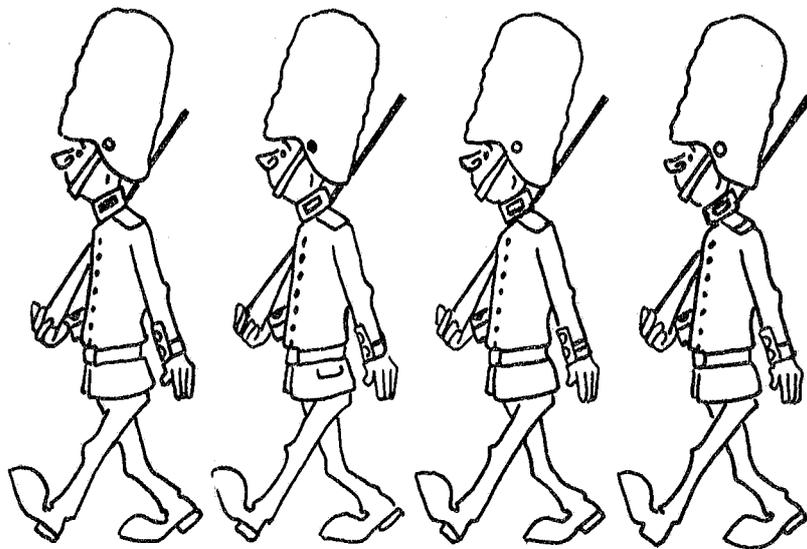


E. LEIPP

IMAGES,
ET TRAITEMENT OPTIQUE
D'IMAGES

JUIN 1973

N°68



GAM

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE

UNIVERSITÉ PARIS VI . TOUR 66 . 4 PLACE JUSSIEU . PARIS 5°

G. A. M.
Groupe d'Acoustique Musicale
Laboratoire d'Acoustique
Université de PARIS VI
Tour 66 - 5° Etage
4, Place Jussieu
75230 - PARIS CEDEX 05

Paris, le 6 Septembre 1973

BULLETIN N° 68

Thème : IMAGES ... et TRAITEMENT OPTIQUE D'IMAGES
par E. LEIPP

REUNION DU 28 Juin 1973

Monsieur le Doyen GAUCHIER n'a pu être des nôtres en raison de ses obligations professionnelles.

Etaient présents :

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président.
M. LEIPP, Secrétaire général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

Melle RADKIEVICZ (Etudiante Musicologie, Sorbonne); M. DUPREY (architecte);
M. P.G. LANGEVIN (Assistant Université); M. TROTIER (Ingénieur); M. Luc
ETIENNE (écrivain); M. Akira TAMBA (Compositeur : CNRS); M. DAUMAS; Melle
LEIPP Françoise (orthophoniste); Melle CHIRON (institutrice); M. BATHIS-
SIER (secrétaire SIERE); M. KOPFF (CEBTP); Dr POUBLAN (Médecin biologiste);
M. ROGER (Ministère Finances : budget); M. SOLE (ingénieur électronicien);
M. ROCHE (ingénieur); M. DEMARS (Professeur); M. LEOTHAUD (Assistant Sor-
bonne; musicologie); Melle GILLIE (Etudiante); M. GUIGNARD (ingénieur);
M. GEOEN (RTB : Prof. INSAS); M. BESNAINOU (Ingénieur); M. GERNET (Etu-
diant); M. CONDAMINES (Laboratoire d'acoustique ORTF); M. ALAIS (Profes-
seur Université PARIS VI, Mécanique); M. ANTONIETTI (Etudiant); M. MAGNAN
(Etudiant); Mme MOUSSET (Orthophoniste); M. FORET (compositeur).

Etaient excusés

M. Charles MAILLOT (Lyon); Melle Edit WEBER; M. CHENAUD; M. SIMANE;
Mme BOREL MAISONNY; Melle NOUFFLARD; M. VIENOT; M. LEHMANN; Mme STRAUS;
M. GEAY; M. FRANCOIS; M. TALANON; Mme GALLICHE.

PERIODIQUE : 6 Numéros annuels

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Université PARIS VI

Nom du Directeur : M. le Professeur SIESTRUNCK

N° d'inscription à la Commission Paritaire : 46 283

IMAGES ... ET TRAITEMENT OPTIQUE D'IMAGES

E. LEIPP

P L A N

	<u>Pages</u>
1°) INTRODUCTION	1
2°) POSITION DU PROBLEME	2
3°) CORRELATION D'IMAGES	3
4°) AUTOCORRELATION D'IMAGES	3
5°) TRAITEMENT D'IMAGES VISUELLES	9
6°) CONCLUSIONS	13

I. INTRODUCTION

Du temps que j'étais écolier et lycéen, je me passionnais pour la photographie. A l'époque, nous n'étions pas submergé par les images comme de nos jours; on en avait même une certaine fringale, et celui qui se sentait attiré par les images était bien obligé de les fabriquer lui-même, soit en dessinant, soit en " faisant de la photo ". Les appareillages de prise de vue étaient alors des machines beaucoup moins sophistiquées que de nos jours; ceux qui n'avaient pas de bourse bien garnie développaient eux-mêmes leurs clichés et papiers. La bourse plate n'est pas toujours un inconvénient, à longue échéance : quand on n'a pas de moyens, on est obligé de déployer de l'imagination, et l'habitude de réfléchir et de chercher des solutions possibles avec des moyens simples finit ... par forger une mentalité de chercheur !

Quoiqu'il en soit, j'ai appris à faire de la " cuisine photographique " de bonne heure, et les connaissances pratiques acquises ainsi m'ont été constamment utiles : j'ai déjà eu l'occasion de le montrer lors de la réunion sur la stéréophonie (GAM N° 62, 1972), et à de nombreuses autres occasions : Congrès des preneurs de son à COLOGNE (1972), Festival du Son en Mars 1972 et 1973, Réunions Scientifiques du GALF en janvier et en avril 1979 etc... (bib.2,3,4,6,7,8). D'autres résultats intéressants sont apparus entre temps, et j'ai pensé que le moment était venu de faire le point de mes recherches sur ce thème.

On pourrait s'étonner qu'un " acousticien " s'occupe d'images.... Mais en y regardant de plus près, rien de plus évident ! En effet, il est désormais possible de transformer n'importe quel événement acoustique en images, en sonagrammes, et dès lors quoi de plus naturel que de chercher à utiliser des méthodes de traitement de l'information acoustique par voie optique. C'est pour apporter la preuve de l'efficacité de cette façon de penser les problèmes acoustiques ainsi, que j'ai cru utile de regrouper ce qui a été fait naguère et de ce que je fais actuellement sur ce thème.

Je vais donc tenter ce jour, à travers quelques exemples concrets, de résumer trois ans de recherche systématique sur cette question d'en tirer les éléments d'une doctrine originale utilisable pour le chercheur en acoustique, de définir une méthode de recherche adaptée aux problèmes d'acoustique et même - pourquoi pas - aux problèmes de l'image en général, du cinéma etc...

On va parler d'images.... mais l'expérience nous le montre journallement, il est indispensable de définir ce terme susceptible de signifier une infinité de choses différentes....

Le mot " image " tel que je l'entends ici, a le sens très général de " configuration " : configuration de points matériels, de points lumineux, d'impulsions électriques matérialisées sur une " mémoire ", etc... Des synonymes sont les mots " forme ", "gestalt"; en Français : " pattern "

Pour des mathématiciens ou des spécialistes de la théorie des ensembles le mot, " image " pourrait encore être traduit par " ensembles " ou " sous-ensembles ", et les opérations analogiques photographiques que nous proposons peuvent aussi bien, dès lors, être considérées du point de vue mathématique ou informatique pour cela.

Enfin, " image ", peut encore être pris dans le sens usuel, imprécis, comme on peut le comprendre lorsqu'on a gardé une âme d'enfant !

Ce qui va être en cause ici est un procédé photographique simple et peu onéreux, permettant au chercheur " pauvre " (les vrais chercheurs sont tous pauvres....) de faire du traitement économique de l'information, sans laser, sans hologrammes et sans ordinateur (autre que celui qu'il possède dans son cerveau....). Cette méthode est utilisable dans un grand nombre de domaines, et très généralement partout où il est possible de transformer un phénomène quelconque en configuration; c'est le cas, tout particulièrement pour l'acoustique, dans tous ses aspects.

Je dois avouer que ce qui est en filigrane sur tous mes efforts en ce domaine, depuis quelques années, c'est la hantise de réussir à comprendre les extraordinaires performances du système auditif humain, éventuellement à en simuler les mécanismes. Car dès l'apparition de la cybernétique, il était devenu clair pour moi qu'on ne réussirait à comprendre les problèmes de l'audition qu'en passant par la simulation. Le modèle fonctionnel que je propose depuis longtemps sous des formes plus ou moins simplifiées, résume bien le problème, et c'est pourquoi il n'est sans doute pas inutile d'y revenir sommairement.

II. POSITION DU PROBLEME

J'ai eu souvent l'occasion d'attirer l'attention sur un point qui me semble important : notre système auditif (ainsi d'ailleurs que notre système visuel et nos autres sens), contrairement à ce que conduit à penser la doctrine conventionnelle, ne représente pas un centre de métrologie acoustique, où les grandeurs physiques des sons seraient enregistrées, mesurées et traitées de façon classique, éventuellement par voie informatique. Notre système auditif n'est visiblement incapable de faire des mesures; il est organisé admirablement, par contre, pour faire des rapports, des comparaisons.

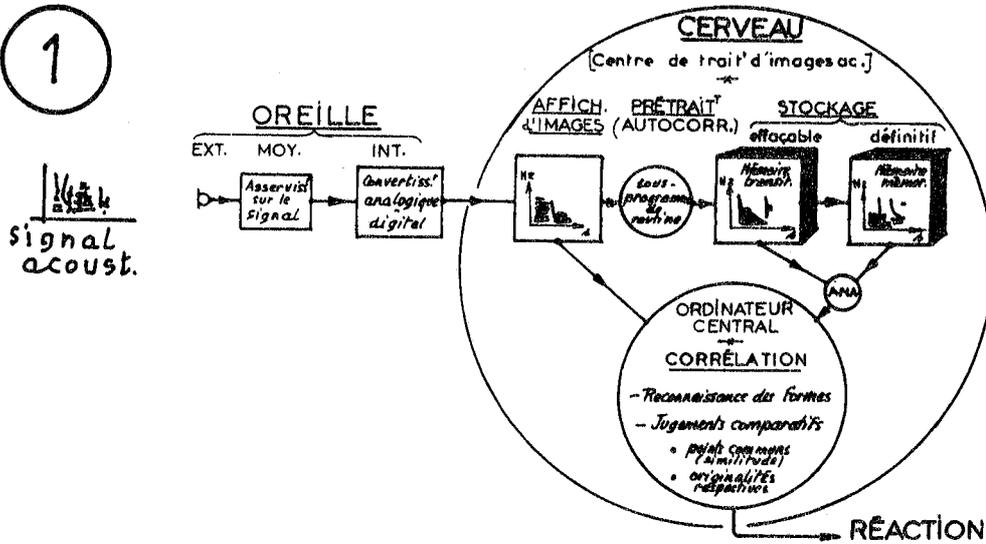
Notre système auditif (fig.1) est un système permettant de capter des phénomènes acoustiques, physiques, de les convertir en " images ", en configurations d'impulsions, enregistrées ensuite sur trois types distincts de mémoires (instantanée, transitoire et mémorisante). L'information ainsi stockée est ensuite traitée de façon particulière et on aboutit à une réaction du sujet. Des observations de longue durée me portent à croire que cette " façon particulière " comporte deux mécanismes fondamentaux, deux " programmes " de traitement essentiels : un programme de prétraitement (traitement d'ordre proche) et un programme de traitement (d'ordre lointain.)

1°) Un programme de prétraitement

L'information acoustique que nous envoie le monde extérieur est, on le sait, d'une richesse inouïe. On s'en rend compte lorsqu'on fait l'analyse sonographique de parole, de sons instrumentaux, de musique, de bruit, etc... Eu égard aux dimensions finies de notre cerveau et à la quantité considérable de données que nous avons en mémoire après un certain nombre d'années de vie, il est matériellement exclu de penser que nous puissions stocker l'intégralité des signaux physiques afférents. Il doit donc y avoir quelque part un prétraitement permettant de filtrer l'information, de ne retenir que le squelette informatif des " Formes " perçues, les " traits pertinents " des signaux, d'éliminer la redondance inutile, et en particulier ce qui se répète continuellement, identique à lui-même, dans le temps. La théorie de l'information nous a apporté quelques idées directrices de ce point de vue (bib.9 Moles), et les spécialistes des problèmes d'information nous ont fourni quelques " outils " mathématiques pour réaliser ce filtrage, en particulier sous l'aspect de l'auto-corrélation. Autocorréler un signal, c'est comparer entre elles, deux à deux, de brèves tranches successives du signal. Ceci permet d'établir si oui ou non il y a eu changement entre deux

MODÈLE FONCTIONNEL DE L'AUDITION

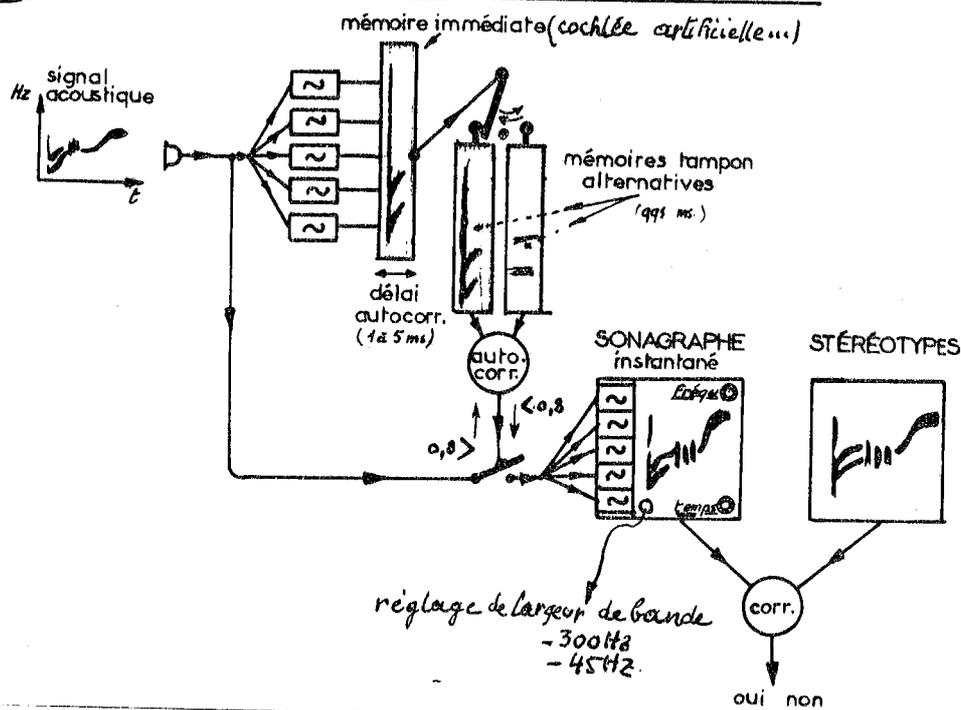
1



Ce schéma indique l'enchaînement des diverses fonctions en présence dans le système auditif - qui capte et traite des images. Deux d'entre ces fonctions sont essentielles : corrélation et autocorrélation d'images

2

SIMULATION DE L'AUDITION



On peut actuellement simuler les deux fonctions essentielles par des moyens analogiques ou informatiques : ci-dessus l'organigramme que j'ai proposé en 1969

tranches, si le changement éventuel est aléatoire (dans quel cas il ne peut y avoir d'information perçue par l'homme) ou si ce changement suit des lois telles qu'une séquence acoustique aboutisse à une " forme " cohérente, perceptible par l'homme. Nous y reviendrons plus loin avec des exemples. L'autocorrélation sur " images " acoustiques, permet ainsi d'éliminer ce qui ne change pas dans le temps, pour ne retenir que ce qui change, c'est-à-dire, répétons-le ce qui est en fait l'information perçue par le récepteur humain. L'autocorrélation résulte en fait d'une série de comparaisons d'ordre proche. Sur la mémoire instantanée s'inscrit toute l'information acoustique captée; mais le programme d'autocorrélation permet d'en supprimer tout ce qui ne change dans un délai donné, et qui, en fait, représente une " redondance " énorme dans les messages acoustiques normaux de notre environnement : on en trouvera des exemples plus loin.

2°) Un programme de traitement de l'information d'ordre lointain...

Les " images " stockées par apprentissage dans les mémoires transitoires et mémorisantes, et qui ne sont plus, en fait, que les squelettes informatifs du message, servent de référence pour reconnaître les signaux qui entrent actuellement dans le système auditif. On peut se représenter le mécanisme de reconnaissance de la façon suivante. Lorsqu'une séquence acoustique apparaît, cette " image " est alors comparée à l'image schématique stockée précédemment lors de l'apprentissage dans les autres mémoires. On peut imaginer un simple mécanisme de superposition des deux images, permettant de déterminer le nombre de points communs entre elles. Si on constate 100 % de points communs, on " reconnaît " l'image afférente. Si le pourcentage est plus faible, mettons 90 %, on comprend qu'il s'agit de la même chose, mais avec des variantes; si le taux de similitude n'est que de 5 %, on en déduit qu'il s'agit de tout à fait autre chose, etc... Il s'agit bien ici d'opération de " corrélation ", de comparaison entre blocs d'information de longue durée (quelques secondes).

Les deux mécanismes : corrélation et autocorrélation d'images existent certainement dans notre système auditif. L'un permet de reconnaître les formes acoustiques, l'autre de les simplifier de n'en conserver que l'essentiel, réalisant ainsi une économie considérable dans le stockage de l'information.

Il s'agit ici d'un schéma fonctionnel abstrait, d'un " organigramme ". Mais il y a bien longtemps que j'ai pensé à la possibilité d'une réalisation matérielle, analogique électronique d'un tel système. J'ai même beaucoup insisté sur l'intérêt d'une telle réalisation, à l'une de nos réunions secrètes du laboratoire devant M. SIESTRUNCK, MALAVARD, SAPALY, QUINIO, MOUTET, J.S. LIENARD, Helle CASTELLENGO (réunion du 10.2.1969) et proposé le plan de recherche suivant (fig.2); qui n'eut malheureusement pas de suites. Aussi ai-je cherché des solutions pour réaliser matériellement ce projet avec les " moyens du bord " dont je dispose : émulsions sensibles, appareil photo, sonographe etc... ce que je me propose ici, c'est de communiquer le résultat de mes recherches dans ce sens, et en particulier de préciser la méthode que j'ai élaborée pour faire de la corrélation et de l'autocorrélation d'images photographiques. Commençons par la corrélation

III. CORRELATION D'IMAGES

Il s'agit ici de comparaison globale entre deux blocs d'information, visualisés sous forme d'images optiques ou acoustiques. Je commence par rappeler sommairement les recherches et publications que j'ai faites à ce sujet, et auxquelles je renvoie pour plus de détail (voir bibliographie).

1°) GENERALITES.

Les premières tentatives que j'ai faites pour comparer deux images acoustiques remonte bien loin. C'était à l'époque où je faisais, en collaboration avec M. Charles MAILLOT de Lyon, des recherches pour définir la qualité sonore comparative de cordes harmoniques.

De longues expérimentations préalables, relatives à la comparaison de la " qualité " de sonorité des violons, m'avaient déjà montré qu'il était impossible de formuler un jugement à peu près valable sur la qualité sonore d'un instrument qu'en procédant par comparaisons rapides entre paires de violons. On joue une ritournelle durant 2 ou 3 secondes successivement sur l'un puis l'autre instrument; les deux " images " sont alors assez " fraîches " (encore inscrites sur notre mémoire instantanée) pour pouvoir être comparées, traitées dans leur intégralité.

Si on met entre les deux séquences sonores un intervalle trop long, la première, qui sert de référence pour la comparaison est devenue déjà très imprécise : elle a déjà fait l'objet d'un prétraitement simplificateur et on n'a " retenu " que les traits pertinents. On réussit alors bien à reconnaître le son de violons, mais la comparaison détaillée des sonorités devient alors très incertaine, très sommaire. Il en est de même lorsque nous portons un jugement sur un instrument isolé dont nous comparons la " sonorité " avec " l'image mentale " idéale du son du violon que nous avons stockée dans notre mémoire en fonction de notre expérience auditive passée.

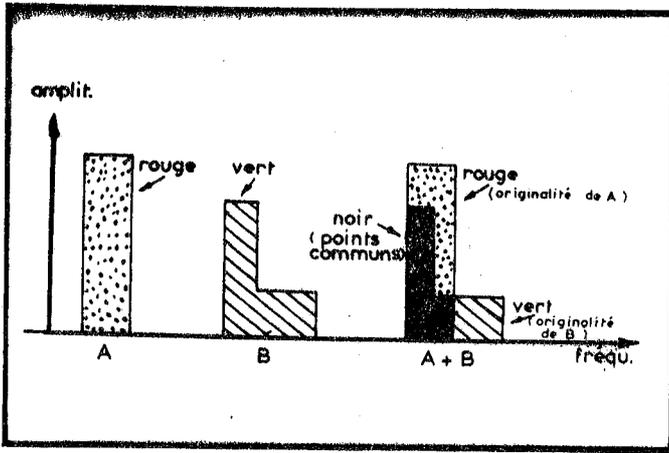
Dans tous les cas, le jugement que nous portons résulte de comparaisons de l'image à tester avec une image-référence apprise, récemment ou non, et dans tous les cas, le système auditif est totalement incapable de mesurer des paramètres physiques des phénomènes sonores en présence.

Toutes les expériences que j'ai faites dans ce domaine de comparaison de sonorités restaient bien entendu subjectives et ne laissaient aucune trace autre que des fiches portant des mentions très vagues : " plus puissant, plus moëlleux, plus clair, plus net , etc... ".

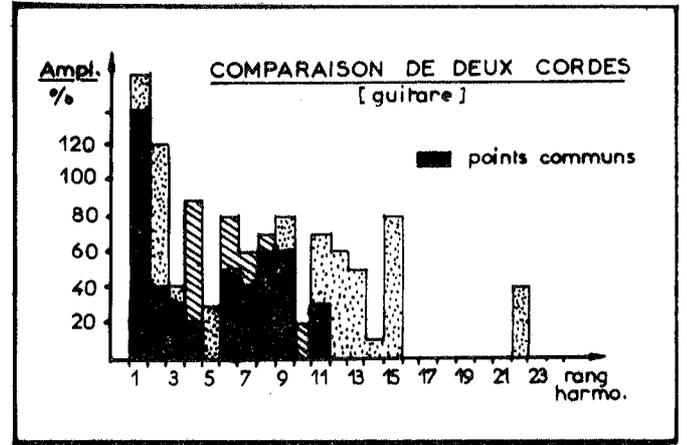
Avec l'apparition des premières méthodes électroniques efficaces d'analyse des sons (filtres à bande étroite, boucle magnétique, enregistreur de niveau etc...) je pensais, comme beaucoup, que le problème était résolu et qu'on allait enfin obtenir des documents objectifs mesurables pour apprécier les " sonorités ". Malheureusement les méthodes en question ne sont utilisables qu'avec des sons stables, fixes...

Qu'à cela ne tienne! Nous allons imaginer des procédés pour exciter des sons stables ! Et le plus facile, c'est de commencer par étudier des cas " simples "... Pourquoi ne pas essayer avec des cordes harmoniques. Parlons donc cordes !

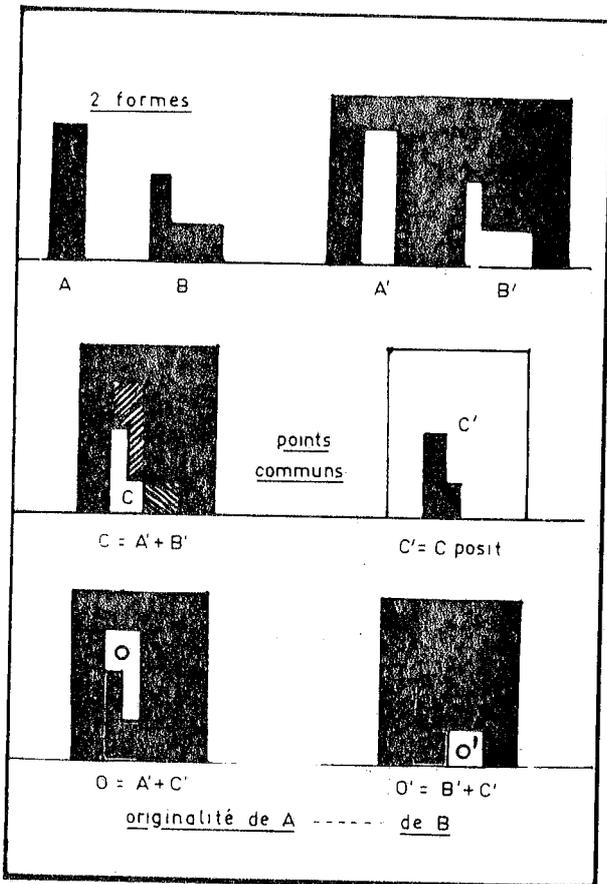
Avec le système d'excitation normalisée que j'avais construit (archet tournant, plectre automatique etc..) j'obtenais des spectres en amplitude-fréquence, classiques. Je représentais ces spectres sous l'aspect de diagrammes composés bandes verticales accolées, telles qu'on les obtient actuellement directement avec des analyseurs du type HEWLETT-PACKARD. Le dépouillement pouvait se faire en observant alternativement les deux images et en laissant à mon système visuel et à mon cerveau le soin de procéder aux opérations d'autocorrélation et de corrélation (extraction des points communs et des originalités spectrales respectives). Cette opération de dépouillement visuel est évidemment longue et incertaine notre système visuel est incapable de "retenir" dans le détail des " images " comportant trop d'informations; l'angle de vision nette étant



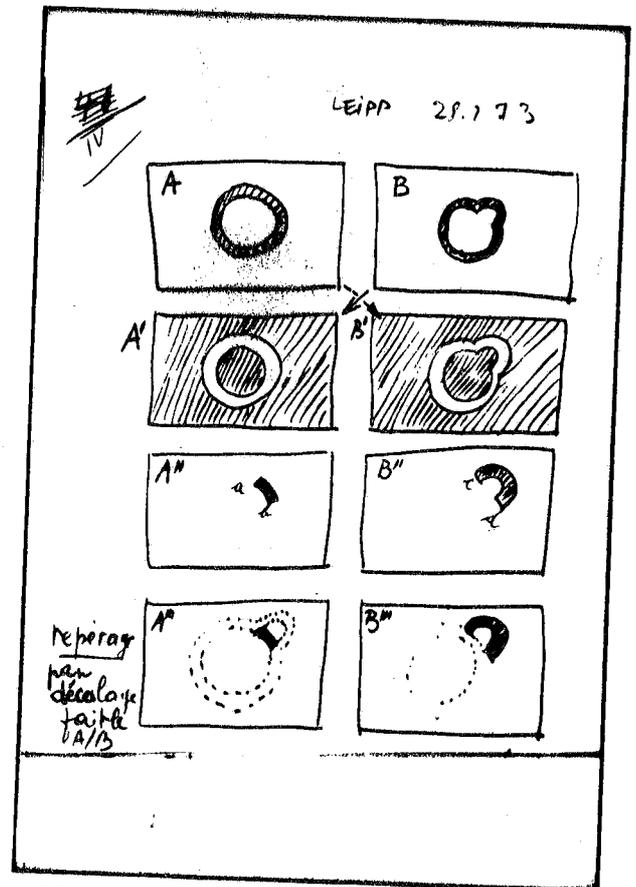
3 PRINCIPLE de la méthode de corrélation par couleurs complémentaires.



4 APPLICATION du principe au cas précis de la comparaison entre deux spectres.



5 MÉTHODE photographique en noir-blanc pour extraire les points communs et les originalités de deux images



6 MÉTHODE plus rapide lorsque les points communs ne présentent pas d'intérêt: superpositions AB' et BA'

étant très faible, on procède alors par comparaison entre petites " régions " homologues des deux images, ce qui oblige de nombreux " coups d'oeil " alternatifs sur l'une puis l'autre image. Il est alors difficile de chiffrer les résultats sans de longues manipulations graphiques manuelles etc... C'est ce qui m'a conduit à chercher une méthode plus expéditive et plus efficace. L'idée m'est alors venue de tirer l'un des spectres en rouge et l'autre en vert sur un support transparent (calque ou autre). On superpose ensuite les deux images et on observe le résultat avec une "boîte à lumière". Voici un exemple (fig.3). Dans les points communs entre les deux images, les deux couleurs s'additionnent pour donner du noir, puisqu'au départ elles sont choisies complémentaires; on lit donc instantanément les points communs (en noir). On peut les " mesurer " en quantifiant l'image en petits carreaux... D'autre part, ce qui " déborde " des points communs comprend nécessairement des zones rouges (transposées ici en hachures) et des zones vertes (en pointillé), qui représentent les originalités respectives des deux spectres. On peut encore chiffrer, " mesurer " ces originalités par la méthode des petits carreaux. On peut donc faire les rapports des divers nombres trouvés et définir objectivement, par un nombre, le taux de points communs (taux de similitude) et les taux des originalités respectives. Bref, on peut chiffrer les ressemblances et les différences entre les deux images, les deux formes. La figure 4 donne un exemple réel de comparaison entre les spectres de deux cordes harmoniques pour guitare.

Les manipulations avec spectres relevés ainsi et coloriés sont assez longues, mais le résultat est intéressant...

On peut trouver une méthode plus expéditive, photographique en l'occurrence. Si l'on n'est pas assez riche pour envisager l'utilisation d'émulsions en couleur, on peut très bien utiliser le "noir et blanc"... Voici la solution (fig.5).

Soit deux " formes différentes", noires (A et B). On entoure un négatif (A' et B') par contact. On superpose les deux négatifs. Observons le résultat sur une "boîte à lumière". Il ne passe évidemment plus de lumière qu'aux points communs aux deux clichés (C). On dispose alors une surface sensible sous les clichés superposés. On obtient instantanément un tirage positif des points communs (C'). Ce positif étant successivement superposé aux négatifs des formes considérées, on obtiendra deux images (O et O') des originalités respectives de deux formes, l'une par rapport à l'autre (ce qu'elles ont de plus l'une que l'autre). Dans les cas où le taux de ressemblance (points communs) ne présente pas d'intérêt, on peut simplifier beaucoup les manipulations par superposition croisée des positifs et négatifs respectifs (fig.6). On a instantanément les originalités A'' et B''. Il est pratique de décaler légèrement les clichés à comparer : le repérage des points originaux est alors instantané.

La méthode de mesure des taux de ressemblance et d'originalité par découpage de l'image en carreaux peut dès lors être remplacée par une méthode optique très simple. On construit une " boîte à lumière " comportant une fente réglable et une simple cellule photoélectrique (fig.7). On place les deux images superposées (soit les "points communs, soit les originalités en négatif) sur cette boîte, et on mesure instantanément en unités optiques, la quantité de lumière qui passe, d'où on peut déduire les rapports, qui fournissent les taux de similitude et d'originalité désirés.

La même " boîte à lumière " peut d'ailleurs servir à la " reconnaissance de forme ". Il suffit de régler convenablement la fente et " mettre en mémoire " une certaine forme optique. Puis on fait défiler pardessus tout une série de formes variées. Ici la forme d'un mot " Paris " (en négatif) est en mémoire; lorsque le même mot apparaît dans le " discours " qui défi-

le il est bien évident que la lumière mesurée sera nulle lors du recouvrement total : il y a " reconnaissance d'une forme globale ". La cellule " marquera " le point précis de la reconnaissance si on l'a branchée sur un enregistreur de niveau.

Ceci est schématique ! Mais voici un exemple réel : on a mis le mot " chat. " en mémoire; il est reconnu dans un discours "(fig.8)

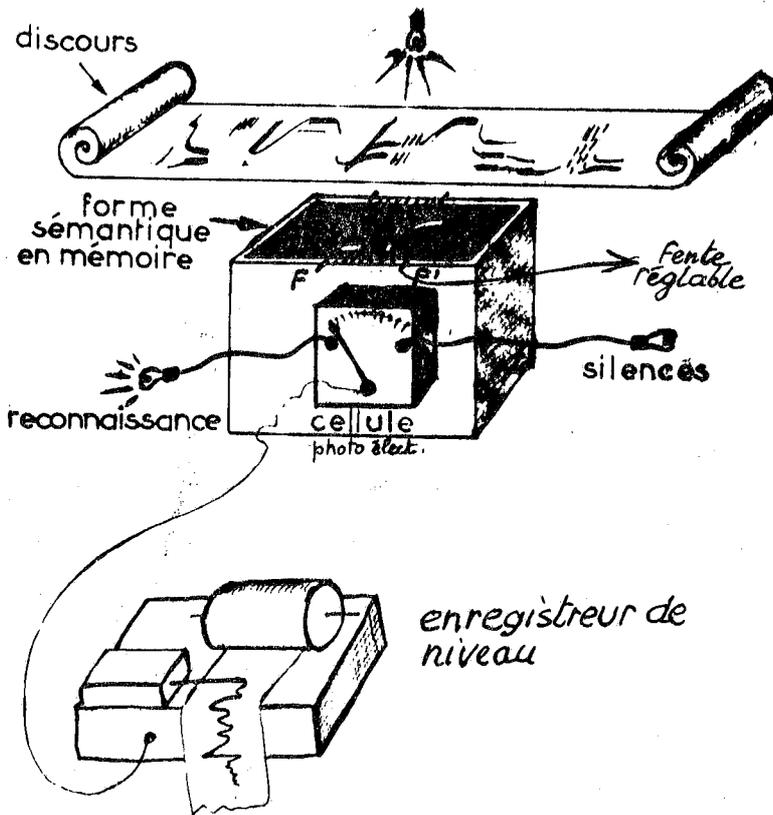
J'ai proposé diverses applications immédiates de cette méthode, en particulier à l'époque où Melle CASTELLENGO réalisait le répertoire graphique des phonatomes. Il aurait été possible d'éliminer les ambiguïtés entre phonatomes très semblables avec ce procédé (fig.9). En effet, plus il y a de points communs entre deux phonatomes, plus on risque de les confondre. Or, voici justement un moyen de mesurer les points communs, entre deux phonatomes, ce qui permet de corriger les phonatomes ambigus en supprimant un certain nombre de points communs ou en rajoutant des points originaux à chacun respectivement. Il n'est pas douteux que l'on aurait pu améliorer ainsi l'intelligibilité de la parole synthétique réalisée avec l'ICOPHONE.

Voici d'autres applications intéressantes de cette méthode de corrélation optique.

2°) QUELQUES APPLICATIONS PRATIQUES DE LA CORRELATION OPTIQUE

J'en ai donné des exemples à plusieurs reprises (voir la bibliographie ci-jointe). Rappelons les cas de la comparaison objective entre deux microphones (fig.10); celui de la comparaison entre la sortie électrique et la sortie " haut-parleur " d'un même poste de radio (fig. 11); celui du cas de deux postes de radio différents etc... Nous avons la stéréoscopie et la stéréophonie de cette façon (fig.12 et 13). Nous avons montré qu'il était possible de reprendre tout le problème de l'acoustique des salles par ce procédé (bib.8), en particulier celui de la réverbération. Reprenons ce dernier cas, particulièrement significatif.

La méthode consiste à enregistrer sur l'une des pistes d'un magnétophone stéréophonique de haute qualité et à quelques décimètres de la source, (la salle n'intervient guère), des séquences acoustiques réelles : parole, musique, bruit etc... Simultanément on enregistre sur la deuxième piste ce qui se passe en un point donné de la salle (place normale d'auditeur). Les sonagrammes respectifs fourniront les images qui vont illustrer mon propos (fig.14). On a donc enregistré, simultanément, une phrase (le petit chat fait sa toilette) au voisinage de la source (environ 30 cm) et à 10 mètres de distance. Il s'agit d'un hall de garage (Parking de l'Université de PARIS VI). Tirons les deux sonagrammes et faisons sur les deux images obtenues toute la série de manipulations photographiques décrites plus haut (positif, négatif, superpositions etc...). Nous obtenons instantanément des documents objectifs, hautement significatifs du point de vue de l'audition. Informations sur le filtrage de l'information physique de la parole par la salle (en bas à gauche) et sur ce qu'elle ajoute du fait de la réverbération (en bas à droite). Les résultats étant sous l'aspect de diagrammes, de patterns, d'images fréquence-temps, nous pouvons utiliser ceux-ci pour des manipulations photographiques.... Nous avons donc désormais des moyens réalistes pour étudier sur des bases objectives les effets de la salle sur la parole, les documents étant faciles à dépouiller en fonction de la perception normale des sujets placés dans les conditions données. De nombreux points peuvent être étudiés ainsi, par exemple, il est intéressant de comparer réverbération naturelle et réverbération artificielle (fig.15). Quantifier et numériser les images en vue d'un traitement par ordinateur, avec des programmes adéquats pour simuler les manipulations photographiques décrites plus haut, relève de la routine des infor-



7

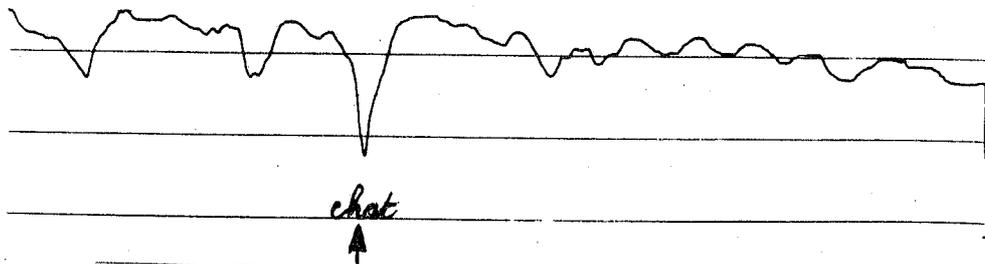
LE CORRÉLATEUR OPTIQUE

(BOÎTE A LUMIÈRE)
"OPAC"

La fente FF est réglable en largeur. On met en mémoire l'image négative de la forme à reconnaître et on fait défiler par dessus une superforme. La sortie de la cellule est branchée sur un enregistreur de niveau.

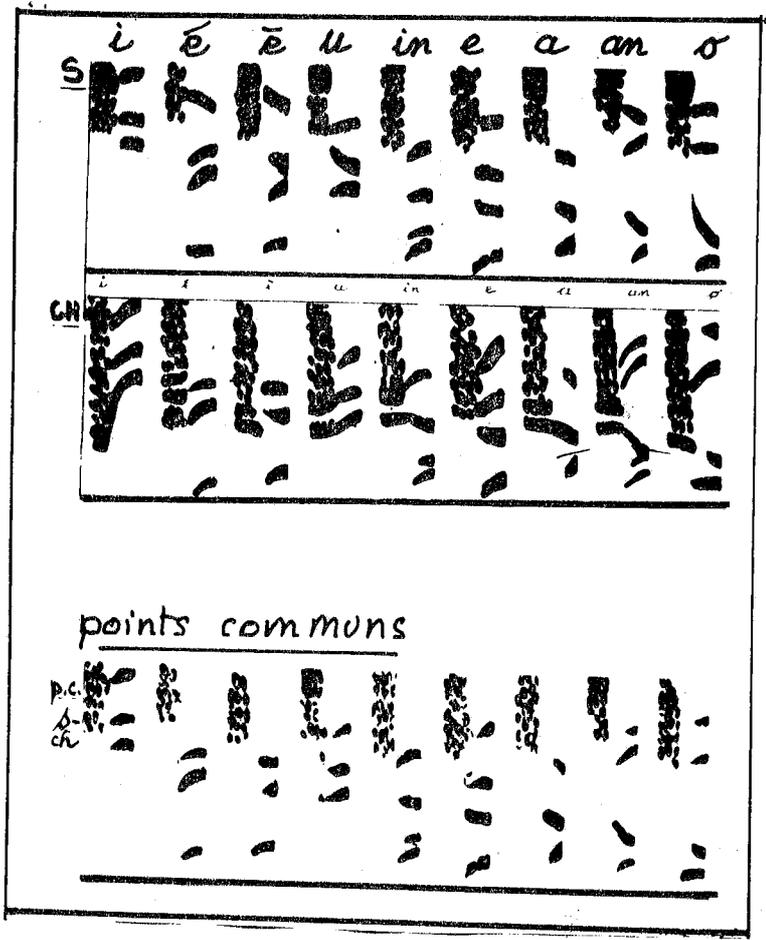
Reconnaissance du mot "chat" dans la phrase :
"le petit chat fait sa toilette"

3.1.1972
OPAC
*



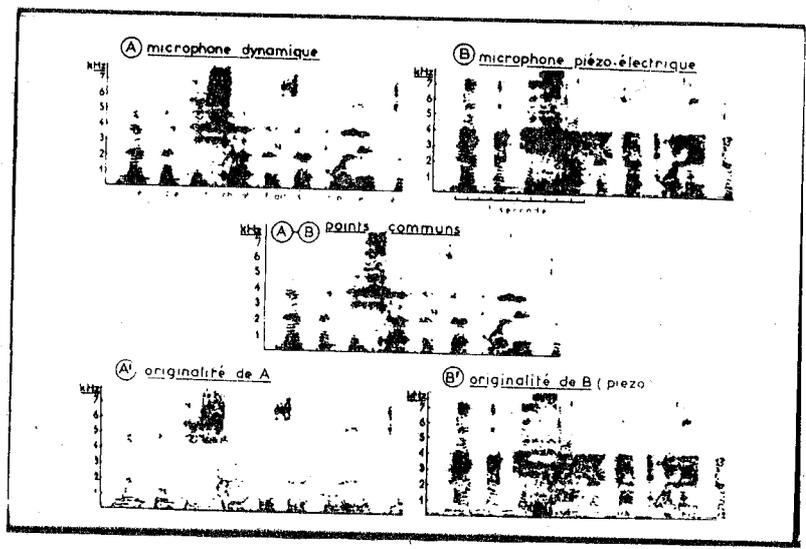
8 RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE
D'UN MOT DANS UNE PHRASE

Lorsque la forme en mémoire et la forme à reconnaître coïncident, la lumière est minimale : ici on a reconnu le mot "chat" dans une phrase



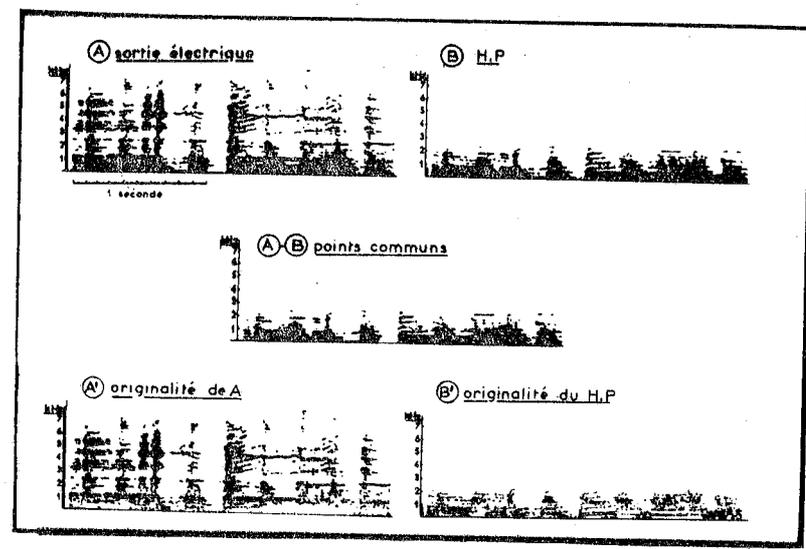
9 CORRECTION DES PHONATOMES

On extrait les points communs entre les phonatomes de la série "s" et "ch". Plus ces points communs sont nombreux, plus la confusion entre phonatomes est probable. On dispose donc d'une méthode pour optimiser le répertoire des phonatomes.



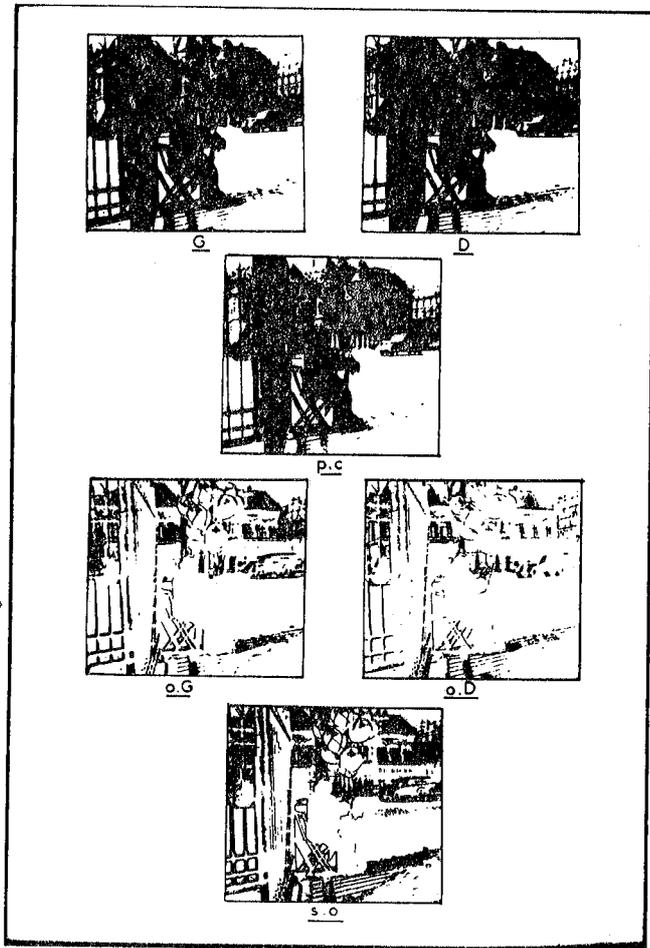
10 COMPARAISON DE DEUX MICROPHONES

(dynamique - piézo)
Points communs et différences sont isolés et clairement mis en évidence. Les résultats se raccordent avec l'audition...



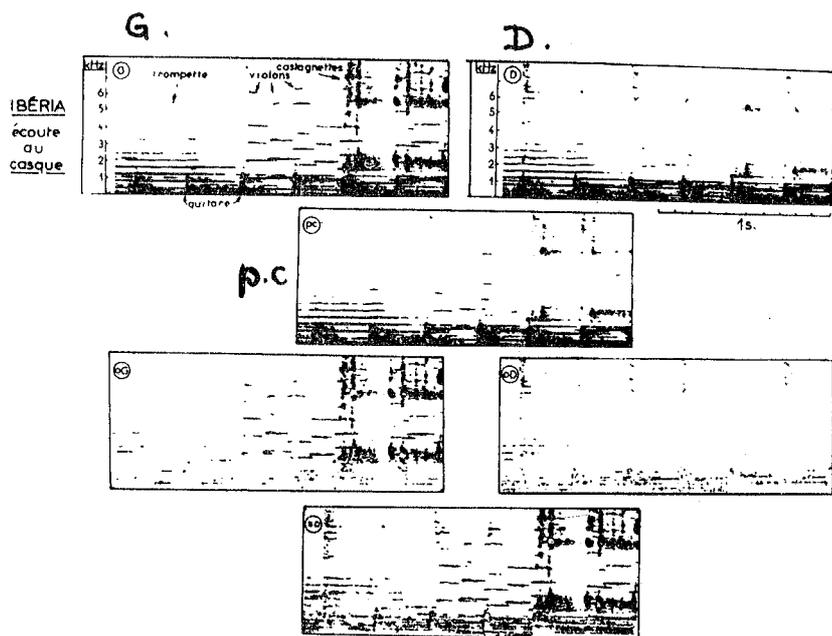
11 SORTIE ÉLECTRO-NIQUE et H.P.

d'un même poste radio. On voit tout ce que fait perdre le haut-parleur...



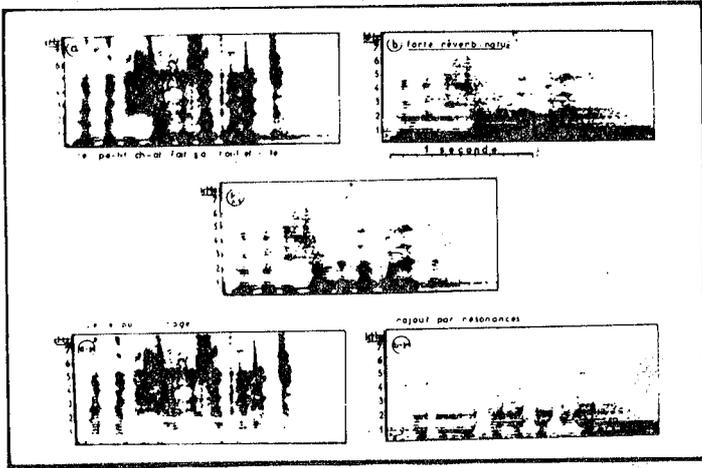
12 STÉRÉOSCOPIE

On extrait d'un couple stéréoscopique les points communs et les originalités (OG et OD). La somme des originalités (S.O) véhicule l'information de la sensation stéréoscopique. On vérifie qu'en dehors de la sensation de relief on gagne en sensation de netteté des images : Les formes sont cernées et leur contour précisé plus nettement que sur les images du couple.

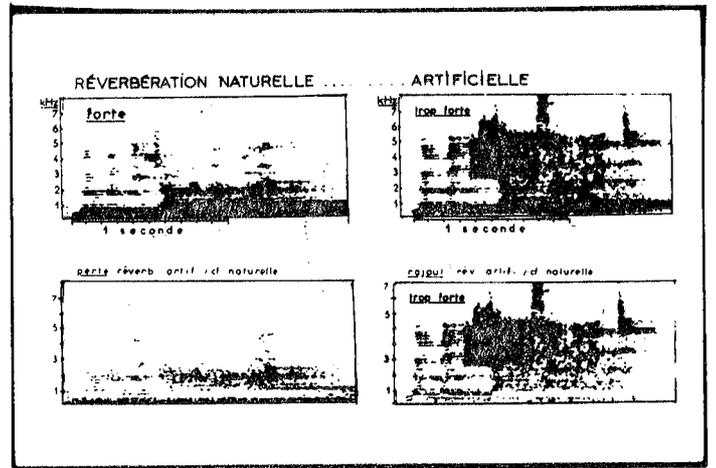


On a fait les mêmes opérations que ci-dessus, mais sur un couple d'images stéréophoniques (sonagrammes) : Les conclusions sont identiques. L'information stéréophonique est dès lors mesurable.

13 STÉRÉOPHONIE



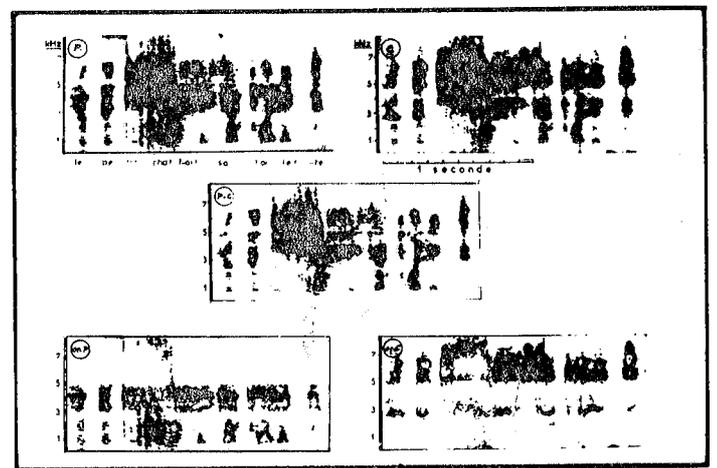
14 EFFETS de la RÉVERBÉRATION



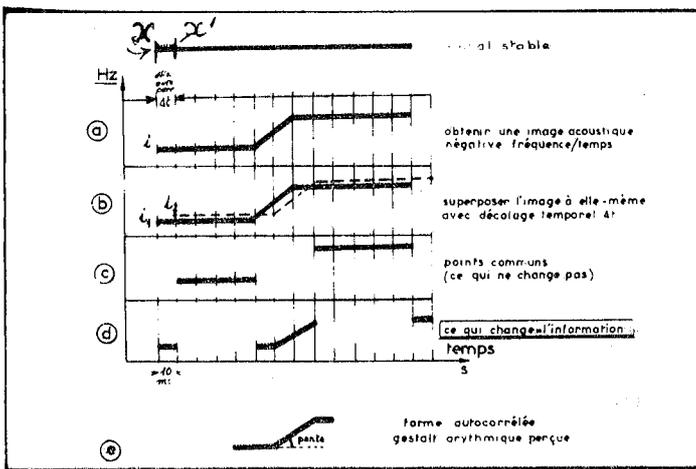
15 RÉVERBÉRATION NATURELLE et ARTIFICIELLE



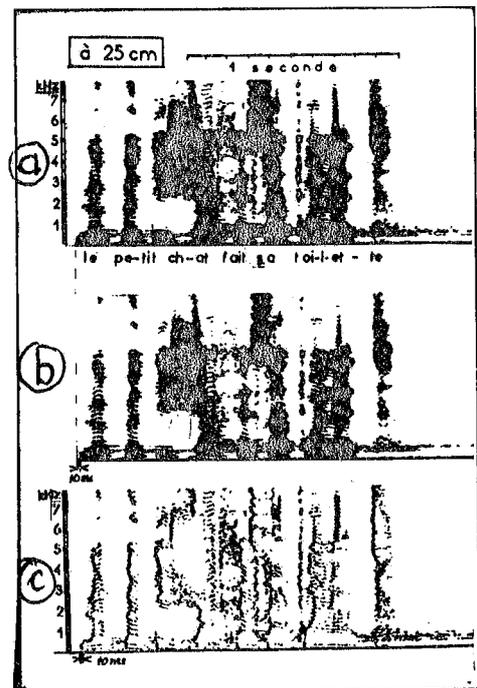
16 PROTHÈSE auditive
les distorsions par rapport à la référence émergent...



17 DEUX PROTHÈSES
sont comparées....



18 AUTOCORRÉLATION OPTIQUE : principe
l'information perçue, c'est ce qui change dans le temps....



19 PAROLE AUTOCORRÉLÉE

matériels; l'étude de ce genre de problèmes est donc possible sans autre.

J'ai fait bien d'autres recherches encore relevant de la même méthode. Il n'est pas douteux qu'on dispose là d'un moyen intéressant pour comparer, d'une façon très générale, la qualité entre deux événements acoustiques différents, entre deux composants électroniques différents entre deux appareillages électro-acoustiques etc... Donnons encore un exemple, réalisé grâce à la collaboration de l'ime BOREL-MAISONNY.

Il s'agissait d'obtenir des renseignements sur les qualités relatives entre diverses prothèses auditives. Non pas de relever avec précision à l'aide des moyens et des méthodes plus ou moins normalisées les signaux électriques qui sortent de l'amplificateur des prothèses (courbes de réponse etc...); mais savoir l'allure des signaux acoustiques que délivrent ces prothèses, au niveau du tympan de l'utilisateur de la prothèse.

On monte pour cela l'embout de la prothèse sur un petit tube ayant les dimensions du conduit auditif normal. A l'autre extrémité du tube, on mastique un microphone de précision (1/2 pouce ou 1/4 de pouce), qui est situé à la place normale du tympan.

On enregistre alors de la parole normale (ici la même phrase que précédemment le petit chat...):

- sur une piste, avec un microphone normal. Ceci fournit l'image de référence, (fig.16 en haut à gauche) celle d'un microphone normal, considéré comme un transducteur parfait (pour la précision requise ici.)
- sur la deuxième piste, avec le transducteur complexe: prothèse + microphone 1/2 pouce. Ce dernier pouvant être considéré comme parfait il est évident que les distorsions et filtrages de l'image obtenue sur cette piste (fig.16 en haut à droite) sont le fait de la prothèse. A partir des deux images obtenues (référence et prothèse) on peut alors appliquer la méthode de corrélation optique préconisée et on obtiendra instantanément la réponse désirée:
 - les points communs (au milieu)
 - ce que la prothèse coupe, filtre, du signal normal (en bas à gauche): soit, du grave en dessous de 1000 Hz, et de l'aigu au dessus de 5000 Hz.
- Ce que la prothèse rajoute comme parasites, et qui ne peut que troubler le message par apport d'information inutile traduisant non l'information sémantique de la parole (désirée) mais les particularités électriques de l'appareillage (sans intérêt pour l'utilisateur de la prothèse).

On entrevoit tout ce qu'on peut tirer comme enseignements sur les prothèses avec une telle méthode ...

A titre d'exemple, comparons deux prothèses entre elles (fig.17). On lit aisément ce qu'elles ont en commun et ce qui les distingue: l'une ayant " du grave en dessous de 4000 Hz (en bas à gauche) l'autre de l'aigu, au-dessus de 5000 Hz (en bas à droite).

Des jugements comparatifs objectifs de qualité peuvent donc être obtenus; il suffit de définir ce qui est désirable du point de vue des cas particuliers de surdités à traiter... L'intérêt de cette méthode est que ses résultats se raccordent beaucoup mieux avec les jugements subjectifs des usagers que les méthodes métrologiques conventionnelles.

La même méthode, toujours, est utilisable dans d'innombrables cas et présente toujours le même intérêt dans tous les cas où est en cause la réaction d'un sujet à une séquence acoustique normale : parole, musique, bruit. Elle se prête parfaitement, par exemple, à l'étude du problème (perceptif) du bruit dans les locaux d'habitation ou de travail. Nous avons fait de nombreux enregistrements de parole, musique, bruit, produits et enregistrés dans un certain local, et enregistrés simultanément dans le local voisin, à travers murs, cloisons, planchers. Les résultats sont on ne peut plus démonstratifs et se raccordent parfaitement avec les plaintes des usagers des locaux considérés. Cependant, une telle méthode aura du mal à s'imposer : tous ces problèmes sont traités depuis 30 ans avec des moyens, des doctrines et des normes métrologiques où le souci est la reproductibilité et la précision des mesures - qui ne jouent aucun rôle dans la réalité du bruit, du moins dans les bruits, normaux, moyens ou faibles, de l'environnement de l'homme lorsqu'il est chez lui, au bureau etc... Le problème du bruit, dans ce sens, est un problème de perception de formes acoustiques, d'images, qui relève du traitement d'images et non de métrologie. Dans les cas habituels (plus de 90 %) la victime du bruit fait par le voisin, est très généralement indifférente au niveau du bruit en décibels ou à l'analyse fréquentielle de Fourier, serait-elle par tiers d'octave en bande plus étroite ! La victime du bruit perçoit une forme; c'est la présence de cette forme qui cause la gêne et non ses dimensions; ce qui l'intéresse lorsqu'elle fait des frais pour insonoriser son local n'est pas de " gagner " 10 ou 20 décibels à telle fréquence; ce qui l'intéresse, c'est de savoir si la cloison, le plafond, le matériau insonorisant détruisent suffisamment la forme des bruits gênants pour la rendre floue et méconnaissable; ce qui l'intéresse c'est le taux de destruction de la forme : or ce taux est mesurable; je pense l'avoir montré suffisamment dans ce qui précède pour pouvoir passer à présent au deuxième point et au deuxième " traitement d'images " : celui qui correspond à des mécanismes d'autocorrélation.

IV. AUTOCORRELATION D'IMAGES

Comment imaginer une méthode permettant de supprimer la redondance des événements acoustiques, et qui serait exploitable à l'aide de moyens simples, photographiques en particulier ? Voici ma réponse.

Considérons le sonogramme d'un signal simple (fig. 10 en haut), sinusoïdal, d'un " sifflement ", fixe en hauteur et en intensité, et qui ne change pas en fréquence. Notre système auditif, après l'apparition du phénomène physique perçoit le signal au bout d'un petit délai (durée de latence) et dès lors, voit son attention attirée par le phénomène, qui émerge subitement sur le bruit de fond ambiant, et qui s'inscrit donc sur la conscience (la mémoire instantanée de tout à l'heure). Nous enregistrons donc ce phénomène au fut et à mesure et le " regardons " mentalement. Au bout d'un certain temps, après quelques délais de latence ($x \ x'$) nous constatons qu'il ne change pas. S'il ne change pas, il ne peut évidemment apporter d'information intéressante à un auditeur normal; la prévisibilité étant totale, il subsiste de l'information physique, mais il n'y a plus d'information perçue. Aussi, le sujet abandonne-t-il mentalement l'écoute dès lors. Supposons que notre système auditif mette 10 millisecondes ($x \ x'$) pour vérifier que le son ne se modifie décidément pas, et appelons alors arbitrairement ce délai le " délai d'autocorrélation ". Si nous supprimons mentalement tout ce qui apparaît sur la mémoire immédiate après ce délai, il s'agit d'une opération importante. Comment pourrait-on bien la simuler ? C'est bien simple.

lorsqu'elle se traduira par une économie de stockage et de

traitement de l'information

Tirons d'une " mélodie " évolutive (fig. 10 a) deux clichés négatifs. Superposons-les en les décalant du délai d'autocorrélation défini précé-

demment. Il est évident que la lumière ne passera qu'à travers les points communs aux deux dessins superposés. Ces points communs représentent ce qui ne change pas quand on compare le phénomène avec lui-même, compte tenu du délai d'autocorrélation choisi. Disposons donc une surface sensible sous les images superposées et décalées : nous aurons l'image de ce qui ne change pas, de ce qui ne véhicule pas d'information perçue (fig. 18 c). Supprimons à présent, cette " redondance " en superposant le positif de (c) à l'image a' : on obtient la figure (d) où ne subsiste que ce qui a changé dans le temps, c'est-à-dire l'information perçue.... Collons ensuite ensemble les bouts de cette information : nous retrouvons la forme " arythmique " de (a). Or c'est cette " forme " que nous " intégrons " : c'est elle qui est importante. Nous avons donc là un moyen simple et efficace de filtrer l'information perçue, d'éliminer la redondance.

Que donne une telle manipulation dans la réalité acoustique ? Pour le montrer, reprenons notre phrase : " le petit chat fait sa toilette " (fig. 19 a). Tirons deux négatifs du sonagramme réalisé à partir de cette phrase (fig. 19 a) et superposons-les en les décalant temporellement du délai d'autocorrélation choisi (10 ms par exemple). Nous aurons alors (fig. 19 b) une image représentant tout ce qui n'a pas changé lorsqu'on compare des tranches de temps successives de 10 ms entre elles, c'est-à-dire une image donnant tout ce qui ne véhicule pas d'information perçue. Visiblement (image du milieu) cette " redondance " est énorme !

Pour voir ce qui représente effectivement l'information perçue, soustrayons par manipulations photographiques négatif-positif l'image du milieu (en positif) de l'image du haut (en négatif). Nous obtiendrons, ainsi " ce qui change " dans le temps (fig. 19 c), c'est-à-dire ce qui est perceptivement l'essentiel dans le signal acoustique de la phrase. On voit que ce " squelette informatif ", ne comportant plus que les " traits pertinents " de la " forme " représente très peu d'information physique comparativement au signal acoustique normal de la phrase.

Le procédé photographique de superposition-décalage de la même image permet donc d'obtenir le résultat tant désiré de simplification du message, permettant de faire des économies de stockage mémoriel et des économies de traitement " informatique " ultérieur (traitement de corrélation dont il a été question plus haut). Il est sans doute inutile d'insister davantage sur l'intérêt du procédé de traitement d'images par superposition-décalage qui correspond bien à une autocorrélation.

Puisque les procédés de corrélation entre images globales et autocorrélation " marchent " si bien pour des " images acoustiques ", pourquoi n'essayerait-on pas de les appliquer à des fins diverses à des images dans les sens normal du terme. On devrait pouvoir trouver d'intéressantes applications.

V. TRAITEMENT D'IMAGES NORMALES, VISUELLES

Pour ceux qui ont gardé une âme d'enfant, c'est l'occasion de jouer un peu..... Les jeux d'enfant sont toujours très intéressants à étudier du fait qu'ils supposent des opérations mentales relativement simples et dont il est alors plus aisé de comprendre les mécanismes sous-jacents relatifs aux processus de traitement de l'information dont il est légitime de supputer l'existence dans les systèmes perceptifs de l'homme.

1°) Le jeu des dix erreurs (fig. 21)

C'est un " jeu " classique. On propose deux dessins, dont le

second comporte un certain nombre de modifications. En regardant alternativement l'un et l'autre, on repère petit à petit les différences. Si l'oreille possède un " champ " instantané assez large (quelques secondes), l'oeil ne possède qu'un champ temporel de netteté très étroit : 1 ou 2 degrés. Pour repérer des différences subtiles, il faut nécessairement explorer le dessin-référence par zones étroites. On inscrit sur la mémoire instantanée, l'une de ces zones et on " mémorise " cette image en la transférant dans la mémoire transitoire. Puis on repère la zone correspondante et on la transfère de même en mémoire transitoire. Le " programme de corrélation " appelle alors les deux images et l'ordinateur fait les opérations précitées : extraction des points communs, des originalités etc... Si le taux de ressemblance est de 100 %, on en conclut qu'il n'y a pas de différences dans cette région et on passe à la zone suivante, etc... On explore ainsi successivement toute l'image. Finalement on " tombe " sur un point où le taux de ressemblance est nul : on a " trouvé l'une des erreurs ". On vérifie, en chronométrant, que les sujets mettent un temps plus ou moins long pour repérer les " 10 erreurs ". Ce temps dépend bien entendu des " habitudes d'ordre " qu'ils ont prises. S'ils explorent l'image en choisissant un point au hasard, puis un autre point quelconque, ils perdent beaucoup plus de temps que s'ils sont " organisés " et utilisent un " programme d'exploration " systématique. Sauf s'ils ont de la " chance " et tombent au hasard sur la " bonne zone "... Le résultat dépend aussi de l'étendu du champ de vision de chacun. Mais quoique l'on fasse, du fait de l'angle faible de champ de la vision nette, la découverte des différences demande un temps notable, de l'ordre de quelques minutes pour le cas considéré. Le traitement en bloc d'une image visuelle intégrale est sans doute impossible, mais il se peut que tel sujet ayant une mémoire visuelle instantanée extraordinaire, soit capable de stocker sur cette mémoire par balayage une image intégrale et de la transférer ainsi rapidement en mémoire transitoire. Cette opération lui évite les déplacements alternatifs nombreux des yeux d'une image à l'autre et lui fait gagner du temps ! De tels cas ne sont pas exclus, mais nous n'en avons pas trouvé.

Pour résoudre le problème des " 10 erreurs ", j'ai bien sûr tout de suite pensé à la méthode de corrélation photographique décrite plus haut. Elle s'avère effectivement très efficace, en ce que l'appareil photographique a un " champ de vision instantanée beaucoup plus large que l'oeil (autour de 50 à 100°).

En effet, il suffit de tirer des négatifs des deux images et de les superposer pour en extraire les points communs (ce qui ne change pas de l'une à l'autre image). Puis on soustrait ces points communs respectivement à la première puis à la deuxième image pour obtenir finalement en bloc :

- sur l'image, en bas à gauche (fig. 20d), ce que l'on a enlevé à la première image pour passer à la seconde.
- sur l'image en bas à droite (fig. 20 e), ce que l'on a ajouté.

La figure 20 est tout à fait démonstrative de ce point de vue et se passe de commentaire : on relève instantanément les erreurs : on a ôté le chapeau rond au chasseur qui se sauve, pour le remplacer par un chapeau à fond carré; on a enlevé le haut de l'arbre du milieu de l'image etc... A droite, on vérifie qu'on a ajouté un nouveau chapeau, un deuxième canon au fusil du chasseur qui se sauve, des franges à la moustache du chasseur de droite etc...

La manipulation photographique fournit donc instantanément la réponse et permet, de surcroît, de repérer la situation de chaque détail modifié sur les coordonnées x - y.

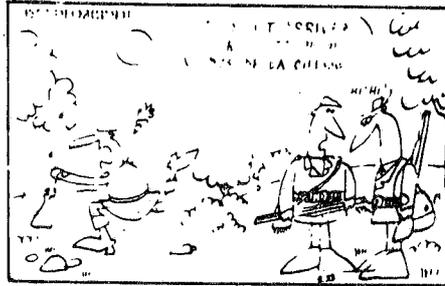
a



b



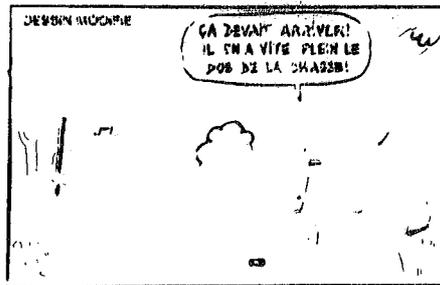
pc



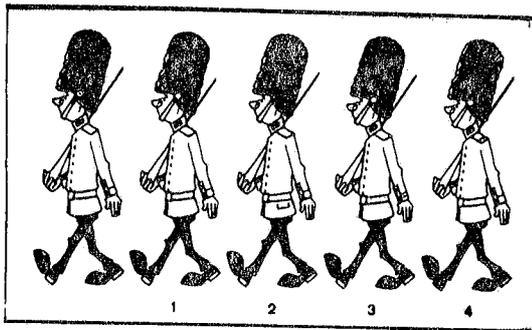
d



e

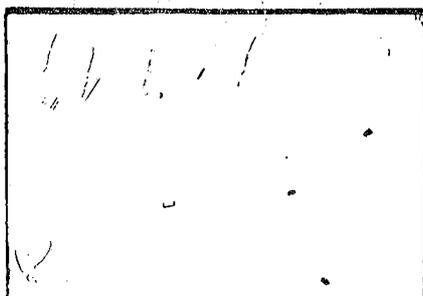
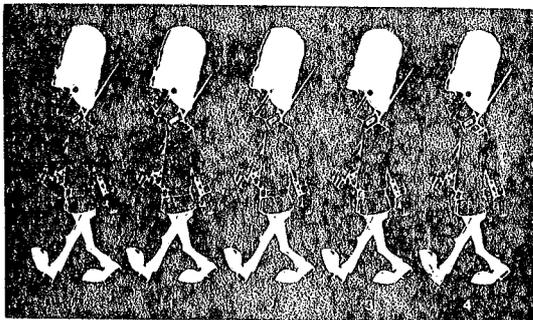


20 LE JEU DES DIX ERREURS : ne cherchez plus....

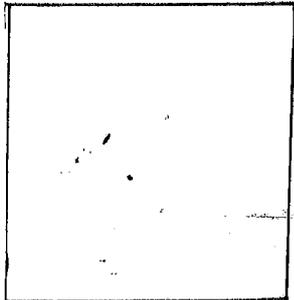


20b EXTRACTION des DIFFÉRENCES

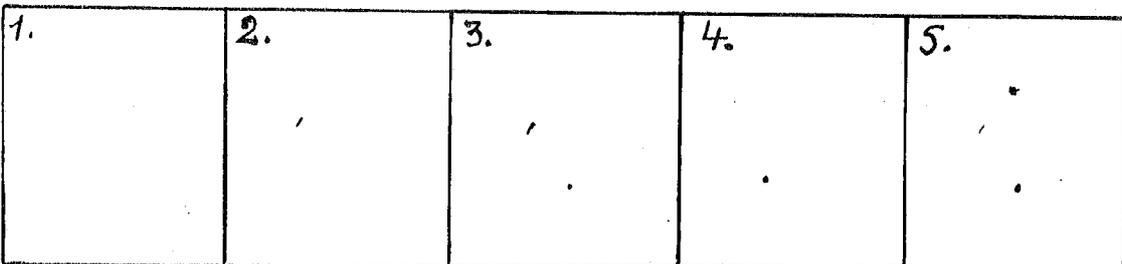
On superpose les positifs et négatifs des dessins qu'on veut comparer : le résultat est immédiat : poche, macaron de shako, pointe du Fusil, galon etc apparaissent instantanément.



21 MODIFICATION d'une IMAGE



On a rajouté un détail infime sur la deuxième image. La méthode proposée ici fait émerger ce détail instantanément. En plus du "cheveu" considéré, on découvre même un petit défaut d'impression sur la deuxième image (bras gauche du marié...)



22 5 ÉTATS SUCCESSIFS

On a rajouté successivement d'autres détails de gauche à droite. La méthode est très fine.

Pour les romantiques, voici un dessin de PEYNET (Fig. 21). On n'a modifié qu'un seul détail entre les deux dessins du haut... Il n'est pas aisé de le trouver par observation simple, alternative, des deux images. Mais il est facile de le mettre en évidence à l'aide de la méthode que je préconise : manipulations de positifs-négatifs, extraction des points communs et des originalités etc...

Les figures tirées en offset sont malheureusement de qualité déficientes; les originaux sont beaucoup plus démonstratifs...

Pour le même dessin, j'ai réalisé ainsi 5 modifications successives. Tout est résumé sur la figure 22. En choisissant des détails infimes, j'ai voulu montrer la précision de la méthode... Au tirage, je décale très légèrement les deux clichés, ce qui donne de très fins linéaments représentant l'essentiel de la figure et permet ensuite de situer, de repérer le détail modifié plus aisément. Un exemple frappant : j'ai ôté un seul bouton du gilet du marié, visible sur la première figure, en bas à gauche. Mieux : la deuxième figure du bas, à partir de la gauche, met en évidence un petit défaut d'impression survenu dans le bras gauche du marié : des différences infimes sont mises en évidence.

Ces cinq dessins représentent 5 états successifs de la même image. Il est bien évident que si l'on sait extraire ce qui change de l'une à l'autre, on doit pouvoir transposer la méthode aux images animées, au cinéma... Une autre image séquentielle va le démontrer. Ici, (fig. 20 b) c'est un soldat de la garde, dessiné à cinq instants différents de son défilé. A chaque pas quelque chose change dans sa tenue ! Ici, on tire également un négatif de l'image et on peut s'amuser à décaler les deux images d'un, deux, trois " pas " On relève ainsi en lecture directe les modifications survenues : fusil, cocarde du bonnet à poil, revers de poche, galon, épaulette, talon, bordure de shako etc... Ces images successives sont un film.

Sous des dehors amusants, la méthode ci-dessus n'en cache pas moins des possibilités beaucoup plus " sérieuses " et assez étonnantes. Prenons quelques exemples :

(polaroid)

Voici (fig.23) deux photographies, prises de ma fenêtre à un intervalle de 10 minutes. On y voit les maisons d'en face, un arbre, la cour etc.... Faisons sur ces deux clichés les manipulations photographiques décrites plus haut (négatifs, superpositions etc...). Extrayons les " invariants " ... et soustrayons-les des deux clichés respectivement. On lira instantanément, avec repérage précis, les innombrables changements qui se sont opérés entre les deux prises de vue. A gauche, un seul personnage est dans la cour, à droite, ils sont trois.... Les reflets dans les vitres ont énormément changé. Une personne, au troisième étage a ouvert un battant de sa fenêtre dont l'encadrement apparaît très bien " avant " (figure en bas à droite). Dans le ciel, un nuage s'est avancé. Juste au-dessus des toits, deux pigeons qui passent au moment de la deuxième prise de vue. On peut bien entendu " regarder à la loupe " ces photographies et trouver bien d'autres détails... quelques moineaux venus se percher sur l'arbre par exemple. Il est donc possible de repérer et de situer exactement les moindres détails dans deux images successives, représentant deux états successifs d'une même chose. On notera que l'information contenue dans un cliché photographique normal est énorme.

Voici une autre application susceptible d'intéresser certains spécialistes. On prend un plan de Paris dont on tire un cliché. On supprime une seule lettre à l'un des noms de rues. Cherchez.... Ou utilisez la méthode en question. Vous trouverez instantanément la réponse : ce qui a été supprimé, c'est le " S. " de St-Germain, d'autant plus difficile à trouver par simple observation qu'il est coupé en deux par un trait, celui de la ligne de métro....

La méthode est d'un intérêt extrême pour repérer les falsifications et altérations d'un document, si compliqué soit-il. Si la méthode photographique semble un peu trop longue à appliquer, je signale qu'il existe maintenant des émulsions POLAROID instantanées donnant en quelques secondes un positif et un négatif. Les photographies de maisons ci-dessus ont été réalisées ainsi. On peut donc avoir en quelques secondes la réponse à ce que l'on cherche : on peut retrouver en moins de temps qu'il ne faut pour le dire une épingle dans une botte de foin !

On pourrait certainement utiliser des dispositifs analogiques utilisant le magnétoscope et un système électronique adéquat pour réaliser toutes ces opérations requises en temps réel, instantanément. Il est inutile d'insister sur l'intérêt de tels procédés dans d'innombrables domaines, partout où on est en présence d'états successifs, partout où l'on est gêné par la redondance (dans toutes les observations scientifiques où l'on s'intéresse à des modifications d'état, dans les problèmes de messages etc....

Veut-on encore un exemple ?

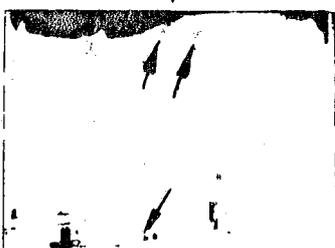
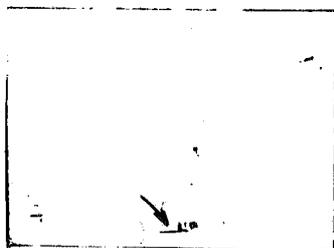
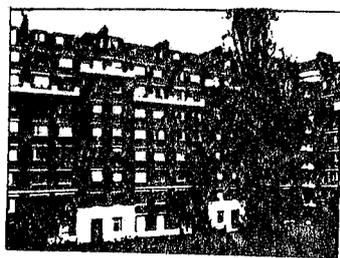
Voici une vue prise en 1938 à 3600 mètre, à l'aplomb de la Tour Eiffel, une photographie aérienne de Paris, avec la Seine, le Trocadéro etc... Un commando vient, fait sauter un immeuble, les deux voitures complices vont se cacher ailleurs dans une rue, tandis qu'une estafette se poste à un croisement pour surveiller la suite des opérations. Un avion fait deux photographies à deux moments différents. On cherche sur la 2° photographie ce qui a changé. Étant donné la richesse informationnelle de la photographie, c'est vraiment très long, comme on peut le vérifier. Mais en utilisant la méthode photographique préconisée, l'opération est immédiate : on a fait "sauter" le " JOURNAL OFFICIEL ", Rue Desaix; les deux voitures sont le long de la Seine à la sortie de la Rue de Grenelle; l'estafette est Bd de Grenelle, à la sortie de la Rue Desaix...

Pour finir, voici un dernier exemple, " dynamique ", celui-là : c'est vraiment de cinéma qu'il s'agit (fig.26).

Lorsqu'on filme une scène quelconque, il est évident que les images successives présentent précisément des images d'un même sujet dans deux états différents où certains objets bougent et d'autres restent immobiles. Par définition, en cinéma, seul ce qui change est intéressant. Sinon la photographie serait suffisante. Puisqu'il est possible d'"effacer" tout ce qui ne change pas par la méthode de superposition préconisée, il devrait être possible moyennant un certain nombre de manipulations positif-négatif-superpositions etc... de faire des séquences filmées tout à fait originales, où seul on verrait ce qui bouge. J'ai donc réalisé quelques séquences de film et fait tirer les contretypes positifs et négatifs requis pour le vérifier. Une table est couverte d'objets : un seul, une bouteille, se déplace sur les 7 images successives de la séquence filmée.

La manipulation consiste à superposer le tirage positif au tirage négatif, en les décalant d'une (ou de plusieurs) images, soit vers le haut, soit vers le bas. Dans un cas (fig. 26 c), on effacera tout ce qui est immobile et on ne verra que ce qui est ajouté à l'image lors du déplacement d'un objet (ce que l'objet mobile a découvert du fond). Dans l'autre cas on ne verra que ce qui est ôté du fond par recouvrement de l'objet mobile (fig. 26 c'). Si on ajoute les deux films des originalités ainsi réalisés (c et c'), il est évident que l'on obtiendra finalement les contours mobiles de l'objet qui se déplace, le fond étant complètement supprimé. L'information globale (fig.d) est très réduite, mais suffisante pour reconnaître l'objet et définir son mouvement. J'ai d'abord fait cette manipulation en superpo-

...../



23

DEUX ÉTATS SUCCESSIFS

(POLAROÏD)

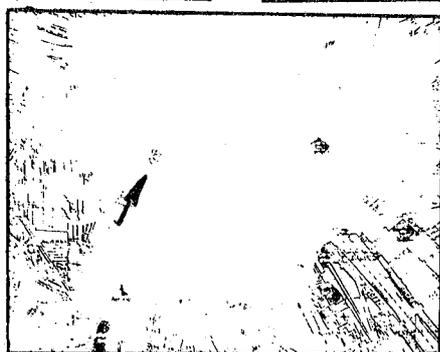
Deux photographies polaroïd ont été faites successivement (émulsion spéciale fournissant un positif et un négatif). En quelques secondes on a mis en évidence les innombrables choses qui ont changé entre les prises de vue - et dont on ne voit ici que quelques-unes en raison de la petitesse de l'image



a

b

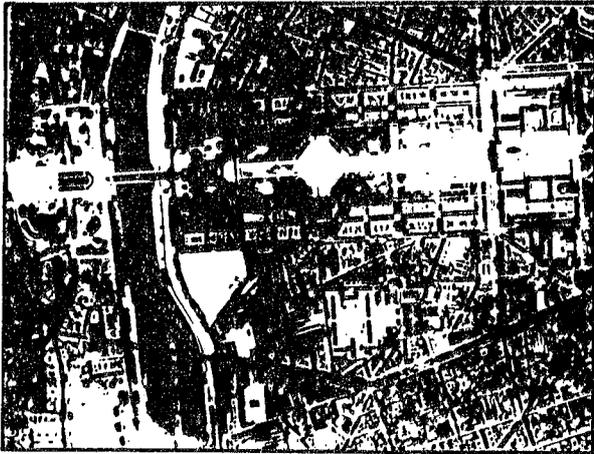
c



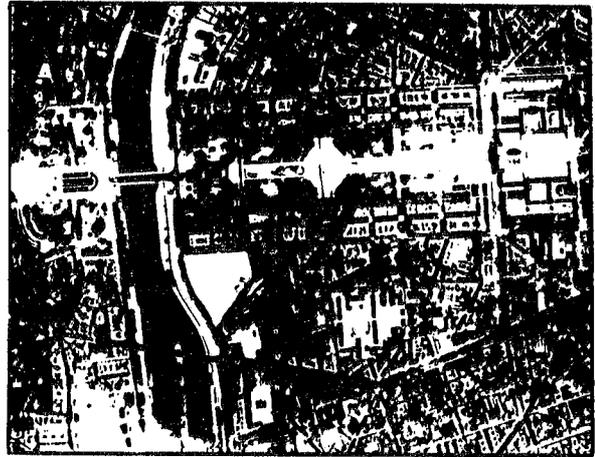
24

UN DOCUMENT ALTÉRÉ : on a gratté une lettre à droite (b). C'est le "S" de "St Germain" (coupé en deux par la ligne de métro... ⊕)

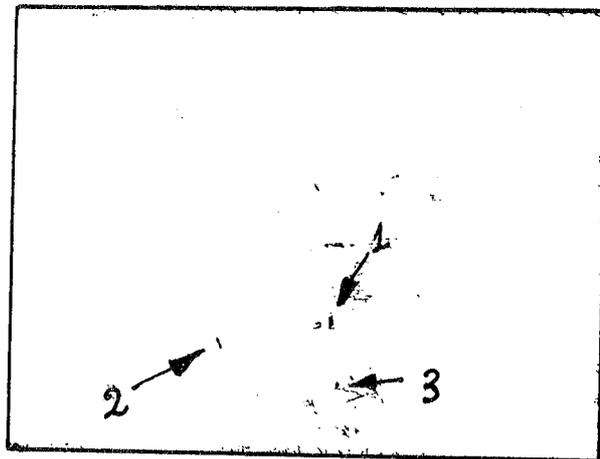
a



b



c

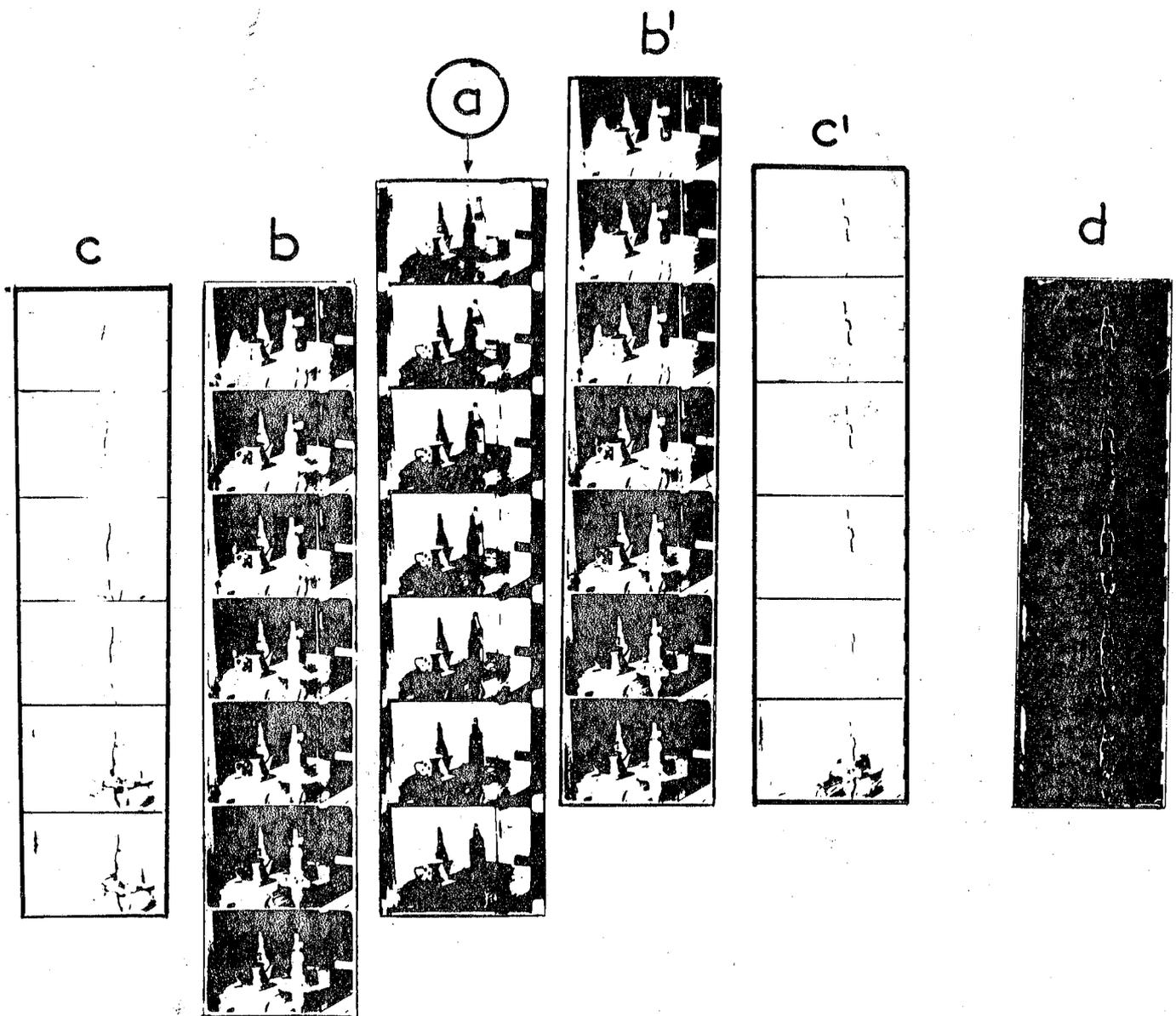


25

UN ATTENTAT À PARIS....

A 3600 mètres, à l'aplomb de la Tour Eiffel, deux photographies aériennes ont été faites avant et après la destruction d'une maison (1). Deux camions (2) et une estafette (3) ont fait mouvement... Le repérage est instantané : polaroid, magnétoscope, cinéma... sont des moyens simples et efficaces...

Un léger décalage entre positifs-négatifs permet de "situer" immédiatement les points importants... Une méthode dynamique a été mise au point à partir d'un film cinématographique (Fig 26)



26 TRAITEMENT d'une SÉQUENCE de CINÉMA

Au positif du film ciné (a) on superpose, avec décalage d'une vue (ou plus...) le film négatif: on relève ainsi la partie gauche du profil de l'objet qui a bougé (c). — Même opération en décalant le négatif vers le haut (b'): on a la partie droite du profil (c').

En additionnant C et C' on a le film "d": On ne voit que l'objet qui a bougé: la bouteille qui glisse de gauche à droite... Tout ce qui n'a pas bougé est "effacé": on n'a conservé que l'information dynamique...

sant dans une visionneuse un film positif et son tirage négatif décalé. Pour des raisons mécaniques, le recadrage est assez mauvais; mais cette manipulation suffisait pour vérifier que " cela marche ". Entretemps j'ai fait faire un tirage correct par superpositions positif-négatif par un laboratoire spécialisé; l'effet est assez surprenant et la méthode devrait intéresser toutes sortes de spécialistes concernés par les problèmes d'images cinématographiques.... Quoiqu'il en soit, tout ce qui précède est suffisant pour conclure.

VI. CONCLUSIONS

J'ai proposé ici une méthode de recherche simple mais efficace, applicable dans de très nombreux domaines où des problèmes d'"images" sont en cause. Issue de préoccupations pratiques (recherche d'une méthode objective pour comparer la qualité sonore d'instruments de musique), ses développements se sont avérés fructueux dans bien d'autres domaines. Elle est applicable partout où on est capable de transformer un phénomène en " image ", en configuration de points. Elle comporte deux aspects : comparaisons globales entre deux images complexes, spatiales ou temporelles; comparaisons entre tranches successives d'une même image; l'une correspond à des mécanismes de corrélation; l'autre à des mécanismes d'autocorrélation. Mais au fond, il s'agit toujours de comparaisons de configurations deux à deux.

L'intérêt de cette méthode, c'est qu'elle représente un " outil " pour penser ou repenser un certain nombre de problèmes; en particulier ceux des mécanismes de la perception des images (visuelles ou sonores) par l'homme. Sous-jacent à toutes ces recherches, on trouve l'une de mes préoccupations majeures actuelles : celle de la simulation cybernétique du système auditif humain. Corrélation et autocorrélation sont certainement ici des mécanismes fondamentaux ayant une double fin : supprimer la redondance des phénomènes physiques captés par notre oeil et notre oreille, afin de pouvoir procéder au stockage et au traitement de l'information par les voies les plus économiques; permettre de reconnaître des formes à l'aide d'opérations, de programmes, relativement simples réalisables en temps réel (traitement en bloc de paquets d'information plus ou moins grands).

Acessoirement, la méthode proposée, éventuellement exploitée à l'aide de moyens que mettent à notre disposition l'électronique et l'informatique modernes (entrée visuelle d'images dans un ordinateur, traitement de l'information contenue dans ces images, etc...), cette méthode permet dès à présent de traiter un grand nombre de problèmes dans les domaines les plus variés. Citons en quelques-uns : astronomie (un satellite est instantanément repéré dans un ciel étoilé...), géographie, archéologie, botanique, médecine, criminologie, mécanique etc...; bref partout où il est intéressant d'étudier deux états successifs, de simplifier les messages pour ne retenir que l'important : ce qui change; éventuellement par la méthode dynamique (film de cinéma). Les domaines acoustiques proprement dit sont tout spécialement concernés, puisque nous savons aisément transformer une réalité acoustique, si compliquée et évolutive soit-elle, en images. L'acoustique des salles, les domaines de l'insonorisation les prothèses acoustiques, l'intelligibilité de la parole (définition de la netteté des formes de parole), l'appréciation de la qualité auditive comparée entre des maillons ou des chaînes électro-acoustiques, le problème du bruit etc.... La psycho-physiologie auditive gagnerait à être repensée à travers un modèle fonctionnel de l'audition dont il est possible désormais de simuler deux fonctions essentielles (par voie analogique ou numérique). Bref, il est assez facile de faire de la prospective dans beaucoup de domaines scientifiques ou humains et - pourquoi pas - artistiques (cinéma d'avant-garde...). Les quelques exemples donnés ici ne sont qu'une partie de ce qui est déjà fait, et je m'emploie à développer ces idées actuellement dans diverses autres directions. Mais ce qui précède devrait suffire pour retenir l'atten-

tion de divers spécialistes concernés par les méthodes préconisées. Le but de notre réunion était surtout de regrouper ce qui est déjà réalisé, en un tout cohérent, et de faire le point d'une recherche que je m'évertue à développer actuellement parce qu'elle me semble prégnante.

LEIPP
Paris 10 Août 1973

BIBLIOGRAPHIE

Il n'est donné ici que les publications que j'ai faites sur le thème considéré : corrélation et autocorrélation d'images.

- 1°) Projet de recherche sur la reconnaissance automatique de la parole. Rapport confidentiel dans le cadre du Laboratoire d'Acoustique (Laboratoire de Mécanique ; M. le Prof. SIESTEUNCK); le 10.2.1969. Non publié à ce jour.
- 2°) Méthode de corrélation optique pour comparer deux événements acoustiques. Conférences des Journées d'Etude du Festival International du son. Paris 1972 (Chiron, Paris).
- 3°) Le problème de l'audition stéréophonique : stéréoscopie et stéréophonie Bulletin G.A.M. N° 62. Paris, Juin 1972.
- 4°) Der Informationsgewinn bei zweiohrigem Hören. Conférences au Festival des preneurs de son; Cologne, Oct. 1972. Edition interne du Laboratoire de Mécanique, Université de Paris VI. Publié par WDR; Verband Deutscher Tonmeister; Cologne 1973.
- 5°) Un rapport confidentiel sur le traitement d'images, en vue d'une action thématique programmée du C.N.R.S. Sans suite.
- 6°) Aspects informationnels de la réverbération. Conférences des Journées d'étude du Festival International du son; Ed. RADIO, Paris 1973.
- 7°) Traitement optique de l'information acoustique. Conférence au GALF (janvier 1973); "Revue d'acoustique"; Paris 1973.
- 8°) Traitement optique de la réverbération. Conférence au GALF (Avril 1973); à paraître dans "Revue d'Acoustique" 1973.

Comme ouvrage fondamental dont nous recommandons la lecture, je conseille :

MOLES (A) - Théorie de l'Information et perception esthétique
DEMOEL, Paris 1972

D I S C U S S I O N

M. ALAIS : Votre méthode d'extraction de la dérivée spatiale ou temporelle est en effet très simple. Nous faisons la même chose en holographie; mais on peut avoir ici une dynamique plus grande qu'en utilisant vos images noir et blanc; avec l'holographie on peut en effet utiliser des documents grisés.....

M. LEIPP : Les documents que j'ai montrés ont tous été " forcés " en contraste photographiquement, afin d'obtenir des diapositives plus franches et surtout des tirages en offset corrects pour les bulletins du GAM... Mais on peut tout aussi bien utiliser des images en demi-teintes, puisque négatifs et positifs se complètent et s'annulent parfaitement. Le problème de la dynamique et des demi-teintes se posent seulement quand on veut entrer en ordinateur - où il est d'ailleurs soluble; mais il suffit de toutes façons de réaliser une quantification plus fine de l'image pour obtenir des demi-teintes

M. KOPP : Votre méthode ne permet pas de résoudre un problème : celui de la reconnaissance des lettres manuscrites.

M. LEIPP : On a parlé de ces questions lors du GAM " PAROLE ", en Janvier 1971, et montré que l'on peut réaliser toutes les anamorphoses voulues sur des images, avec l'ordinateur. Dans l'écriture manuscrite, la méthode que je préconise est tout à fait utilisable; point n'est besoin d'une corrélation de 100 % pour reconnaître des images, et d'autre part il se pose alors le problème du recadrage des lettres manuscrites dans un cadre normalisé; il y a probablement une question de formes floues : c'est un problème qui me préoccupe beaucoup; mais ce n'est pas mon propos ce jour, et je pense que j'en reparlerai quand mon travail sera plus avancé dans ce domaine.

M. BESNAINOU : Dans les manipulations radar, on opère comme vous. On a un discriminateur de fréquence; on balaye la région à observer : tout ce qui revient sans changement de fréquence est supprimé de l'image observée sur l'écran; on ne voit plus alors que ce qui bouge....

M. LEIPP : L'intérêt de ma méthode est qu'elle est très universelle et surtout à la portée de toutes les bourses sans appareillages onéreux....

M. ALAIS : On sait faire actuellement des bancs d'holographie pour 1000 F....

M. LEIPP : Oui ! Mais il faut un ordinateur après....

M. DUPREY : Je reviens, à cause de son intérêt, sur un point pour lequel vous avez en fait donné la réponse tout à l'heure. Si je prononce une phrase donnée (le petit chat fait sa toilette) avec des intonations et des voix tout à fait différentes, il y aura toujours un taux de corrélation avec une " norme " plus grand que s'il s'agit d'une autre phrase : le taux de similitude peut être faible sans pour cela empêcher de reconnaître la phrase !

M. LEIPP : Oui; je crois que c'est un point important, que je développerai par la suite.

M. GEOEN : Je pense que votre méthode n'est applicable qu'aux stéréotypes. Je pense au problème de ma signature, déposée il y a longtemps aux chèques postaux, et qui a bien changé depuis. Or je n'ai jamais d'ennuis.

Si mon fils imite ma signature, elle ressemble bien plus à ma signature actuelle que ne le fait mon ancienne signature. Or la signature imitée par mon fils ne " passe " pas....

M. LEIPP : Je pense tout simplement que vous vous laissez tromper par les apparences, et que vos " traits pertinents " sont dans vos deux signatures : l'ancienne et la récente; mais pas dans celle de votre fils... Bref, vos " programmes mentaux de traitement de l'information, .. corrélation et autocorrélation, ne sont pas bons... C'est le contrôleur des chèques qui détient les bons " programmes ". En tout cas vous soulevez un problème intéressant auquel il faudra réfléchir.... et si nous réussissons à savoir comment procède le contrôleur, on arrivera peut-être à simuler ce qu'il fait. J'insiste : la corrélation globale d'une image n'est faite qu'après le prétraitement, sur images autocorrélées. Tout cela reste à voir.

M. LEOTHAUD : Quand on passe sur l'ICOPHONE, la phrase autocorrélée, par exemple " le petit chat fait sa toilette ", ce squelette sémantique est-il suffisant pour comprendre la parole.

M. LEIPP : J'ai fait l'expérience; c'est assez troublant, car on comprend effectivement la phrase sans trop de difficultés; en tout cas on ne la confondra jamais avec une autre phrase autocorrélée... Je sais bien à quel point les problèmes de l'intelligibilité sont complexes, et il faudrait poursuivre la recherche amorcée dans ce sens; mais on en reparlera sûrement dans les temps à venir !

M. KOPP : On peut aussi imaginer que la reconnaissance de lettres se fait à partir d'images oscillographiques; reconnaître une lettre c'est savoir quand ça monte, ça reste horizontal, ça descend, ça tourne etc....

M. LEIPP : Oui, la méthode de spot suiveur est possible puisqu'on l'utilise; mais il faut avouer qu'elle est terriblement " lourde " et je pense que lorsque nous lisons normalement une lettre nous ne procédons pas ainsi, en suivant l'évolution des lignes; ce serait beaucoup trop compliqué pour pouvoir lire vite, en temps réel.... Je ne crois pas que la nature a résolu le problème ainsi; je crois beaucoup plus à la corrélation, après prétraitement anamorphoses adéquates, de formes globales floues. L'avenir montrera sûrement où est la vérité.

M. BESNAINOU : Si on veut différencier un " e " d'un " l " manuscrits il faut le contexte

M. LEIPP : C'est bien pourquoi je soutiens que la connaissance automatique de la parole se fait à partir de formes globales, où le contexte existe par la force des choses.

M. GEOEN : J'ai une application à votre méthode ! Je viens de faire une visite chez DOLBY, où l'on a en fabrication de série, des problèmes d'erreurs des cableuses et des soudeuses.....

M. LEIPP : En riant, j'ai proposé l'autre jour l'invention (à faire) d'un dispositif électro-optique qui consisterait à donner instantanément, à travers un oculaire, une image négative d'une image quelconque; c'est évidemment réalisable avec les moyens actuels. Dans ces conditions, vous regardez une scène avec l'oeil droit, normalement, et devant l'oeil gauche vous placez votre dispositif, en vous arrangeant pour qu'une ligne de retard décale temporellement l'image gauche de quelque millisecondes. Vous faites alors en temps réel l'opération d'autocorrélation dont il est question ici et vous ne voyez plus que l'essentiel

...../

M. DUPREY : Votre méthode permettrait de contrôler les tassements des immeubles en architecture : Tour Montparnasse, barrages etc...

M. LEIPP : C'est certain; et cela sans difficultés, à condition de prendre toujours la même optique pour faire les clichés; en effet, comme j'ai précisé et montré : la méthode est très fine et permet de déceler d'infimes différences.

En conclusion, et comme vous le voyez, les applications des deux procédés que je propose ici sont innombrables et je pense qu'on en reparlera dans un avenir proche...