés à la rotation du disque. Cette différence n'est pas visible sur les sonagrammes : l'attention des panélistes semble attirée vers le crépitemment rapide du bras du disque dur.

3.2.3.3. DFG

Collectons maintenant les remarques associées aux échantillons de notre dernière catégorie : bruits répétitifs (2 fois), claquements rapides (3 fois), très bruyant (3 fois), sympathique, bruit de machine, désagréable (3 fois). Ces sons ont été les moins appréciés des panélistes. Voici leurs niveaux : 37 dBA pour D, 43 dBA pour F et H. Ce sont les niveaux les plus élevés.



Ces échantillons ont en commun leur rythme, plus rapide que celui des autres échantillons. On le voit sur leur sonagramme par une multitude de petites raies verticales particulièrement rapprochées. Le niveau sonore de ces deux échantillons est globalement plus faible que celui des autres. L'éloignement important de ces sons sur l'arbre s'explique par le cumul de ces deux raisons.

3.2.4. Synthèse

Dans ce cas particulier, un nouveau phénomène intervient : la technologie du disque implique des changements dans le son qu'il produit. Plus le disque est récent, plus les vitesses de rotation sont rapides, plus les fréquences stationnaires sont élevées, plus le niveau est faible et plus le rythme est lent. Il y a donc un lien entre différents paramètres. Les sons ont donc plus facilement des points communs ou des différences, ou encore, quel que soit le premier critère choisi, les échantillons seront de toute façon triés dans un ordre qui dépend de la chronologie des lecteurs. Les deux premiers critères sont de toute façon le niveau et le rythme mais, étant liés, on ne peut pas savoir quel est celui qui, en moyenne, passe en premier. Toutefois, les panélistes évoquent toujours le niveau comme un facteur de gêne quand il est élevé, alors qu'ils parlent du rythme sans y porter de jugement. Certaines personnes préférant même les rythmes rapides, qui donnent l'impression que le disque dur est véloce.

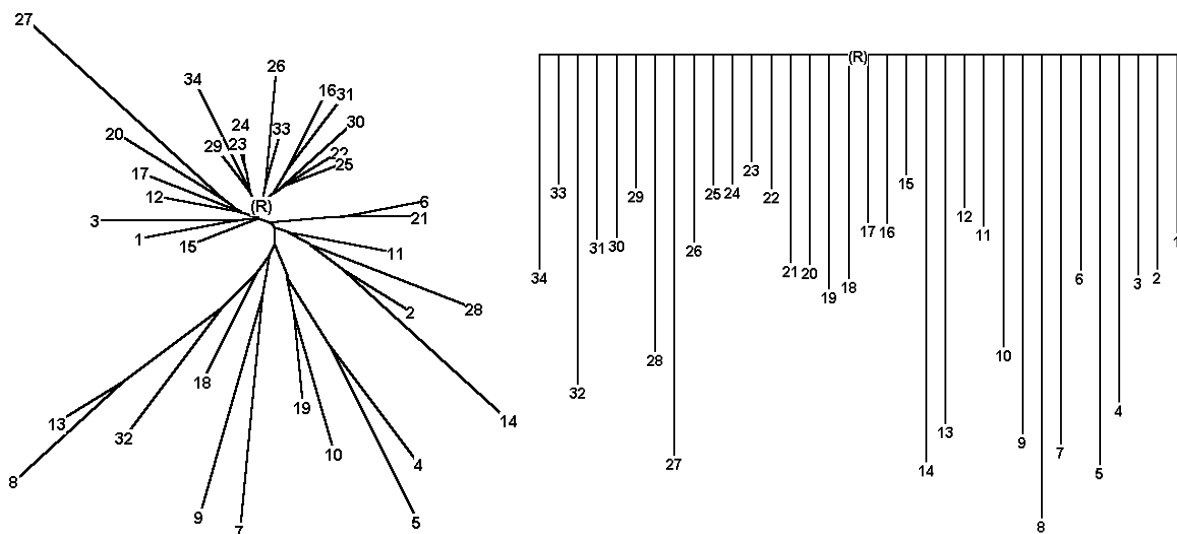
Améliorer un disque dur, à technologie donnée, consiste donc à essayer d'en abaisser le niveau sonore. Les disques étant de plus en plus rapides, donc de fondamentales aiguës. Ceci sera de plus en plus facile à l'aide de capot en caoutchouc par exemple.

3.3. Les bruits stationnaires : mode Idle

Nous entrons ici dans la partie la plus complexe de notre étude. Le nombre d'échantillons est plus important que pour les études précédentes, le nombre de panélistes également. Pour cette étude, l'arbre des panélistes étant plus difficile à interpréter et l'analyse plus sensible, nous commencerons par vérifier la validité des réponses des panélistes. Nous étudierons ensuite l'arbre des échantillons, puis nous chercherons des indicateurs pour expliquer les différentes catégories. Nous supposons la recherche d'indicateurs possible car les échantillons sont tous stationnaires.

3.3.1. Vérification de la validité

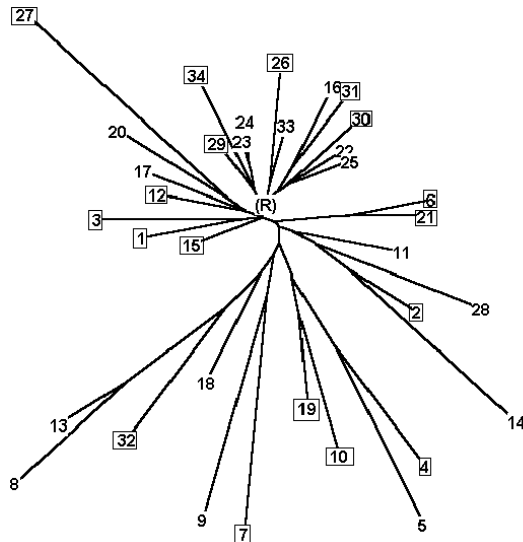
Voici les arbres axiaux et hiérarchiques des panélistes :



Il est difficile de dire quels sont les panélistes à éliminer, s'il y en a. L'arbre présente deux grandes parties, une plutôt dense, synonyme de réponses cohérentes, et l'autre plus étendue. Faut-il supprimer une branche au profit d'une autre ? A quoi correspondent ces deux branches ? Ces questions, pour l'instant sans réponses, nous portent même à douter de la validité de notre test. En vérifier la validité va consister à montrer que la forme générale de

l'arbre n'est pas déterminée par le mode expérimental, mais bien par les différences propres à chaque individu. Par exemple, l'arbre donne l'impression d'être découpé en deux grandes parties. Soit il existe deux grandes façons de voir les choses, soit notre expérience a été biaisée par un facteur non maîtrisé.

Nous avons donc fait un certain nombre d'hypothèses sur ce qui peut influencer les panélistes. Par exemple l'hypothèse sexiste qui considère que les gens catégorisent les sons différemment suivant leur sexe. Nous avons donc représenté l'arbre des panélistes en entourant les hommes.



Ce graphique montre une bonne répartition entre les hommes et les femmes au sein de l'arbre. L'hypothèse sexiste, purement triviale, est donc réfutée. A partir de cet exemple, nous avons procédé de même avec différentes hypothèses basées sur :

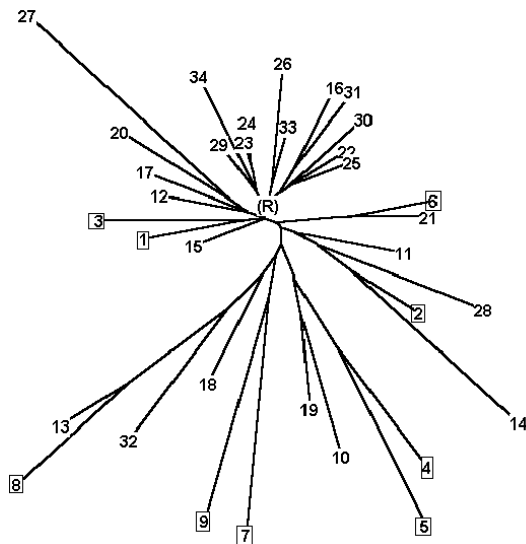
- les personnes ayant des problèmes d'audition.
- les musiciens.
- le personnel du LNE formé en acoustique.

Comme pour l'hypothèse sexiste, nous n'avons rien pu mettre en évidence. Cela signifie que l'arbre présente deux grandes parties pour d'autres raisons.

Le test ayant subi un certain nombre de modifications durant l'étude, nous nous sommes ensuite interrogé sur la portée de ces changements. Nous avons effectué les modifications suivantes :

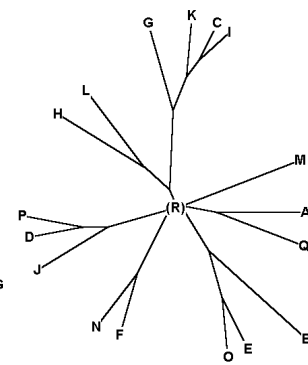
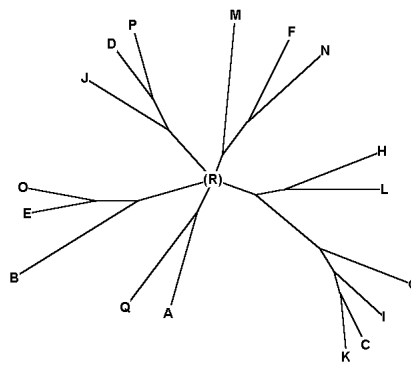
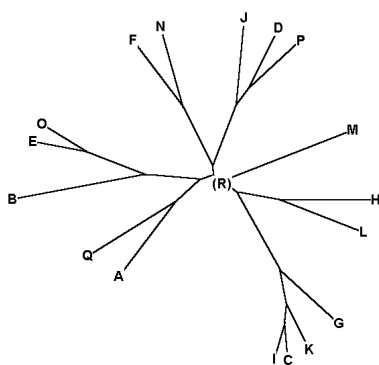
- **Changement de la feuille de test** : Une légère modification de la troisième partie de la feuille de test (Voir annexe) peut-elle entraîner un changement dans les réponses des panélistes ?
- **Mise en boucle des échantillons** : les échantillons étaient, au départ, présentés comme des événements sonores que l'on pouvait déclencher les uns après les autres. La mise en boucle des échantillons crée un bruit de fond permanent. Le panéliste bascule d'un bruit de fond à un autre. La proximité temporelle des bruits lui facilite la tâche.
- **Ajout d'un exemple** : Avant de commencer, certains panélistes ont eu droit à un exemple basé sur des sons de synthèse, pour prendre en main l'interface.

Une étude des différents cas a montré un changement significatif à partir de la mise en boucle des échantillons. Sur l'arbre ci-après, nous avons entouré les panélistes qui ont passé le test avant cette mise en boucle, les autres l'ayant passé après et donc dans de meilleures conditions.



Ceci tendrait à montrer que notre expérience a été faussée par un changement du mode opératoire. Nous nous sommes alors intéressés à la thèse de F. Gyuot qui utilise un critère de sélection basé sur le nombre de catégories. Pour voir l'influence du biais que nous avons introduit en modifiant le test en cours de route, nous avons tracé les arbres des échantillons calculés à partir :

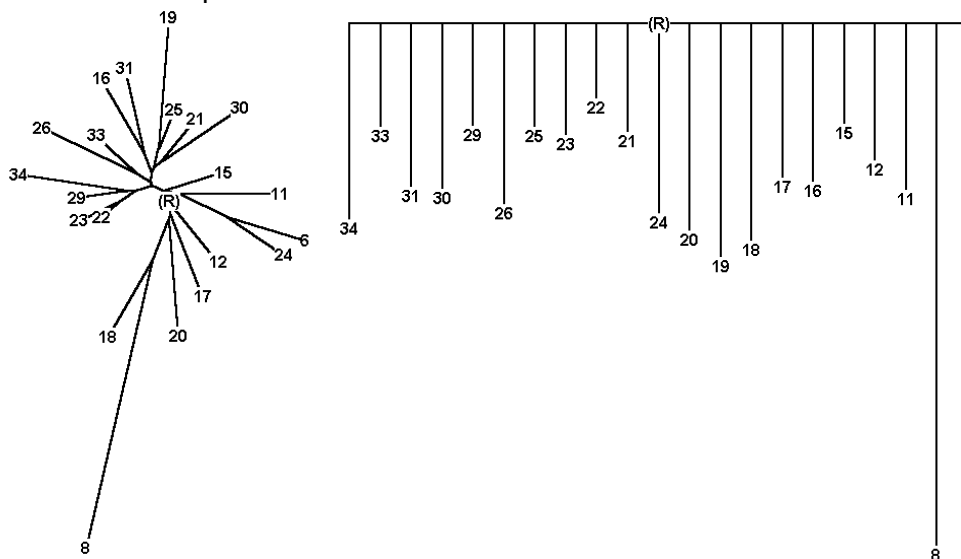
- des personnes ayant passé le test dans sa version définitive.
- de tous les panélistes.
- des panélistes ayant fait plus de quatre catégories.



Une lecture attentive de ces arbres montre une différence tout à fait mineure sur la position de l'échantillon M qui, de toute façon, est assez isolé. Le nombre de panélistes utilisé est suffisamment important pour que le moyennage nivelle les réponses marginales.

Pour le reste de l'analyse nous choisirons donc de supprimer de l'étude les trois premiers panélistes qui étaient au courant des tenants et aboutissants du test et les personnes n'ayant pas fait plus de quatre catégories. Leurs catégories étant des grands groupes, l'information apportée pour l'analyse n'est pas intéressante.

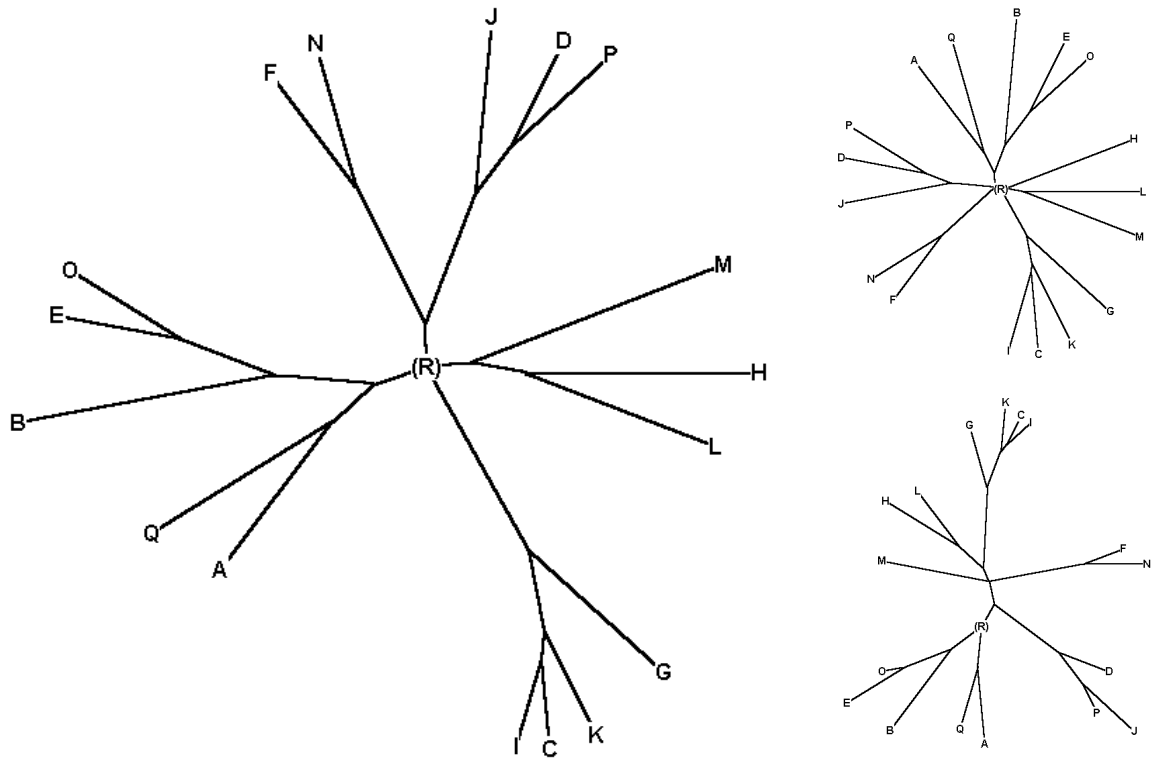
Voici l'arbre des panélistes une fois ce tri effectué :



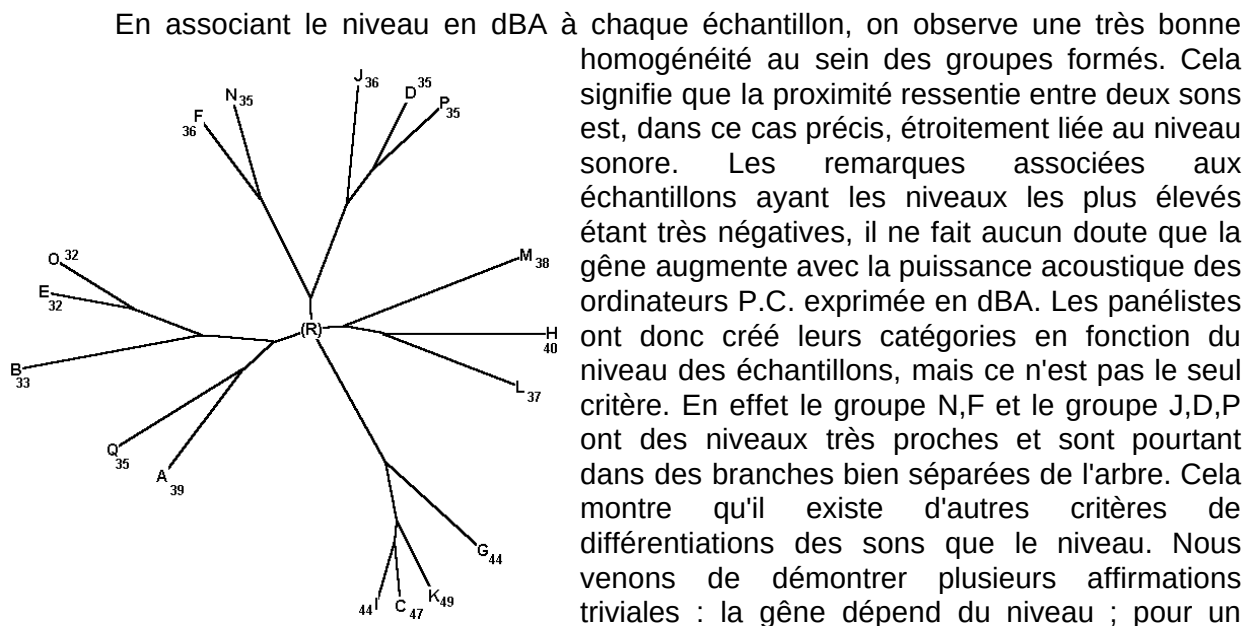
Nous avons alors tout naturellement écarté le panéliste numéro 8. Maintenant que nous avons montré que nos données étaient valides, et après avoir choisi les panélistes à écarter de l'analyse, nous allons pouvoir nous attaquer à la lecture de l'arbre des échantillons.

3.3.2. L'arbre des échantillons.

Voici l'arbre des échantillons, présenté dans sa version classique, puis calculé en donnant moins de poids aux catégories contenant un grand nombre d'échantillons, et enfin, le même arbre calculé avec un algorithme de recherche du plus proche prédécesseur.



Ces arbres vont nous permettre de comprendre comment les panélistes perçoivent les différents échantillons présentés.



niveau donné il existe des sons perçus différemment. Nous allons donc rechercher quels peuvent être ces autres critères et quelle peut être leur influence sur la gêne produite par les bruits d'ordinateur.

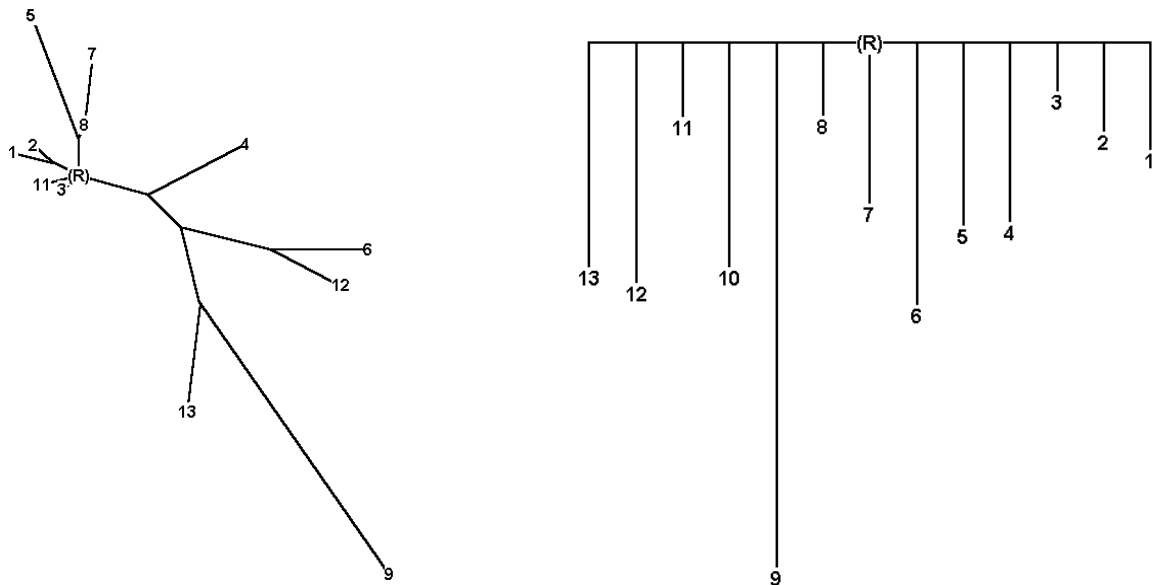
Toutefois, et pour aller plus loin qu'un simple texte d'explication basée sur la lecture de spectres, nous avons recherché des indicateurs qui permettraient d'évaluer de façon fiable la gêne produite. Pour cela, nous nous sommes lancés dans une deuxième campagne d'essais, qui est expliquée en détails dans le chapitre suivant.

3.4. La recherche d'indicateurs

D'après la partie précédente, nous considérons que l'indicateur le plus significatif est le niveau en dBA. En effet, le niveau sonore perçu est le premier facteur de gêne. Nous cherchons donc un indicateur qui permette de différencier les échantillons ayant des niveaux en dBA proches, de les classer selon la gêne ressentie. Pour vérifier la validité d'un indicateur, nous ferons classer par comparaison par paires à un nouveau panel une série d'échantillons égalisés en niveaux. On vérifie ensuite que l'ordre donné par les panélistes correspond à celui donné par l'indicateur. On pourrait ensuite recommencer en égalisant les échantillons selon les deux premiers indicateurs, et en chercher un troisième...

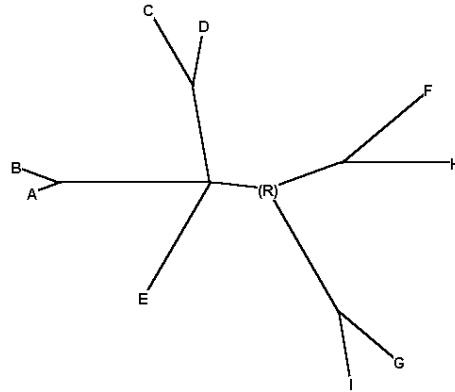
Pour des raisons de temps, nous avons supprimé un certain nombre d'échantillons au passage pour faire passer la durée des tests de trois à une semaine. La sélection a été basée essentiellement sur l'année de fabrication des ordinateurs. Notre étude vise surtout les machines en devenir et pas celles du passé. Cela nous a permis de retenir 9 sons. 11 personnes ont participé au test de catégorisation libre.

3.4.1. La catégorisation libre

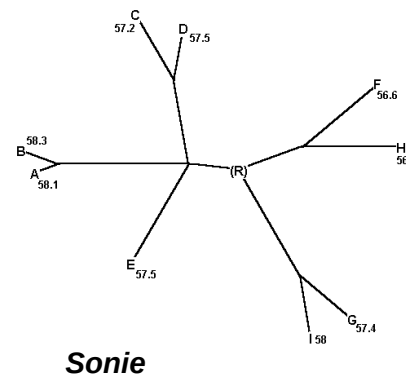
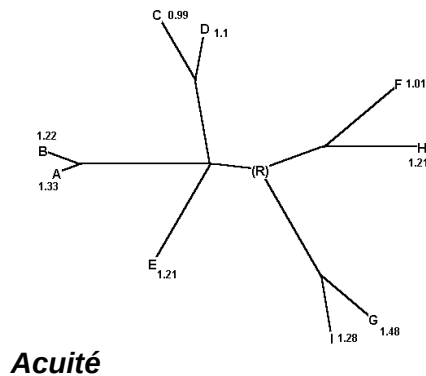


Nous supprimerons de ce test le panéliste n°9 qui n'a fait que trois catégories, et qui est trop éloigné de la moyenne des réponses.

Voici l'arbre des échantillons :



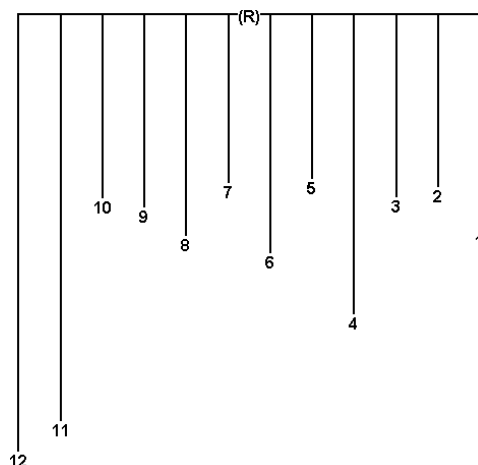
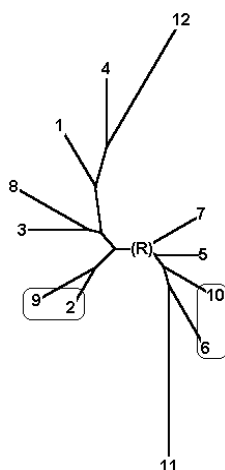
Nous dégageons très facilement 5 groupes : A B ; C D ; E ; F H et G I. En observant la position de la racine, on peut même rapprocher A B C D et E. Une écoute approfondie des sons ainsi qu'une étude sur la valeur des indicateurs permettent de dégager les informations suivantes : C'est la sonie (le niveau perçu d'un son) et l'acuité (son caractère aigu) qui déterminent les catégories formées par les panélistes. Pour s'en convaincre observons les mesures d'acuité et de sonies associées aux arbres suivants :



3.4.2. La comparaison par paire

Au test de catégorisation libre, nous avons ajouté un test de comparaison par paire pour objectiver l'appréciation des commentaires. Ce test consiste à présenter aux différents panélistes une suite de couples de sons. Pour chaque couple, on demande aux panélistes de choisir le son ressenti comme le plus agréable, ou le moins gênant. Ils ont également la possibilité de ne pas faire de choix. Les tests de comparaison par paires permettent d'établir un classement fiable entre les échantillons.

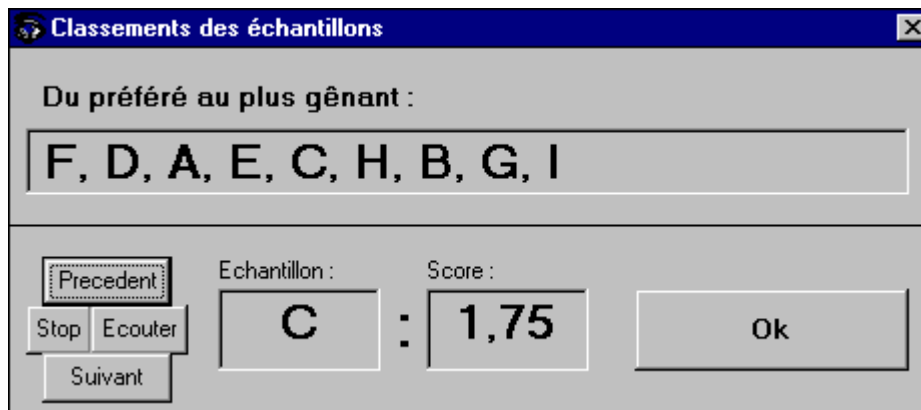
Comme pour les tests de catégorisation libre, et selon le même principe, on peut établir un arbre de distance entre les panélistes, le voici :



Deux remarques :

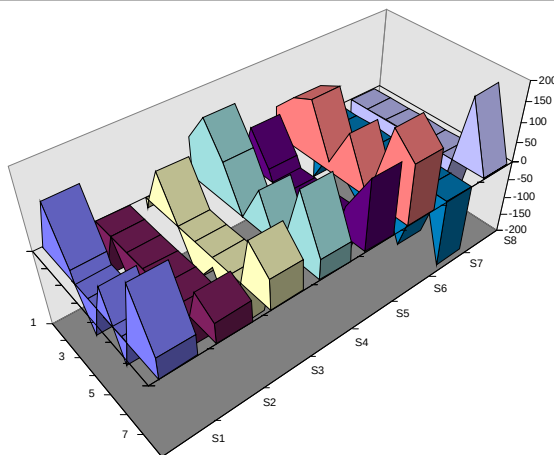
- Nous supprimerons de façon classique les panélistes 11 et 12.
- les panélistes 9 et 2 sont en fait la même personne à quelques jours d'intervalle. Idem pour les 10 et 6. Ceci montre une bonne répétabilité de la méthode expérimentale

Ainsi, voici le classement obtenu par notre programme :



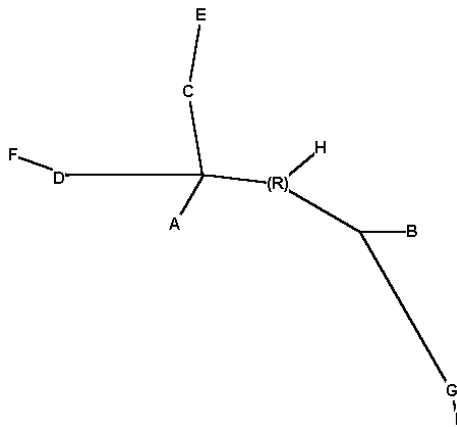
En plus du classement, c'est à dire de l'ordre de préférence équivalent aux réponses des comparaisons par paires, nous avons accès à un certain nombre d'informations complémentaires :

- La notion de score, qui permet d'évaluer une distance entre les échantillons. Pour A,B,C classés dans cet ordre, B est-il plus proche de A, ou de C ? Le score des échantillons A,B,C, permettrait de répondre à cette question. Plus le score d'un échantillon est grand, plus le nombre de panélistes qu'il l'ont apprécié est important. Pour résumer, un gros score signifie que le son est ressenti comme agréable.



Ici, le détail de la matrice des résultats de la comparaison par paires est affiché en vue 3D pour donner une idée de la façon dont est calculé le score. Les valeurs 1,2,3,...,8, ainsi que les valeurs S1,S2,S3,...,S8 représentent les échantillons A à I. Si la valeur de l'intersection est positive cela signifie que l'échantillon sur la ligne a été préféré à celui sur la colonne. On constate que conformément à l'ordre calculé précédemment, les sons D et F contiennent beaucoup plus de réponses positives que les sons G et I. Le score est en fait la somme de la valeur de chaque ligne.

- L'arbre des échantillons, qui n'a pas le même sens ici que dans le cas des tests de catégorisations libres. En effet, même s'il représente toujours des distances entre échantillons, la collecte de ces distances n'est plus liée à des catégories, mais a une notion de proximité elle-même liée au nombre de personnes indécises et au nombre de personnes ayant des avis contraires, par rapport au nombre de personnes ayant des avis tranchés.



Cet arbre apporte un autre type d'information. S'il avait été totalement aplati, linéaire, cela aurait signifié qu'il n'existe qu'un axe de comparaison entre les sons : c'est toujours le même critère que les panélistes utilisent lors de leurs choix. En pratique, comme on le voit, il existe une petite branche (E,C) qui indique qu'il n'existe pas de critères de choix exclusifs. Cela peut signifier également que les résultats comportent des cycles du type $A > B$, $B > C$, $C > A$. Cet arbre étant très éloigné d'un arbre en étoile, il indique une bonne cohérence des résultats des panélistes.

3.4.3. Synthèse

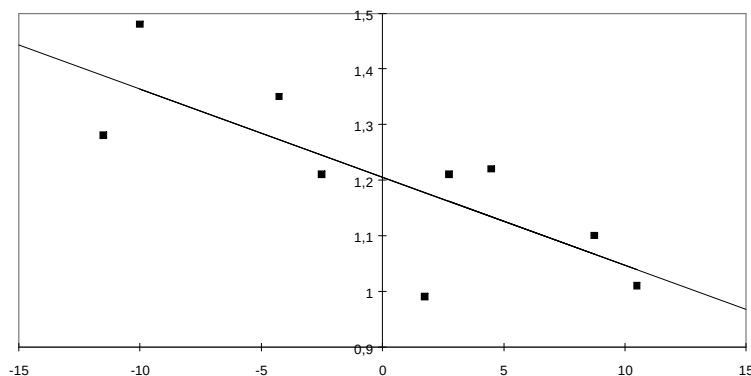
Nous avons vu que la sonie et l'acuité avaient un rôle prépondérant dans le choix des catégories. Nous allons maintenant faire la synthèse de ces résultats en montrant que l'acuité est un bon complément du dBA.

La sonie

La sonie est un indicateur qui mesure le niveau perçu. Il s'agit en fait d'une légère amélioration du dBA, qui utilise des courbes de pondérations fonctions du niveau, et prend en compte un effet de masque spectral. La sonie est absolument prépondérante dans la gêne causée par des sources sonores. Comme elle est très proche des mesures qui sont actuellement réalisées en dBA, nous conserverons le niveau en dBA comme premier indicateur de gêne.

Acuité

Voici le graphique qui montre l'évolution de la sonie en fonction du score obtenu lors de la comparaison par paires.



On observe une régression de l'acuité en fonction du score. Le phénomène perceptif qui se cache derrière la notion d'acuité est en fait la sensation de hauteur. Plus le bruit d'un ordinateur est aigu, plus il est gênant (à niveau constant)

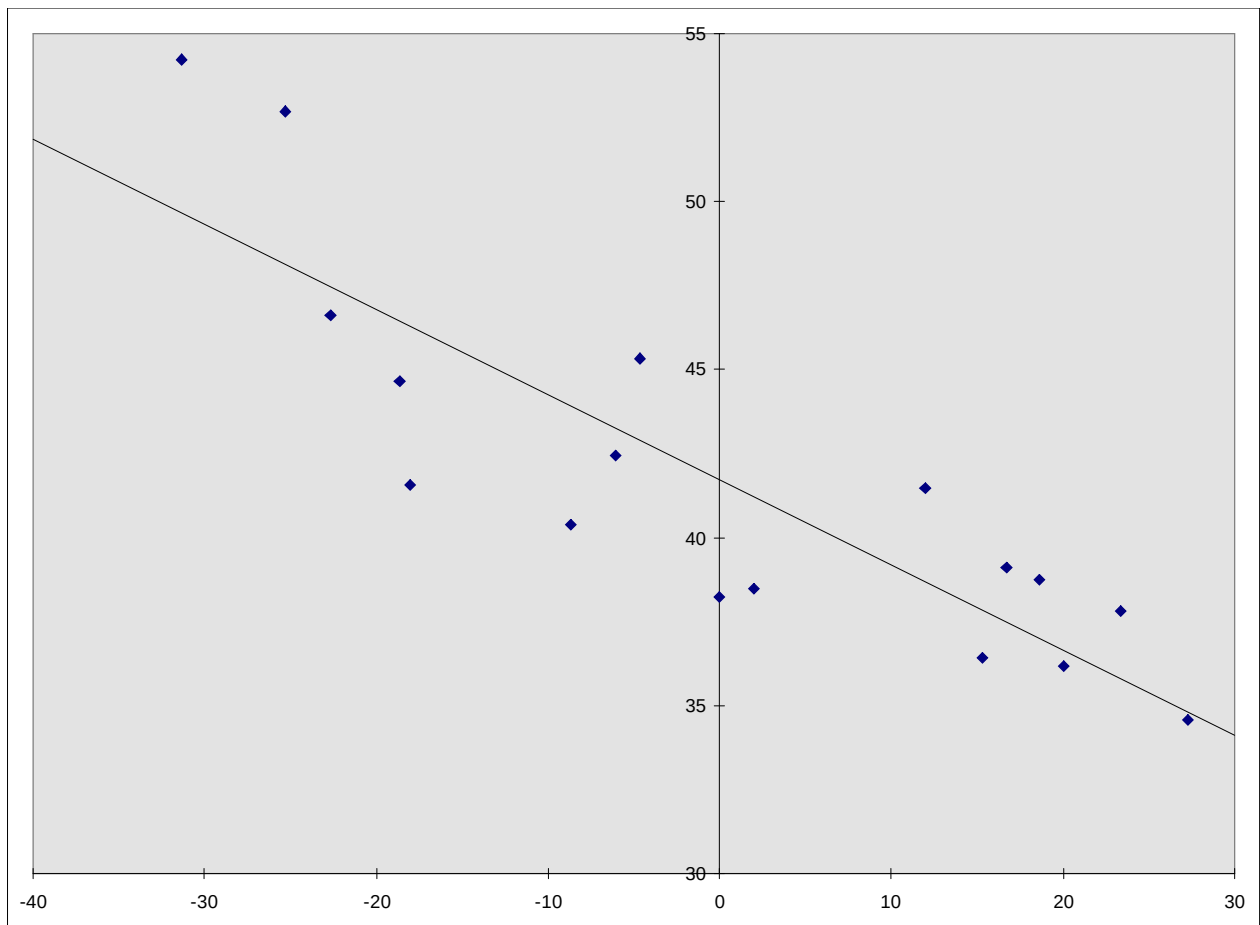
C'est un résultat très intéressant : ajouter une mesure d'acuité à une mesure en dBA permet de comparer deux produits ou prototypes de même niveau, et d'autre part cela apporte une information complémentaire sur le son (s'il est aigu ou non), toutes les personnes n'étant pas sensibles de la même façon aux sons aigus. Il est important de préciser que l'acuité est calculée à partir d'un rapport de deux sonies, l'une étant pondérée de façon à amplifier le haut du spectre. Les valeurs de l'acuité oscillent suivant les échantillons autour de la valeur 1 qui a été fixée arbitrairement pour un son pur d'une hauteur de 1000Hz. Plus cette valeur est faible et plus le son est grave. Ici les panélistes ont préféré les sons graves.

On peut combiner les valeurs de niveaux et d'acuité pour obtenir un indicateur de la gêne. De par la définition de l'acuité cet indicateur sera de la forme :

- $I = N \cdot A^x$
- I étant l'indicateur recherché
- N , le Niveau en dBA
- A , l'Acuité
- x un terme correctif qui détermine l'influence de l'acuité par rapport au niveau.

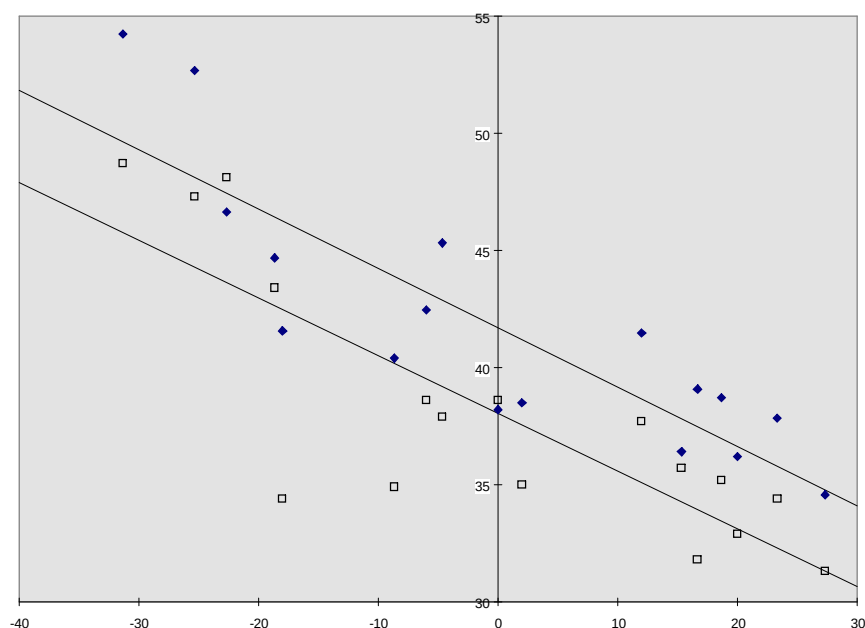
Expérimentalement on trouve $x=0,5$.

Nous pouvons vérifier sur le graphique suivant la cohérence de cet indicateur appliqué à notre premier cas de figure : le mode Idle avant son égalisation. Hélas par manque de moyens, cette courbe à été obtenue par moyennage de trois fois le même individu.



Comme on le voit, on a une bonne corrélation entre les données subjective (le score sur l'axe des abscisses) et des données objectives (mesure d'un indicateur sur l'axe des ordonnées).

	dBa	Acuité	Score	produit
A	37.9	1.43	-4.7	45.32
B	32.9	1.21	20.0	36.19
C	48.1	0.94	-22.7	46.63
D	34.4	1.46	-18.0	41.57
E	31.3	1.22	27.3	34.57
F	35	1.21	2.0	38.5
G	47.3	1.24	-25.3	52.67
H	38.6	0.98	0.0	38.21
I	43.4	1.06	-18.7	44.68
J	35.7	1.04	15.3	36.41
K	48.7	1.24	-31.3	54.23
L	38.6	1.21	-6.0	42.46
M	37.7	1.21	12.0	41.47
N	35.2	1.21	18.7	38.72
O	31.8	1.51	16.7	39.08
P	34.4	1.21	23.3	37.84
Q	34.9	1.34	-8.7	40.4



On peut comparer le modèle basé sur la mesure du niveau (petits carrés) à celui amélioré qui tient compte et du niveau et de l'acuité (les losanges pleins).

- Le modèle basé sur le dBA possède un écart type par rapport à sa droite des moindres carrés de **15.4**
- Le modèle basé sur une combinaison dBA et acuité possède un écart type nettement inférieur : **7.4**

Certains sons, bien que de niveau faible, sont gênants par leur caractère aigu. Le nouveau modèle mis en place ici en tient compte et est donc meilleur que celui qui ne tient compte que du niveau.

SYNTHESE GENERALE

Cette étude, ou plutôt ces études, nous ont appris un certain nombres de choses importantes sur la façon dont un utilisateur ressent les bruits qui émanent d'un PC. D'autre part cela nous a permis de mettre en place une méthodologie et des outils qui sont réutilisables pour d'autres produits. Le but de cette synthèse sera donc de faire le point sur ce que l'on a appris sur le bruit des P.C. et sur la qualité acoustique en général. Cette partie sera également le lieu des remarques, limites et suggestions liées à notre étude.

Commençons par le plus général : une étude de la gêne acoustique n'a de sens que par rapport à un contexte : si le son est produit, subi, dans quels lieux, etc... Il est donc important de respecter l'écologie du produit pour ne pas fausser le résultat. Cette notion d'écologie qui nous vient des ergonomes est absolument essentielle à la validité des mesures. Il faut donc essayer de replacer l'écoute des sons dans le contexte où ils sont généralement produits.

Au sujet de la qualité du bruit des PC, nous constatons une très nette amélioration au fil des générations des machines . Les fabricants font en effet des efforts dans ce sens. Il est vrai que les consommateurs sont sensibles à cet aspect du produit avec lequel ils travaillent, et souvent, s'en plaignent.

Nous avons également profité de cette étude pour comparer deux méthodes d'investigation. En premier lieu, la méthode de comparaison par paires ne permet pas de savoir pourquoi les panélistes ont choisi cet ordre plutôt qu'un autre ; elle permet de déterminer avec précision cet ordre. La méthode dite de catégorisation libre est moins performante dans ce domaine, mais c'est une méthode d'investigation beaucoup plus fine que la comparaison par paires quand il s'agit de comprendre les phénomènes perceptifs. Enfin, une rapide étude sur la répétabilité de ces deux méthodes va dans le sens d'une meilleure fiabilité de la méthode liée à la catégorisation libre, en tout cas pour un faible nombre de sons (moins de 10). Pour conclure cette mini étude comparative, les deux méthodes utilisées apparaissent complémentaires. Nous utiliserons la méthode basée sur la catégorisation libre dans tous les cas où une analyse est nécessaire, et la comparaison par paires, quand nous aurons besoins de trier les sons de façon précise les sons.

Enfin les résultats que nous avons obtenus sont presque directement exploitables pour l'ensemble des bruits **stationnaires** de faible **niveau**, comme les bruits de ventilations, d'aérations. En reprenant le principe de l'étude, on peut très facilement trouver des résultats pour les bruits stationnaires intermittants, comme les réfrigérateurs.

CONCLUSION

Finalement le but de ce projet était de développer un certain nombre de compétences nouvelles au L.N.E. dans le domaine de la psychoacoustique, tout en appliquant les outils et le savoir faire à un cas concret pour pouvoir mesurer l'efficacité des méthodes mises en place.

Le L.N.E. peut désormais proposer sa compétence :

Pour le développement de produits :

- Evaluer différents prototypes ou solutions grâce à une analyse basée sur des données subjectives fournies par un groupe de panélistes.
- Comprendre les critères d'appréciations des panélistes pour cibler d'éventuelles améliorations possibles.
- Mettre en place des moyens objectifs d'évaluations et de contrôles de la qualité acoustique perçue.
- Aider à rédiger un cahier des charges acoustiques (interne au fabricant ou pour ses relations avec des fournisseurs ou sous-traitants)

Pour les instituts de consommateurs :

- En complément des mesures objectives, réaliser des tests subjectifs permettant d'apprécier la qualité des produits.
- Mettre en place des indicateurs objectifs qui, facilement mesurables, évaluent la gêne acoustique que dégage un produit.

Pour les distributeurs :

- Comparer directement différents produits entre eux.
- Mettre en place des critères de tests pour sélectionner les produits.

Pour les marques de qualité :

- Aider à développer des critères de qualité qui permettent de valoriser le produit.

D'un point de vue plus personnel, ce projet m'a été profitable et enrichissant. J'ai pu apprendre et progresser dans différents domaines :

- En gestion de projet.
- En Acoustique générale
- En Psychoacoustique
- En développement sous Windows

Enfin, un projet de 24 semaines permet de se prouver que l'on est prêt à aborder le monde du travail sous les différents points de vue qui le composent, des compétences techniques aux qualités humaines. En un mot, se sentir prêt à assumer de nouvelles responsabilités.

BIBLIOGRAPHIE

- [BG,98] **Barthélémy J.P.,Guénoche A.** (1988) *Les arbres et les représentation de proximité*. Masson. Paris
- [BG,89] **Barthélémy J.P.,Guénoche A., Hudry O.** (1989) Median linear orders : Heuristics and a branch and bound algorithm, *European Journal of Operational Research*, **42**, 313-325
- [BI,74] **Bismark G. Von.** (1974) Sharpness as an attribute of the timbre of steady Sounds. *Acustica*. **30**, 159-172
- [GC,96] **Canévet G.** (1996) La psychoacoustique. Aspects fondamentaux et exemples d'applications. *Acoustique et technique*, **5**, 7-13
- [GF,96] **Guyot F.** (1996) Etude de la perception sonore en termes de reconnaissance et d'appréciation qualitative : une approche par la catégorisation., *Thèse de doctora de l'université du maine*.
- [GF,96b] **Guyot F.** (1996) Une méthode d'étude de la qualité acoustique des sons réels complexes. *Acoustique et technique*, **7**, 23-26
- [GR,75] **Grey J. M.** (1975) *An exploration of Musical Timbre*. Ph D disertation. Department of Music report STAN-M-2. Departement of Psychology. Standford University, Standford.
- [HP,96] **Auweræer H. Van Der, Ponseele P. Van De** (1996) Sound quality evaluation and measurement criteria. *Les nouveaux outils de la qualité acoustique, comment faconner l'iamge de vos produit*. publication CETIM
- [KB,39] **Kendall, M.G., Babington Smith B.** (1939) On the méthode of paired comparison. *Biometrica*, **31**, 324-345.
- [MA,97] **McAdams S.** (1997) L'organisation perceptive de l'environement sonore, Rencontres IPSEN en ORL.
- [MA,98] **Susini P., Misdariis N., Winsberg, S., McAdams S.** (1998) Caractérisation perceptive de bruits, *Acoustique et technique*, **13**,11-15
- [RO,78] **Rosch E. Lloyd B.** (1978) *Cognition and Categorization.*, Laurence Erlaum Ass. Publishers, Hillsdale NJ
- [SC,66] **Schaeffer P.** (1966) *Traité des objets musicaux*. Le seuil, Paris.
- [SM91] **Smith E. E.** (1991) Categorization., *Invitation to Cognitive Sciences : Thinking*. Eds D. N., Osherson, E. E. Smith, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, 33-53
- [ZW,81] **Zwiker E., Feldtkeller R.** (1981) *Psychoacoustique, l'oreille récepteur d'information*. Masson et CNET-ENST. Paris
- [ZW,91] **Zwiker E.** (1991) Program for Calculating Loudness Acording to DIN45631 (ISO532B), *J. Acoust. Soc. Jpn (E)*, Vol **12**, N°1
- [ZO,92] **Zollner M.** (1992) Psychoacoustic Roughness. A new quality critérien, *Cortex electronic (D)*