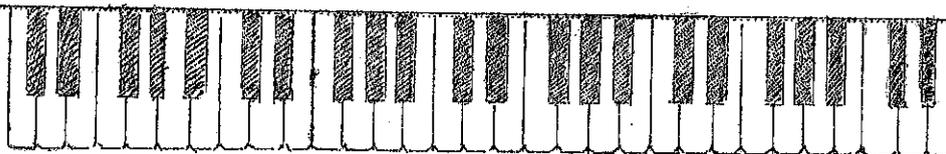


COLLOQUE SUR LE PIANO



E. LEIPP

LES MESURES PHYSIQUES ET LEUR SIGNIFICATION

M. CASTELLENGO

PEUT-ON APPRECIER OBJECTIVEMENT
LE STYLE DES PIANISTES ?

J. S. LIENARD

MECANIQUE ET TOUCHER DU PIANO

C. DORGEUILLE

ESSAI D'ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE
DE LA TECHNIQUE DE CLAVIER

JUIN 1967 - N° 30

G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 RUE CUVIER - PARIS - 5^e

G.A.M.
Groupe d'Acoustique Musicale
Laboratoire d'Acoustique
Faculté des Sciences
8 Rue Cuvier - PARIS 5°

Paris, le 12 Octobre 1967

BULLETIN N° 30

Adresse postale
9 Quai St-Bernard, 5°

Colloque sur le PIANO

REUNION DU 24 JUIN 1967

Etaient présents :

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

M. le professeur L. GAUTHIER Vice-Doyen de la Faculté des Sciences de Paris et Mme et M. CANAC, Directeur honoraire du CRP, nous avaient honoré de leur présence.

Puis, par ordre d'arrivée :

Mme et M. J. S. LIENARD (Ingénieur des Arts et Métiers); M. MOLES (Dr ès lettres, Dr ès Sciences, Faculté des Lettres de Strasbourg); Melle D. PAOUNOFF (Etudiante en Médecine); M. JUNETIER (Facteur de pianos); Mme et Mr. le Dr. DORGEUILLE (Docteur en Médecine); M. GUILLAUME (AFARP); M. DUPARCQ (Dr. Revue Musicale); Melle FILLION; M. E. MASSART (Pianos, Namur); M. VALLET (Directeur Général GAVEAU-ERARD); MM. RAYNAUD et ROUFAT (GAVEAU-ERARD); M. DUSOTOIT (Ingénieur); M. CAUBEL (ingénieur); M. Claude HELFFER (pianiste) et Mme HELFFER (Musée Guimet); M. CONDAMINES (Laboratoire d'acoustique ORTF); M. BARKECHLI (Faculté des Sciences de TEHERAN); Mme et Dr. VALLANCIEN (Dr en médecine); M. COSTERE (musicologue); Mme CHARNASSE (CNRS); M. CHENAUD (Président de l'AFARP, Association Française des accordés et réparateurs de pianos); Mme NYEKI (Phonothèque Nationale); Melle Silvie HUE (Professeur de musique); M. Akira TAMBA (compositeur, CNRS); M. CAMION (Architecte); Melle LEVALOIS (Présidente de l'Association des Professeurs d'éducation musicale); M. J. DETTON (Secrétaire général de la société Française de Cybernétique); M. G. CHARNOZ (Expert en pédagogie); M. J. CHARNOZ (Etudiant); M. CARCHEREUX (Maître luthier); M. MUNCH (Instituteur); M. LEQUEUX (Etudiant architecture); M. Michel GAUTHIER (CNRS); Melle KLEIN (Pianos); Melle DETTON; Melle RENAUDIE (Professeur de musique); M. DERVIEUX (Professeur de musique); Melle ROUSSELIER (Conservatoire de Musique de Paris); M. CHAIRUCCI (GRM; ORTF); Mme TORD; M. REIBEL (GRM; ORTF); Mme COSSART (Professeur de musique); M. ISOIR (Organiste); Melle LANG (Etudiante psycho.); Mme et M. SCHINDLER (Pianos); M. BERNARD (Maître de conférence Fac. de CAEN);

Excusés :

M. FAYEULLE; M. KADAR; Mme Yvonne LEFEBURE; M. CHAILLEY; M. MALERNE; M. JUNCK; M. BUSNEL; Melle WEBER; M. COCHEREAU; Mme CARON; M. GILOTAUX; Mme GALMICHE; Mme DESLAURIERS; M. GIRVES; M. CLEAVER; M. DUFOURCQ; M. Dr. CLAVIE; M. AGOSTINI; M. Raymond LYON; Mme BOREL-MAISONNY; Melle DINVILLE; Dr. ANGELERGUES; M. CHARPEINE; Melle O. MEYER-SIAT; M. FORET; Mme Jeanne Marie DARRE; TRAN VAN KHE; M. TOURTE; M. FRIEDERICH; Dr. VEIT; M. MAILLOT; M. BLONDELET.

COLLOQUE SUR LE PIANO

E. L E I P P

LES MESURES PHYSIQUES
ET LEUR SIGNIFICATION

JUIN 1967

- N° 30 a

G. A. M.

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 rue Cuvier PARIS 5°

LE PIANO

Les mesures physiques et leur signification

E. LEIPP

I- Introduction

Le piano est le fruit d'une longue évolution de caractère empirique où des générations d'artisans ont accumulé leur expérience pratique; celle-ci représente une somme extraordinaire d'observations dont certaines sont proprement géniales. La facture d'un instrument de musique traditionnel élaboré, comme c'est le cas ici, reste un art difficile: il faut, en effet, y concilier d'innombrables impératifs souvent contradictoires, mécaniques, anatomiques, physiologiques etc... L'expérience nous a montré que l'étude physique et acoustique est beaucoup plus difficile qu'il ne semble à première vue; il faut l'aborder avec beaucoup d'humilité et chercher d'abord à comprendre ce que font les praticiens et pourquoi ils le font. Rien n'est gratuit ici, et il ne faut se faire aucune illusion sur la possibilité d'apporter en ce domaine des idées révolutionnaires: un instrument fabriqué depuis des siècles représente un optimum où il est difficile d'ajouter ou d'enlever quoi que ce soit, sans perdre plus qu'on ne gagne...

Le piano est un instrument "cymbalum" à clavier: ce n'est donc pas l'ensemble cadre-table de résonance-chevilles et cordes qui en fait l'originalité, mais la mécanique du clavier. Celle-ci a conditionné des effets musicaux spéciaux, impossible à produire avec le cymbalum; en particulier, elle permet de plaquer des accords et l'instrument est particulièrement bien adapté pour cela à la musique harmonique occidentale classique, qu'il a d'ailleurs fortement conditionnée.

Considéré comme machine à fabriquer des sons musicaux, le piano pose un grand nombre de problèmes techniques relevant de la physique et de problèmes acoustiques.

Dans l'état actuel des choses, il n'est pas question de "mettre le piano" en équation! Non pas que cela soit impossible, mais parce que les études fondamentales n'ont pas été faites et parce que c'est un problème où intervient une variable difficile à saisir: "l'oreille" humaine... Par contre, on dispose de moyens suffisants pour faire de l'instrument une étude expérimentale basée sur des enregistrements et des mesures pour lesquelles nous disposons actuellement d'appareillages et de méthodes adéquates. La question qui se pose alors est triple: que peut-on mesurer dans un piano? Comment faut-il procéder? Que signifient les mesures, du point de vue de la qualité?

Nous allons tenter de répondre à ces trois questions.

II- LES MESURES TECHNIQUES ET LEUR SIGNIFICATION

Le facteur de piano est placé devant un certain nombre de problèmes classiques de fonderie, de collage, de vernissage, que l'on retrouve dans d'autres industries et qui, pour cela, ont été bien étudiés. Nous n'insisterons ici que sur quelques points plus spécifiques, à commencer par celui des matériaux.

1°) Les matériaux.

Le facteur de piano fait couler ses cadres chez le fondeur qui utilise des matériaux industriels variés, dont chacun a des avantages et des inconvénients; on a tout essayé, y compris, récemment, des alliages légers. Nous verrons plus loin que le cadre est soumis à des efforts considérables; le cadre classique peut être considéré comme une réussite empirique extraordinaire de ce point de vue. En fait, on est devant un problème de résistance des matériaux et il serait possible de reprendre actuellement cette question à l'aide de procédés élastométriques ou de modèles analogiques électroniques. Mais, étant donné la faible importance économique des instruments de musique, aucune étude sérieuse et complète n'a jamais été faite. Ce serait pourtant d'un grand intérêt: de telles recherches justifieraient très probablement la pratique des facteurs et on pourrait peut-être en tirer d'utiles conclusions en d'autres domaines. Mais de telles études supposent un appareillage, et des connaissances dont ne dispose pas le facteur traditionnel de piano, sont indispensables actuellement, du moins en France, où la facture est restée semi-artisanale.

Les propriétés des bois et les techniques de collage sont mieux étudiées parce qu'elles concernent encore de nombreux domaines industriels. Il existe maintenant des appareillages et des méthodes bien au point et permettant d'obtenir des renseignements objectifs très utiles: microphotographie aux rayons X, mesure dynamique des modules élastiques et des coefficients d'amortissement de la dureté, de la résistance à la déformation, de l'hygroscopie etc...

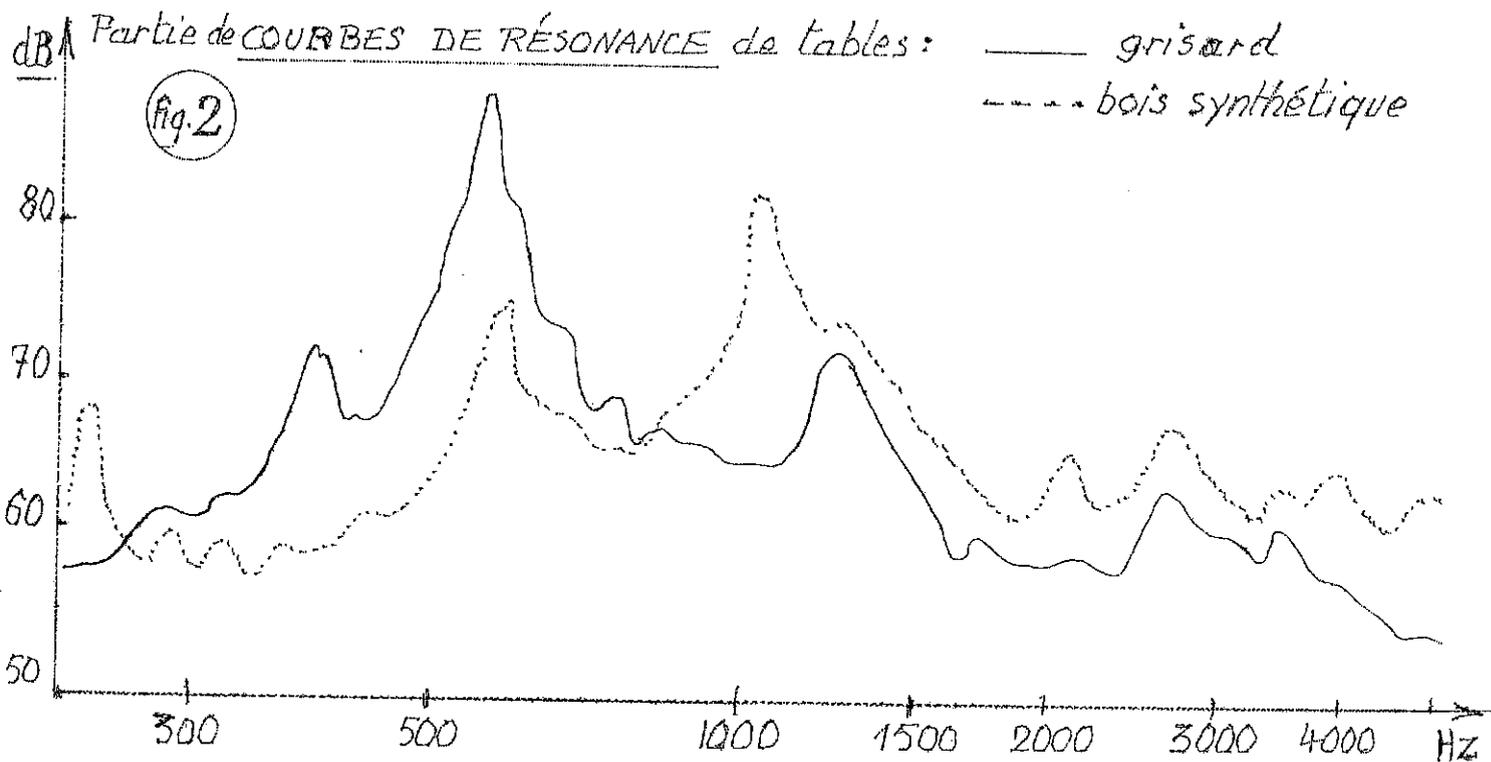
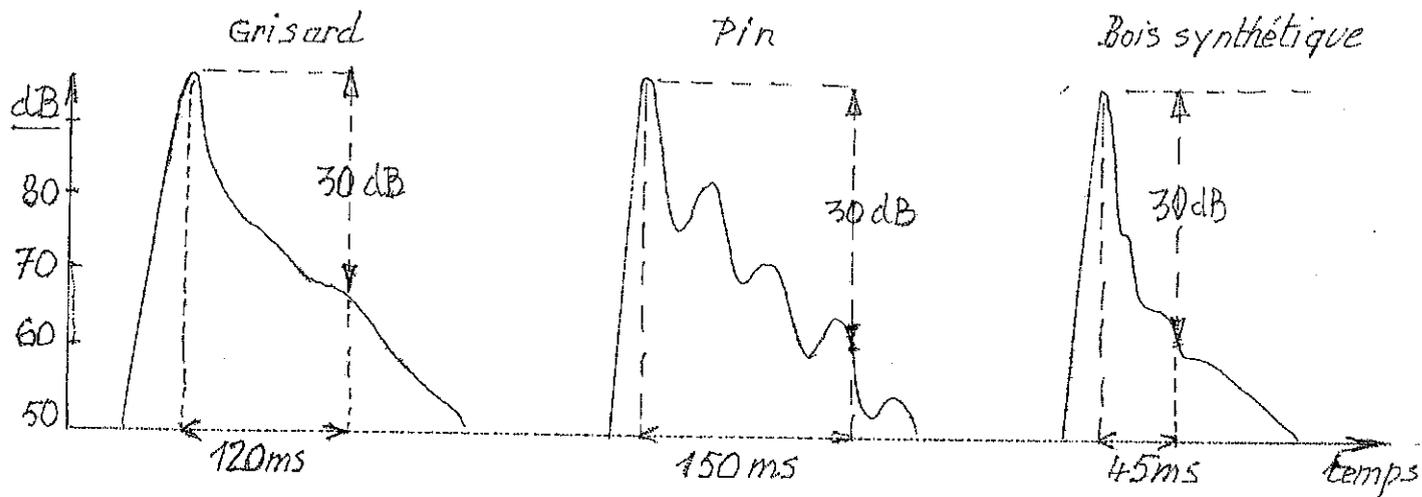
En piano, deux points sont particulièrement importants:

- le coefficient d'amortissement. Il peut être aisément mesuré à l'aide d'élastomètres variés (bib. 1,2). Cependant nous avons cherché une méthode plus simple, plus expéditive et mieux adaptée au problème qui nous occupe ici.

On suspend une table d'harmonie de dimensions standardisées par un coin et on l'excite en son milieu par un choc. Le signal est relevé directement à l'enregistreur de niveau. On mesure le temps mis par le signal pour décroître de 30 db (fig;1).

Fig. 1

AMORTISSEMENT de tables isolées



L'ensemble des courbes de résonance des diverses parties de l'instrument (table barrée et montée, cadre, panneaux du meuble etc) permet de prévoir les "formants" des spectres rayonnés par l'instrument.

On obtient ainsi une espèce de "durée de réverbération" très significative du point de vue de la "sonorité" ultérieure de l'instrument. Plus cette durée est grande, plus la table "sonne" au sens du praticien. On peut, à l'aide de ce procédé, trier et classer des tables d'harmonie, étudier le rôle du séchage du bois, celui du vernis etc...

- La courbe de résonance: On la relève en utilisant la méthode des impacts. La table, suspendue comme précédemment, est excitée par des impulsions périodiques de basse fréquence, produite par une petite "machine à frapper". On relève sur bande magnétique le bruit produit, on fait une boucle fermée que l'on analyse à l'aide d'un analyseur à bande étroite. C'est une méthode classique en acoustique. Le bruit obtenu est caractéristique des propriétés acoustiques de la table; il met en évidence un certain nombre de pointes de résonance, variables selon le cas, et qui déterminent des "formants", c'est à dire des régions fréquentielles préférentielles dont le rôle sur les spectres des sons rayonnés par l'instrument est capital (fig.2).

Il va sans dire que ces relevés n'ont pas de valeur absolue pour l'instrument fini puisque la table sera munie de barres et fixée de façon particulière; mais ils permettent de sérier les bois par catégories au départ. Par contre, on peut refaire le même relevé, la table étant en place, avec ou sans cordes, et alors on peut en tirer des conclusions très précises sur les spectres des sons rayonnés par l'instrument. On notera qu'il est possible de refaire les relevés des autres parties vibrantes de l'instrument: panneau du meuble, cadre, etc..., car il est bien évident que tout vibre et que toutes ces parties jouent leur rôle au même titre que la table d'harmonie. L'ensemble des courbes permet de se faire une idée précise sur les zones de résonance de l'instrument qui favorisent les partiels correspondants du son d'une corde.

Ce procédé est très intéressant pour qui sait l'employer à bon escient, car chaque pointe de résonance peut être contrôlée et réglée au cours de la fabrication; en tout cas, cette méthode permettrait de remplacer avantageusement ou, du moins, de compléter les procédés empiriques qu'utilisent les facteurs lorsqu'ils "sonnent" un piano et en tirent des conclusions à l'oreille.

2°) La tenue des chevilles.

C'est un problème pratique très important et qui fait souvent le désespoir des accordeurs et des usagers.

La cheville d'acier est forcée dans les trous ménagés dans le sommier (fig.3). Un certain coefficient de frottement est nécessaire: trop faible, les chevilles ne tiennent pas; trop fort l'accord devient difficile et se fait par "sauts", rendant tout accord précis impossible. Le frottement est déterminé par

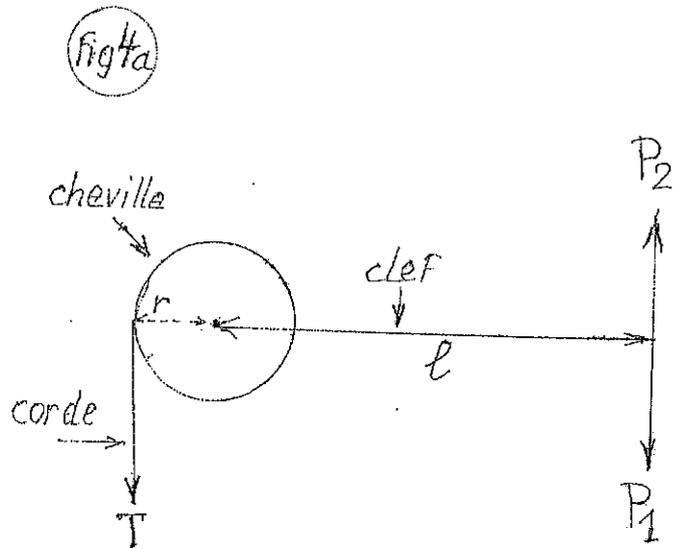
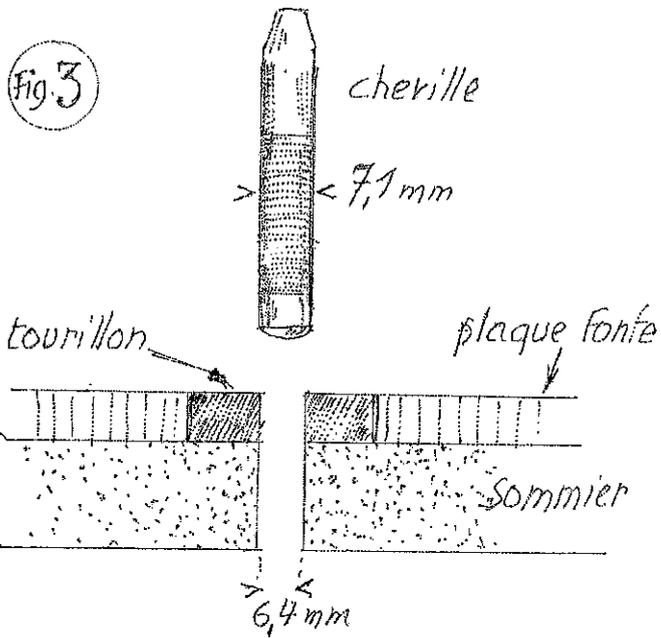
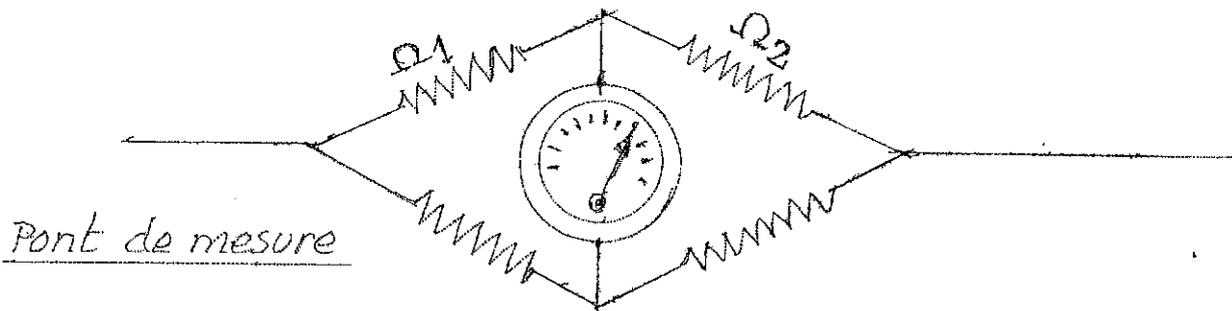
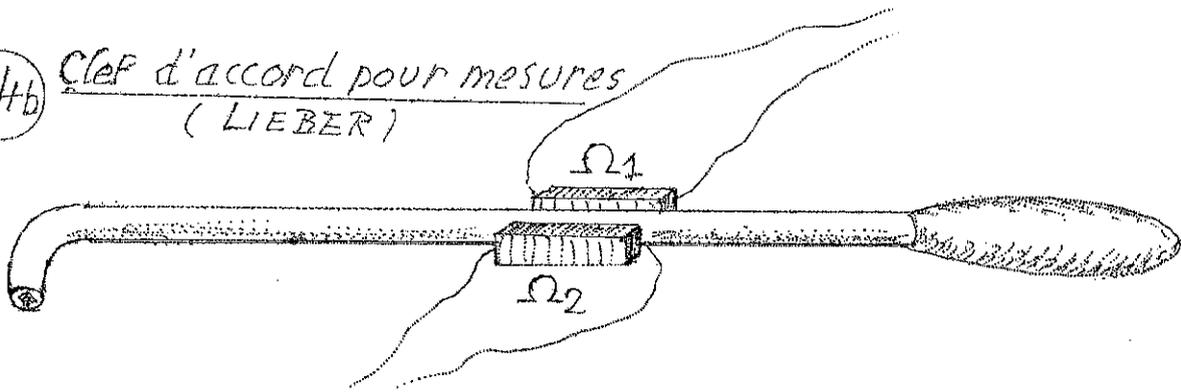


Fig. 4b) Clef d'accord pour mesures (LIEBER)



La lecture du coefficient de frottement se fait directement sur le cadran préalablement étalonné. Le même dispositif permet de mesurer la tension des cordes avec une précision suffisante.

le rapport entre le diamètre de la cheville et celui du trou; les facteurs ont abouti à des valeurs optimales bien définies (respectivement 7,1 mm pour la cheville et 6,4 mm pour le trou, chez STENWAY de New York, par exemple). Mais il est bien évident que ce rapport varie selon le matériau utilisé pour le sommier; il n'est pas le même pour un sommier classique en hêtre que pour un sommier en multipli (contreplaqué spécial).

La tenue de l'accord est d'ailleurs liée à d'autres paramètres; par exemple, il est bien connu que le tour de main de l'accordeur y fait beaucoup: s'il tâtonne, la cheville ne tient pas, même si tout était correct au départ. Dans tous les cas, il est possible d'apprécier objectivement la tenue des chevilles: c'est un problème classique de physique où les variables sont la tension de la corde, le rayon de la cheville, la nature des matériaux etc. Les forces nécessaires sont déterminées par la longueur de la clef d'accord. Tout le problème est clairement posé par la figure 4a et on peut imaginer divers procédés pratiques pour mesurer les variables en cause. Ainsi, LIEBER (bib.3) a réalisé un dispositif simple et intéressant (fig.4B). C'est une clef d'accord normale, sur les côtés de laquelle on a cimenté deux résistances électriques. Lorsqu'on fait tourner une cheville la clef se déforme peu ou prou: l'une des résistances est comprimée, l'autre étirée, et alors toutes deux changent de caractéristiques électriques; il suffit alors d'incorporer ces deux résistances comme éléments d'un pont de Wheatstone et d'étalonner convenablement le cadran du galvanomètre. On peut ainsi lire directement le coefficient de frottement de la cheville et en déduire éventuellement la tension des cordes. La méthode est expéditive et suffisamment précise; elle permet de faire des contrôles en cours de fabrication ou d'étudier des matériaux ou dispositions particuliers pour le problème des chevilles.

3°) Le "poids" de la mécanique.

Il faut d'abord préciser ce que les facteurs de piano entendent par "poids" d'une touche. On prend une petite masselote de plomb, de 80 gr par exemple, on l'amène au contact d'une touche, puis on l'abandonne brusquement; si la touche commence tout juste à "parler" dans ces conditions, on dit qu'elle a un poids de 80 gr. Ce "poids" détermine la "dureté" d'un clavier, que l'on peut ainsi apprécier objectivement. Avec le procédé précédent on peut régler une mécanique à 80, 90 gr. etc

Nous avons imaginé un dispositif plus rationnel pour relever la dureté de tout un clavier. Il s'agit d'une simple réglette étalonnée dont une extrémité appuie sur le bout de la touche, l'autre étant fixe; une masse de plomb peut coulisser le long de la réglette (fig.5a). L'exemple de relevé que nous donnons (5b) correspond à deux pianos à queue. La différence de réglage saute aux yeux; la moyenne est respectivement d'à peu près 100 et 70 gr: ce diagramme corrobore les observations faites par les usagers des instruments. Cette méthode permet donc de définir objectivement la dureté, éventuellement de corriger les notes défectueuses.

Fig 5b

"Poids" de deux pianos à queue (1,70m)

X n° 9953
O n° 5640

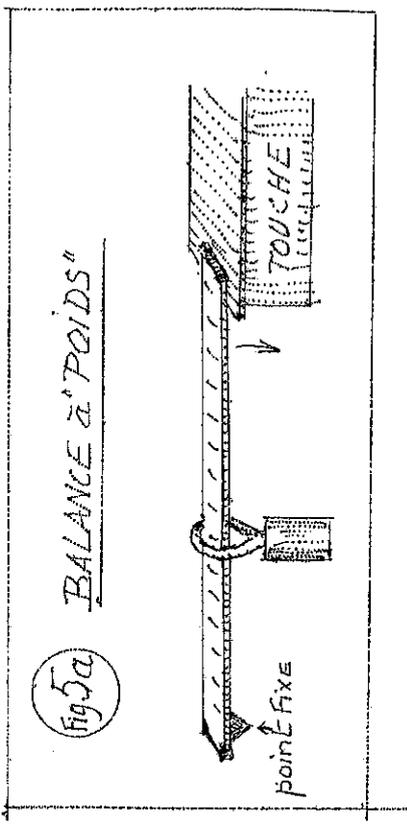
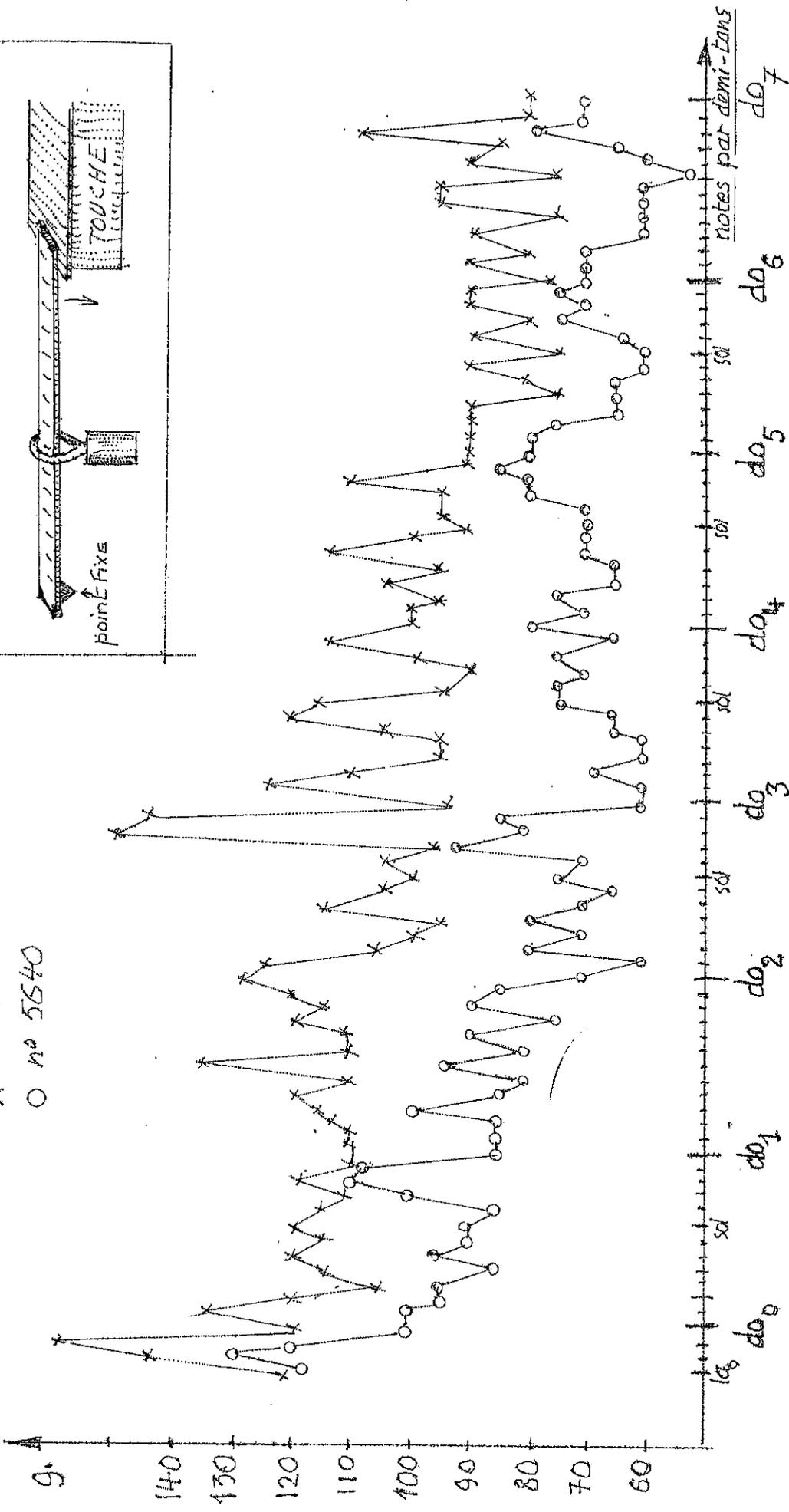


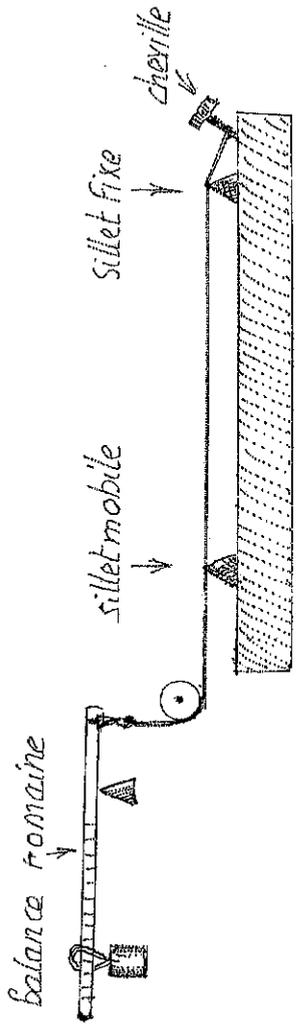
Fig 5a

BALANCE à "POIDS"

Ce diagramme est très instructif; on en déduit en particulier:

- que le piano 9953 est beaucoup plus "dur" que l'autre
- qu'il présente des anomalies (par exemple la #2 et #3) que l'on peut rectifier dès lors
- que le "poids" diminue statistiquement du grave vers l'aigu etc etc

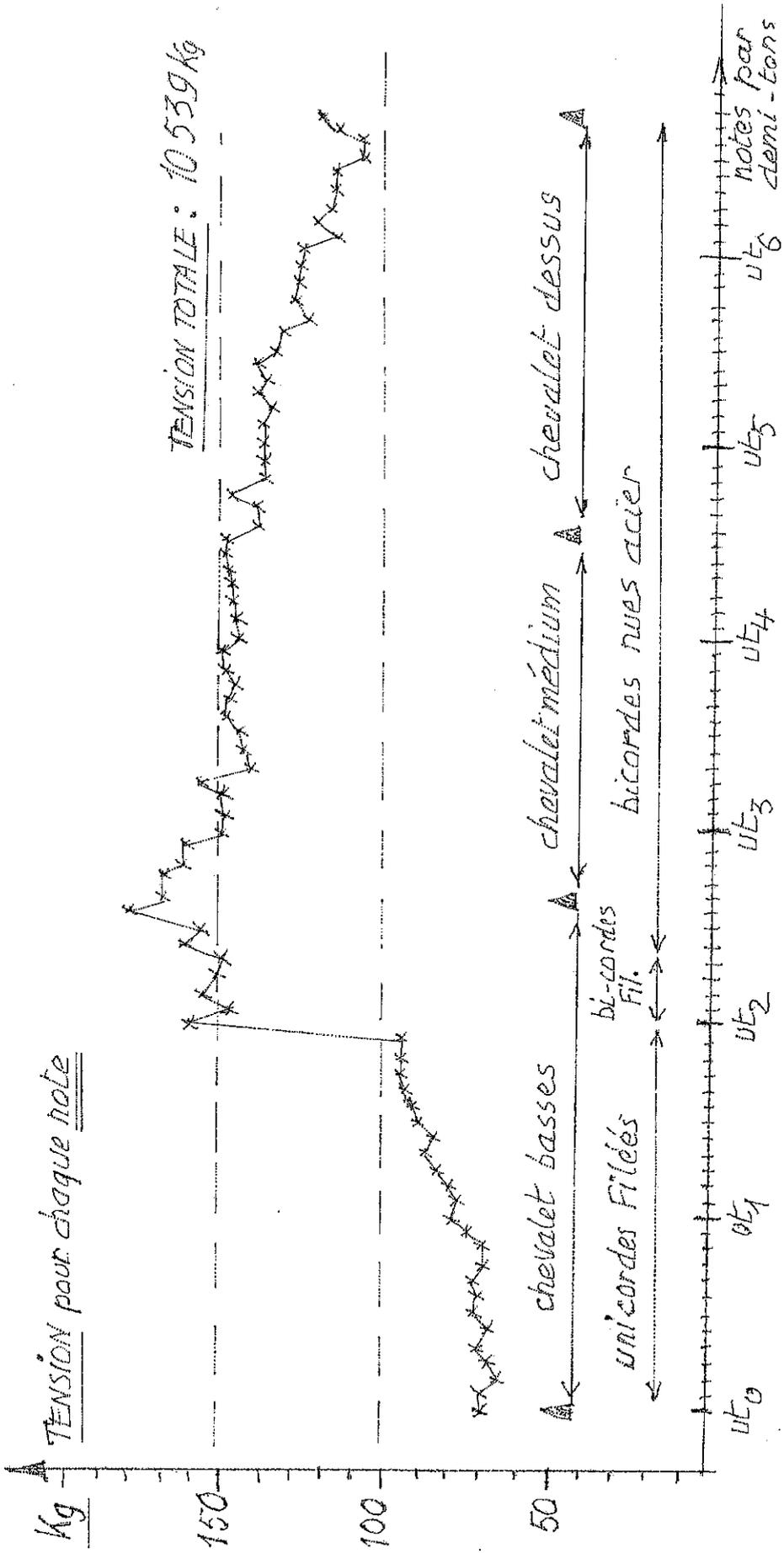
Fig 6



BANC DE MESURE

Fig 7

PIANO AYANT ÉTÉ CONÇU POUR DIMINUER LES CONTRAINTES SUR LE CADRE
 (bi-cordes au lieu de tricordes pour les cordes nues)



4°) Les cordes.

Elles jouent un rôle considérable dans le rendement sonore de l'instrument. Nous avons construit et utilisé pour leur étude un banc formé d'une poutre sur laquelle les cordes sont montées. (fig.6). Une extrémité de la corde est fixée à une cheville, l'autre aboutit à une balance romaine. On peut ainsi rapidement mesurer la tension pour un accord donné et définir les paramètres élastiques de la corde (module d'Young, module de torsion, amortissement etc.). Ceci nous a permis d'établir une fiche caractéristique des cordes, comportant le relevé de toutes les variables en cause; on y voit le diamètre total, la nature et les diamètres des traits, la longueur vibrante utile, la tension, la note donnée et d'autres paramètres significatifs.

Les renseignements de cette fiche ne prennent d'intérêt que s'ils sont transposés sous forme de graphiques d'où l'on peut en déduire un certain nombre de lois:

- loi des longueurs: elle varie selon les modèles et la disposition des cadres; on y observe des anomalies qui ont toutes une explication. Ces courbes portées sur calque deviennent faciles à comparer. On peut en tirer de nombreux renseignements intéressants.

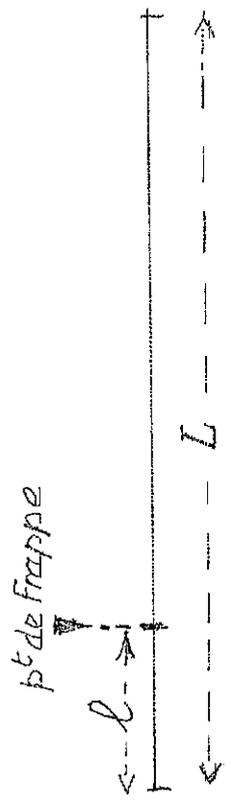
- loi des tensions unitaires; il permet de préciser les efforts exercés par chaque corde en chaque point du cadre. Pour l'exemple considéré ici, elle varie entre 55 kg et 96 kg. Les anomalies apparentes proviennent ici du fait qu'il existe des passages entre types de cordes différents (cordes nues, cordes filées à une couche, à deux couches etc...); il y a nécessairement des passages de sonorité difficiles à maîtriser et que le facteur habile réussit à dissimuler au mieux lors de l'harmonisation (piquage des feutres pour assourdir certaines notes etc...)

- Loi des tensions totales: Comme il y a une, deux ou trois cordes par note, ce qui importe, en pratique, est le diagramme des tensions pour chaque note et non pour chaque corde (fig.7) Ces données sont utiles pour calculer la répartition des efforts sur le cadre, en limiter les déformations, prévoir des renforcements en tel ou tel point. Ce diagramme pourrait servir de base à une éventuelle étude mathématique du problème. On notera que la tension totale est énorme: pour certains types de pianos droits elle dépasse 20 tonnes.

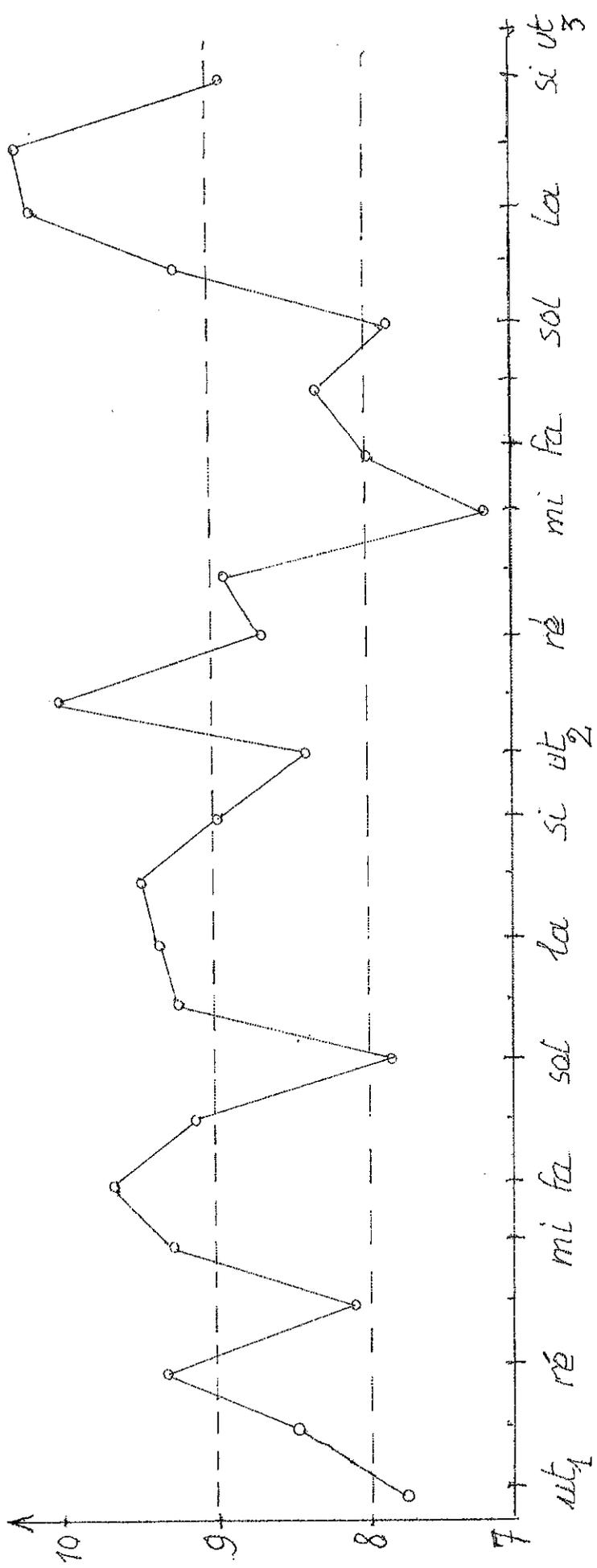
- Loi des points de frappe: La théorie élémentaire des cordes dit qu'il ne peut exister de noeud de vitesse au point de frappe d'une corde; dans ces conditions, les partiels qui ont un ventre en ce point ne peuvent apparaître; si le point de frappe est $1/9$ de la longueur de la corde, le partiel 9 ne pourrait se trouver dans les spectres. Disons tout de suite que la réalité n'a pas cette belle simplicité. On a avancé que les facteurs réglaient les points de frappe de cette manière; en fait, des impératifs d'encombrement et de disposition mécanique ne permettent, de toute façon, pas de réaliser pratiquement quelque chose

Fig. 8

DIAGRAMME des POINTS de FRAPPE:



n° du partiel sensible
ou Rapport L/l



Le point de frappe varie de façon très erratique, autour de 1/9 ; Le facteur est obligé de tenir compte de diverses contraintes impératives : alignement des marteaux, courbure des silets, existence des nervures du cadre, etc. C'est pourquoi la loi des points de frappe n'a pas la belle simplicité qu'on suppose parfois....

de systématique. Voici (fig.8) un relevé des points de frappe pour deux octaves d'un piano. En abscisse on a le nom des notes considérées, en ordonnée le numéro du partiel sensible (théoriquement) c'est à dire le rapport entre la longueur totale et le segment entre point de frappe et sillet. Le partiel sensible varie entre 8 et 9, de façon assez anarchique...

On peut ainsi établir d'autres diagrammes, par exemple relativement à la place des étouffoirs, qui est d'une grande importance du point de vue de la sonorité du piano, en jeu normal (bib.4) *

Par ces quelques exemples, nous avons voulu montrer que l'on pouvait définir objectivement les particularités mécaniques et physiques de l'instrument et en tirer d'utiles conclusions pour sa facture; un développement systématique de telles méthodes permettrait graduellement d'éviter les incertitudes de l'empirisme et de faire mieux et plus vite ce que le praticien fait bien par empirisme. Par la méthode des analogies électroniques on pourrait même étudier le rôle d'un paramètre donné dans l'ensemble: c'est même la seule méthode possible pour isoler un paramètre, contrairement à ce qui se passe dans l'étude de modèles mécaniques où la modification d'un facteur unique agit sur nombre d'autres, rendant son étude physique difficile, voire impossible.

En d'autres termes, la recherche scientifique est susceptible de fournir une contribution efficace dans ce domaine; nous allons voir qu'il en est de même pour le rendement acoustique de l'instrument.

*. Je tiens à remercier très vivement ici M. Georges KLEIN, facteur de pianos grâce à qui j'ai pu faire à loisir la plupart des relevés et mesures dont il est question ici, et qui m'a initié à de nombreux problèmes relatifs à la facture du piano.

III - LES MESURES ACCUSTIQUES ET LEUR SIGNIFICATION

a - POSITION DU PROBLEME

Le développement des télécommunications, radiodiffusion en particulier, a nécessité l'élaboration d'appareillages et de méthodes pour définir objectivement les propriétés du matériel électro-acoustique. Dès le début, quelques chercheurs comme BACKHAUS et MEINEL, à la Rundfunk de Berlin, eurent l'idée d'utiliser ces techniques pour étudier les instruments de musique en les considérant comme des générateurs acoustiques relevant de la compétence de l'ingénieur du son.

Depuis les travaux de ces pionniers, l'électro-acoustique a fait des progrès incouïs: nous pouvons obtenir facilement et en peu de temps des résultats dont nos prédécesseurs n'osaient rêver. Ceci nous a permis entre autres, d'entreprendre une série de recherches sur l'acoustique du piano, dont nous voudrions résumer l'essentiel ici.

Le piano, mieux que tout autre instrument, est une machine. Son rôle est de fabriquer des sons musicaux, c'est à dire des vibrations aériennes d'une très grande complexité et variabilité. Ces vibrations sont normalement rayonnées dans une salle et perçues par l'oreille d'un auditeur (fig 1a). Les réactions de ce dernier dépendent à la fois de la structure physique des signaux perçus, des propriétés de l'oreille considérée comme un microphone de sensibilité variable selon les individus, et du contenu de la mémoire musicale de chacun. Le jugement qui en découle est généralement assez flou, du fait de l'absence d'un vocabulaire scientifique ou technique précis.

Mais ces vibrations peuvent également être captées par un microphone, fixées sur bande magnétique, analysées, photographiées et mesurées dans toutes leurs dimensions à l'aide de grandeurs physiques, avec toute la précision requise (fig 1b). Il n'y a plus de problème technique de ce point de vue. Les difficultés commencent avec l'interprétation des documents....

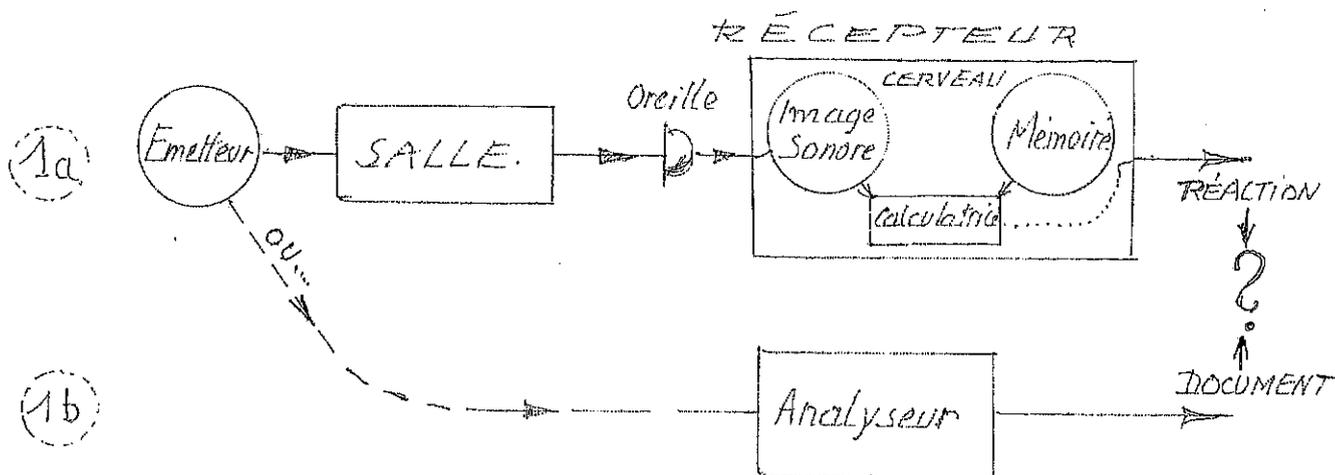


Fig 2a

DIAGRAMMES D'EXTINCTION DE 4 NOTES
(do₀ - do₃ - do₅ - do₆)

Les extinctions sont très irrégulières et compliquées.

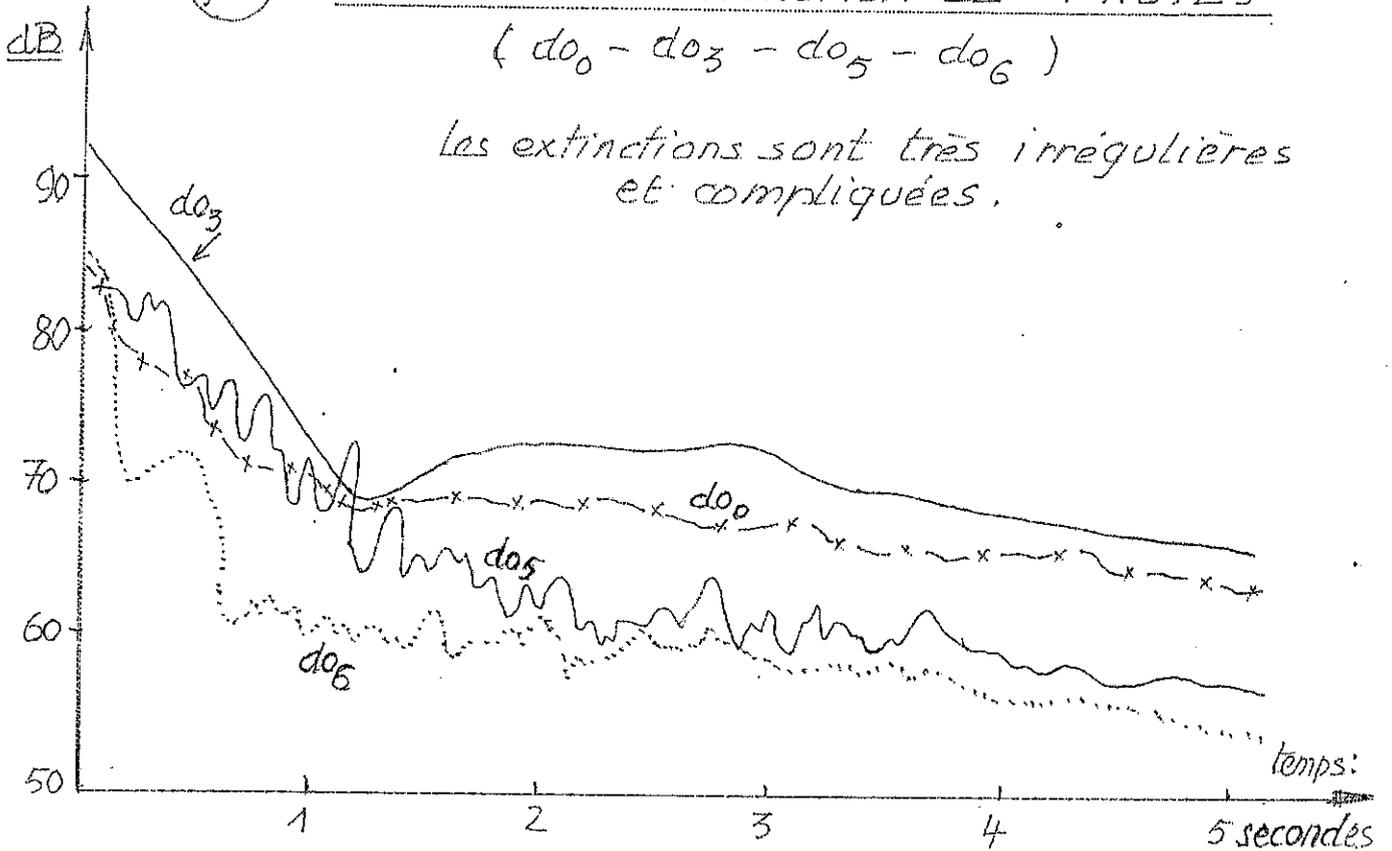
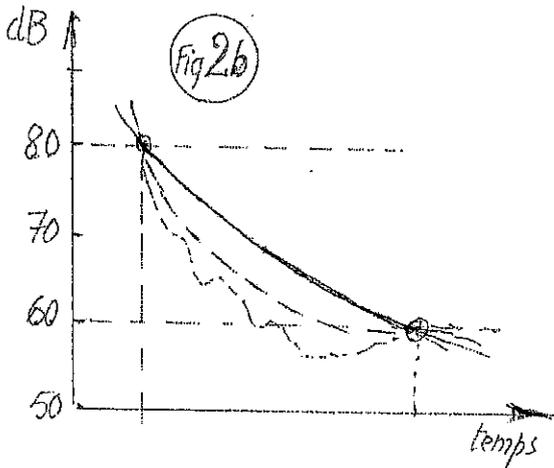


Fig 2b



2b: Entre deux niveaux bien définis, la loi d'extinction peut varier à l'infini

2c DIAGRAMME D'HOMOGENÉITÉ
(gammes diatoniques)

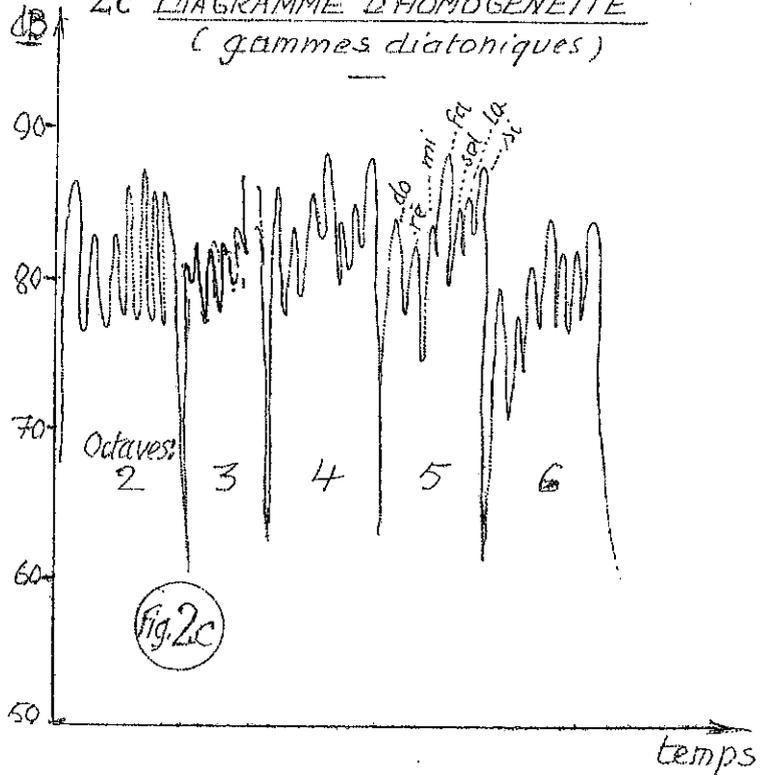
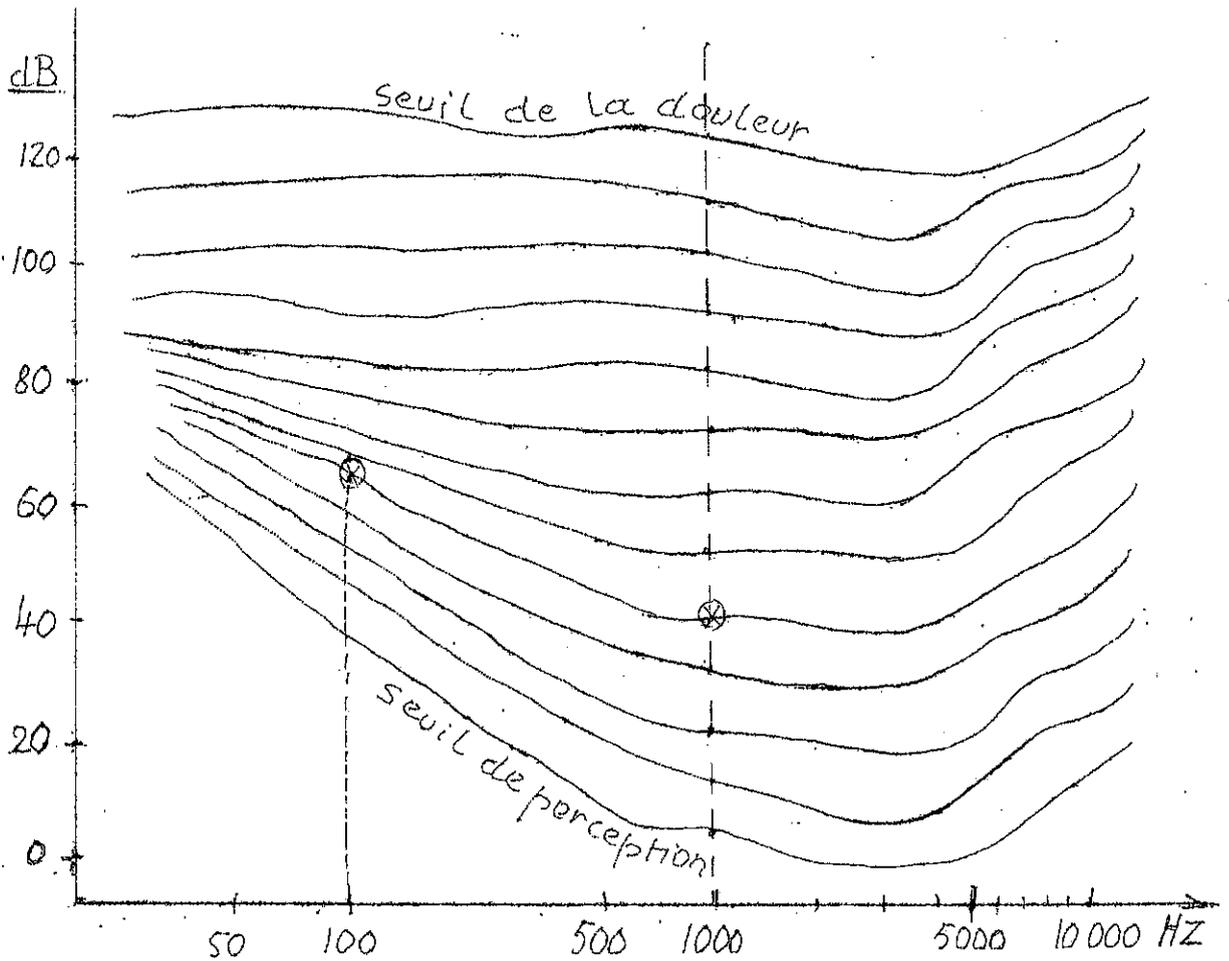


Fig 2c

Fig 3a

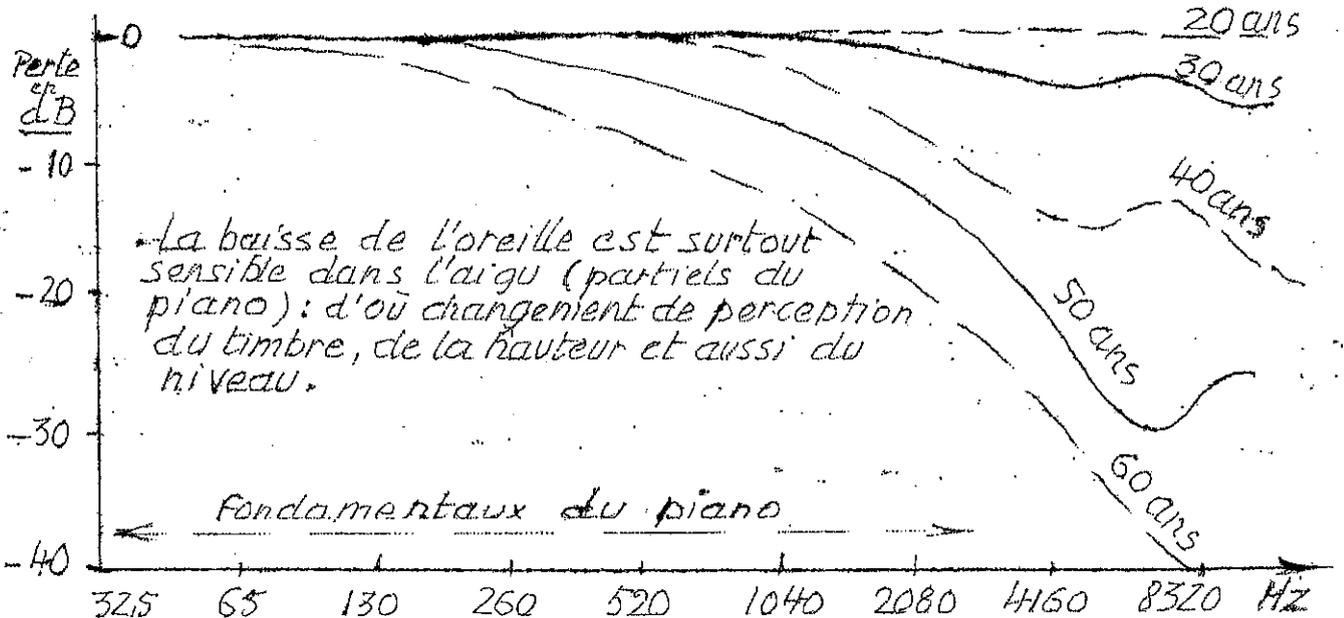
Courbes d'égale sensation d'intensité (FLETCHER)



Un son de 1000 Hz à 50 dB sonne aussi fort qu'un son de 100 Hz à 70 dB.

PERTE DE SENSIBILITÉ de L'OREILLE AVEC L'AGE (STEVENS)

Fig 3b



La baisse de l'oreille est surtout sensible dans l'aigu (partiels du piano): d'où changement de perception du timbre, de la hauteur et aussi du niveau.

2°) Ce qu'en pense l'oreille .

Les études de FECHNER ont montré que la sensibilité de l'oreille aux niveaux était logarithmique; c'est pourquoi on gradue les appareils en décibels. Mais la perception des niveaux varie avec la fréquence, et les courbes d'isotonie de FLETCHER montrent que l'oreille possède une "zone sensible" entre 500 et 5000 Hz environ avec un maximum de sensibilité autour de 2000 Hz. Cette sensibilité décroît fortement de part et d'autre de cette fréquence, vers le grave et l'aigu. Un décibel dans le grave ou dans l'aigu n'est donc pas du tout perçu comme un décibel autour de 2000 Hz. Par conséquent les relevés de niveau du piano (durée de réverbération et homogénéité) ne traduisent pas une réalité perceptive, et il faut les interpréter en fonction des courbes de Fletcher.

Ce n'est pas tout! Le diagramme de FLETCHER est valable pour des sons "purs" (sinusoïdaux). Or les sons de piano présentent de riches séries de composantes quasi-harmoniques. La sensation d'intensité globale perçue par l'oreille est donc un phénomène très compliqué, car elle dépend du timbre.

On peut incorporer à l'appareil de mesure un réseau de pondération qui corrige automatiquement l'enregistrement en fonction des courbes de Fletcher. Les résultats sont déjà plus intéressants, mais on se heurte à plusieurs graves difficultés:

- d'abord l'homme n'est pas standardisé. Tel individu possède une oreille très sensible dans l'aigu, tel autre n'entend plus rien au-dessus de 5000 Hz (fig 3b). Un même son riche en composantes aiguës paraît donc intense pour l'un et plus faible pour l'autre.

- D'autre part, l'expérience nous a montré que la sensation d'intensité dépend énormément de la prévisibilité: un son inattendu paraît beaucoup plus intense que le même son annoncé à l'avance.

- Enfin, l'intensité d'un son dépend de son contexte. Une même note jouée en "forte" venant après une note "piano", sonne beaucoup plus fort que la même note jouée après un "fortissimo".

3°) Que peut-on conclure de tout cela?

Les diagrammes de niveau sont faciles à obtenir et séduisent par leur précision, mais leur dépouillement présente des difficultés extrêmes. L'enregistreur de niveau reste un appareil précieux, mais qu'il faut utiliser avec beaucoup de circonspection et en tenant compte des propriétés de l'oreille relativement à la perception des sons musicaux réels. Parfois il est nécessaire de connaître l'oreille particulière de tel auditeur, de posséder son audiogramme sinon on peut se trouver devant des problèmes insolubles. On ne saurait donc trop mettre en garde contre une interprétation naïve et simpliste des enregistrements de niveau. Les choses ne sont pas plus simples lorsqu'il s'agit de la hauteur des sons, comme on va voir.

c - LE PROBLEME DE LA HAUTEUR.

I°) Comment mesure-t-on la hauteur d'un son?

Les acousticiens du siècle dernier utilisaient encore le sonomètre à cordes. On peut faire avec cet appareil simple du bon travail lorsqu'il s'agit de fréquences moyennes, ni trop aiguës ni trop graves

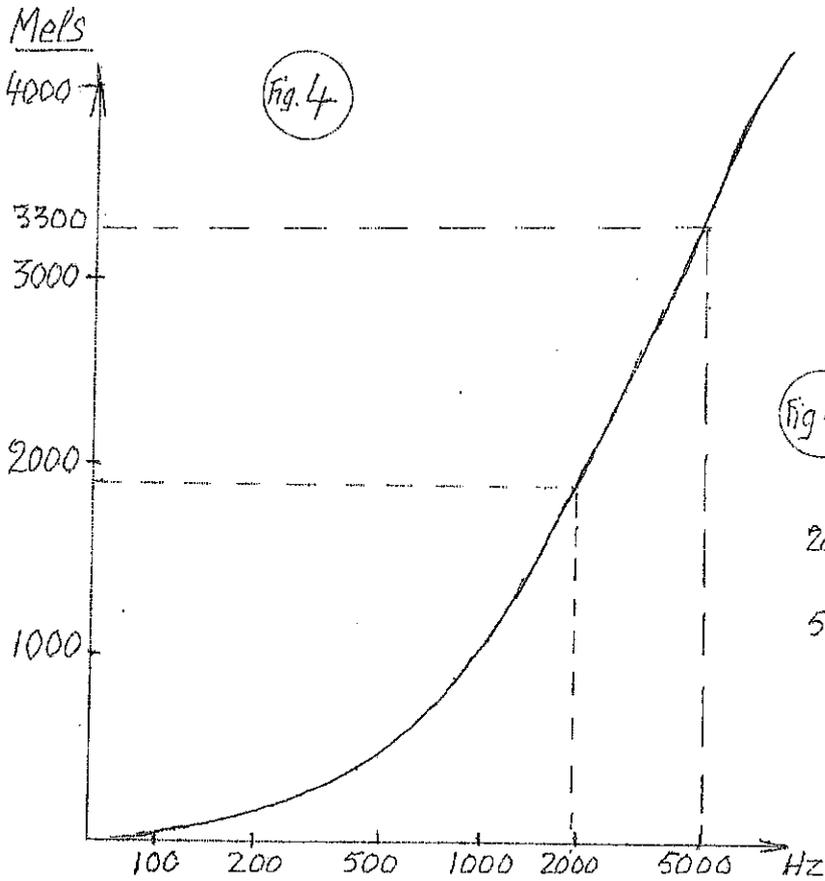


Fig. 4

Fig 4

DIAGRAMME des MELS
(Stevens)

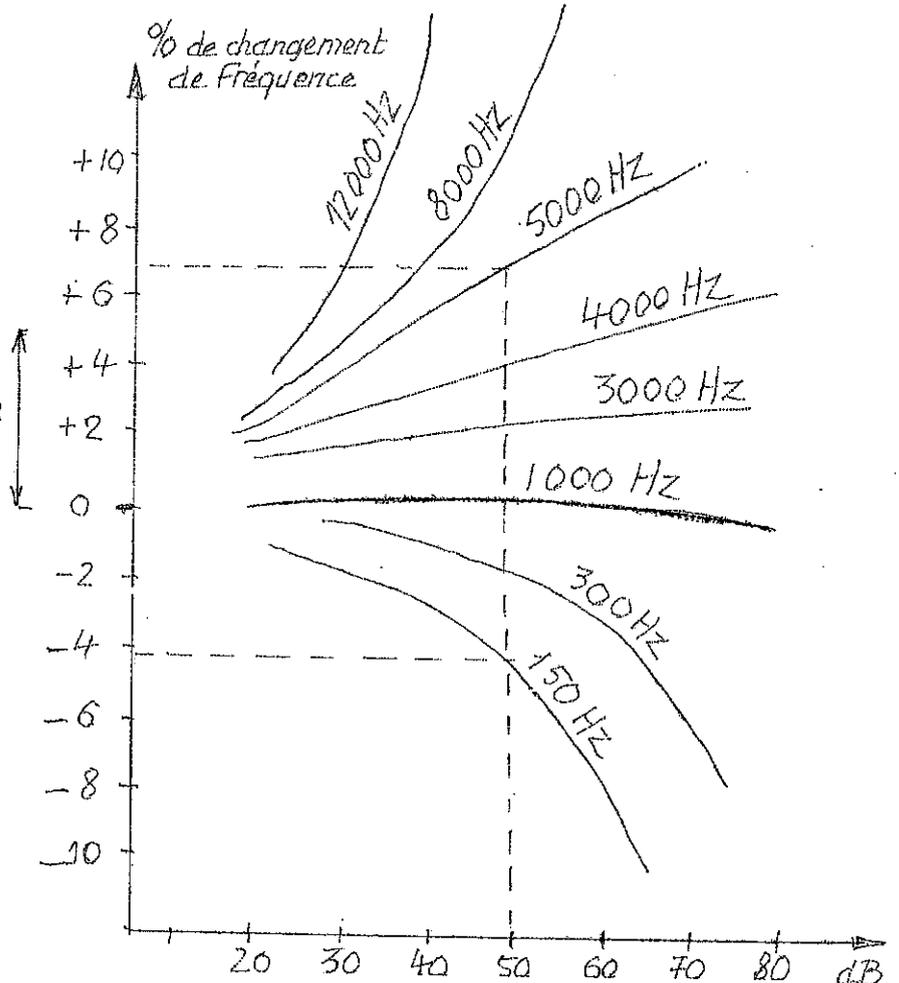
2000 Hz ne "sonnent" que comme 1850 Me/s...
5000 Hz " " " 3300 Me/s

Fig 5

Diagramme
INTENSITÉ - HAUTEUR

∞ 1/2 ton

Un son de 5000 Hz monte de plus d'1/2 ton quand le niveau augmente de 50 dB. Corrélativement un son de 150 Hz baisse presque d'1/2 ton. Un son de 1000 Hz reste stable.



... Mais la précision reste faible si on s'écarte du médium.

L'électronique nous a apporté des moyens de mesure beaucoup moins aléatoires, et il existe maintenant d'innombrables types de fréquencesmètres très précis. Divers constructeurs ont même construit des appareils plus spécialement adaptés à la musique: stroboscopes acoustiques, accordeurs électroniques etc, où les cadrans sont gradués non en Hertz, mais en "cents" (centièmes de demi-tons), en savarts (300 savarts par octave) et en demi-tons tempérés. Il devrait donc être facile d'accorder un piano, et l'apparition de ces instruments avait fait lever de grands espoirs: on pensait résolu le difficile problème de la formation d'accordeurs de pianos spécialisés.

Mais il fallut vite déchanter, et nous allons voir pourquoi.

2^a) Comment l'oreille perçoit-elle la hauteur d'un son musical?

La théorie élémentaire nous apprend que la hauteur est inversement proportionnelle à la fréquence, mais cela n'est vrai que de façon très approchée et dans un domaine de fréquence étroit. Il faut faire à ce sujet de nombreuses restrictions, que les psycho-physiologues connaissent bien.

Prenons par exemple un son sinusoïdal de 500 Hz; il détermine une certaine sensation de hauteur. Doublons la fréquence à 1000 Hz: nous entendons l'octave du son précédent. Doublons encore à 2000 Hz: c'est la double octave; mais nous commençons à remarquer que "ça ne sonne plus tout à fait l'octave, mais un peu plus bas". En passant de 2000 à 4000 puis à 8000 Hz, la fausseté s'accroît de plus en plus. Ces observations ont conduit les psycho-physiologues à imaginer l'échelle des MELS qui permet de relier fréquence et hauteur par une loi bien définie (fig 4). Un fréquencesmètre n'est donc pas suffisant pour accorder des notes sur plusieurs octaves: il faut des corrections.

D'autre part, on a vérifié que la sensation de hauteur pour une même fréquence, varie avec l'intensité du son. En gros, on peut dire qu'un son sinusoïdal autour de 1000 Hz ne change pas de hauteur si on modifie l'intensité. Par contre un son grave semble baisser quand on augmente son intensité et un son très aigu monte... Le diagramme relatif à cette expérience est bien connu (fig 5)

Avec un son complexe, le problème est encore beaucoup plus difficile à trancher. Citons de ce point de vue une expérience de très grand intérêt faite par l'organier MUPIN (Cavaillé Coll) en 1915.

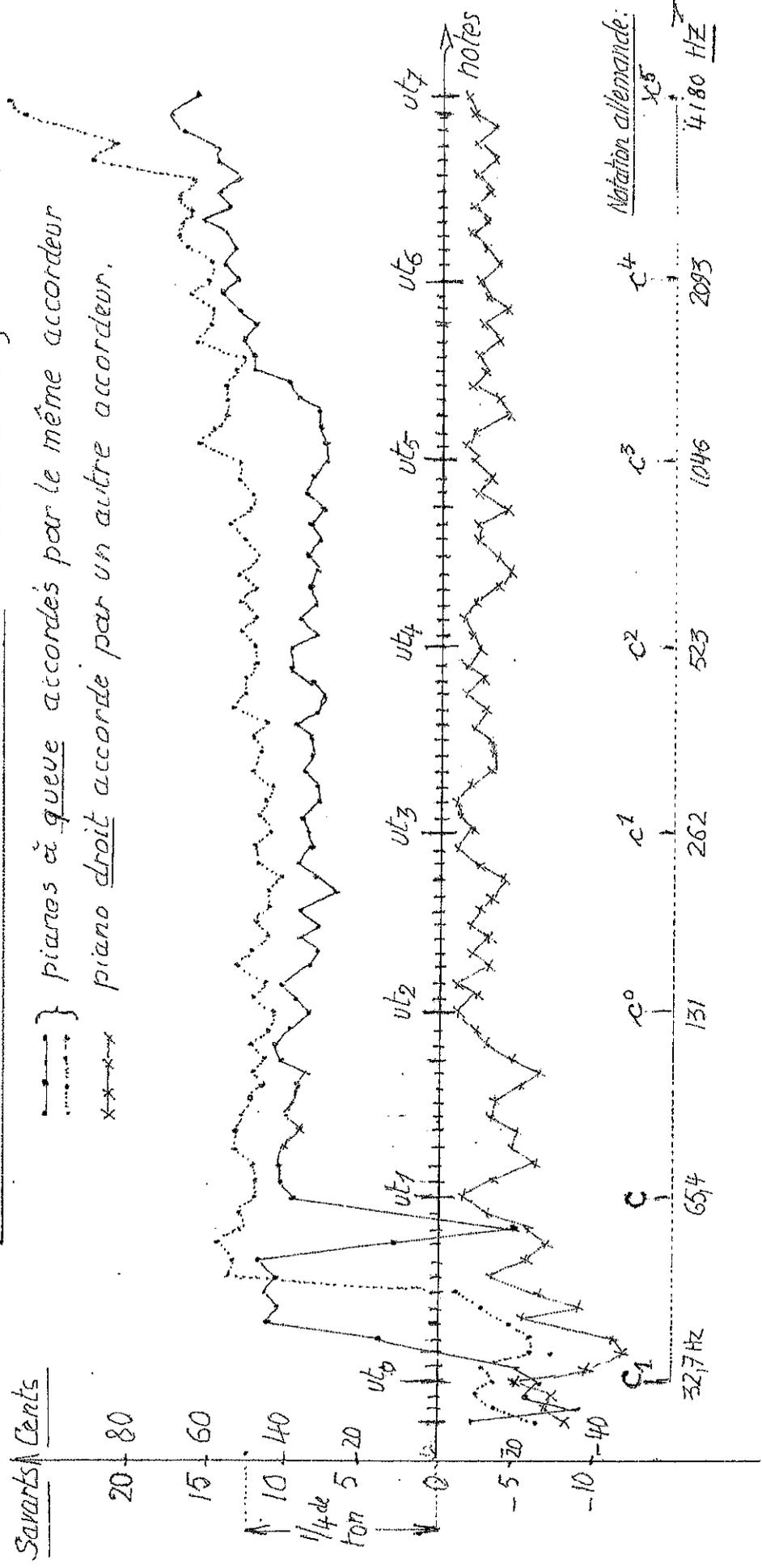
On supprime le fondamental ou même de nombreux harmoniques d'un son complexe: la sensation de hauteur ne varie pas, et seul le timbre change... Cette expérience qui a provoqué l'étonnement, n'est paradoxale qu'en apparence. Nous savons maintenant que la hauteur d'un son composé d'harmoniques nombreux est perçue non comme le résultat d'un comptage de vibrations du fondamental; cette sensation de hauteur résulte de l'appréciation du degré de serrage d'un réseau de lignes parallèles: les harmoniques. On comprend ainsi pourquoi on peut supprimer de nombreux harmoniques: la sensation de hauteur persiste tant qu'il reste quelque part deux ou trois raies voisines, pour peu qu'elles soient perçues.

Que se passe-t-il dans ces conditions pour un son de cloche où les composantes ne sont pas harmoniques? L'expérience montre qu'on entend plusieurs hauteurs correspondant à la distance entre partiels voisins. Quand il existe une sensation de hauteur unique, elle est très imprécise et dépend de l'oreille de chacun: sans contexte il est difficile de la préciser.

Considérons maintenant une note de piano. Nous savons que son spectre ne peut être harmonique en toute rigueur. On vérifie qu'il

fig 6

DIAGRAMMES D'ACCORD DE 3 PIANOS (Référence : $la_3 = 440\text{ Hz}$)



Ces diagrammes mettent en évidence la complication de l'accord du piano : l'accordeur électronique est inutilisable dans le grave : si on filtre les sons graves, on se heurte au problème de la divergence entre fréquences et perception de la hauteur aux basses fréquences, qui varie d'ailleurs avec le niveau...

- 1°) L'accordeur des pianos à queue accorde très "horizontal" entre 65 et 1000 Hz mais "monte" de près d'1/4 de ton dans le suraigu... Ses deux courbes montrent bien une horizontalité et un parallélisme remarquables!
- 2°) Contrairement à ce qu'on pourrait attendre si on considère la question de l'innommabilité seule, le piano droit est plus "horizontal" dans l'aigu; mais ce n'est pas le même accordéur... Pour expliquer l'anomalie, il faudrait l'audiogramme de chacun.
- 3°)

...
comporte une large série de compo antes qui s'écartent graduellement, mais peu, en allant vers l'aigu. C'est le phénomène bien connu de l'inharmonicité qui a été étudié par divers auteurs et qui résulte de la raideur des cordes et du mode d'excitation.

Dans ces conditions l'appréciation du degré de serrage devient imprécise, et ceci d'autant plus qu'il s'agit de cordes grosses, donc graves. Ce "flou" de la hauteur est encore accru par l'existence de bi-et de tricordes qui ne sont jamais rigoureusement accordées les unes sur les autres. Il est bien possible que cette imprécision de la hauteur dans le piano nous rende la gamme tempérée relativement agréable, malgré les battements qu'elle engendre.

Mais imaginons alors deux auditeurs dont l'un n'entend rien audessus de 4000 Hz par exemple. Il est bien évident qu'ils n'entendront pas la même hauteur pour une note donnée... Or nous savons bien que l'oreille humaine perd graduellement sa sensibilité dans l'aigu avec l'âge: une note grave de piano sonnera donc plus grave pour le vieillard que pour le jeune enfant... On voit toutes les conséquences de cette observation.

Ce n'est pas tout d'ailleurs.

La sensation de hauteur dépend manifestement du contexte musical, pour une note donnée. Le problème de l'attraction est bien connu: pour une tonalité d'ut, le violoniste ou le chanteur chantent ou jouent des sensibles de tonique et de dominante (si et fa#) beaucoup trop hautes physiquement: le demi-ton devient alors un quart de ton et moins, et cela sonne très "juste"!

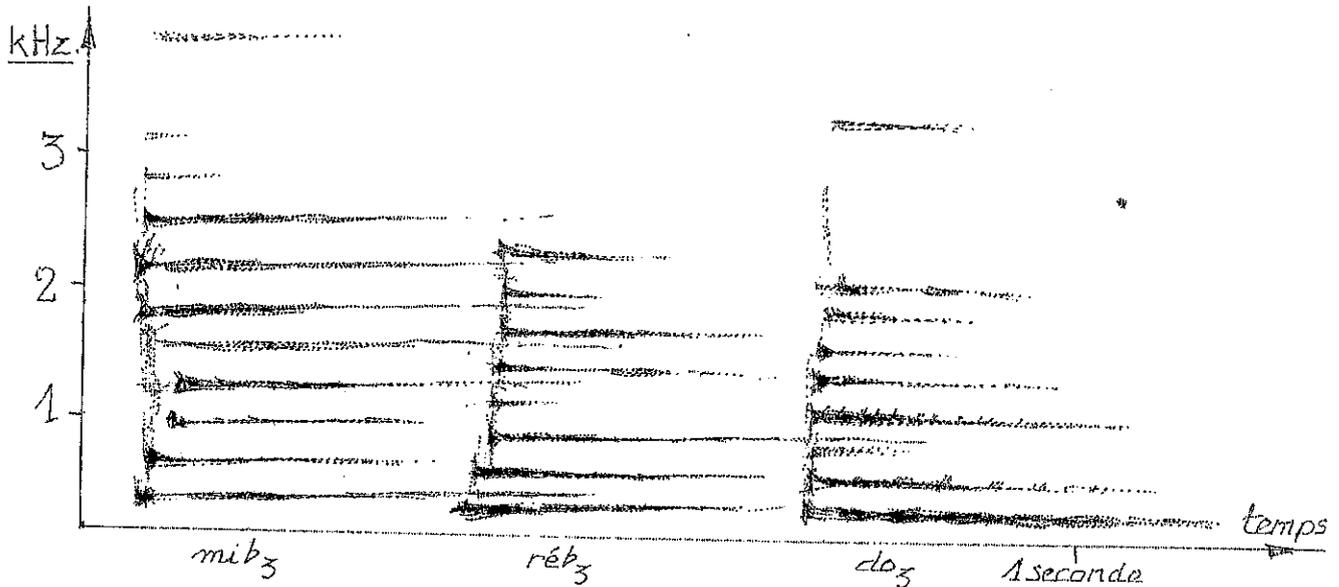
En bref, le problème de la perception des hauteurs n'a pas la belle simplicité qu'on lui donne dans les manuels, et en voici les conséquences:

3^e) Que peut-on conclure de tout cela dans la pratique ?

Tout d'abord il est clair qu'un fréquencesmètre ou un accordeur électronique ne sont pas utilisables tels quels pour accorder un piano. On peut bien entendu réaliser grâce à eux une partition parfaite, rigoureusement tempérée au milieu du clavier. Mais là où l'accordeur de piano a des difficultés, c'est à dire dans l'extrême aigu et dans l'extrême grave, l'appareil électronique est défaillant. Dans le grave, on peut bien intercaler un filtre pour isoler le fondamental et obtenir sur l'écran une image nette. Mais alors la note ne sera pas juste à l'oreille à cause de l'échelle des Mels. On pourrait imaginer un dispositif correcteur et porter des corrections sur le cadran de lecture, variables pour chaque octave; malheureusement l'inharmonicité est variable d'un piano à l'autre. En fait lorsqu'on fait des relevés d'accord on voit que le plus souvent les basses sont beaucoup trop graves et les aigus beaucoup trop hautes; et pourtant les instruments "sonnent juste" à l'oreille! La figure 6 montre quelques exemples et indique des paradoxes.

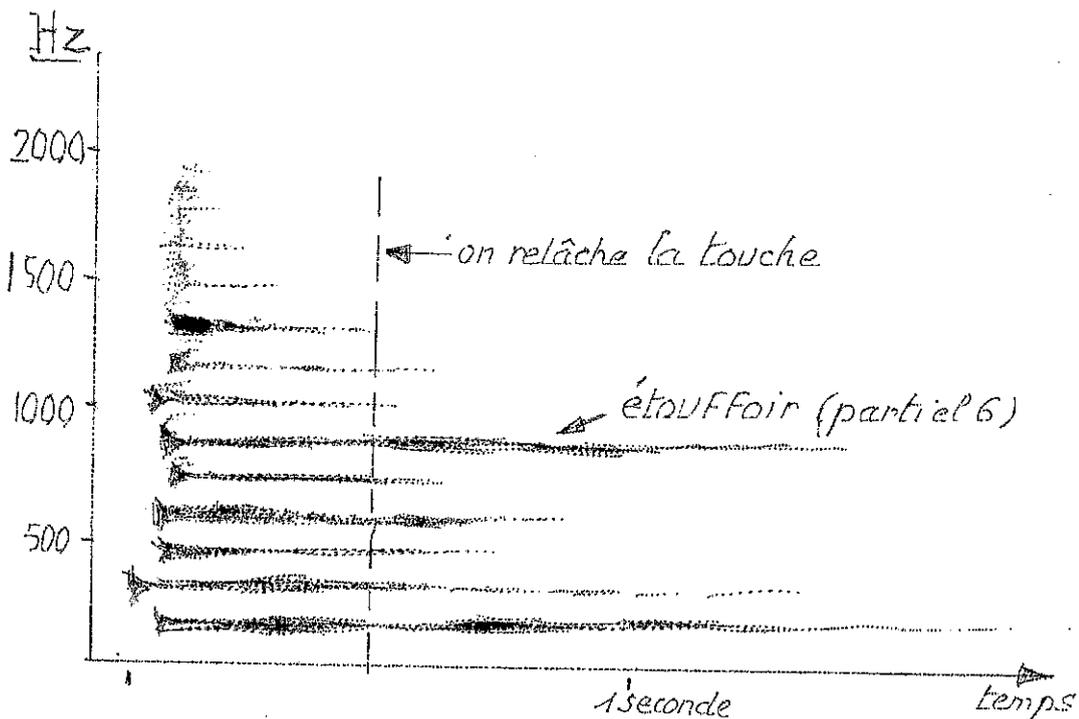
Il ne faut donc se faire aucune illusion sur la possibilité d'accorder correctement un piano avec un fréquencesmètre simple: l'accordeur de pianos a un métier difficile et il réalise empiriquement un optimum; entre de nombreux paramètres il fait un compromis satisfaisant au mieux son oreille. Mais il n'est jamais sûr de satisfaire un client qu'il ne connaît pas. Le règne de l'accordeur électronique est donc encore loin, du moins dans sa conception actuelle.

Fig 7a



Exemple de sonagramme de 3 notes successives de piano. Les partiels ne "démarrent" pas simultanément; certains se prolongent dans la note voisine et en changent le timbre.

Fig 7b



L'étouffoir effleure la corde au $\frac{1}{6}$ ème de sa longueur: le partiel 6 se prolonge alors longuement et le timbre général de la note est modifié.

...

d - LE PROBLEME DU TIMBRE

1^o) Comment mesure-t-on le timbre?

Pour beaucoup, le mot "timbre" reste synonyme de "spectre", c'est à dire de composition harmonique. Celle-ci, joue certes un rôle important, mais nous verrons plus loin qu'elle n'est pas le seul paramètre en cause.

Les organiers réalisent la synthèse des timbres depuis des siècles: ils savent faire non seulement des assemblages de tuyaux pour obtenir un timbre particulier qu'ils indiquent sur les tirettes des registres, mais encore des tuyaux de forme particulière où ils maintiennent les "formants" (voix humaine par exemple.)

Les moyens d'analyse précis du son, par contre, étaient inexistant; à l'oreille on réussit bien, dans quelques cas particuliers, à percevoir deux ou trois composantes que les résonateurs d'HELMHOLTZ et les flammes chantantes pouvaient mettre en évidence. Mais tout cela restait bien incertain jusqu'à l'apparition de l'oscillographe. Une ère nouvelle s'ouvrit alors: on savait enfin obtenir une courbe analysable par voie mathématique, extraire les composantes et préciser leurs amplitudes respectives.

Les filtres électroniques permirent par la suite de faire beaucoup mieux et plus vite et la technique de la boucle magnétique mit enfin entre les mains du chercheur des moyens d'analyse efficaces. On put dès lors différencier facilement le son d'un violon du son d'une clarinette grâce à leurs spectres. Comme le timbre est lié aux spectres, on pouvait donc légitimement penser que le problème du timbre était virtuellement résolu.

On ne fut cependant pas long à s'apercevoir que la composition spectrale n'était qu'une partie du problème. On observa qu'en coupant le transitoire d'attaque sur la bande magnétique, on défigurait le timbre au point de le rendre parfois méconnaissable. Le transitoire fait donc partie du timbre! Sa brièveté s'est avérée comme une difficulté majeure: l'enregistreur de niveau avait trop d'inertie pour l'étudier. L'oscillographe, auquel on adjoint une caméra à déroulement continu, était beaucoup plus approprié. Mais on remarqua que la même note, répétée plusieurs fois, n'avait jamais un transitoire identique. Dans ces conditions on est rapidement noyé dans un nombre énorme de documents qu'il est impossible de dépouiller en pratique.

La méthode fut améliorée en utilisant des filtres passe-bande et des écrans cathodiques rémanents; on put ainsi relever dans de bonnes conditions la forme des éléments du transitoire. Mais on avait ainsi trop de documents dont la synthèse restait difficile à faire.

Pour étudier dans de bonnes conditions des sons évolutifs comme ceux du piano, il a fallu attendre l'apparition du Sonographe, spectrographe instantané qui fournit une véritable image du son, où le temps est en abscisse, la fréquence en ordonnée - l'intensité étant représentée par la grosseur et la noirceur des traits. On voit ici très exactement tout ce qui se passe pendant la "vie" d'un son de piano. La figure 7 donne un exemple de sonogramme de notes de piano en succession mélodique. On y lit parfaitement le bruit de l'attaque (choc du marteau), la durée du son, sa composition spectrale, la "tonalité" de l'instrument etc: on a tout... Mais qu'en pense l'oreille?

22) Comment entendons-nous le timbre ?

Le mot "timbre" représente une sensation globale liée à la forme, à la Gestalt du son musical tel qu'il est représenté sur le sonagramme. Cette forme est déterminée par de nombreuses particularités:

- le nombre de partiels du signal: le timbre est riche ou pauvre.
- le rapport harmonique entre les composantes: le timbre est consonant, aigre, inharmonique etc.
- la situation des composantes par rapport à la zone sensible de l'oreille. Le timbre est sombre, aigu, perçant etc.
- le niveau relatif des composantes: le timbre est équilibré, nasillard, creux ...
- l'ordre d'émergence des composantes: le timbre est mordant, mou, soyeux etc.
- l'ordre d'extinction des composantes: celui-ci détermine la tonalité de l'instrument: tonalité sombre quand les graves sonnent longtemps alors que les composantes aiguës s'éteignent rapidement; tonalité claire, scintillante quand c'est le contraire.
- la durée de réverbération: le timbre est sec ou ample.
- la justesse de l'accord joue également un rôle important dans le timbre général de l'instrument.
- il faut enfin rappeler que la salle d'audition modifie le timbre d'une manière parfois extraordinaire: elle est en fait une véritable partie de l'instrument qui filtre les spectres de façon variable et modifie par conséquent le timbre.

Le timbre du piano pose donc des problèmes au moins aussi ardues que l'intensité et la hauteur, d'autant plus que le pianiste peut encore le modifier par son jeu (vitesse du marteau, loi de retour de l'étouffoir). Le facteur dispose ici de moyens de réglage importants: réglage de la mécanique, piquage des feutres des marteaux etc. L'expérience nous a montré que le sonographe est ici un moyen de contrôle efficace: il fournit un document objectif à partir duquel il est possible de faire un travail systématique. Mais nous rappelons que l'interprétation demande un long entraînement préalable. Rappelons en passant que le Sonographe permet également de relever la courbe de niveau et d'extraire à volonté des spectres en dB/Hz aux points choisis: c'est un appareil complet pour le chercheur en acoustique musicale, qui apporte beaucoup à qui sait s'en servir.

IV- CONCLUSION

Nous avons tenté de faire un tour d'horizon sur les problèmes nombreux et compliqués que pose le piano, en nous appuyant essentiellement sur les travaux personnels que nous avons faits en ce domaine. Ces problèmes, le facteur est obligé de les résoudre dans le cadre d'incidences économiques et commerciales, toujours plus contraignantes...

Du temps où la facture du piano était restée semi-artisanales, l'empirisme, le métier, le flair, permettaient au petit industriel d'obtenir des résultats intéressants et parfois remarquables. Mais la société actuelle s'accommode de moins en moins de petites entreprises et les conjonctures économiques actuelles provoquent dans tous les domaines des regroupements. En d'autres termes, comme pour d'autres fabrications, on va vers la grande entreprise absorbant toutes les petites qui ne peuvent survivre seules. Dans ces conditions, il sera nécessaire de reconsidérer toute la technique de fabrication. De nombreuses difficultés se font jour alors, car le marché est trop faible pour que l'on puisse envisager, en France du moins, la grande série. Celle-ci est-elle seulement possible dans le domaine des instruments de musique? et peut-on en escompter une production de qualité comparable, du point de vue sonore, à ce que faisaient les facteurs naguère? En d'autres termes, peut-on envisager de fabriquer des pianos de bonne qualité comme on fabrique des automobiles ou des postes de télévision, en considérant l'instrument comme une machine dont on peut faire un plan à la manière d'un ingénieur? On pourrait difficilement le nier puisqu'au Japon on nous annonce que telle usine sort 1000 pianos par mois, faits à la chaîne. Obtenir une qualité raffinée n'est pas une utopie, mais cela suppose une recherche fondamentale systématique sur l'ensemble du problème. Nous avons montré dans quel sens on pouvait le repenser mais il reste à faire un travail de recherche long et difficile; il est certain que l'avenir en facture de piano appartiendra à ceux qui auront pris conscience à temps de sa nécessité.

Paris, le 9 Aout 1967

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) CABARAT R. Nouvelle méthode dynamique de mesure du module d'élasticité et de la capacité d'amortissement VDI Berichte Bd 8 (1956) pp 156-168
- 2°) Collectif. Symposium on determination of elastic constants American Society for testing materials (1952) New York.
- 3°) LIEBER E. Über eine Methode zur Messung des Wirbelganges und des Saitenzugs an pianos. Bulletin EUROPIANO ed. interne Fac. Sciences Paris. (1967).
- 4°) LEIPP E. Quest-ce qu'un son de piano? EUROPIANO 1965. Berlin. Edité par H.K. Herzog Fördergemeinschaft Klavier. Konstanz (1966).
-

COLLOQUE SUR LE PIANO

M. C A S T E L L E N G O

PEUT-ON APPRECIER OBJECTIVEMENT
LE STYLE DES PIANISTES ?

JUIN 1967

- N° 30 b

G. A. M.

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 rue Cuvier PARIS 5°

PEUT-ON APPRECIER OBJECTIVEMENT LE STYLE DES PIANISTES ?

par M. CASTELLENGO

I - INTRODUCTION

L'oeuvre musicale de tradition orale ou écrite n'existe véritablement qu'au moment où elle est jouée par un ou plusieurs musiciens ce qui implique dès le départ une "interprétation" par ces musiciens. Dans la musique classique occidentale la référence commune est la partition. Elle n'est qu'un schéma, laissant à l'artiste une grande liberté pour interpréter les signes écrits et compléter les indications dans une large mesure (*).

Que peut donc faire le pianiste jouant une oeuvre du 18^e du 19^e ou du 20^e siècle ? Il n'est pas admis qu'il modifie soit l'harmonie soit la mélodie imposées par le compositeur, mais il dispose du jeu des sonorités, des nuances et des subtilités rythmiques Parmi ces possibilités, l'artiste fait un choix original dépendant de sa conception personnelle de l'oeuvre musicale et des moyens dont il dispose pour la traduire : technique de jeu, performances mécaniques du piano. Le résultat de ce choix confère à son interprétation un "style" personnel, tel que nous différencions son interprétation de celle d'un autre artiste, et que nous sommes capables de reconnaître ce même pianiste dans l'interprétation d'oeuvres différentes.

L'impression d'ensemble que nous formulons en entendant un artiste résulte d'une somme d'opérations mentales très complexes; il s'agit d'une série de comparaisons quasi-simultanées entre les souvenirs d'interprétations antérieures, la représentation idéale que nous avons de cette oeuvre et l'interprétation présente. Le musicien ne peut pourtant agir que sur trois paramètres acoustiques qui définissent tout son musical : fréquence, temps, intensité; la combinatoire complexe entre ces trois grandeurs permet de réaliser la variété infinie des sons musicaux que nous connaissons et que le critique musical ou le membre de Jury d'examen décrit au mieux à l'aide d'expressions telles que : sons perlés, jeu sobre, fougueux, toucher délicat, rubato, etc... Cette terminologie est imprécise et recouvre un phénomène physique que nous sommes maintenant capables d'analyser grâce aux appareils électro-acoustiques actuels. Dès lors, il est possible d'entreprendre une étude objective du style des pianistes.

...../

(*) Seules les musiques expérimentales composées à l'aide de la bande magnétique peuvent se passer d'interprétation puisque leur mode de composition leur confère automatiquement une existence sonore; les variations d'intensité ou de répartition spatiale du son que l'auteur introduit lors de l'audition en concert n'affectent que très peu l'allure de l'oeuvre.

II - METHODE ET RESULTATS

Dans toute exécution musicale, l'artiste est d'abord limité par l'instrument dont il dispose. Dans quelle mesure le piano permet-il de modeler les sons ? Quels sont ses " champs de liberté " ? Exception faite de la fréquence qui est fixe et déterminée par l'accord de l'instrument, le pianiste peut modifier les intensités, la durée et le timbre des sons. Nous allons examiner des analyses de chacune de ces trois possibilités.

La méthode d'étude que nous avons adoptée consiste à comparer, soit les données de la partition et la traduction d'un interprète, soit les exécutions par deux ou trois interprètes d'une même oeuvre. Nous devons préciser qu'il n'est pas dans notre intention de porter un jugement de qualité sur les interprétations mais de mettre en évidence des différences objectives de jeu. La partition n'a en aucune façon la valeur d'un idéal de perfection ; elle n'est qu'une référence commune permettant d'établir des comparaisons.

A - ANALYSE DES NUANCES

Le musicien désigne par le terme de " nuances " les variations de l'intensité sonore, des sons les plus faibles aux sons les plus forts. Il est possible depuis longtemps d'analyser l'intensité physique des sons et même d'obtenir un tracé sur papier grâce à l'enregistreur logarithmique de niveau. Cette technique a déjà été appliquée à la musique (A. MOLES - " La structure Physique du signal musical - Paris - Thèses Sciences - 1952).

La figure 1 montre l'analyse d'une pièce pour piano extraite du 1er livre de Préludes de DEBUSSY : " La cathédrale engoutie ". On peut y lire les variations de l'intensité (en dB) en fonction du temps. L'allure d'ensemble des deux interprétations est la même, indépendamment des fluctuations temporelles sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Les traits communs sont dus à une même référence : la partition musicale. Portons en ordonnée les valeurs en dB données par STOKOWSKI pour caractériser les principales graduations de nuances PP (45 dB), P (55 dB), mF (65), F(75), FF (85) dB. La ligne en traits pleins représente les nuances indiquées par DEBUSSY sur la partition. Elle ne coïncide que très rarement avec la courbe de niveau des deux interprètes. On peut même observer des écarts systématiques communs aux deux interprètes : les passages PP sont de 5 à 15 dB au dessus de la ligne de référence, au contraire ; les passages FF sont 10 dB aux dessous. Ces différences sont dues à plusieurs raisons :

1°) Nous avons utilisé des documents enregistrés sur disque. Or les nécessités de la gravure imposent certaines manipulations de l'intensité des sons. Pour des raisons techniques, la dynamique, ou écart maximum entre les PP et les FF ne doit pas dépasser 40 à 45 dB dans les meilleurs cas. Le preneur de son " triche "

...../

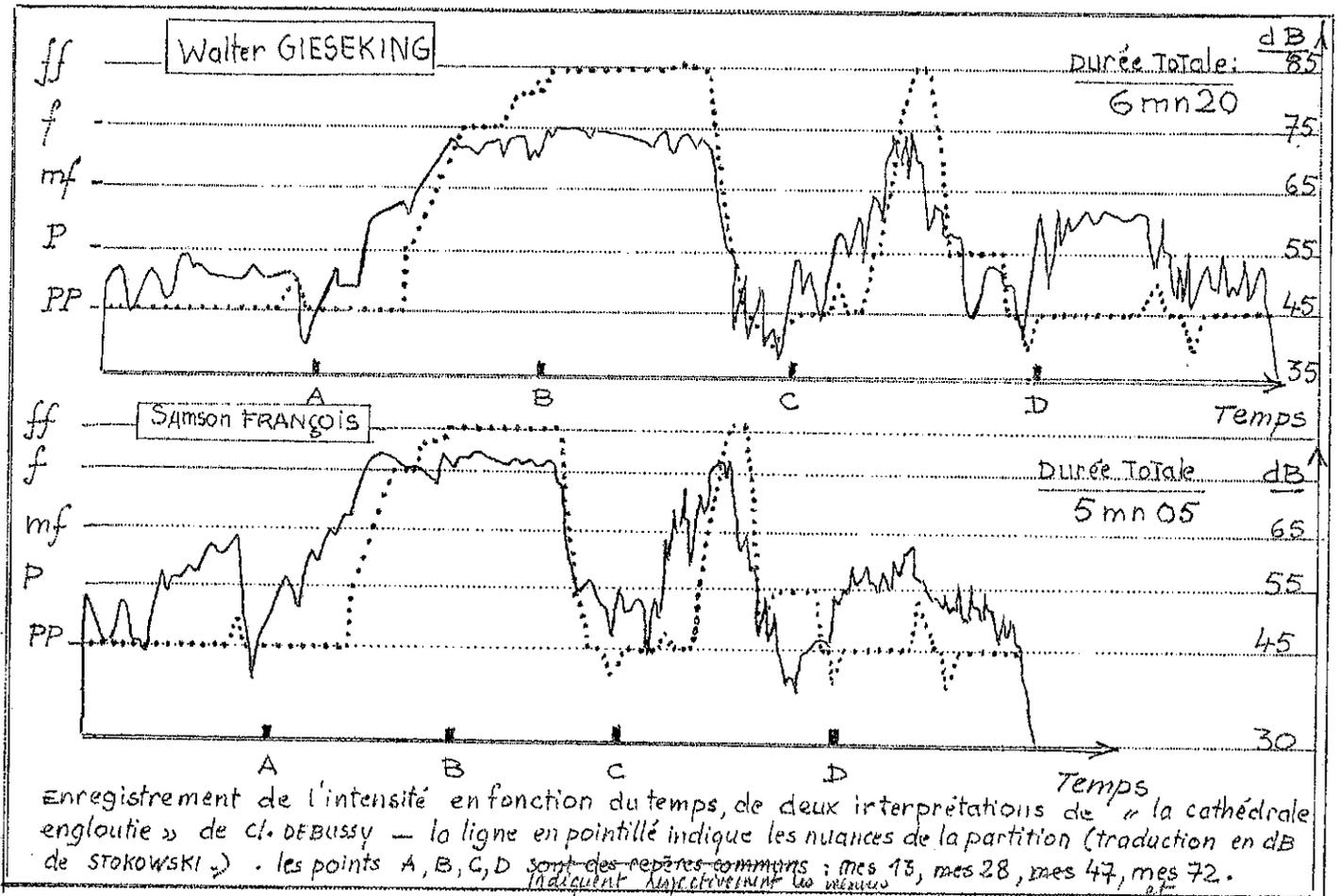


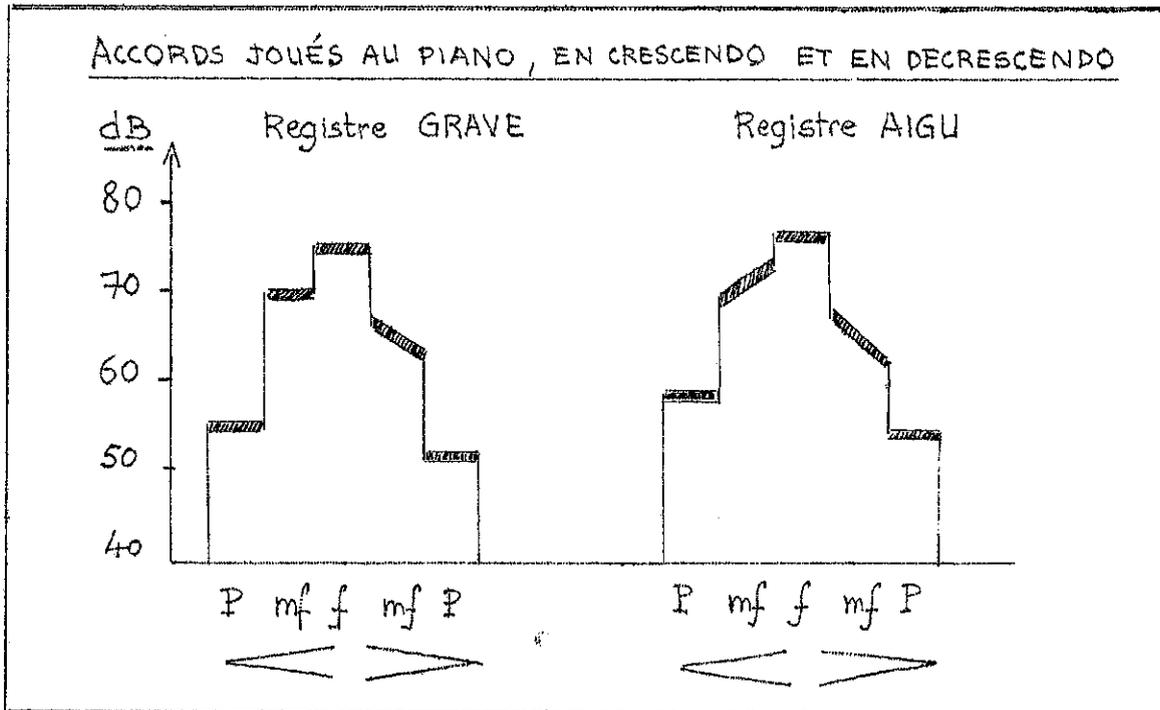
Figure 1

au cours de l'enregistrement, rectifie sans cesse le niveau d'entrée, ce qui explique en partie, les différences observées.

2^o) La courbe de niveau donnée par l'enregistreur ne correspond pas à la perception de l'intensité par l'oreille, bien qu'elle soit logarithmique.

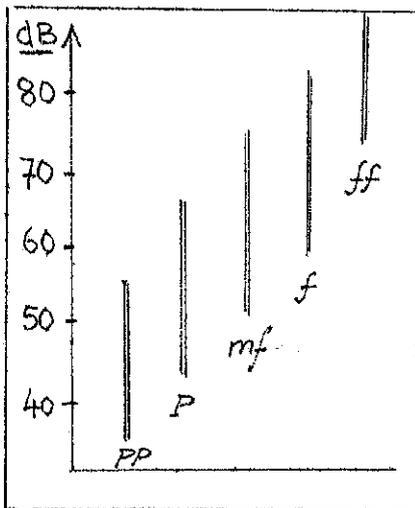
En effet :

- L'intensité perçue varie selon la place des sons dans l'échelle des fréquences. Avec une même intensité physique de 60 dB, l'oreille perçoit à peine un son de 50 Hz mais entend un son de 1000 Hz comme très intense. Un PP n'aura donc pas la même valeur en dB selon qu'il est joué dans le grave ou dans le médium du piano.
- La sensation d'intensité n'est pas absolue mais relative à ce qui précède ou à ce qui suit. Un même accord joué mf n'aura pas la même valeur physique après un P ou après un F.



le mf n'a pas la même intensité physique selon qu'il suit un P ou un f

Figure 2



Après un " éblouissement " dû à l'intensité, le seuil différentiel de l'oreille est plus grand.

- les sons du piano s'établissent très rapidement : ce sont des percussions. Or on connaît mal les propriétés de l'oreille aux sons percutés, et la façon dont elle récupère ensuite.

Il faut donc définir, non des valeurs fixes mais des zones très larges d'intensité qui peuvent se recouvrir en valeur physique.

En conclusion, l'étude du style dans ce domaine est particulièrement difficile. Il faudrait disposer au départ, de documents enregistrés par nos propres moyens, ce qui n'est guère concevable pour les grandes artistes et connaître mieux les propriétés de l'oreille dans ce domaine afin de faire le raccordement avec les documents donnés par les appareils physiques.

B - ANALYSE DU DECOUPAGE TEMPOREL

La façon dont il module le temps est une part importante du style d'un pianiste. Nous étudierons successivement le tempo et les rythmes.

1) LE TEMPO

La rapidité d'exécution d'une oeuvre dépend d'un grand nombre de facteurs :

- soit techniques : degré de virtuosité de l'exécutant.
- soit musicaux : idée personnelle de l'exécutant sur la façon dont cette oeuvre " doit " être jouée. Cette idée est sujette aux fluctuations de la mode musicale, au goût de l'époque.
- soit psychologiques : Nous n'avons pas de repérage absolu du temps; le temps psychologique paraît s'écouler plus ou moins vite selon la qualité des événements qui le remplissent, selon la quantité d'information qu'on y puise.
- soit physiologiques : Nous avons des " tempos " de base qu'ils soient respiratoire, cardiaque, etc... qui varient selon notre état de fatigue, selon les conditions extérieures (chaleur, bruit) et qui sont étroitement liés aux facteurs psychologiques.

Pour toutes ces raisons, les exécutions musicales diffèrent notablement d'un artiste à l'autre et pour le même artiste d'une fois sur l'autre.

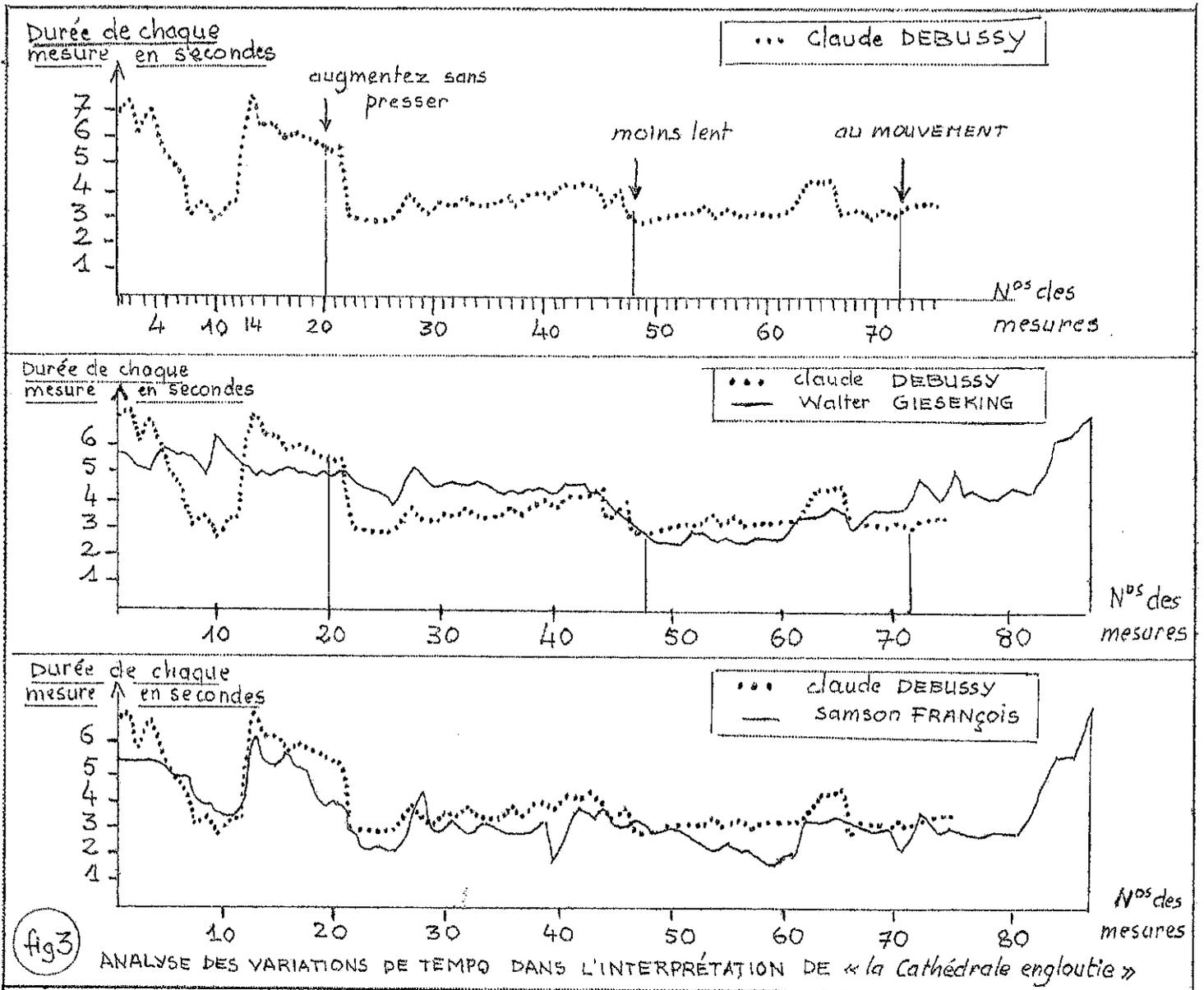
La durée totale d'une oeuvre est facile à mesurer.

Les mêmes documents (analyses à l'enregistreur de niveau) nous permettent de le faire. Il s'agit toujours de " la cathédrale engloutie " de DEBUSSY jouée par WALTER GIESEKING, SAMSON FRANCOIS et NOEL LEE. La durée totale d'exécution varie énormément selon les artistes, elle est respectivement de 6 mn 20, 5 mn 05 et 4 mn 50. Il est vrai qu'il ne s'agit que d'une exécution isolée; il serait plus intéressant de pouvoir comparer plusieurs enregistrements d'un même artiste à des moments différents Nous espérons pouvoir le faire par la suite.

Il est plus fructueux de connaître l'allure des variations du tempo en cours de jeu. Nous avons choisi la Cathédrale engloutie car nous avons la chance de posséder un enregistrement fait par Debussy lui-même sur un piano mécanique. Du jeu de Debussy nous avons perdu les nuances, les sonorités mais il nous reste le découpage temporel.

A partir d'analyses très détaillées, nous avons repéré la durée exacte de chaque mesure. On porte les durées en ordonnée et les N° des mesures correspondantes en abscisse et on obtient un graphique représentant les fluctuations du tempo de base (fig.3).

..../



On peut voir que ce tempo s'accélère rapidement dès la 4^{ème} mesure, pour atteindre des valeurs de moitié, puis il double brusquement à la mesure 14 pour retrouver une valeur plus brève à la mesure 22 ! Or aucune indication n'est portée sur la partition.

Examinons celle-ci : Mes. 6 à 13 accords de blanches, le plus souvent des octaves, dans le médium et l'aigu du piano. Le son décroît très vite, il y a un " trou ", presque un silence entre chaque accord. Pour " lier " les accords, il faut les jouer plus vite. Plus loin il y a 3 indications de mouvement que nous avons indiquées sur le graphique.

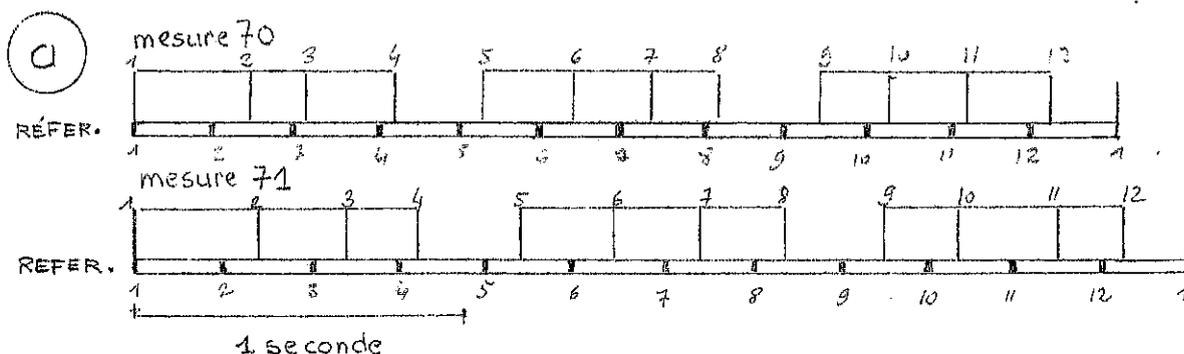
Comparons l'interprétation de DEBUSSY avec celles de GIESEKING et de SAMSON FRANÇOIS, .. DEBUSSY est la référence commune; SAMSON FRANÇOIS s'en rapproche beaucoup : on constate beaucoup d'irrégularités, des changements nombreux de tempo, WALTER GIESEKING au contraire, conserve un tempo assez stable, ne fait des accélérations que progressivement, graduellement, et respecte les indications de la partition.

Pour conclure, nous ne pouvons évidemment pas décider de la meilleure façon de faire... Un tempo parfaitement régulier est esthétiquement désagréable comme l'ont montré les auditions de musique jouées par des machines et le " side-man " des orgues électroniques ! il faut des fluctuations; leur quantité et leur place sont des éléments importants du style d'un artiste: nous pouvons maintenant l'étudier.

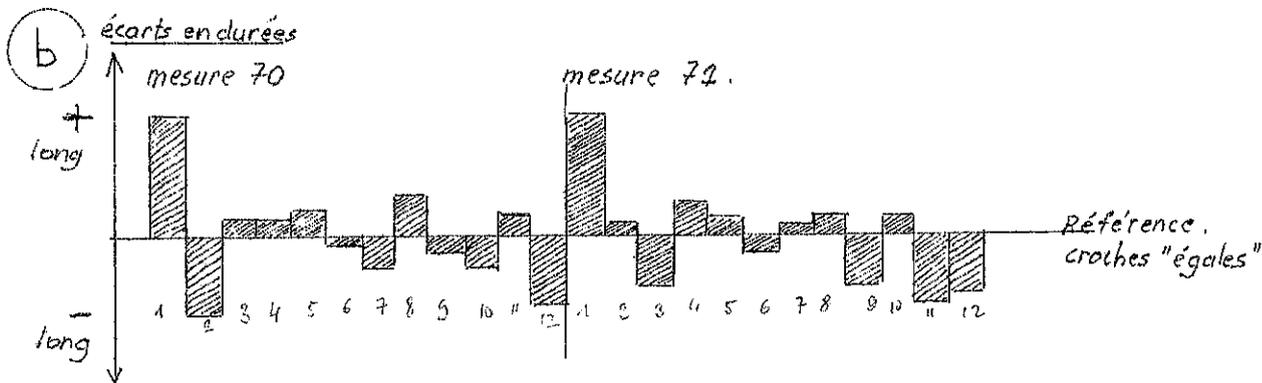
2) LES RYTHMES

Il est facile de mesurer la durée d'une note, donc les rapports entre les notes successives et d'apprécier l'exécution des rythmes; la référence reste encore la partition.

De même que le tempo n'est jamais mécaniquement régulier, des notes dites " égales " ne le sont jamais non plus. Ainsi dans l'exemple suivant, extrait de la Cathédrale engloutie jouée par DEBUSSY, la partition indique des croches régulières. Il n'y a aucune difficulté technique insurmontable : ce sont des notes successives à la main gauche seule, or elles sont toutes de durées différentes.



la référence est dans les deux graphiques (a) et (b), la durée d'une croche théorique, c'est à dire la $\frac{1}{12}$ partie de la durée totale d'une mesure.



Figures 4a et 4b

Les irrégularités sont assez importantes et ne sont pas arbitraires; on voit (4a) que la 1ère note de chaque mesure est la plus longue, et la dernière très courte.

La figure (4b) présente ce résultat d'une autre façon; on établit une durée moyenne : celle de la croche " régulière ". On porte en + les notes plus longues et en - les notes moins longues que ces croches. L'allure n'est pas quelconque, il y a une volonté de déformation du schéma théoriquement régulier. On pourrait presque parler à ce sujet de " rubato ".

LE RUBATO :

On lit dans le dictionnaire de la musique, " Larousse ", Terme italien qui signifie : liberté, ondulation du mouvement musical. Le rubato consiste à diminuer très légèrement la valeur de certaines notes de la partie récitante et à allonger d'autres notes en compensation. Autrement dit, il s'agit d'imperceptibles accélérandos et ritardandos, en vue d'atteindre la perfection de l'expression d'une phrase musicale. Il n'est soumis à aucune règle.

Nous avons pris comme exemple une petite ^{phrase} extraite de la 1ère Ballade de CHOPIN qui se prête particulièrement bien à cette étude puisqu'on la retrouve un grand nombre de fois dans l'oeuvre. Voici le sonagramme de cette phrase jouée par SAMSON FRANCOIS :

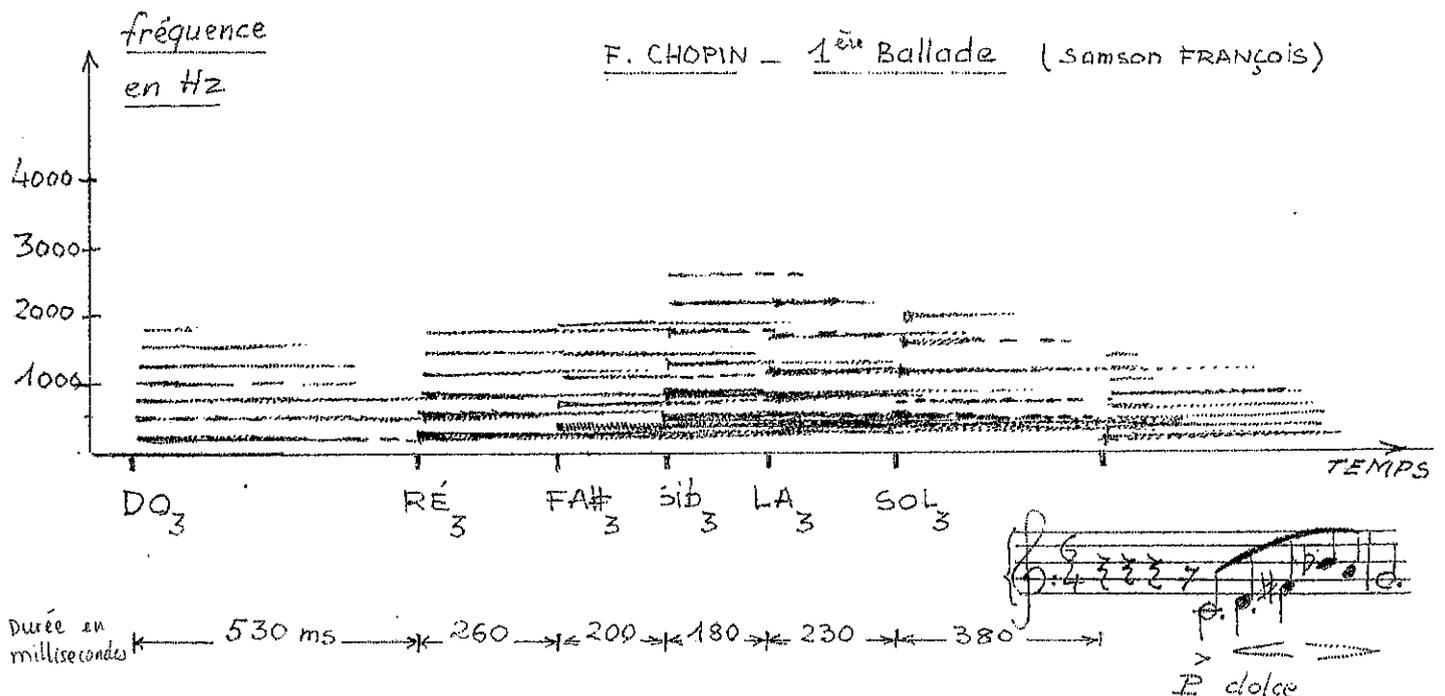


Figure 5

Les notes sont théoriquement égales, puisque CHOPIN a écrit 6 croches. En fait, on voit nettement que la 1ère note est la plus longue, les autres diminuent graduellement puis la durée

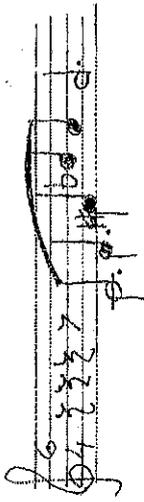
....!

ETUDE DU RUBATO

(F. CHOPIN - 1^{ère} Ballade) 10.06.67

Analyse de 5 formules

fig 7

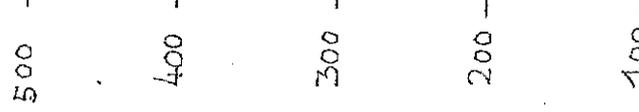
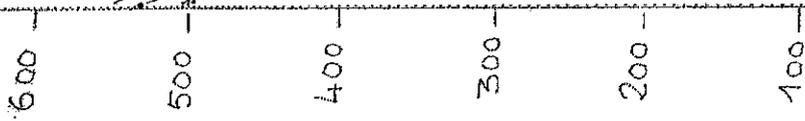


SAMSON FRANÇOIS

PETER FRANKL

Durée en ms

Durée en ms



s'allonge de nouveau sur la dernière. Des analyses de la même phrase dans d'autres passages montrent que la même allure se retrouve: elle semble caractéristique du pianiste.

Nous avons fait l'analyse des mêmes passages joués par un autre pianiste : PETER FRANKL. L'interprétation n'est pas du tout la même :

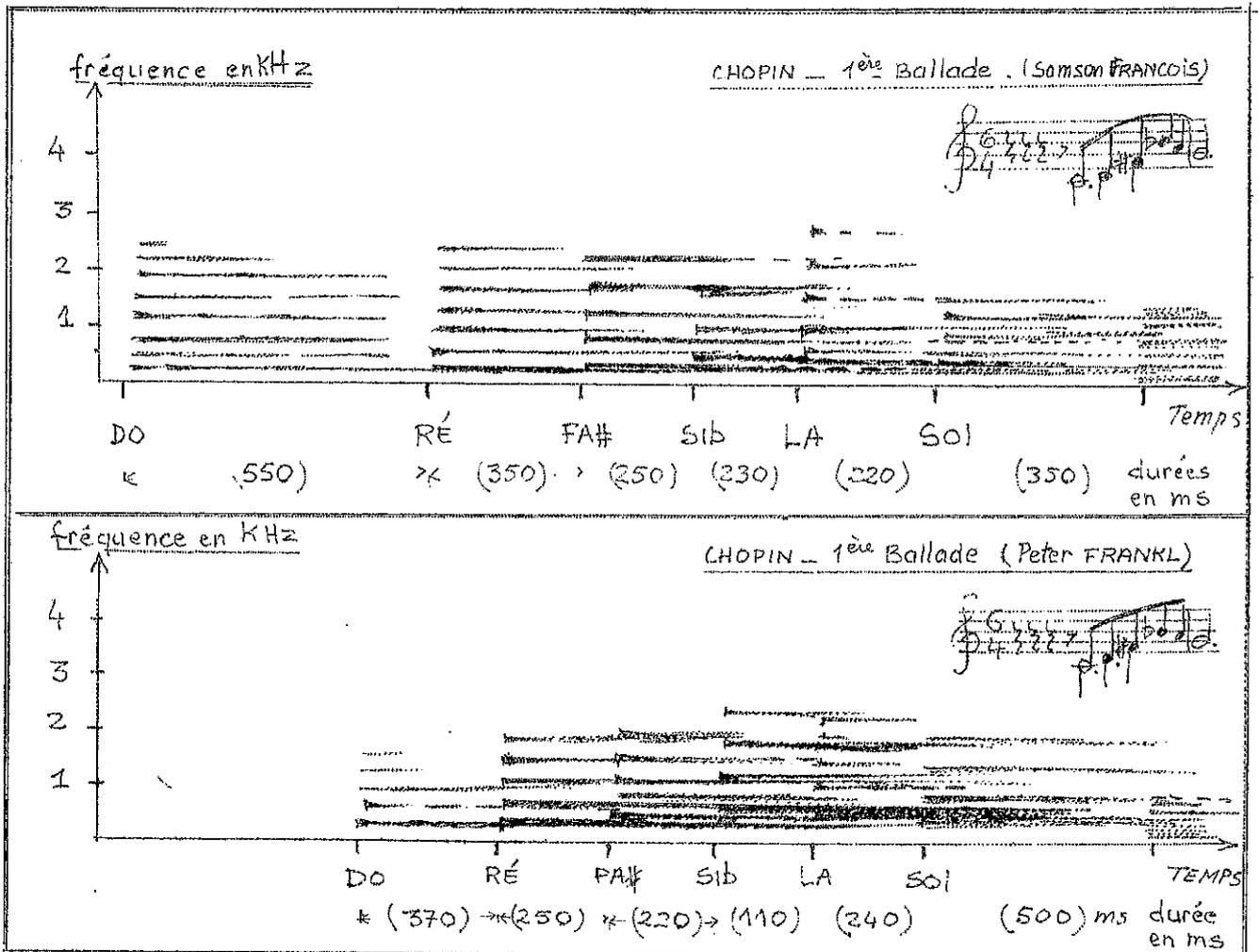


Figure 6

Les notes sont aussi irrégulières, mais cette fois c'est la dernière note qui est la plus longue de toutes.

On peut traduire les résultats des mesures sur un graphique (fig.7 hors texte). On porte en abscisse les notes successives et en ordonnées leurs durées relatives. Nous avons analysé 5 formules prises au hasard. On voit que chaque interprète réalise un découpage systématique de la durée, selon une " loi " qui le caractérise. Il serait intéressant de comparer avec une autre interprétation par ces mêmes artistes. On retrouverait vraisemblablement les mêmes allures.

3) LA COINCIDENCE TEMPORELLE CHANT/ACCOMPAGNEMENT.

Un autre élément du style dans le domaine temporel est le décalage systématique que certains pianistes produisent entre la partie de la main gauche et la ligne mélodique.

Ce qui chez les débutants trahit une technique mal assurée peut être voulu chez un grand interprète et en tant que tel, devenir élément de son style. A titre d'exemple nous avons analysé au sonagramme un passage de la 4^{ème} ballade de CHOPIN, jouée par S. FRANCOIS.

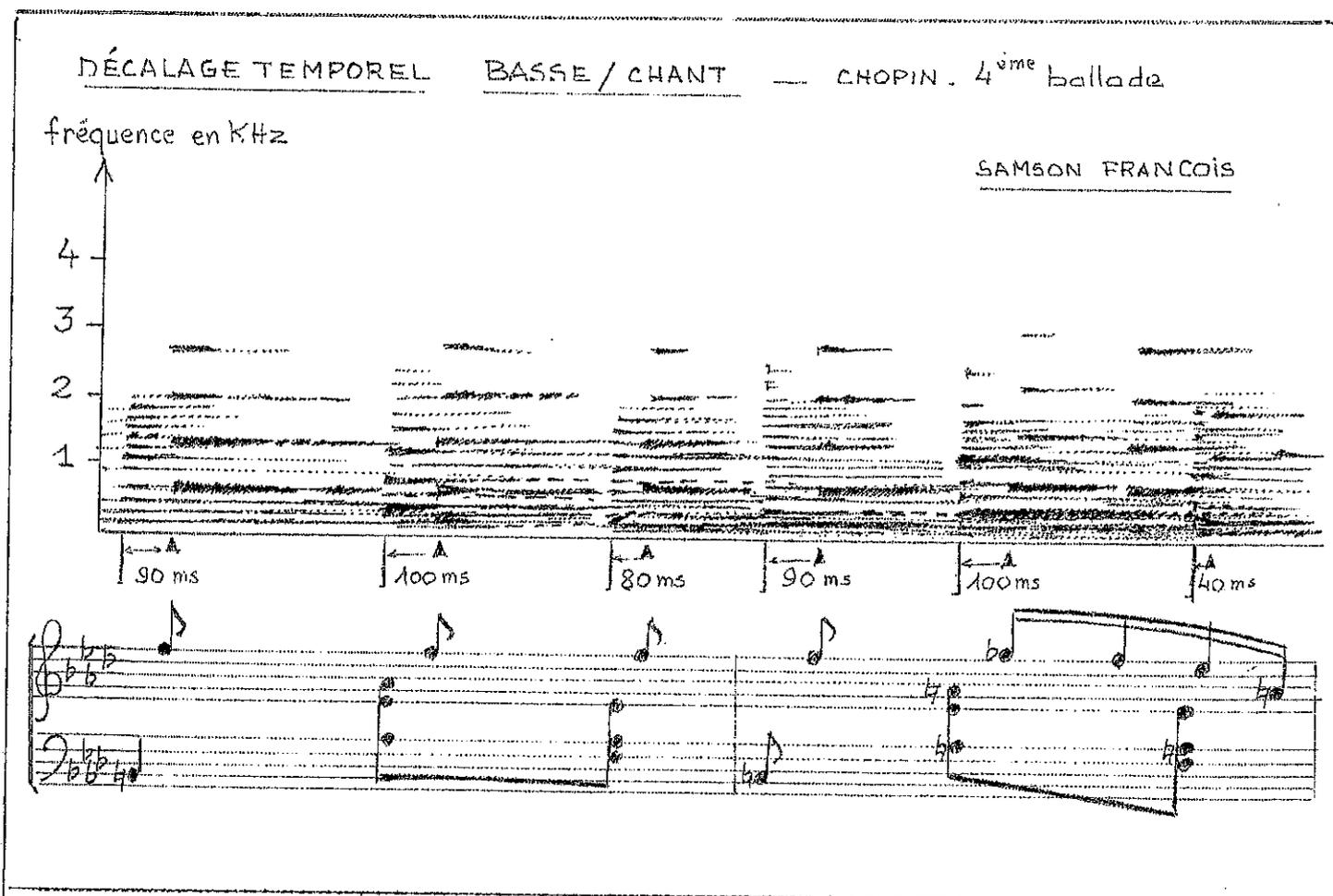


Figure 8

On voit particulièrement bien sur le premier temps que la note du chant et l'accord correspondant qui devraient être simultanés, sont en réalité décalés de 90 ms; le chant est en retard sur l'accompagnement. Cette valeur est assez considérable, et parfaitement perçue. Dans le cas de sons percusés comme ceux du piano, l'oreille a une très grande sensibilité aux décalages

..../

On peut y lire la régularité temporelle, l'homogénéité en intensité (elle dépend beaucoup de l'instrument), la qualité du legato.

Le pianiste B joue des notes de durée bien régulières mais inégales en intensité : quelques unes tranchent nettement sur les autres. Sur le sonagramme, comme à l'audition, les notes se fondent bien les unes dans les autres.

Le jeu du pianiste A est bien homogène en intensité mais plus irrégulier sur le plan temporel : la 3ème et la 10ème note sont bien plus longues que les autres. L'impression à l'audition est celle d'un jeu perlé presque sec, et sur le sonagramme on distingue très bien chaque note, sans interpénétration. La 3ème et la 10ème note sont presque détachées : on voit le moment précis où l'étouffoir s'applique sur la corde (indiqué par une flèche) environ 50 ms avant la note suivante. Il s'agit vraisemblablement du passage du pouce si le doigté employé par le pianiste est celui que nous avons noté sur la figure.

On voit que le sonagramme permet d'analyser en détail la technique d'un pianiste et pourrait dans ce sens être d'une utilité pédagogique certaine.

Pour terminer nous voulons montrer qu'il est possible d'apprécier grâce à ces documents les différents plans sonores (accompagnement et chant) et leur importance relative.

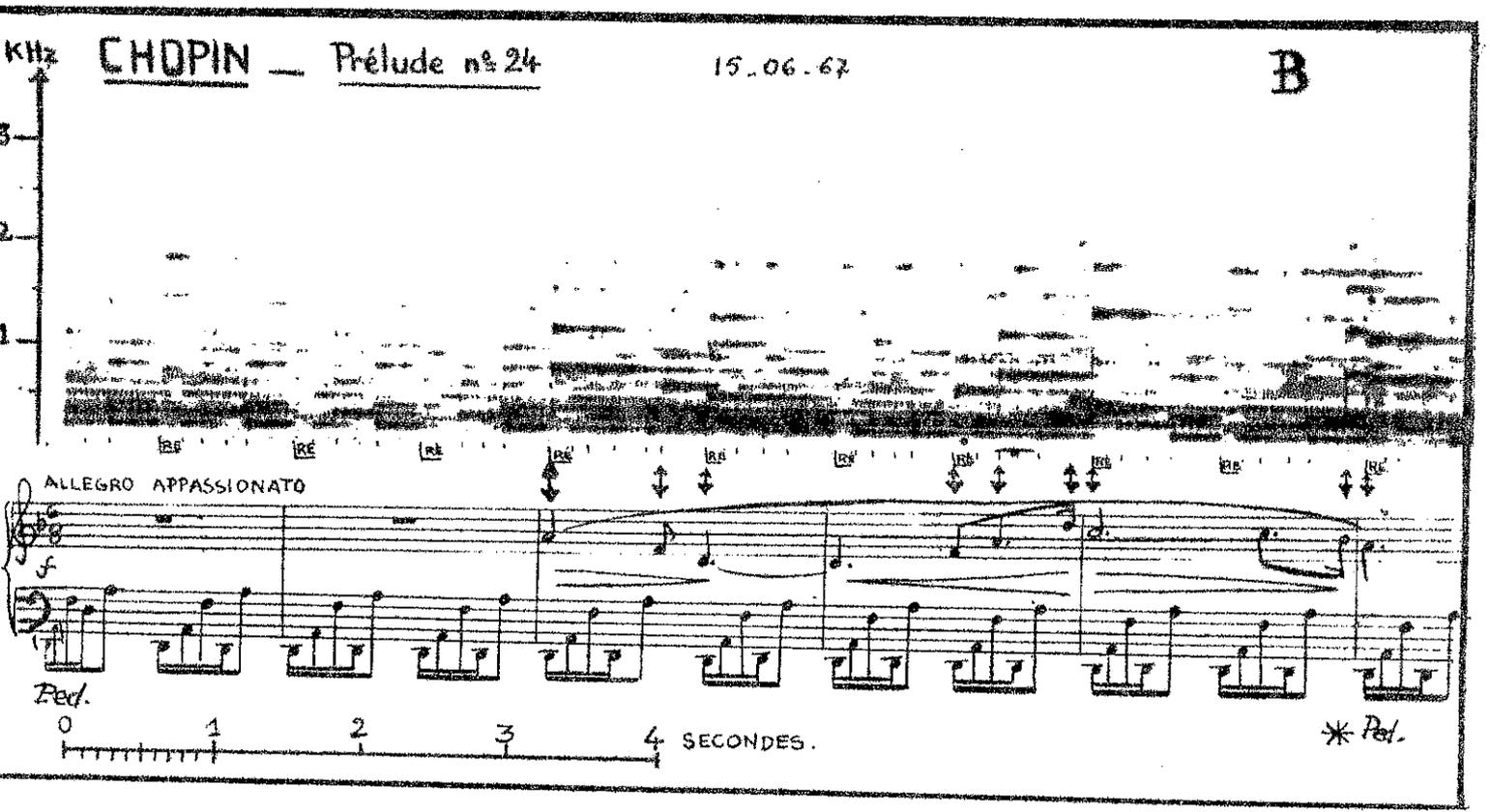
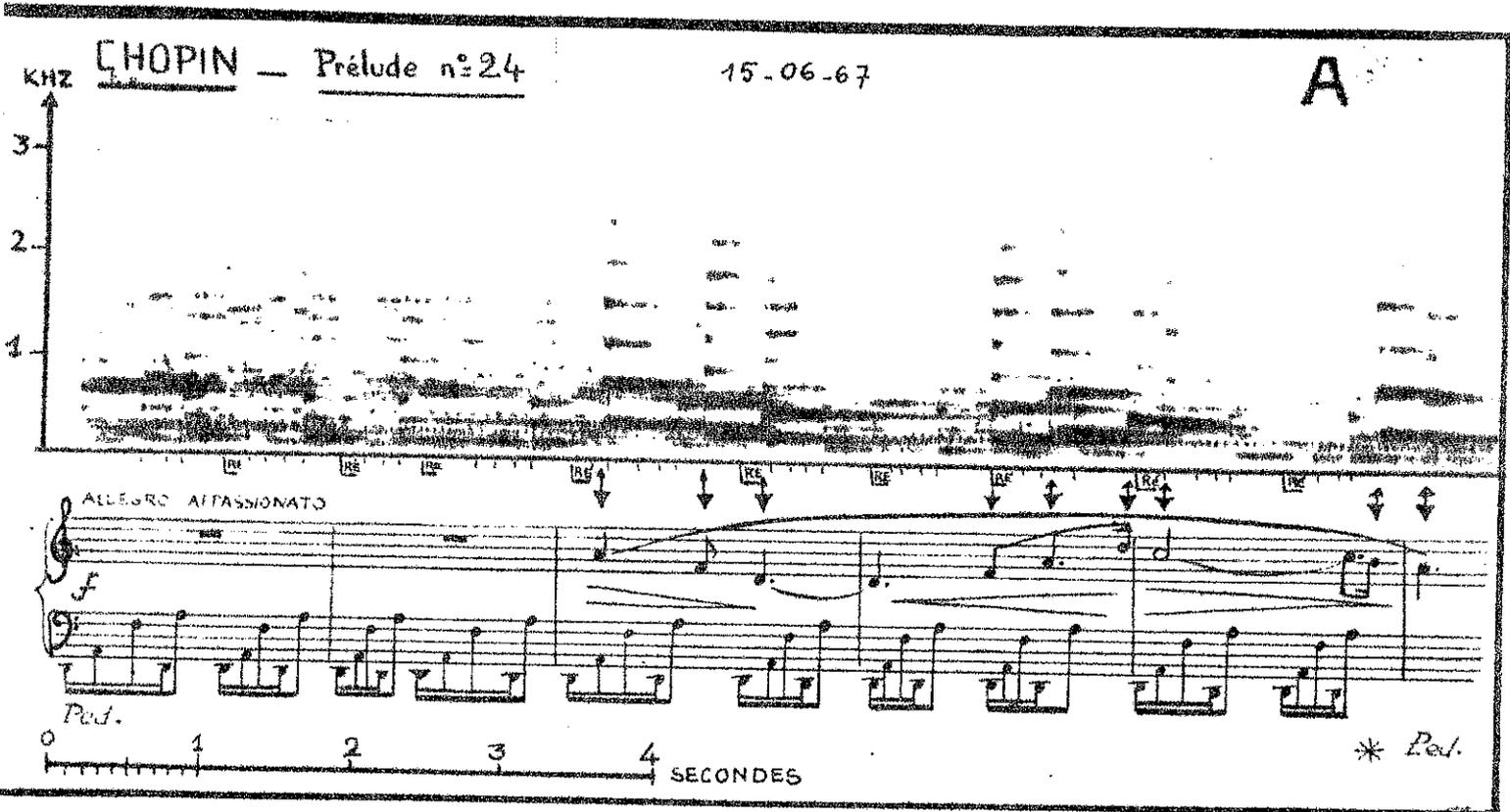
Nous avons choisi le début du 24ème prélude de CHOPIN : " allegro appassionato " qui débute par des arpèges brisés à la main gauche, sur lesquels vient se superposer une ligne mélodique très simple (fig.10) hors texte. (ci-contre)

Il est intéressant de comparer deux interprétations pratiquement au même tempo.

Le pianiste B fait de la main gauche (seule au début) une sorte d'ostinato très rythmé; on voit nettement l'attaque de chaque note. L'accompagnement se maintient à la même intensité lorsque rentre le chant. Le rythme de celui-ci est assez heurté : la double-croche qui suit la croche pointée est très brève (1/10 s) et accentuée en intensité.

Dans la seconde interprétation, (pianiste A) l'accompagnement, assez agité et de rythme irrégulier dans la première mesure, est ensuite " enrobé " de pédale. Les notes se fondent, on les distingue mal, puis cet accompagnement passe au second plan dès la première note du chant. Celui-ci se détache très clairement sur la " trame harmonique " de la main gauche. Le rythme de la mélodie paraît plus coulant (les double croches sont deux fois plus longues que précédemment).

Lorsque l'on peut écouter la musique et simultanément analyser le sonagramme, on se rend compte que celui-ci est une excellente traduction visuelle de l'impression auditive.



III - CONCLUSION

Les analyses spectrographiques que nous avons utilisées représentent un fait nouveau dans l'étude de la technique instrumentale et de l'esthétique musicale. Dans des domaines aussi complexes, soumis aux aléas des appréciations individuelles il est maintenant possible de s'appuyer sur des documents objectifs. Malheureusement nous n'avons guère pu travailler que sur disques : nous ne connaissons pas les conditions d'enregistrement ni les instruments utilisés. C'est pourquoi nous avons surtout considéré le domaine temporel qui ne subit pratiquement pas d'altérations au cours des enregistrements.

De toutes façons nous sommes loin d'avoir épuisé le sujet que nous envisageons de développer ultérieurement. Il est certain que les sonagrammes fournissent à l'artiste qui sait les interpréter en fonction des propriétés de l'oreille musicale un moyen puissant pour étudier le style d'autres instrumentistes, perfectionner le sien propre, et éventuellement enseigner son art de façon plus efficace.

COLLOQUE SUR LE PIANO

J.S. LIENARD

MECANIQUE ET TOUCHER DU
PIANO

JUIN 1967

- N° 30 c

G. A. M.

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 rue Cuvier PARIS 5°

MECANIQUE ET TOUCHER DU PIANO

par J.S. LIÉNARD

Le piano se distingue fondamentalement des autres instruments à cordes frappées tendues sur cadre (cymbalum, clavicorde, etc...) par sa mécanique. Celle-ci répond en effet à des conditions particulières, et sa fonction est double :

1°) Elle assure la frappe de la corde dans les conditions nécessaires pour produire une note (vitesse d'attaque, point d'attaque, absence de rebond, application de l'étouffoir etc...).

2°) Elle permet au pianiste de " préparer " et de contrôler parfaitement le son produit ou à produire ; l'action sur la touche doit pouvoir être réglée de façon à obtenir les plus fines nuances d'intensité ou de durée requises par la musique et ressenties par l'auditeur.

Il s'agit donc d'une mécanique bien particulière, représentant en quelque sorte le prolongement de la main du pianiste, avec une fonction " sensitive " et une fonction motrice. Il serait donc vain d'étudier la mécanique sans se préoccuper du toucher, et réciproquement. Précisons que par le mot " toucher " nous entendons ici la manière d'agir sur les touches de l'instrument en vue d'obtenir une qualité de son donnée. En vérité l'histoire fut pendant plus d'un siècle celle de l'adaptation graduelle et réciproque entre la mécanique et le toucher. Cette adaptation fut un fait accompli quand, un facteur de génie eût mis au point une mécanique permettant de satisfaire complètement aux exigences des musiciens. Le fait que la mécanique du piano soit restée pratiquement inchangée depuis 150 ans montre que la finesse des nuances permises par l'instrument dépasse à la fois les possibilités motrices de la main humaine et celles de l'appareil de contrôle, c'est-à-dire du cerveau humain.

Ainsi la mécanique actuelle du piano représente une sorte d'optimum en la matière; nous allons tenter de le justifier en nous plaçant successivement sur trois plans différents :

- sur le plan physique, en mettant en lumière les conditions à observer pour qu'une corde frappée puisse rendre un son musicalement utilisable,
- sur le plan historique, en cherchant comment a évolué la facture du piano jusqu'au moment où Erard a présenté sa mécanique à double action,
- enfin, sur le plan musical, où nous tenterons de montrer en quoi consiste exactement une note de piano.

.... /

Ces études diverses nous conduiront à placer le toucher pianistique dans un contexte plus général que celui de la technique proprement dite.

I - SONS PRODUITS PAR UNE CORDE FRAPPEE (bibl. 1)

La lutherie traditionnelle exploite depuis la plus haute antiquité les diverses manières de tirer un son d'une corde tendue sur une caisse de résonance. Il existe plusieurs moyens : on peut la pincer, la frotter avec un archet collophané, ou la frapper avec un objet dur, par exemple avec le dos de l'archet. Dans ce dernier cas on n'obtient pas un son, mais trois : les deux plus aigus (partiels), apparaissant dès la percussion, correspondent aux deux longueurs de corde comprises entre le point de frappe et chaque extrémité; un troisième son, plus grave (fondamental), apparaît lorsque l'objet quitte la corde, et correspond à la longueur totale de celle-ci. L'accord musical entre ces trois sons peut être, selon le cas, plus ou moins consonnant. Suivant la durée du contact entre l'objet et la corde ils apparaissent plus ou moins distinctement. En fait, une percussion très brève excite simultanément les trois régimes de vibration. La hauteur du son global résultant est déterminée par le fondamental et son timbre dépend alors de la position du point d'excitation, ce qui se produit également pour la corde pincée (ex. guitare) ou frottée (ex. violon).

Pour faire de la musique avec des cordes frappées il faut pouvoir produire des notes de hauteur bien définie. Il est donc nécessaire d'atténuer ou d'éliminer deux des trois sons qui accompagnent chaque percussion. Cette condition a été réalisée de plusieurs manières, suivant les instruments :

1°) Le Clavicorde. On peut éliminer le fondamental et un partiel, en laissant le marteau en contact avec la corde après la percussion, et en empêchant la vibration d'une des deux longueurs de corde. C'est le principe du clavicorde (fig.1), dans lequel la percussion et la division de la corde sont assurées par

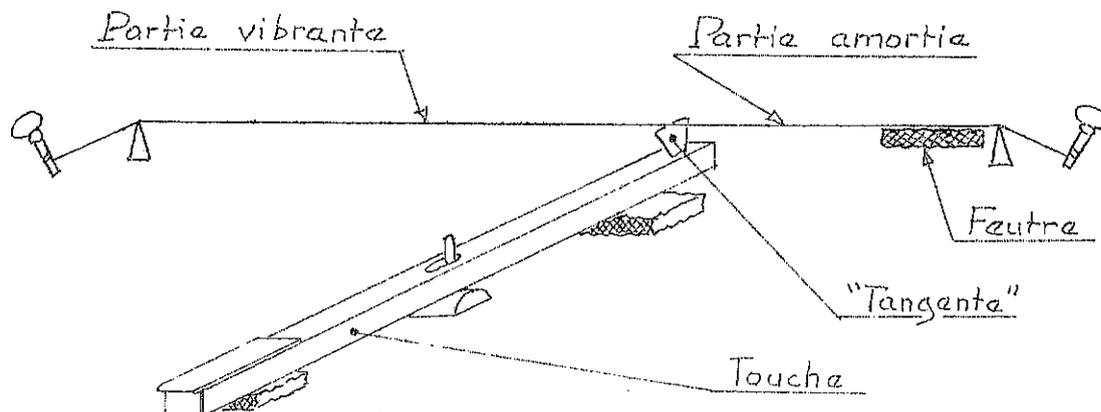


Figure 1

un objet métallique ("tangente"), Un ruban de feutre, en contact avec la corde à l'une de ses extrémités, amortit à la fois la vibration correspondant au partiel indésirable de même que le fondamental : le son s'éteint lorsque la tangente quitte la corde.

Le clavicorde fut au 17^e siècle un instrument très répandu. Contrairement au clavecin, il permettait l'"expression". L'instrumentiste pouvait dans une certaine mesure produire des nuances d'intensité en attaquant les touches plus ou moins fortement; il pouvait contrôler exactement la durée de chaque note car il suffisait de lâcher la touche pour que le son s'éteigne; enfin il avait la possibilité de produire certains effets musicaux en faisant vibrer le doigt sur la touche, ce qui modifiait légèrement la tension de la corde ou la position de la tangente et se traduisait par un vibrato particulier. Mais ces possibilités s'accompagnaient de deux inconvénients. D'une part la modulation de l'intensité produisait aussi une modulation de hauteur qui n'était pas forcément souhaitée; d'autre part le niveau sonore de l'instrument, sur lequel étaient montées des cordes fines et peu tendues, était trop faible; cela déterminait un style de musique très particulier : la sonorité délicate du clavicorde convenait parfaitement pour faire de la musique chez soi, mais n'était guère adaptée aux salles de concert. Ceci expliqua sa disparition au 18^e siècle et son remplacement par le " carré " (piano plat transportable) puis par notre piano actuel.

2^o) Le tympanon. Pour tirer d'une corde frappée un son musical on peut aussi chercher à éliminer les partiels, pour ne garder que le fondamental, ce qui limite au transitoire d'attaque le rôle auditif des partiels : le fondamental apparaît tout de suite après les partiels, au moment où l'objet percuteur quitte la corde. En retirant le marteau dès qu'il a transmis son énergie à la corde, on produit de toute façon les trois sons simultanément; mais on cherche à favoriser le fondamental de façon qu'il masque les partiels, et pour cela on réalise une percussion extrêmement courte.

En frappant très près du chevalet on produit deux partiels de fréquences très différentes : le plus grave se confond pratiquement avec le fondamental, et l'autre est rejeté dans l'extrême aigu, participant alors au timbre de la corde au même titre que les harmoniques de celle-ci.

Par ce moyen on obtient le son désiré, ayant pour hauteur celle du fondamental, sans que son timbre devienne trop discordant. Malheureusement un tel son est très faible et comporte un bruit d'attaque très important, car la plus grande partie de l'énergie due à la percussion est transmise directement à la caisse de résonance par l'intermédiaire du chevalet, sans mettre la corde en vibration. En pratique on atténue les partiels par l'emploi d'un marteau feutré. Celui-ci se comporte vis-à-vis des deux partiels comme le ruban de feutre dans le clavicorde; pendant le bref contact du marteau et de la corde, c'est-à-dire au moment

de la création des partiels, la vibration de chacune des deux parties de la corde est amortie par le marteau lui-même. On règle empiriquement le point de frappe aux alentours du $1/8^{\circ}$ de la longueur (l'harmonique 8 étant consonnant, et on retire le marteau le plus vite possible, dès qu'il a communiqué son énergie à la corde, en évitant son rebondissement. Ces conditions sont réalisées dans le tympanon, grâce aux marteaux très judicieusement élaborés. Cet instrument lui aussi permet l'expression : il permet dans une certaine mesure de régler le timbre par le choix du point de frappe, et surtout l'intensité. En effet, celle-ci est sensiblement proportionnelle à l'énergie du marteau, c'est-à-dire à sa masse et au carré de sa vitesse. Comme le marteau est le prolongement direct des doigts de l'instrumentiste, celui-ci peut régler la vitesse de frappe avec toute la précision requise par les nuances musicales.

Le tympanon est un instrument encore assez répandu en Europe centrale sous le nom de cymbalum, et en Orient sous le nom de santour. Il requiert une grande virtuosité car, tout en jouant à deux voix en tempo rapide, le musicien doit simultanément choisir ses notes, régler le timbre en frappant à l'endroit voulu, et l'intensité, en imprimant au marteau la vitesse nécessaire. Les virtuoses surmontent ces problèmes d'exécution; mais le tympanon n'est pas bien adapté à notre musique occidentale, car il ne permet pas de contrôler un paramètre essentiel de cette musique, qui est la durée de chaque note. En effet, après avoir été frappée, la corde continue à sonner, et le seul moyen de l'en empêcher est d'utiliser soit la main, soit le marteau, ce que le musicien ne peut faire à chaque note. Donc, malgré ses possibilités d'expression, le tympanon impose un style de musique particulier; pas plus que le clavicorde il ne parvient à conquérir les musiciens occidentaux du 17^e siècle. C'est le piano qui apportera la solution tant désirée.

II - NAISSANCE ET EVOLUTION DU PIANO (Bibl. 2 et 3).

Le clavecin atteint au début du 18^e siècle son apogée. L'instrument est bien au point, sa sonorité est assez puissante pour en faire indifféremment un instrument de salon ou de concert; et il possède une abondante littérature musicale. Une seule ombre au tableau : il ne permet pas l'expression. Cette lacune du clavecin est brusquement révélée en 1705 lorsque Pantaleon Heben-treit, un prodigieux virtuose du cymbalum, démontre les immenses possibilités de son instrument, au cours de tournées triomphales dans les cours d'Europe. Dès lors les facteurs de clavecin vont s'efforcer d'adapter des marteaux sur leurs instruments afin de pouvoir rendre les nuances d'intensité. En l'espace d'une dizaine d'années apparaissent à Florence, à Paris et à Dresde divers modèles de " clavecins à marteaux ", qui ne connaissent pourtant qu'un succès limité. Nous ne décrivons que le plus élaboré de ces instruments, celui de Christofori.

1°) L'instrument de CHRISTOFORI

C'est en 1709 que ce facteur florentin présente son "gravicembalo col piano e forte". Il s'agit d'un clavecin dans lequel les sautereaux (mécanisme de pincement de la corde) sont remplacés par des marteaux. Mais le marteau n'est pas directement relié à la touche (fig.2); la mécanique intermédiaire assure plusieurs fonctions :

- la multiplication de vitesse : l'ensemble de la mécanique est composé de trois leviers, dont le rapport final de déplacement est de l'ordre de 10. Autrement dit, pour déplacer le marteau de 5 cm il faut enfoncer la touche de 5 mm; de même, la vitesse du marteau est sensiblement 10 fois supérieure à celle de la touche. Cette multiplication de vitesse est nécessaire, comme nous l'avons vu dans le tympanon, pour assurer une large gamme de nuances d'intensité.
- la brièveté du choc : si le marteau était relié aux autres leviers par une articulation, le musicien devrait relâcher la touche aussitôt après le choc, pour éviter que le marteau ne reste en contact avec la corde ou ne rebondisse sur elle. Une telle promptitude, pratiquement irréalisable, serait de toute manière peu compatible avec la continuité du jeu. C'est pourquoi Christofori a muni sa mécanique d'un échappement (fig.3) : le levier B agit sur le marteau par l'intermédiaire d'une petite pièce articulée, le pilote P normalement maintenu en place par le ressort R. Le pilote a une trajectoire telle qu'il perd le contact avec le nez N du marteau quelques millimètres avant que celui-ci n'atteigne la corde (fig.3a). A partir de ce moment le marteau est entièrement désolidarisé de la touche, qui peut rester enfoncée si on le désire. Il continue sa course et percute la corde avec une vitesse peu différente de celle qu'il avait à l'échappement (fig.3b). Ce choc est extrêmement bref : la réaction de la corde s'ajoute à la pesanteur pour le faire retomber sitôt qu'il a transmis son énergie cinétique à la corde. Il n'a d'ailleurs pas à retomber très bas, car le contre-pilote C fixé au levier B le recueille à peu près à l'endroit où avait eu lieu l'échappement (fig.3c). Si à ce moment on relâche la touche, le levier B et le marteau redescendent, le pilote revient en contact avec le nez du marteau, sans toutefois pouvoir se glisser au-dessous (fig.3d). Il s'écarte ainsi du contre-pilote, jusqu'à ce que le marteau repose sur l'attrape-marteau A. Le pilote peut alors revenir dans sa position de départ, si l'on relâche complètement la touche.
- L'extinction du son : Sur le levier B est fixé un étouffoir, dont le contact avec la corde cesse dès que l'on appuie sur la touche. La durée de chaque note est donc parfaitement déterminée par le temps pendant lequel la touche est enfoncée.

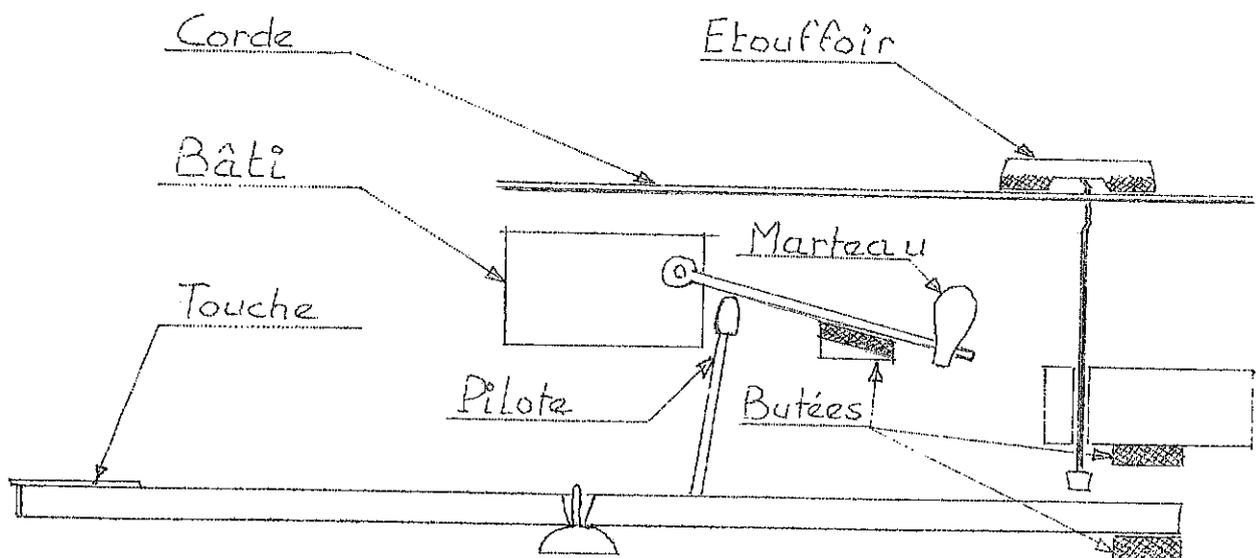
Il faut remarquer que cette mécanique, la première qui ait vu le jour, comportait à peu près tous les éléments que nous trouvons au 20^e siècle sur nos pianos droits. Cristofori, en génial précurseur, était même allé jusqu'à inventer la pédale "una-corda" de nos pianos à queue. Son "gravicembalo col piano e forte", devenu bientôt "pianoforte" et plus tard piano, était en fait très en avance sur son temps.

2°) Le piano de 1709 à 1770

Après Cristofori de nombreux facteurs présentent des clavecins à marteaux ou pianoforte. Mais la mécanique que nous avons décrite paraît alors trop compliquée, et l'on s'ingénie à la simplifier sans en avoir compris la perfection fonctionnelle. En 1750 on trouve des pianoforte munis de l'une des deux mécaniques suivantes :

- Mécanique à poussoir ou à pilote (Stossmechanik)

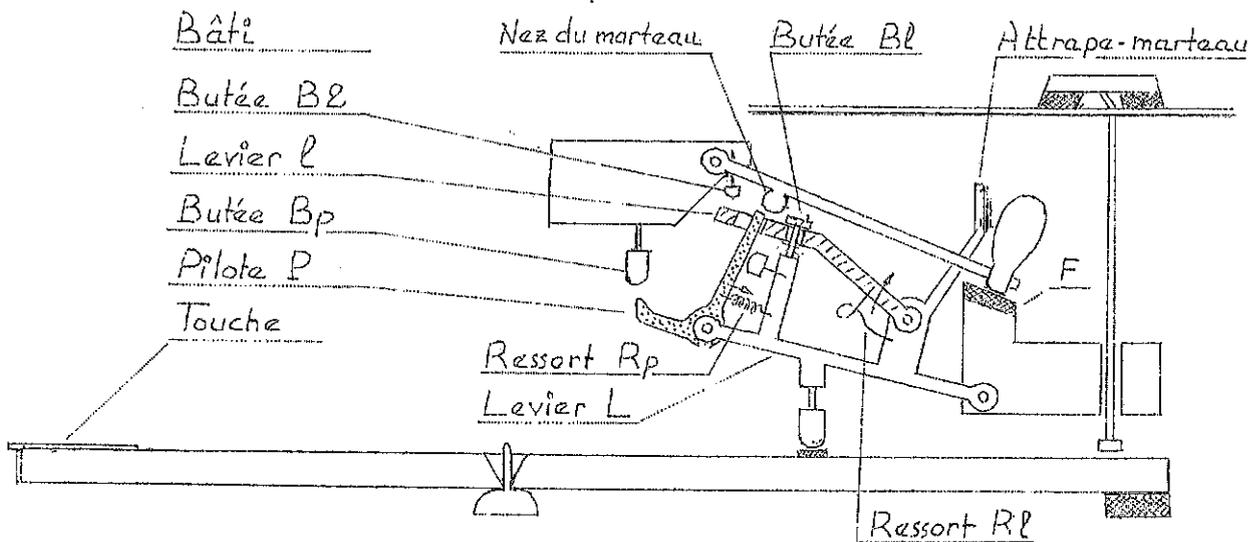
La fig.4 en montre le principe : bien qu'il n'y ait plus d'échappement, les principales caractéristiques de la mécanique de Cristofori subsistent. Le pilote n'accompagne pas le marteau jusqu'au bout de sa course : lorsque celui-ci n'est plus qu'à quelques millimètres de la corde il quitte le pilote car la touche rencontre une butée. Après la percussion il retombe sur le pilote; c'est là le principal défaut de cette mécanique, qui limite la puissance du jeu par la réaction du marteau sur la touche.



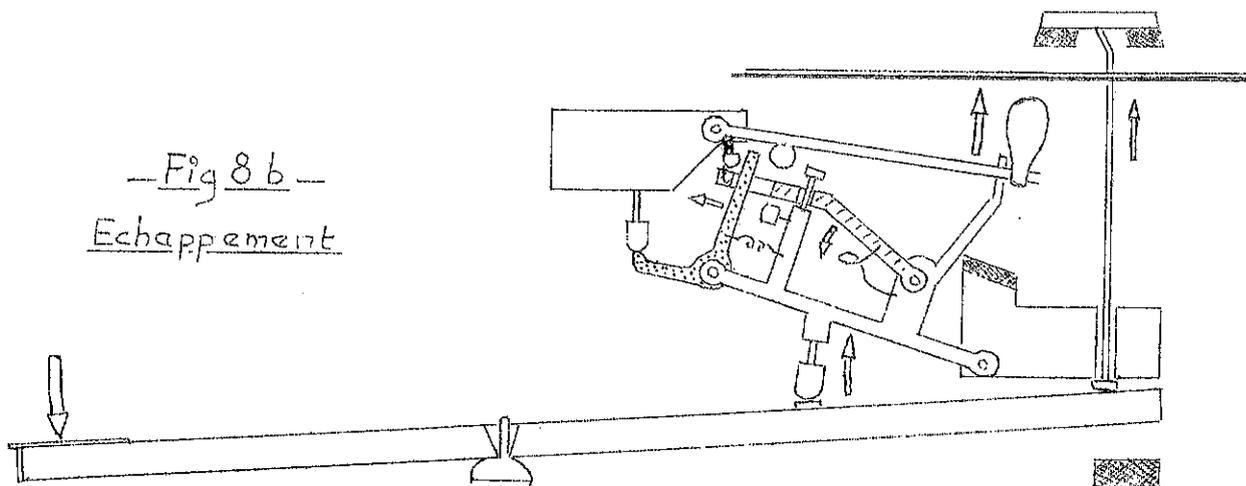
- Mécanique à pilote -

Figure 4

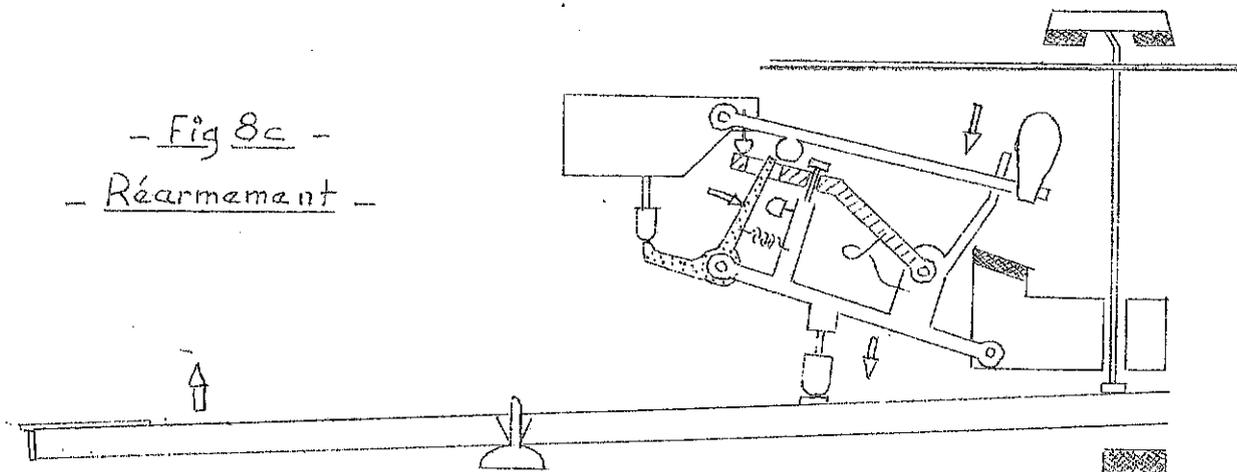
- 9 bis -



- Fig 8a - Principe de la mécanique d'ERARD (1822) -



- Fig 8b -
Echappement



- Fig 8c -
Réarmement

L'ensemble du grand et du petit levier L et l, et du pilote P, repose sur la touche. Le ressort R1 assure le contact du levier l avec sa butée B1 solidaire de L, et le ressort Rp maintient le pilote dans une position telle qu'il puisse dès la moindre action sur la touche projeter le marteau vers la corde (fig.8a).

b) Lorsqu'on appuie sur la touche on soulève l'étouffoir. L'ensemble L, l et P monte, jusqu'à ce que l'extrémité libre du pilote rencontre la butée Bp, le levier l rencontrant également sa butée B2 solidaire du bâti.

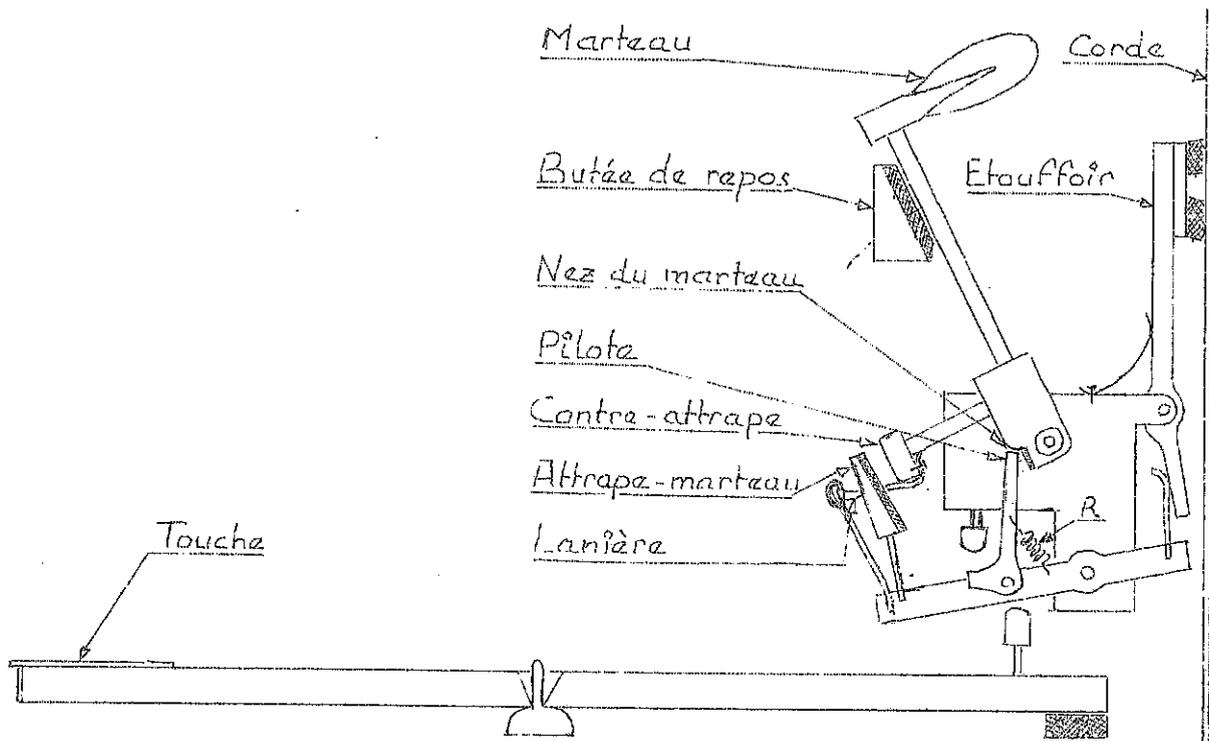
c) Si l'on continue à appuyer sur la touche, le pilote "échappe". Le marteau franchit sur son élan les quelques millimètres qui le séparent de la corde, percute celle-ci et retombe sur l'attrape-marteau (fig.8b).

d) Si l'on relâche la touche très légèrement, l'attrape-marteau quitte le marteau, mais celui-ci se trouve alors maintenu par le levier l, qui est toujours en butée sur B2. En relâchant encore un peu la touche, le pilote peut quitter sa butée et se glisser sous le nez du marteau. L'ensemble se retrouve alors dans la position définie en 8c. Autrement dit, en relâchant légèrement la touche on "arme" à nouveau l'échappement, sans être obligé de revenir à la position de repos comme l'imposaient les mécaniques précédentes. Cette disposition permet donc de répéter une note très rapidement, d'où le nom de "mécanique à répétition" que l'on donne quelquefois à la mécanique d'Erard.

Mais cette qualité ne suffit pas à elle seule pour expliquer le succès immédiat et durable du "double échappement". Les musiciens n'avaient pas attendu Erard pour jouer sur le piano des trilles ou des notes répétées; sa mécanique ne constitue pas tant un progrès de virtuosité que l'ouverture d'un nouveau domaine d'expression. En effet, lorsqu'on répète une note suivant le processus décrit plus haut, c'est à dire sans relâcher complètement la touche, on n'applique pas l'étouffoir sur la corde, et la qualité du son produit est différente. Autrement dit, la mécanique d'Erard apporte surtout au musicien la possibilité de contrôler l'attaque, indépendamment de l'extinction du son précédent. Ceci joue non seulement dans la qualité sonore d'une note considérée isolément, mais surtout dans l'enchaînement des notes entre elles, qui constitue un élément essentiel de la musique pianistique. Nous reviendrons sur cette question dans la suite.

5°) La mécanique des pianos droits

Le principe de la double action fut bientôt appliqué au piano droit : il suffit de faire une mécanique à échappement, dans laquelle le nez du marteau a un profil particulier (fig.9). Après avoir percuté la corde le marteau est reçu par l'attrape-marteau. Si l'on relâche la pression sur la touche, l'attrape-marteau quitte le marteau, mais celui-ci, disposé verticalement, ne



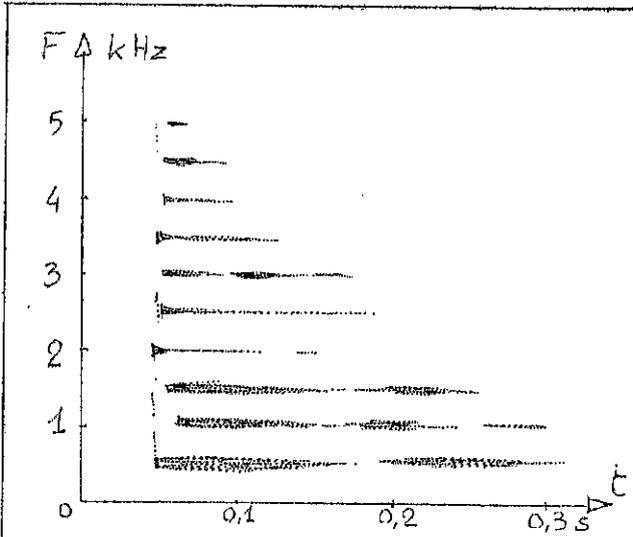
- La mécanique des pianos droits -

Figure 9

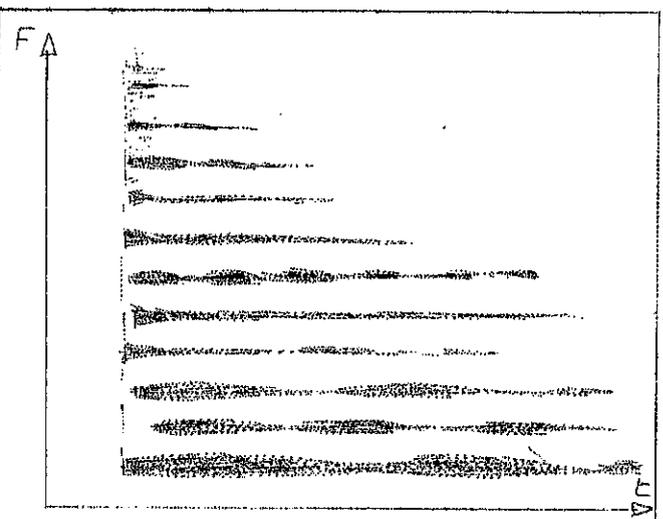
subit pas de la pesanteur une action de rappel très énergique, et cette phase de son retour est relativement lente. Ce délai est mis à profit par le pilote qui, poussé par son ressort R, se glisse sous le nez du marteau, afin de réarmer l'échappement. Pour que ce système fonctionne, il faut d'une part que la répartition des poids soit telle que l'ensemble du levier, du pilote et de l'attrape-marteau descende plus vite que le marteau (le ressort nécessairement puissant de l'étouffoir y contribue), et d'autre part que le dessin du nez du marteau permette au pilote de profiter de son avantage. Enfin, après cette opération, le marteau est violemment rappelé vers sa position de repos au moyen d'une lanière fixée à l'attrape-marteau.

La fonction du double échappement, consistant à pouvoir réattaquer une note sans auparavant appliquer l'étouffoir, est donc bien réalisée ici. Mais c'est au prix de l'alourdissement des pièces, de l'adjonction de ressorts, de lanières, qui rendent la touche plus " dure " et moins sensible. Par ailleurs le frottement du pilote sur le nez du marteau, et celui du marteau sur son axe sont des facteurs d'imprécision : le réarmement n'a jamais lieu exactement au même endroit d'une note à l'autre ou à la suivante, ce qui réduit le nombre de nuances possibles.

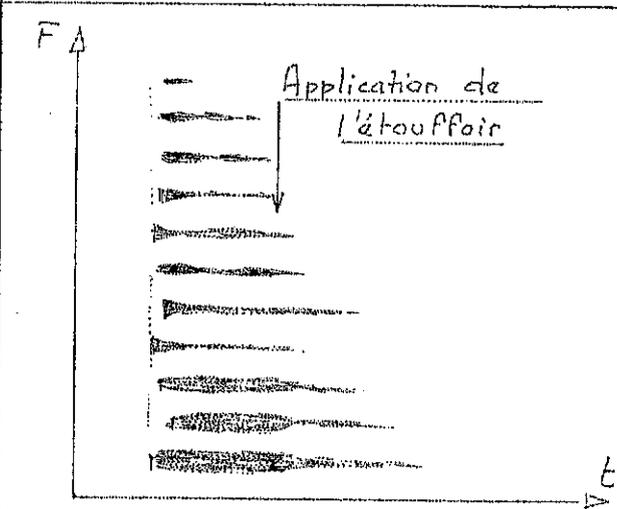
Nous savons maintenant comment fonctionne la mécanique du piano. Mais cette mécanique est au service du musicien, et il



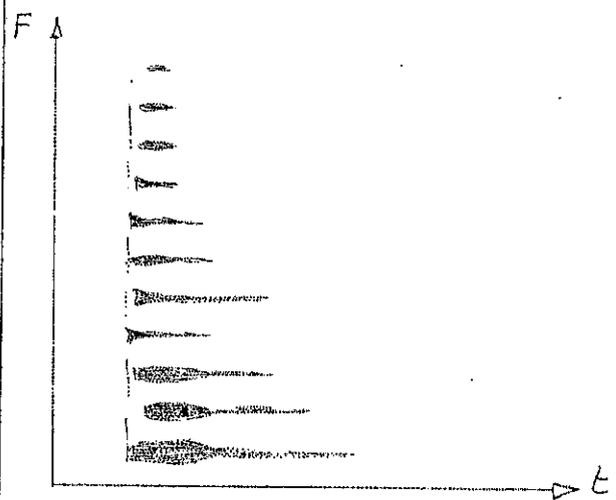
- Fig 10 - Une note jouée "piano" -



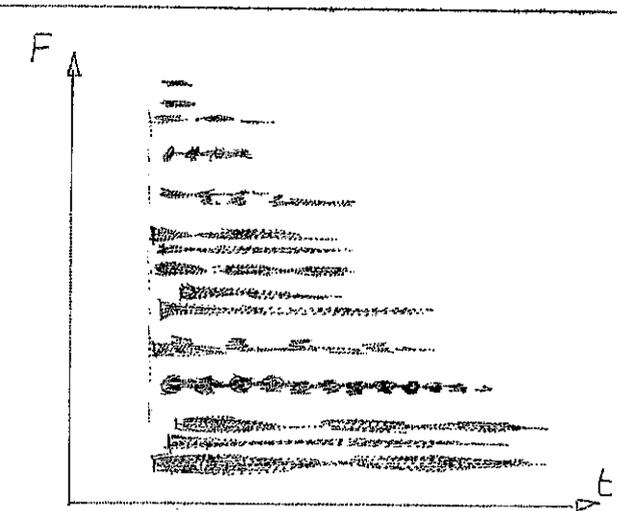
- Fig 11 - La même . jouée "forte" -



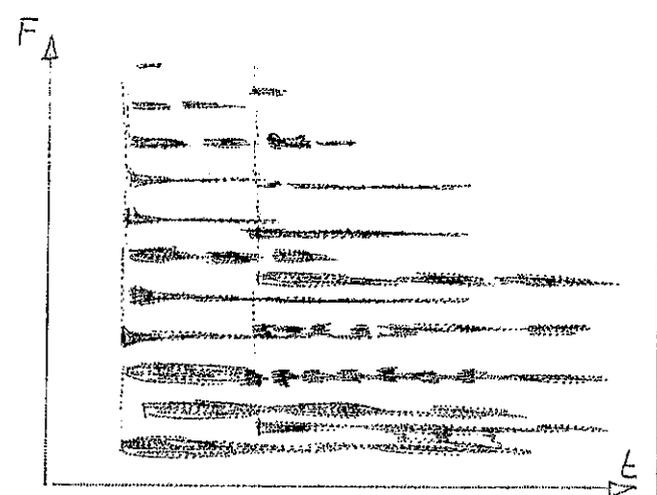
- Fig 12 - Action de l'étouffoir -



- Fig 13 - Note très brève -



- Fig 14 - Accord de 2 notes -



- Fig 15 - Deux notes jouées "legato" -

nous faut savoir pourquoi toute cette complication est indispensable musicalement, et comment le pianiste l'utilise. Nous chercherons à définir une note de piano, d'abord sur le plan acoustique, ensuite sur le plan musical.

III - QU'EST-CE QU'UNE NOTE DE PIANO ?

1°) Sur le plan acoustique.

Quelle que soit la force avec laquelle on appuie sur la touche, la structure acoustique d'une même note reste sensiblement identique (fig.10 et 11). Que la note soit jouée " piano " ou " forte ", on retrouve la même intensité relative des composantes, le même ordre d'apparition ou de décroissance des partiels, les mêmes battements ou modulations d'intensité etc...

Une note de piano est un objet pratiquement indéformable; ses caractéristiques acoustiques sont déterminées par le point de frappe, la raideur et la tension des cordes, et mille autres caractéristiques mécaniques fixées par le constructeur et par l'accordeur. On peut facilement retrouver dans le sonagramme d'une phrase musicale une note dont on connaît déjà la " photographie " (cf : Mlle CASTELLENGO : " le style des pianistes ").

Dans ces conditions le pianiste, qui doit rendre certaines nuances musicales, peut agir sur trois éléments :

a) l'intensité

Jouer une note plus ou moins fort revient à faire émerger un nombre plus ou moins grand de composantes au dessus du bruit de fond ; pour indéformable qu'il soit, l'objet s'enrichit pour l'auditeur, d'autant plus que l'accroissement du nombre de composantes a lieu surtout vers 3000 Hz, dans la zone sensible de l'oreille.

b) la durée

Ce facteur est contrôlé de manière simple, par le retour de la touche en position de repos. Il faut remarquer que l'action de l'étouffoir n'est pas exactement la même pour chaque partiel : l'étouffoir agit plus fortement et plus rapidement sur les partiels aigus (fig.12). De plus il se produit souvent un " frisement " lorsque l'étouffoir commence à s'appliquer sur les cordes, qui peut se traduire par le renforcement insolite d'un partiel. Ce phénomène prolonge la note et peut perturber le contrôle du musicien sur la durée (cf l'exposé de M. LEIPP et biblio. 4).

En modifiant la durée d'une note, le pianiste ne modifie donc pratiquement pas sa structure acoustique, sauf pour les durées extrêmement courtes, où le temps d'action de l'étouffoir devient prépondérant (fig.13).

..../

c) le contexte

En dehors de tout effet psychologique, la structure acoustique d'une note peut être modifiée par la superposition d'autres notes attaquées simultanément (accord, fig.14) ou non (liaison, fig.15). Ces modifications se traduisent par des battements entre partiels voisins; mais il est très rare que la note devienne complètement méconnaissable. Il reste toujours un caractère distinctif permettant la reconnaissance, par exemple un décalage dans l'apparition des partiels, ou tout simplement la hauteur de la note, traduite par l'écartement des partiels.

En résumé, qu'elle soit forte ou faible, longue ou brève, plongée ou non dans un contexte, une note de piano est toujours identifiable. Mais le pianiste peut en modifier les dimensions, en temps et en intensité, et l'émergence par rapport aux notes voisines. Il agit à la manière d'un photographe qui, à partir d'un même négatif, tire un grand nombre de clichés différents en jouant sur les éclaircissements, les cadrages et les contrastes.

2°) Sur le plan musical et psychologique

Seashore (biblio.5) cite une expérience menée par ORTMANN en 1925 avec la collaboration de pianistes professionnels : ceux-ci jouaient à la satisfaction générale des sons isolés présentant des nuances particulières, comme " dur ", " brillant ", " doux ", " plein ", " chantant " etc... Un dispositif électro-optique monté sur le piano enregistrerait simultanément la vitesse du marteau (donc, indirectement, l'intensité sonore) et le moment d'application de l'étouffoir (donc la durée du son). En étudiant ces enregistrements on s'aperçut que chaque qualificatif de nuance correspondait à la combinaison d'une certaine intensité avec une certaine durée.

Ceci ne doit pas nous étonner car l'étude du paragraphe précédent nous a montré que le sonagramme d'une note, tout en restant reconnaissable, prenait pour chaque nuance des allures différentes. Les musiciens distinguent 5 grandes nuances d'intensité, du pianissimo au fortissimo, et 7 grandes nuances de durée, de la quadruple croche à la ronde. On peut donc s'attendre à trouver pour une note isolée environ $7 \times 5 = 35$ nuances possibles. Quelle que soit la précarité d'un calcul aussi simpliste, le résultat semble correspondre à l'observation courante.

La conséquence la plus intéressante de l'expérience d'Ortmann est que nous percevons une note (en l'occurrence une note de piano) globalement, sans analyser l'attaque, l'extinction, l'intensité, la structure acoustique ou la durée. Cette remarque, que la Gestalt-Theorie nous montre comme très générale, nous servira par la suite pour envisager le problème du toucher au piano.

Les observations précédentes concernent des notes isolées. Bien que le piano soit un instrument à sons fixes, il per-

.... /

met d'enchaîner les sons en jouant " legato ". La liaison ou la séparation de deux sons (staccato) sont rendues possibles par la disposition mécanique, et en particulier par l'échappement, qui permet de manipuler l'étouffoir indépendamment du marteau. En fait, le sonagramme de la fig. 15 montre que deux notes liées ne sont pas simplement superposées pendant une partie de leur durée, mais qu'elles fusionnent vraiment : lorsqu'elles ont des partiels voisins, ceux-ci entrent en battement, ce qui donne une couleur particulière à la partie commune aux deux sons.

Sachant ce qu'est un son de piano, sachant qu'il est régi par deux paramètres, qu'il dépend en partie du contexte sonore et qu'il est ressenti comme un tout, il nous reste à examiner la manière dont il est fabriqué par l'instrumentiste. Ceci revient à définir le toucher pianistique.

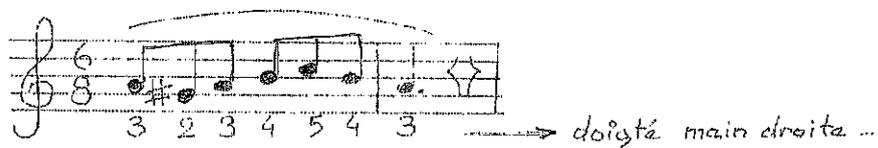
IV - LE TOUCHER

Ce mot est rarement pris dans un sens très précis. Pour le Petit Larousse, ce mot désigne " la manière de jouer de certains instruments ". En effet, François Couperin, dans son " Art de toucher le clavecin (1717)", recommandait de tenir ses doigts " le plus près des touches qu'il est possible, afin d'obtenir " la douceur du toucher ".

Le Larousse de la Musique est plus explicite : " jusqu'à la fin du 18° siècle, ce mot désignait l'action de jouer d'un instrument. De nos jours, il désigne plutôt la manière d'enfoncer les touches de l'instrument, et particulièrement du piano ". La date avancée pour le changement de sens (fin 18°) correspond parfaitement à l'essor du piano, au moment où la mécanique commençait à être au point. Mais le pianiste ne se borne pas à " enfoncer " les touches de son instrument; la manière dont il les laisse remonter a aussi une grande importance dans l'appréciation de son toucher. Continuons : " On dit d'un pianiste qu'il a le toucher dur ou moëlleux, mou ou puissant, nerveux ou élastique, etc... ". Voilà qui ressemble fort aux qualificatifs utilisés par les musiciens d'Ortmann, à cela près qu'ils s'appliquent à un comportement humain et non plus à un objet. L'auteur donne ensuite des précisions techniques; " La dynamique et l'articulation des sons... sont rendues à l'auditeur par le toucher de l'interprète. On distingue deux sortes principales de toucher ... : le legato et le staccato " Nous retrouvons dans cette définition, légèrement emmêlés, les facteurs dégagés dans le paragraphe précédent : l'intensité proportionnelle à la vitesse d'enfoncement de la touche, la durée définie par le retour de celle-ci en position de repos, et l'enchaînement des sons, liés (legato), ou isolés (staccato), résultant de l'action sur l'étouffoir de la première note quand on attaque la seconde.

Il est évident, comme nous le montre encore une fois l'emploi des qualificatifs, que ces trois facteurs physiques forment un tout perceptif. Il est non moins évident que, pour le pia-

niste expérimenté, les gestes correspondant à une nuance donnée forment un ensemble indissociable, même s'il est obligé de le décomposer pour l'apprendre. Pour fabriquer une note " métallique ", le pianiste d'Ortmann ne fait pas une attaque, puis une extinction du son; il fait un seul geste. Par le jeu de contractions musculaires et de déplacement de masses organiques il applique une certaine force sur la touche; mais simultanément il prépare le geste qui la relèvera. Autrement dit la production d'une note isolée suivant une certaine nuance musicale résulte d'un mouvement complexe à double effet. De la même manière, si l'on considère un groupe de plusieurs notes, liées ou non, formant un tout musical, le geste qui les produit doit être considéré comme une unité. Par exemple, dans une formulette comme la suivante



il n'y a qu'un mouvement, certes très compliqué, mais indécomposable : ce sont les appuis du majeur sur " la " et de l'annulaire sur " si " qui permettront de jouer correctement le " la " final et de donner la nuance voulue à l'ensemble.

Le corps humain est un système mécanique présentant un grand nombre de degrés de liberté; il est compréhensible que, pour rendre une même nuance, chaque pianiste adopte un geste différent, adapté à sa morphologie particulière. Sans entrer dans le domaine de la technique pianistique on peut remarquer qu'en règle générale les parties du corps les plus éloignées du centre de gravité, à commencer par la main et les doigts, peuvent atteindre de grandes vitesses d'attaque et de déplacement; d'autre part, les parties plus centrales (avant-bras, bras, épaule), utiles par leur masse, présentent une inertie qui leur fait préférer les mouvements de faible amplitude.

Bien que de telles considérations soient très schématiques, elles permettent de comprendre certaines relations entre la technique et la qualité du son. Voici par exemple (fig. 16) des enregistrements de niveau relatifs à quatre séries de notes, produites en attaquant successivement avec un mouvement du poignet, de l'avant-bras, du doigt et de l'épaule. Le pianiste a dosé son effort de façon à donner sensiblement la même intensité maximum à chaque son.

Dans l'attaque de poignet le mouvement est très rapide; le doigt quitte la touche aussitôt que la note est produite. Dans l'attaque de l'avant bras les masses en jeu sont légèrement plus grandes, et la note dure plus longtemps. L'attaque de doigt donne lieu à une durée encore plus grande : si l'on astreint le poignet à rester immobile, le doigt met un certain temps à remonter, et l'amortissement dû à l'étouffoir n'intervient qu'après une appréciable décroissance naturelle du niveau sonore. Enfin, dans

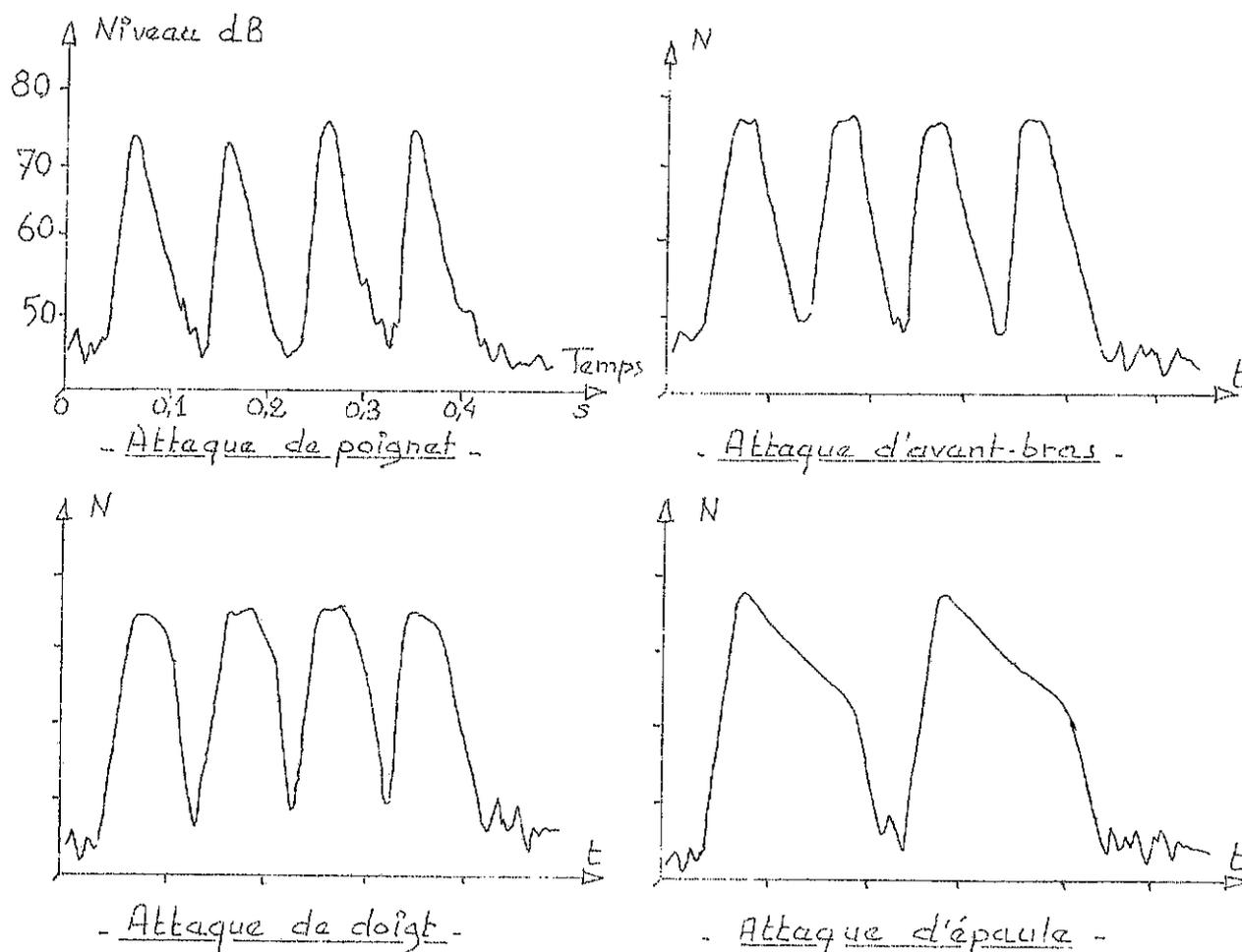


Figure 16

L'attaque d'épaule, la puissance sonore peut être considérable, mais l'inertie est telle que le pianiste ne peut pas jouer à la même cadence que précédemment et dédouble son tempo.

Il n'est pas nécessaire d'analyser ces enregistrements en détail pour se rendre compte que chaque type d'attaque donne lieu à un profil dynamique particulier. L'oreille apprécie globalement ces différences de forme, tout comme le bras du pianiste exécute globalement le geste associé à la nuance recherchée.

V - CONCLUSION

Nous nous sommes efforcés de montrer que la principale originalité du piano, dans sa facture, sa sonorité et son jeu réside dans sa mécanique. Celle-ci, dans sa version actuelle datant d'un siècle et demi, peut paraître complexe : en fait c'est une merveille d'adaptation d'un système mécanique aux propriétés de l'homme, considéré d'une part comme réalisateur de mouvements, et d'autre part comme récepteur de messages. Elle représente donc

un optimum difficile à dépasser, comme le montrent les innombrables brevets apportant des " améliorations " à cette mécanique: celle-ci pourtant ne diffère que par des détails infimes de la mécanique définie par Erard, dont les principes de base avaient été posés par Cristofori ... Les facteurs n'ont guère d'autre possibilité que de chercher simplement à faire de bons pianos, et cela demande déjà un art consommé ; ils peuvent utiliser de bons matériaux, réaliser des mécaniques bien ajustées, rendre leurs instruments plus homogènes, etc...

Le piano, sous sa forme actuelle, est donc un instrument parfaitement au point. Pour beaucoup d'entre nous, " apprendre la musique " se traduit par " apprendre le piano ". La littérature musicale de cet instrument est aussi abondante que variée, et l'on peut même dire que l'ensemble de la littérature musicale pour orchestre est réduite (adaptée) pour le piano.

Le domaine où l'on peut envisager d'importants progrès est peut-être celui de sa pédagogie. Ce que font intuitivement ou presque d'excellents professeurs de piano pourrait être analysé sur des bases scientifiques, systématisé et mis en parallèle avec le fonctionnement de la mécanique, à partir d'idées nouvelles sur la perception musicale. De ce dernier point de vue il n'est pas interdit de penser que la mécanique humaine puisse être étudiée, à force de patience et d'hypothèses réalistes, par exemple au moyen de machines à calculer. De toute manière, il est certain que l'utilisation de moyens de contrôle comme le sonographe et la camera ultra rapide permettrait d'améliorer l'enseignement du piano, tant en qualité qu'en durée.

En résumé, le piano est un bel instrument, qui a fait ses preuves. Ses qualités viennent en grande partie de sa mécanique, qui permet un " toucher " très nuancé et par là offre une riche palette sonore. C'est avec l'orgue le plus complet des instruments harmoniques. Pour le remplacer il faudrait trouver mieux, tant sous l'aspect du rendement sonore que sous celui de l'adaptation à l'anatomie et la physiologie humaine; il faudrait aussi écrire une nouvelle littérature : le piano n'est pas près de disparaître.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BOUASSE : Cordes et Membranes, Paris, Delagrave 1926
 - 2 - Hanns NEUPERT : " Vom Musikstab zum modernen Klavier ", article publié dans : " Der Piano - und Flügelbau " de Herbert JUNGHANNS, éditeur Otto KRAUSE, Berlin 1952.
 - 3 - Ghislaine JURAMIE : Histoire du Piano. Collection Orion, éditions Prisma, 7 rue Scribe, Paris. Non daté.
 - 4 - Emile LEIPP : " Qu'est-ce qu'un son de piano ?, communication au congrès " Europiano " Berlin 1965.
 - 5 - Carl E. SEASHORE : Psychology of Music. Mc Graw-Hill Book Company, New-York and London 1938.
-

COLLOQUE SUR LE PIANO

Dr. DORGEUILLE

ESSAI D'ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE
DE LA TECHNIQUE DE CLAVIER

JUIN 1967

- N° 30 d

G. A. M.

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE
Faculté des Sciences - 8 rue Cuvier PARIS 5•

ESSAI D'ANALYSE ANATOMO-PHYSIOLOGIQUE

DE LA TECHNIQUE DE CLAVIER

par le Dr. DORGEUILLE

Ce travail a pour point de départ l'expérience exceptionnelle de Raymond THIBERGE (*). Inaugurée au début de ce siècle, dans l'intention première d'améliorer l'enseignement de la technique de piano, cette expérience l'a rapidement amené, à travers les constatations qu'il a pu faire en contrôlant constamment le corps des pianistes pendant le jeu, à contester les idées traditionnelles. Par un effort de recherche que l'on peut véritablement dire clinique, au sens que ce terme prend en médecine, il a réussi à déterminer ce qui rend la virtuosité possible comme ce qui s'y oppose. On peut exprimer l'essentiel de cette découverte en disant que le jeu du piano exige de produire une force au niveau du bassin et de réaliser les conditions de sa transmission aux doigts par la mise en position favorable des segments osseux intermédiaires.

En ce qui nous concerne, nous avons pu, à la faveur d'un travail de quinze ans sous sa direction, revivre pour notre propre compte cette expérience, tout en élaborant au fil des années une interprétation anatomo-physiologique qui nous semble pouvoir en fournir une véritable démonstration, dans la mesure où elle établit une corrélation précise entre ses constatations et ce que l'on sait actuellement de la physiologie musculaire et articulaire. Ce sera l'objet de cet exposé, dont l'idée dominante est de considérer l'acquisition de la technique de clavier comme une adaptation de l'ensemble du corps et non pas comme l'adaptation exclusive des doigts de la main, et du bras.

I - LES CONDITIONS DE TRANSMISSION

1. Nous partirons d'une réduction extrême des phénomènes à leur résidu mécanique. La touche du clavier offre une certaine résistance au doigt. Une force équivalente est donc nécessaire pour l'enfoncer, force qui doit être produite par l'exécutant et amenée en son point d'application, la zone de contact du doigt avec la touche. Nous considérons donc l'exécutant comme équivalent à un système de levier (fig.1). Le point d'appui de ce système ne peut être situé qu'au niveau du squelette du bassin, en ses points de contact avec le siège, seul élément fixe de l'ensemble. Le point d'application de la force est en aval, au niveau du doigt. L'expé-

...../

(*) La description clinique et la pédagogie de la technique est la matière de l'ouvrage de R. THIBERGE, récemment réédité : " Le Pianiste, sa technique manuelle, sa technique cérébrale ", 1 vol. 176 p. Paris 1967.

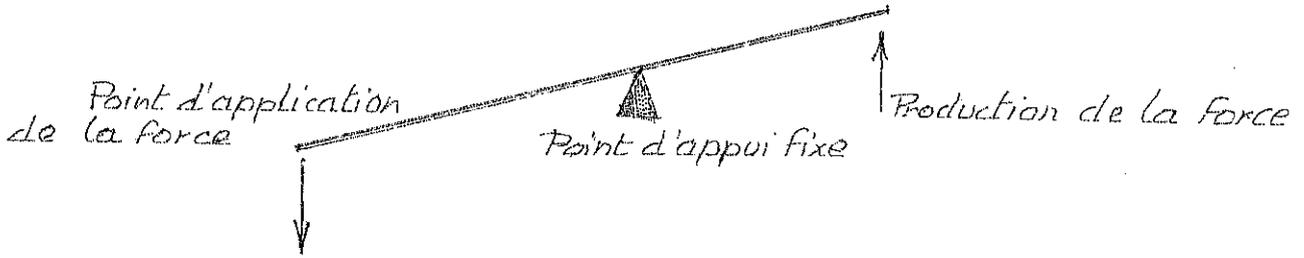


Schéma de levier du 1^{er} genre.

Figure 1

rience montre que le lieu de sa production se trouve en amont. Nous verrons plus loin les problèmes que pose sa détermination. Si nous avons affaire à un système simple, il n'y aurait aucun problème; or le corps du pianiste ne se présente pas comme un simple bras de levier mais comme un ensemble de segments osseux réunis entre eux par des articulations et formant des angles de grandeur variable dont certains, spécialement à l'épaulé, sont des angles aigus (Fig.2). C'est donc d'abord de la transmission de la force produite qu'il convient de rendre compte.

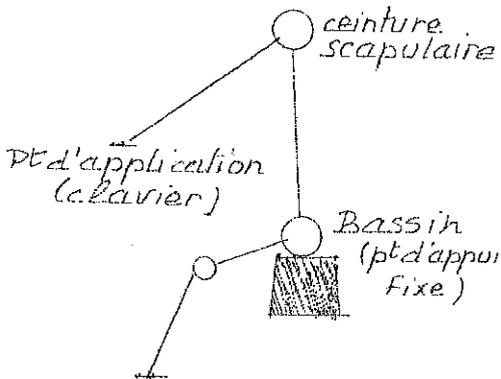


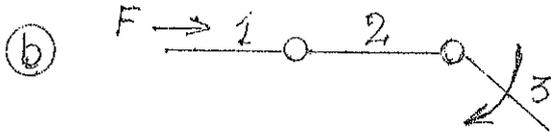
Schéma du système constitué par le pianiste.

Figure 2

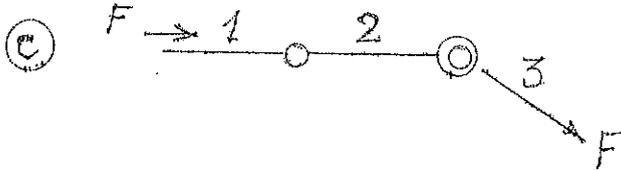
Considérons un ensemble constitué de tiges rigides articulées entre elles par des rotules (fig.3); à l'une de ses extrémités, on exerce une poussée dirigée selon l'axe de la première tige. Si les axes sont tous dans le prolongement les uns des autres, la pression exercée se retrouvera intégralement à l'autre extrémité et aucune flexion du système ne se produira. Par contre la moindre angulation entre deux de ses segments interrompra la transmission et s'augmentera sous la poussée sans qu'aucun effet n'apparaisse à l'autre extrémité. Si l'angulation n'est pas trop importante et que l'on bloque artificiellement les deux segments, la transmission sera de nouveau possible. Chez l'homme les segments ne sont pas rectilignes; mais leur rigidité, leurs formes compliquées, souvent courbes, leur architecture interne (c'est-à-dire la disposition des travées osseuses) et la forme des surfaces articulaires rendent possible la



(a) Transmission intégrale de la force F lorsque les axes des segments concordent.



(b) Fermeture de l'angle sous l'effet de F . Pas de transmission.



(c) Transmission de F si les segments 2 et 3 sont solidaires ou si leur articulation est bloquée.

Figure 3

transmission dans des conditions apparemment paradoxales. Ces dispositions, qui nous rapprochent considérablement du schéma précédent, ne sont pourtant pas à elles seules suffisantes. L'expérience montre la nécessité d'un ajustage complémentaire. C'est la découverte et la mise au point de cet ajustage qui constitue l'acquisition de la technique de clavier. Cette remarque explique pourquoi, dans ce qui suit, c'est l'axe des extrémités articulaires que nous prendrons en considération et non pas l'axe de l'os dans sa totalité.

Il existe dans notre corps (fig.2) entre le bassin et la main, deux segments principaux : le premier, vertical, va du bassin à l'épaule, le second, oblique en avant et en bas, va de l'épaule au doigt. Comment peut-on concevoir, dans ces conditions mécaniques particulières, la transmission d'une force au niveau de l'épaule ? Pour expliquer cela nous devons faire appel à l'anatomie. Nous envisagerons successivement les problèmes posés par la transmission au niveau de l'épaule puis de toutes les articulations du membre supérieur. Nous laissons volontairement de côté les intermédiaires osseux qui réunissent l'omoplate à la colonne vertébrale (c'est-à-dire la clavicule, le sternum et la cage thoracique); nous considérons qu'ils forment, du point de vue mécanique, un tout avec l'ensemble du tronc. Sans doute des mouvements imperceptibles ou des tensions peuvent s'y produire. Il y sera fait allusion ultérieurement.

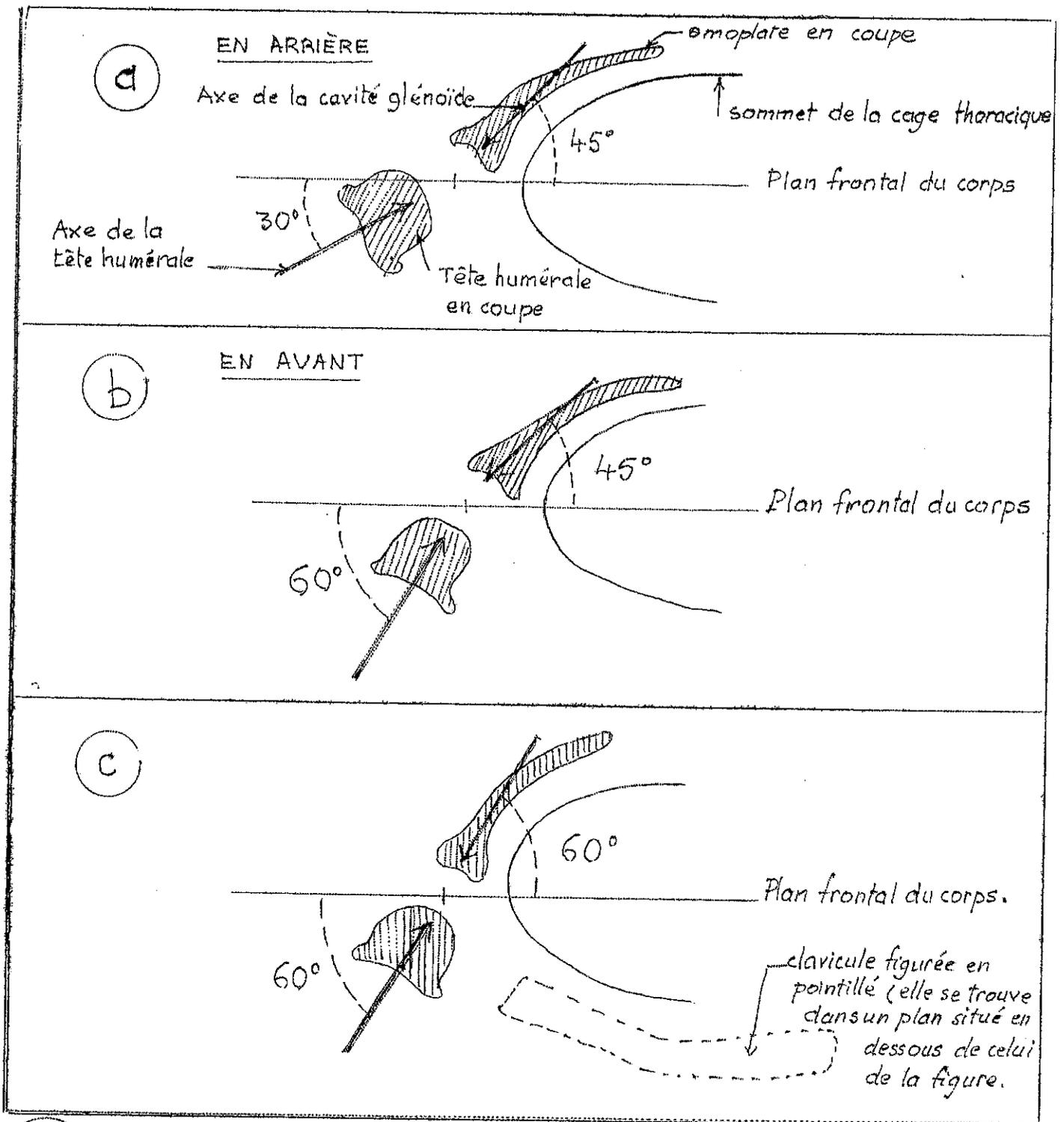


fig-5 - Coupe horizontale passant par la tête humérale du côté droit, vu par en dessous.

- (a) • Position de description anatomique, le bras le long du corps, la paume de la main en avant; les deux axes forment un angle ouvert en arrière.
- (b) • La main a fait une rotation en dedans de 180° pour se mettre au clavier. La tête humérale a tourné un peu en dedans par l'entraînement de l'humérus au coude; les 2 axes forment un angle ouvert en avant.
- (c) • L'omoplate s'est déplacée en avant et en dehors pour que les 2 axes coïncident.

2. L'épaule (fig.4)

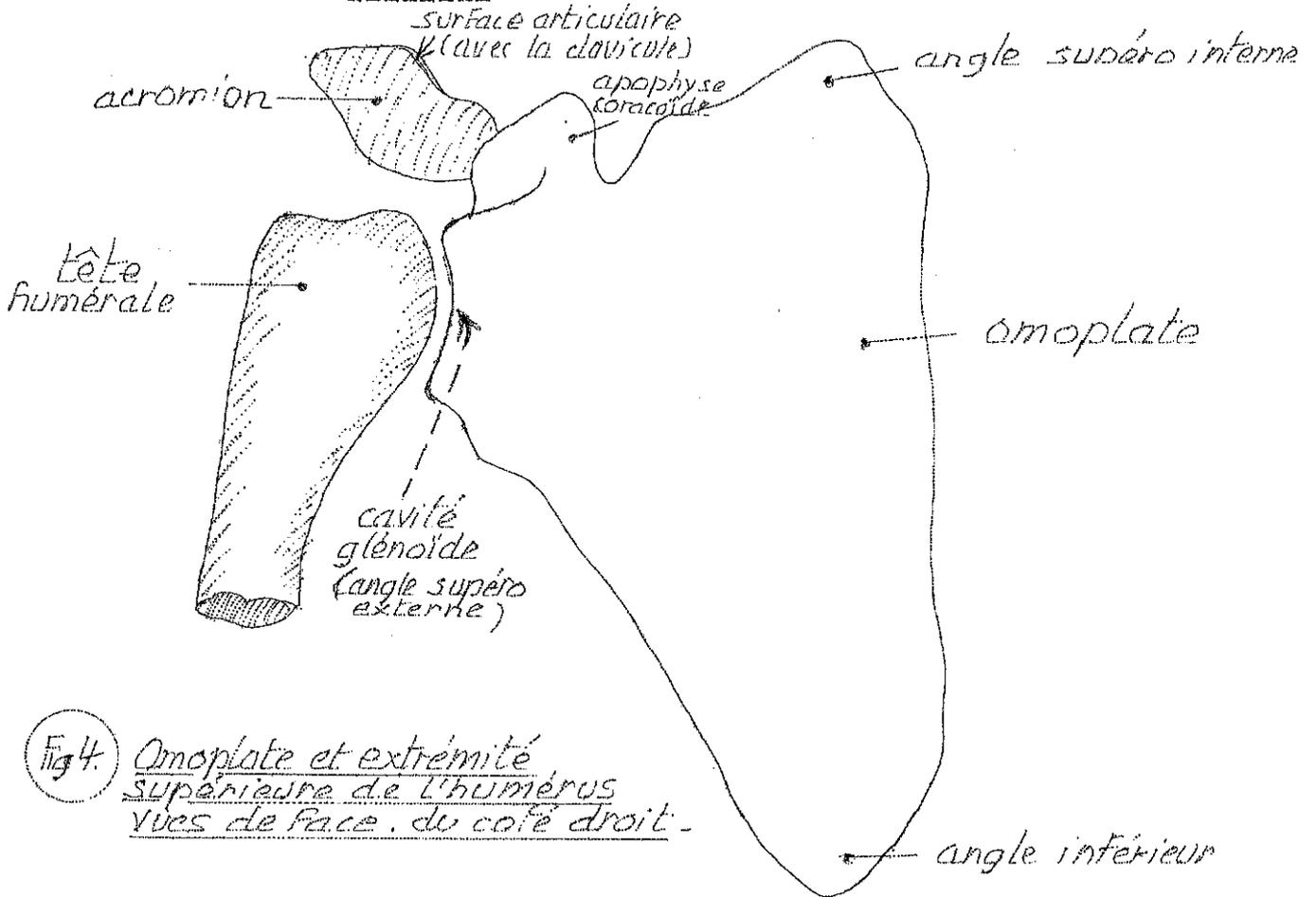
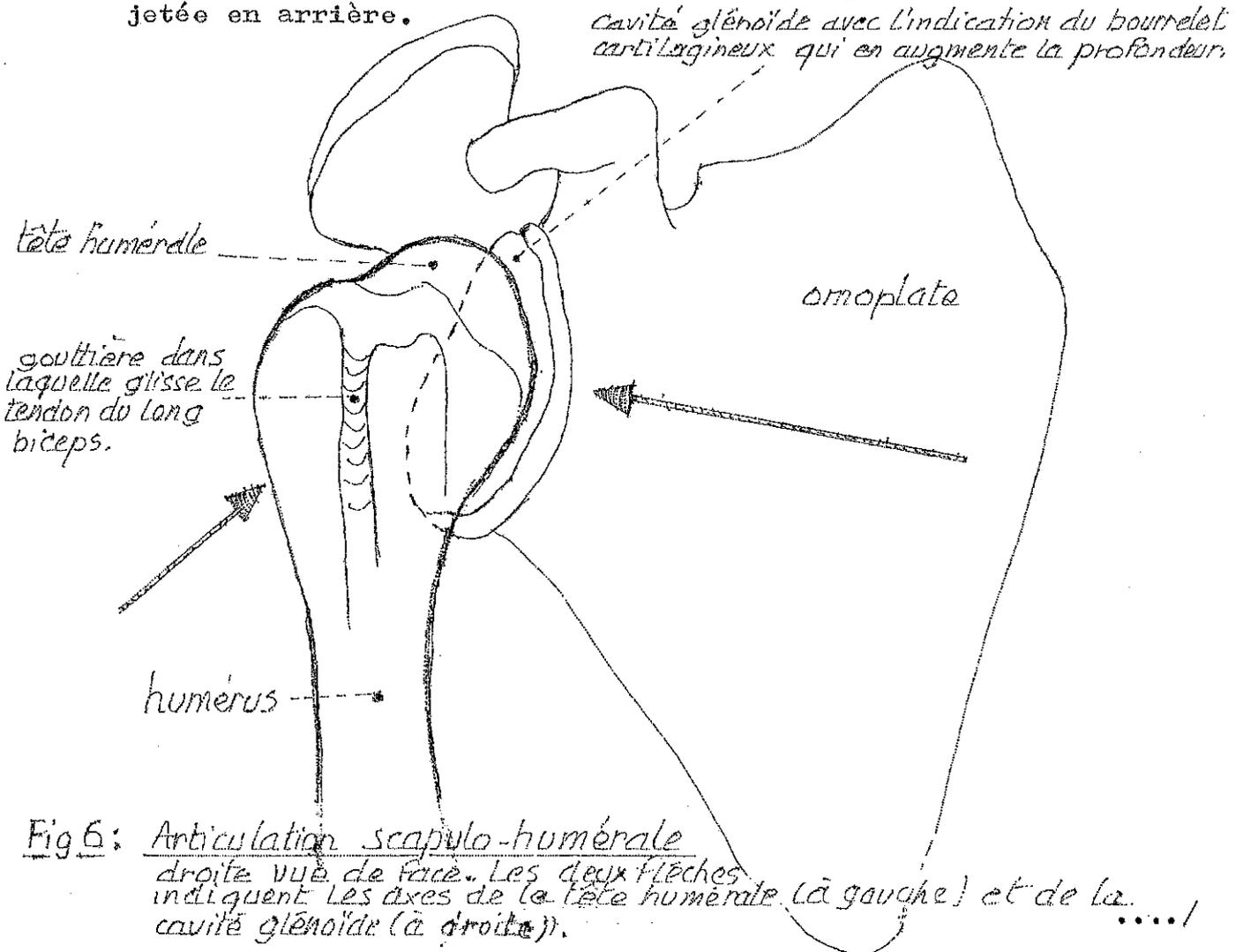


Fig.4. Omoplate et extrémité supérieure de l'humérus
Vues de face, du côté droit.

Figure 4

ou plus exactement l'articulation scapulo-humérale (l'épaule est constituée en fait de quatre articulations), est une énarthrose, c'est-à-dire qu'elle met en contact des surfaces articulaires ayant la forme de deux segments de sphère, l'un concave, la cavité glénoïde de l'omoplate, l'autre convexe, la tête humérale, ce qui permet d'effectuer des mouvements dans les trois plans de l'espace. Mais de plus, ici, les deux surfaces sont très inégales : à la tête humérale volumineuse s'oppose la cavité glénoïde dont la surface représente à peine le tiers de celle de la tête. Il n'y a donc pas d'emboîtement comme à la hanche, ce qui assure une mobilité considérable, encore augmentée par la laxité de la capsule articulaire. Au repos, lorsque le bras pend le long du corps, la paume de la main regardant en avant (c'est la position de description anatomique), la tête humérale regarde en arrière et en dedans, et son grand axe fait un angle de 30° avec le plan frontal du corps (fig.5a). Mais, lorsque la main est au clavier, la paume regarde en bas; la main a donc fait une rotation de 180° en dedans; cette rotation entraîne un mouvement semblable, mais d'amplitude beaucoup plus faible, de la tête humérale, à l'épaule, qui accentue son orientation en arrière et augmente donc de façon appréciable l'angle de son grand axe avec le plan frontal; celui-ci dépasse alors facilement 60° (fig.5b). Le plan de l'omoplate et l'axe de la cavité glénoïde, dans les mêmes conditions, sont obliques en

avant et en dehors, et font avec le plan frontal du corps un angle qui varie de 30° à 60°. L'axe de la tête humérale et celui de la cavité glénoïde de l'omoplate ne coïncident donc pas exactement. Si on exerçait une force selon l'axe de la cavité glénoïde vers l'humérus on obtiendrait, non pas une transmission de cette force, mais une fermeture de l'angle formé par l'omoplate et l'humérus. Pour qu'il y ait transmission totale, il faut que les muscles qui entourent l'articulation se contractent pour immobiliser les deux segments osseux, mais la transmission se ferait alors aux dépens de la mobilité, ce qui serait incompatible avec le jeu. Par contre, si l'omoplate se déplace de telle façon que l'axe perpendiculaire au plan de la cavité glénoïde coïncide avec celui de la tête humérale, la force se transmet intégralement sans que pour autant l'articulation soit bloquée (fig.5c); or ce déplacement est parfaitement possible. Le mouvement nécessaire est un glissement en avant et en dehors de l'omoplate sur le grill costal, associé à un mouvement de bascule qui rapproche son angle inférieur de la colonne vertébrale et incline légèrement vers le bas la cavité glénoïde. Ce mouvement de bascule corrige l'angulation légère existant entre les axes dans le plan vertical (fig.6), ce qui est nécessaire puisque l'articulation peut se mobiliser dans les trois plans de l'espace; normalement, en effet, l'axe de la cavité glénoïde et celui de la tête humérale sont dirigés légèrement vers le haut. Cette modification des rapports scapulo-huméraux est prise dans un déplacement simultané de l'ensemble de la ceinture scapulaire qui doit être rejetée en arrière.



A cela on peut faire deux objections. La première consiste à dire que le maintien de l'omoplate dans sa nouvelle position, qui n'est pas habituelle, va exiger la contraction de certains muscles et donc entraîner une gêne à la mobilisation du bras. En fait, les muscles qui interviennent ici (fig.7) :

Fig 7 Le squelette de l'épaule droite vu d'en haut en dehors et en arrière.

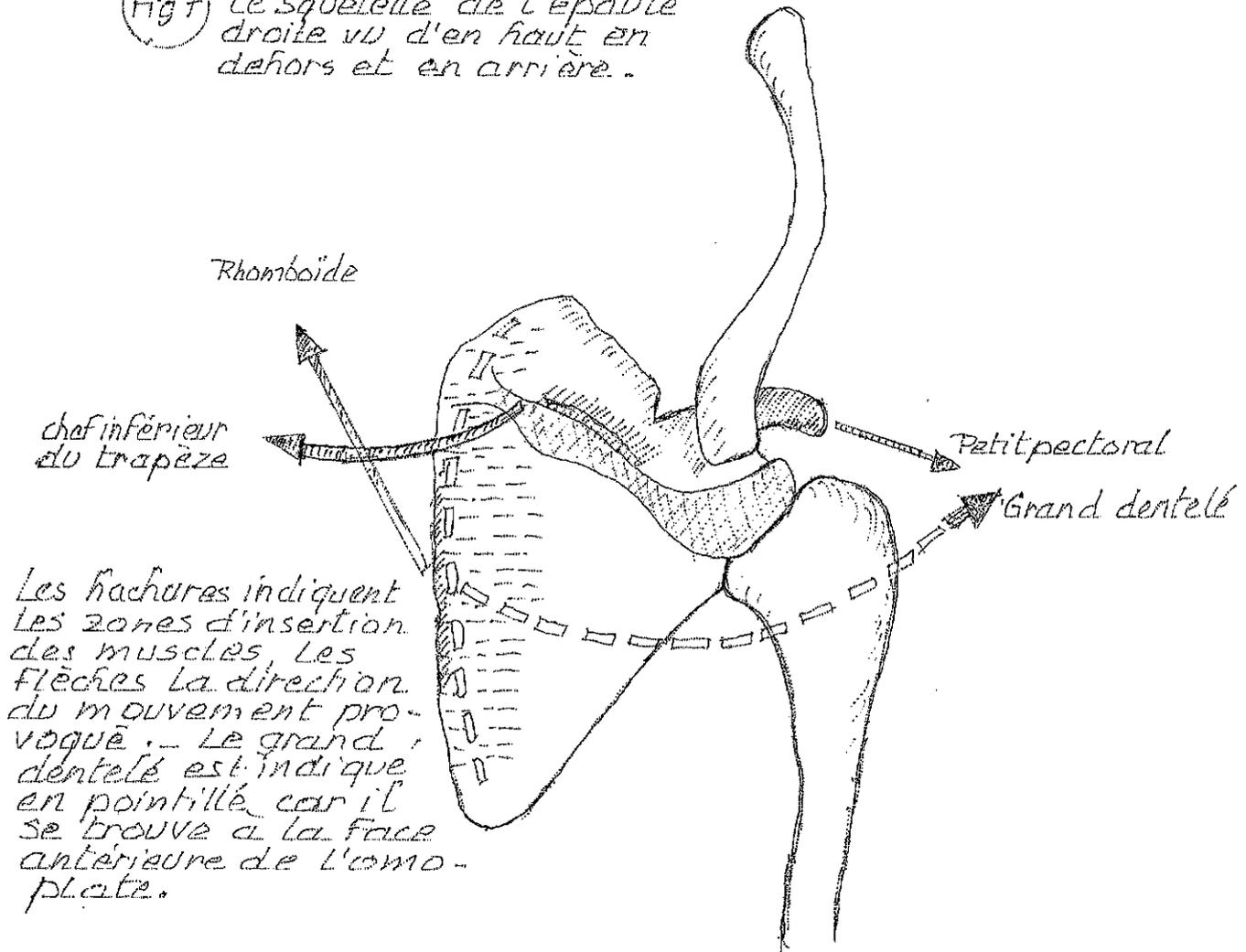


Figure 7

le grand dentelé qui attire le bord spinal de l'omoplate en dehors et l'empêche de reculer dans l'appui du bras en avant, le petit pectoral qui provoque un mouvement de sonnette abaissant l'angle externe et relevant l'angle inférieur, le chef inférieur du trapèze et le rhomboïde enfin qui l'attirent en dedans, ne s'insèrent pas de part et d'autre de l'articulation mais, d'un côté sur l'omoplate et, de l'autre, sur le thorax pour le grand dentelé et le petit pectoral, sur la colonne vertébrale pour le trapèze et le rhomboïde. Leur contraction ne risque donc pas de gêner les mouvements de l'épaule.

La deuxième objection consiste à dire que les déplacements du bras, donc de l'humérus, pendant le jeu vont altérer la concor-

...../

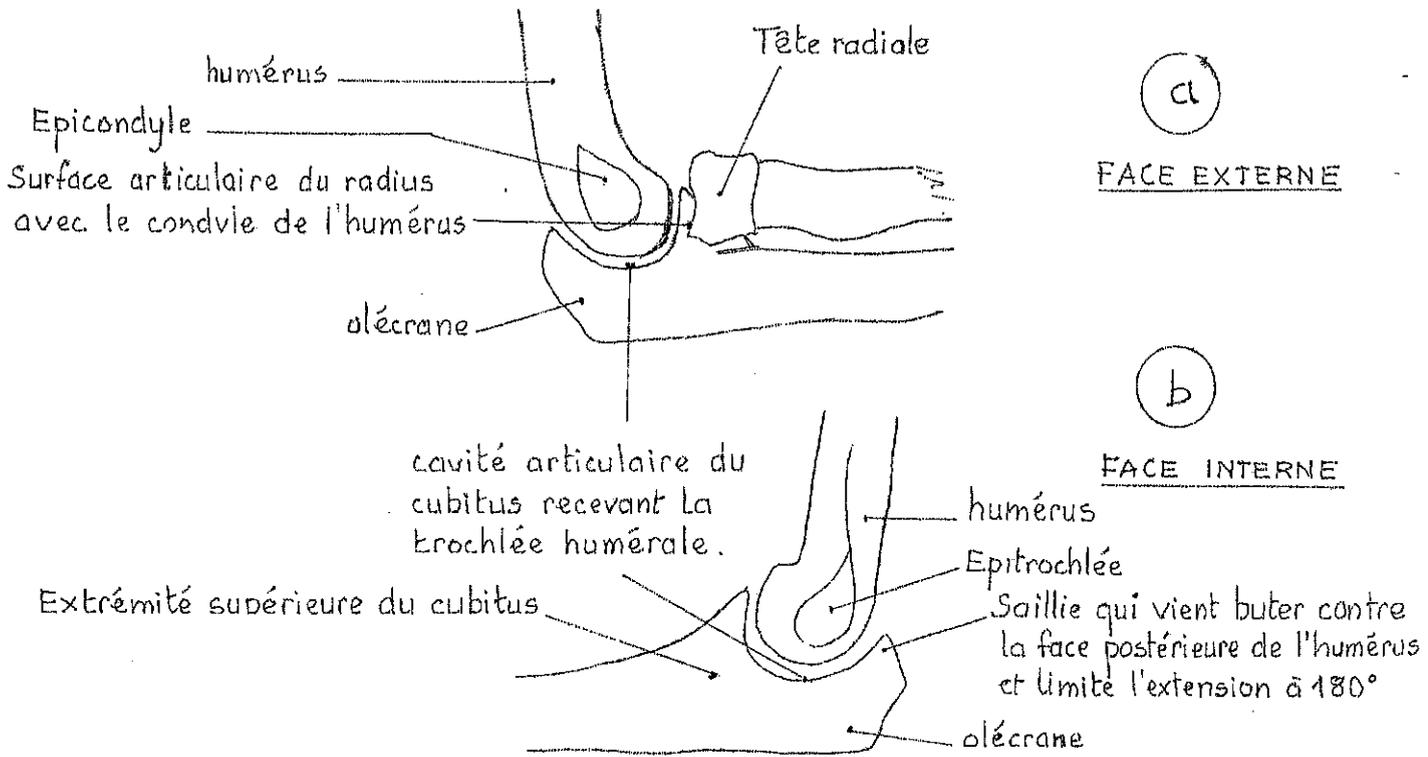
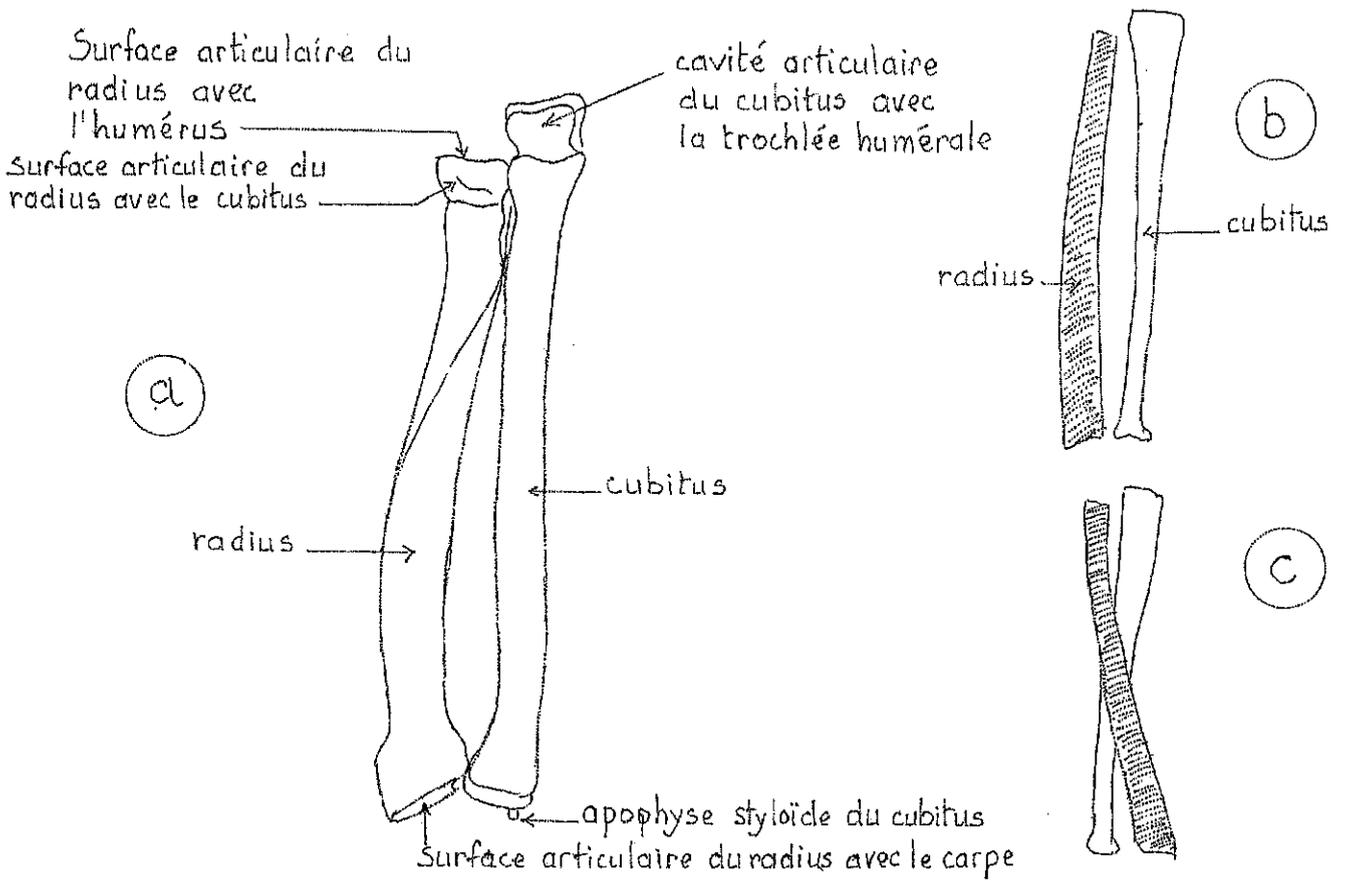


fig 9 l'articulation du coude droit en flexion à 90°



- fig.10**
- a) Le radius et le cubitus droits vus de face, la paume de la main en avant.
 - b) Même position schématisée, le radius en hachures.
 - c) Le radius a tourné autour du cubitus en même temps que la main tourne de 180° pour se mettre au clavier.

dance des axes. En réalité, tant que ces déplacements gardent une amplitude minime, de quelques degrés, la transmission reste possible dans les mêmes conditions. Dès que le jeu impose des écarts plus importants, c'est à l'ensemble du corps du pianiste de s'y adapter, et plus seulement aux mouvements de l'épaule de les permettre. Par contre le plan du déplacement reste strictement défini. Seuls les déplacements horizontaux sont compatibles avec une bonne transmission; les mouvements de haut en bas et d'arrière en avant doivent être proscrits. Mais cette condition n'est pas uniquement liée au fonctionnement de l'épaule, elle est imposée principalement par la conformation du coude. Nous allons l'envisager maintenant.

3. L'articulation du coude est formée par l'extrémité inférieure de l'humérus d'une part, les extrémités supérieures du cubitus et du radius d'autre part (fig.8).

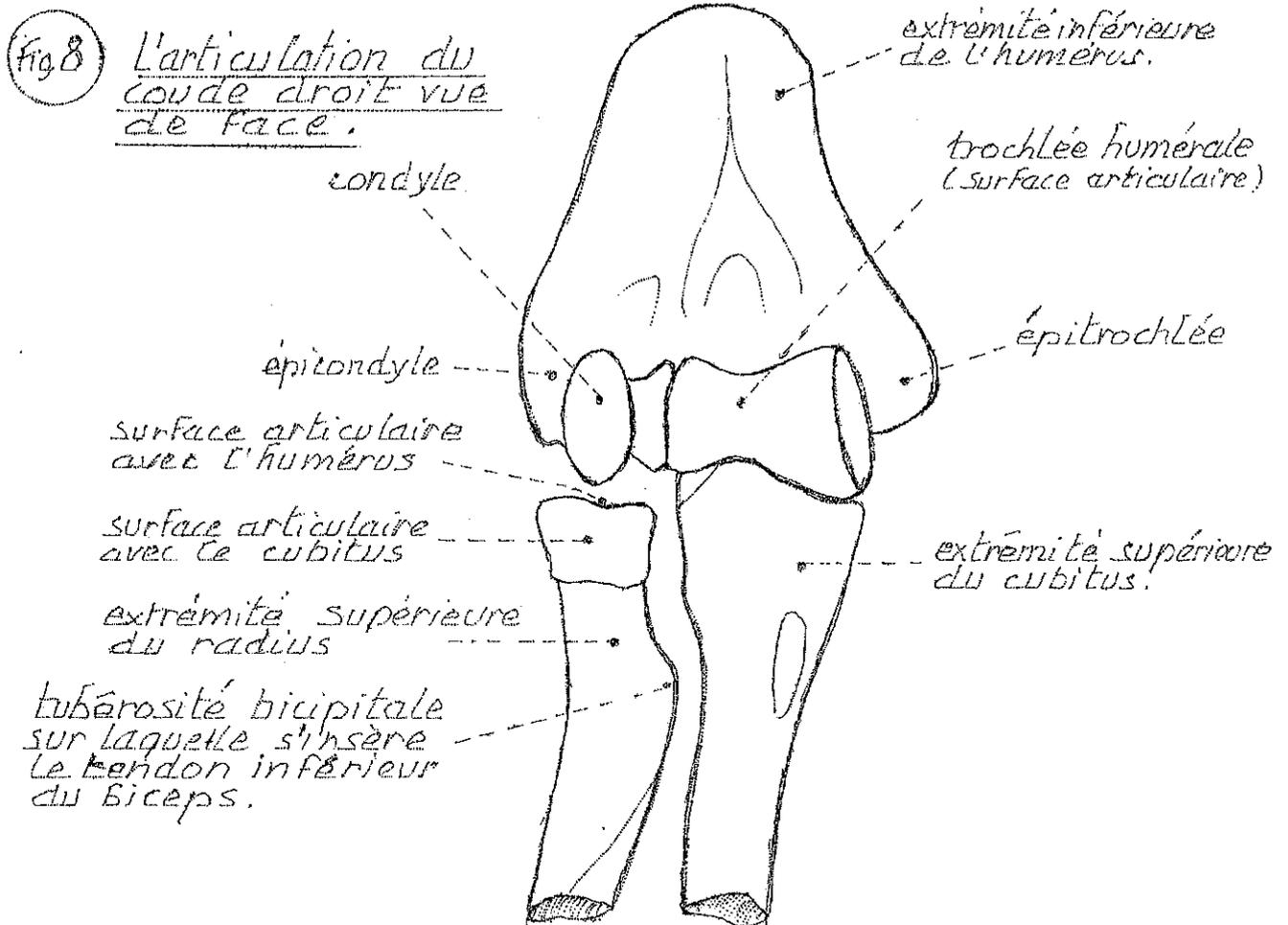


Figure 8

Cette articulation ne peut effectuer que des mouvements de flexion-extension; l'extension elle-même est limitée à environ 180° (fig.9). Dans la position de description anatomique, les deux os de l'avant-bras sont parallèles (fig.10), le radius en dehors, le cubitus en

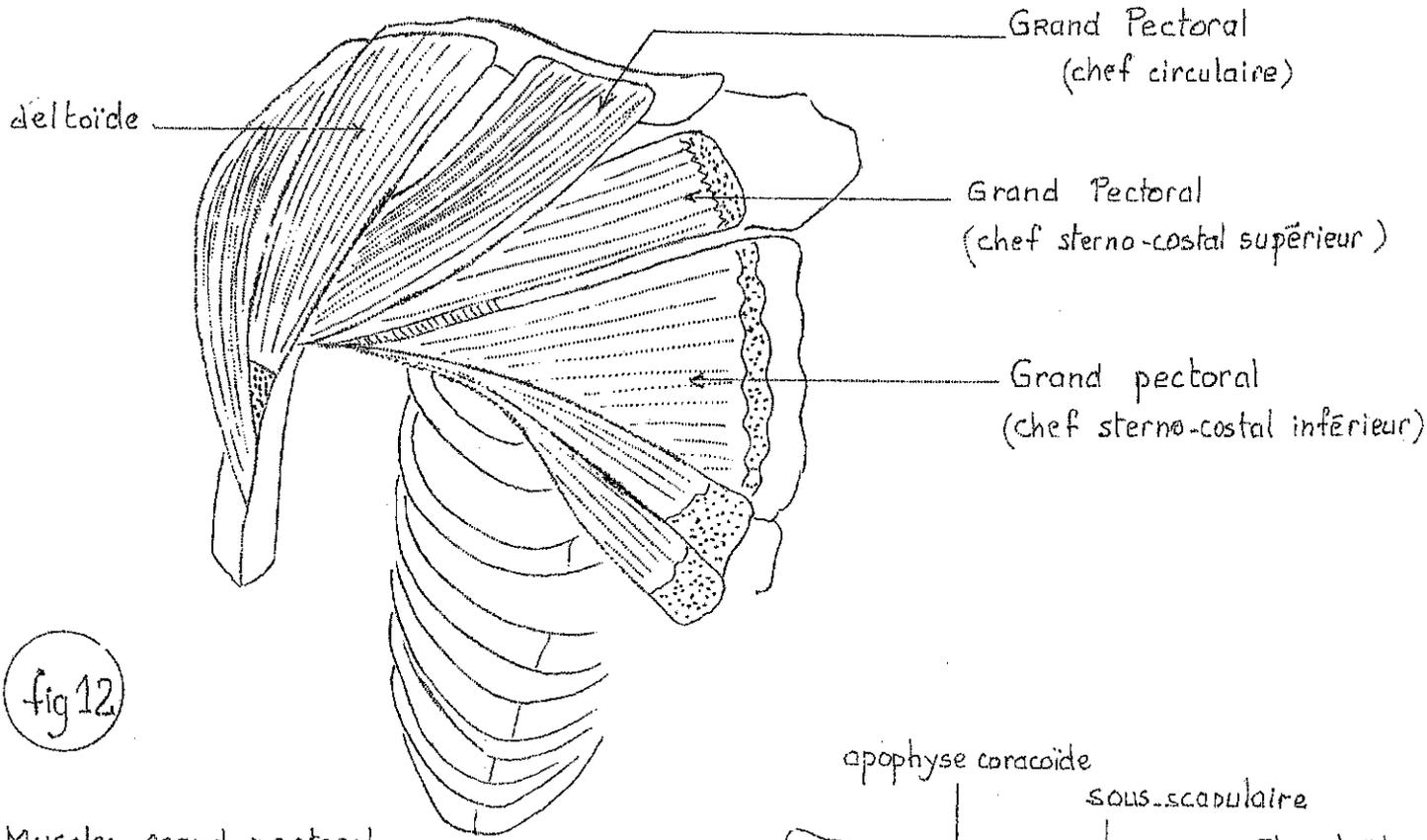


fig.12

Muscles grand pectoral
(avec ses trois chefs) et
deltoidé

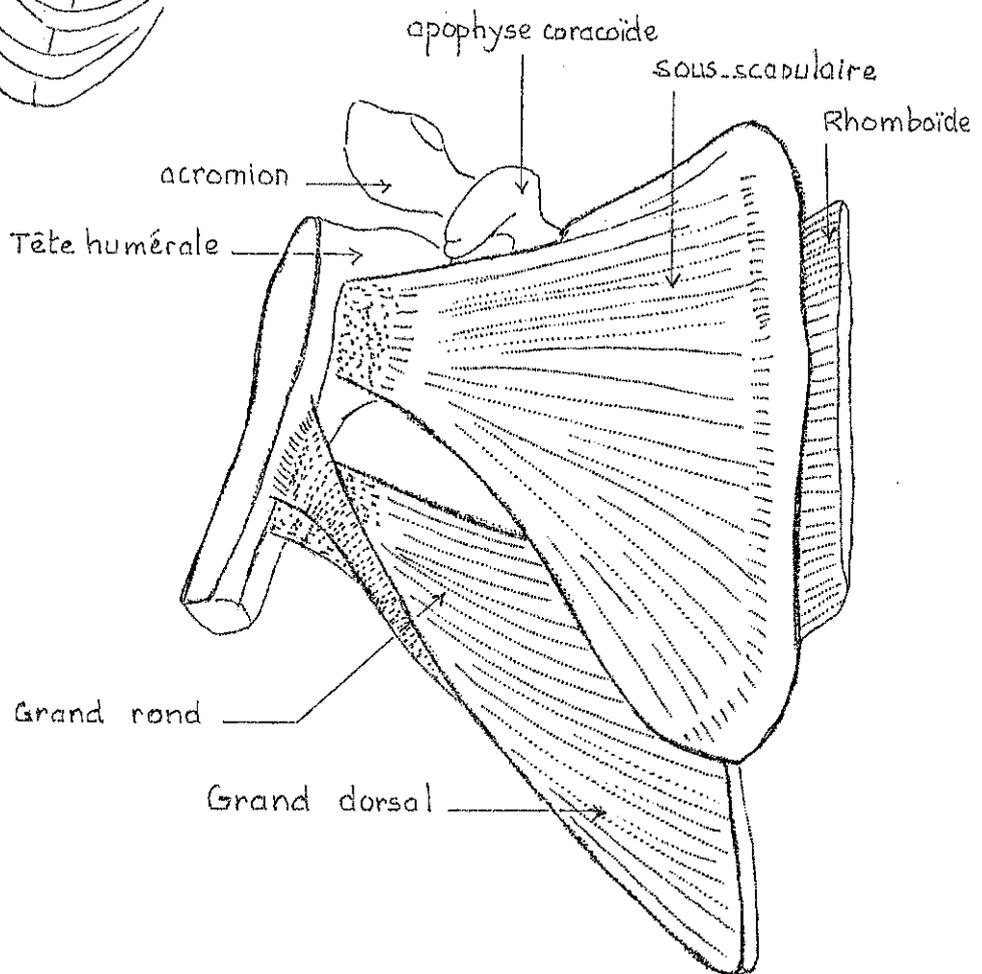


fig.11

Muscles sous-scapulaires et grand-rond - (ce dernier s'insère à la face antéro-interne de l'humérus et à la face postérieure de l'omoplate) - On voit le tendon et le début du corps musculaire du grand dorsal.

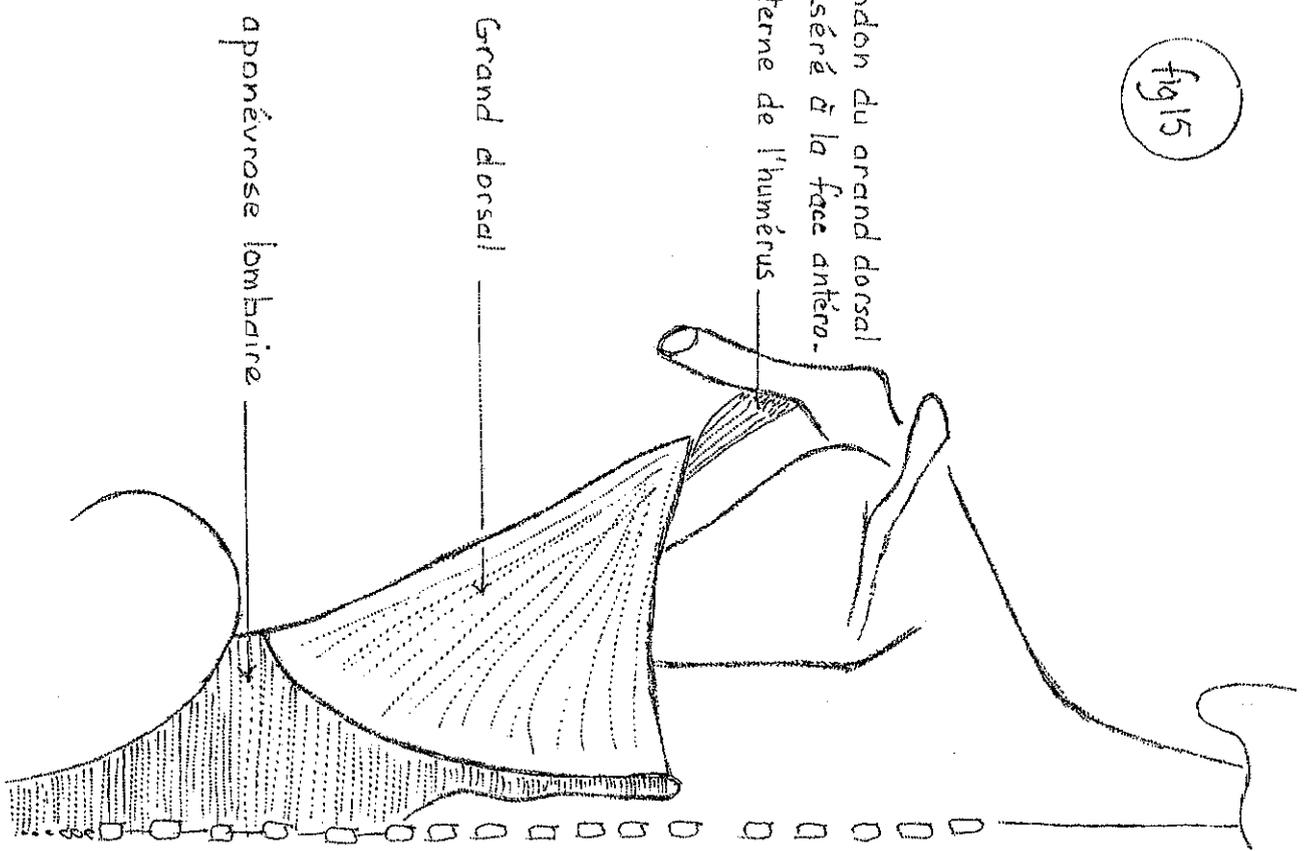
dedans. Mais au clavier, alors que le corps du sujet, ainsi que ses bras, sont restés dans la même position, la main a dû faire une rotation de 180° en dedans pour que la paume soit tournée vers le bas. Les deux os de l'avant-bras sont alors croisés l'un sur l'autre, le radius tournant autour du cubitus à son extrémité inférieure et lui restant à peu près parallèle à son extrémité supérieure. Cette rotation de l'avant-bras en dedans (pronation) n'entraîne qu'une rotation légère de l'humérus au coude; ce mouvement d'accompagnement de faible amplitude est insuffisant pour le jeu. Si l'humérus, en effet, garde sa position initiale, les muscles supinateurs, qui font tourner l'avant-bras en dehors et dont les insertions supérieures se trouvent presque toute au-dessus du coude, vont être étirés par l'éloignement de leurs insertions inférieures qui se font sur le radius; ces muscles, du fait de leur élasticité, exercent alors une traction en sens inverse qui tend à ramener la main en supination, c'est-à-dire à la faire tourner vers le 5^e doigt, le pouce étant alors attiré en haut et en arrière et décollé du clavier. De plus, le jeu exige des déplacements horizontaux; si le coude reste dans la position initiale, indiquée par la saillie en arrière de l'olécrane, les mouvements de latéralité, impossibles à son niveau, devront se faire dans l'épaule et entraîneront obligatoirement alors une rotation externe du bras; celle-ci est incompatible avec la position nécessaire à l'épaule pour que la pression se transmette sans intervention musculaire inutile. Par contre, si le bras effectue une rotation interne d'environ 90° , l'effort nécessaire pour mettre la main en pronation (paume en arrière) se trouve considérablement diminué, la traction inverse exercée par les muscles supinateurs sur l'avant-bras pour le faire revenir en supination (paume en avant), sera également diminuée et les seuls mouvements possibles à l'articulation du coude pourront être utilisés dans les déplacements horizontaux de la main et de l'avant-bras. Il est évident que la flexion du coude doit rester modérée; sinon le rapport entre les segments osseux deviendrait tel qu'une pression s'exerçant sur le coude selon l'axe du bras en accentuerait la fermeture au lieu de se transmettre par son intermédiaire à la main. Pour que cette transmission soit possible dans de telles conditions mécaniques, il faudrait une contraction très importante des muscles péri-articulaires empêchant la fermeture de l'articulation et en limitant par là même la mobilité. L'amplitude des mouvements compatibles avec le maintien des conditions de transmission est cependant plus grande qu'à l'épaule du fait de la profondeur de la cavité articulaire du cubitus qui représente plus d'une demi sphère. Notons que la rotation interne du bras due à de petits muscles de l'épaule, les rotateurs, va dans le sens des exigences d'une bonne transmission et d'une mobilité maximum à l'épaule. Elle favorise en effet la détente d'un certain nombre de muscles, sous-scapulaire, grand-rond (fig.11), grand pectoral (fig.12) et grand dorsal (fig.13), en rapprochant leurs insertions humérales des autres, ce qui est tout particulièrement important pour les deux derniers qui vont de l'extrémité supérieure de l'humérus à la cage thoracique et au bassin respectivement.

Il reste pourtant encore une difficulté. Même après rotation interne du bras, il persiste un décalage entre le plan de la

.... /

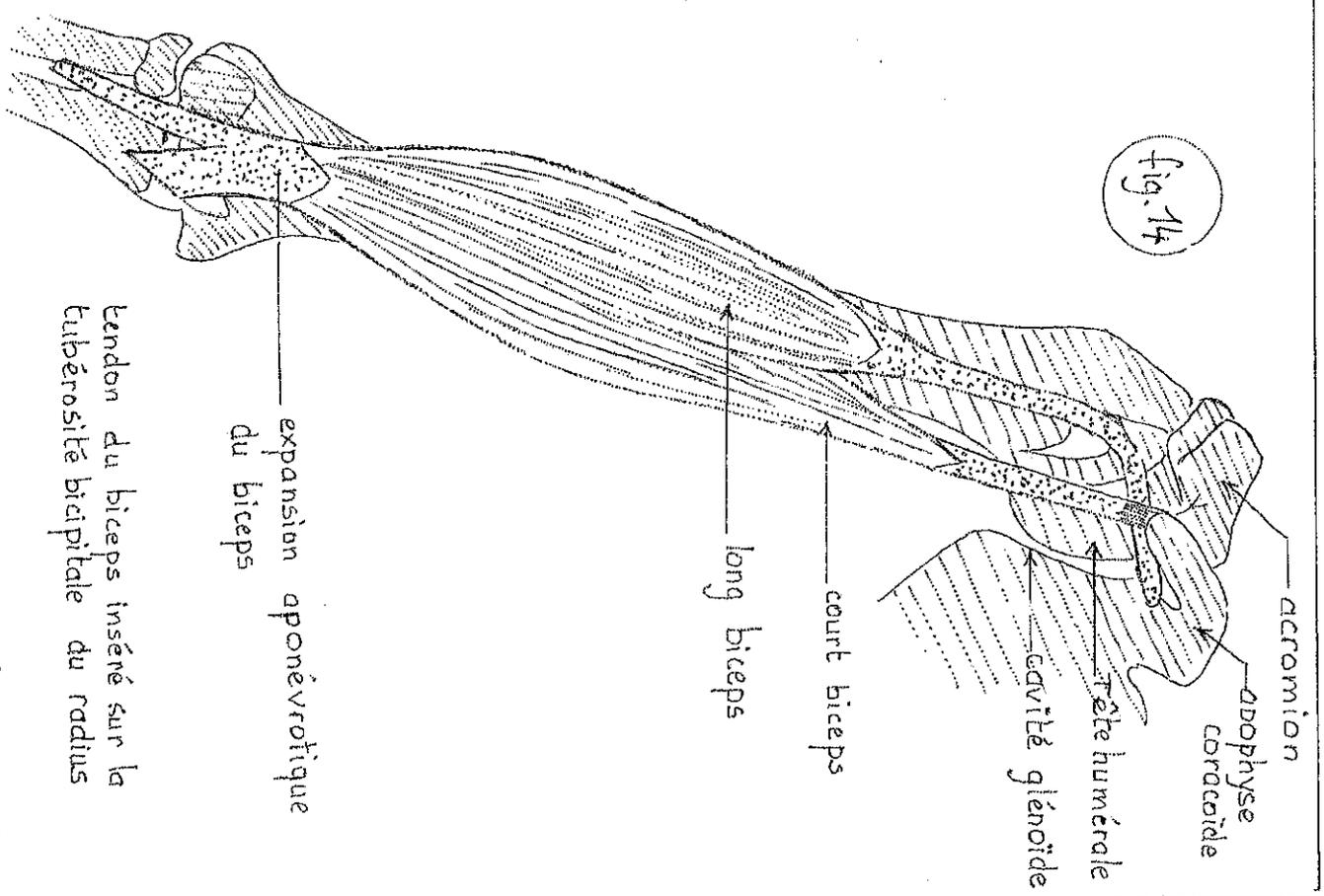
fig 15

Tendon du grand dorsal
inséré à la face antéro-
interne de l'humérus.



Le muscle grand dorsal dans son ensemble avec son insertion intérieure sur la colonne dorso-lombo-sacrée par l'intermédiaire de l'aponévrose lombaire.

fig 14



Muscle biceps avec ses 2 faisceaux réunis en bas en un seul muscle.

tendon du biceps inséré sur la tubérosité biapitale du radius

main qui est horizontal et le plan du coude défini par l'axe de la trochlée humérale qui, après rotation interne de 90°, est vertical. On peut concevoir que le maintien de cette position est simplement dû au poids de la main; cela est en effet suffisant dans la mesure où, comme nous l'avons déjà dit, aucune traction en sens opposé n'intervient, c'est-à-dire dans la mesure où les muscles supinateurs, court supinateur et surtout biceps brachial (fig. 14), qui ont pour effet de ramener la paume de la main en avant, sont parfaitement détendus. Le contrôle de ce dernier est particulièrement facile, son tendon faisant une saillie au pli du coude dès qu'il se contracte. Cette détente est également importante du fait que l'extrémité inférieure du biceps s'insère sur la face interne du radius et que seule l'extrémité inférieure de celui-ci s'articule avec la main (en l'occurrence le carpe) (fig. 15). La bonne position de son extrémité inférieure qu'il doit rester parfaitement horizontale, est donc essentielle à la transmission d'une force, qui puisse être également répartie sur les cinq doigts, de l'avant-bras à la main.

Remarquons d'ailleurs que toutes ces conditions se complètent les unes les autres. La détente du biceps est favorisée à la fois par la rotation interne du bras et par le mouvement complexe de l'omoplate; le biceps (fig. 14) s'insère en effet en haut sur l'apophyse coracoïde de cet os et sur le bord supérieur de la cavité glénoïde. La nouvelle position du coude d'autre part va permettre d'utiliser les mouvements de flexion-extension de l'articulation, qui vont se faire maintenant dans un plan à peu près horizontal au cours des déplacements de la main sur le clavier; comme toujours ces mouvements doivent rester dans des limites telles que les rapports nécessaires entre les segments osseux soient respectés.

4. Il nous reste à considérer un dernier point : l'axe selon lequel la pression se transmet du poignet à l'extrémité des doigts. Si la main est horizontale, les doigts au contraire, ont, grâce à leurs trois articulations, une courbure telle que la phalange distale (phalangette) est oblique par rapport à la touche. Nous dirons que ces divers segments sont assimilables à un segment rectiligne du fait de la forme des articulations; la surface articulaire proximale étant concave et débordant légèrement plus sur la face dorsale du doigt que sur sa face palmaire, l'autre étant convexe, une certaine flexion est possible sans que les conditions de transmission soient modifiées. La force amenée à l'extrémité du doigt n'est donc pas perpendiculaire à la touche. Elle doit être décomposée (fig. 16), selon le schéma mécanique classique, en deux forces dont l'une, la plus importante, est dirigée verticalement et sert à l'enfoncement de la touche et dont l'autre, horizontale dirigée d'arrière en avant, très faible, détermine la flexion des doigts.

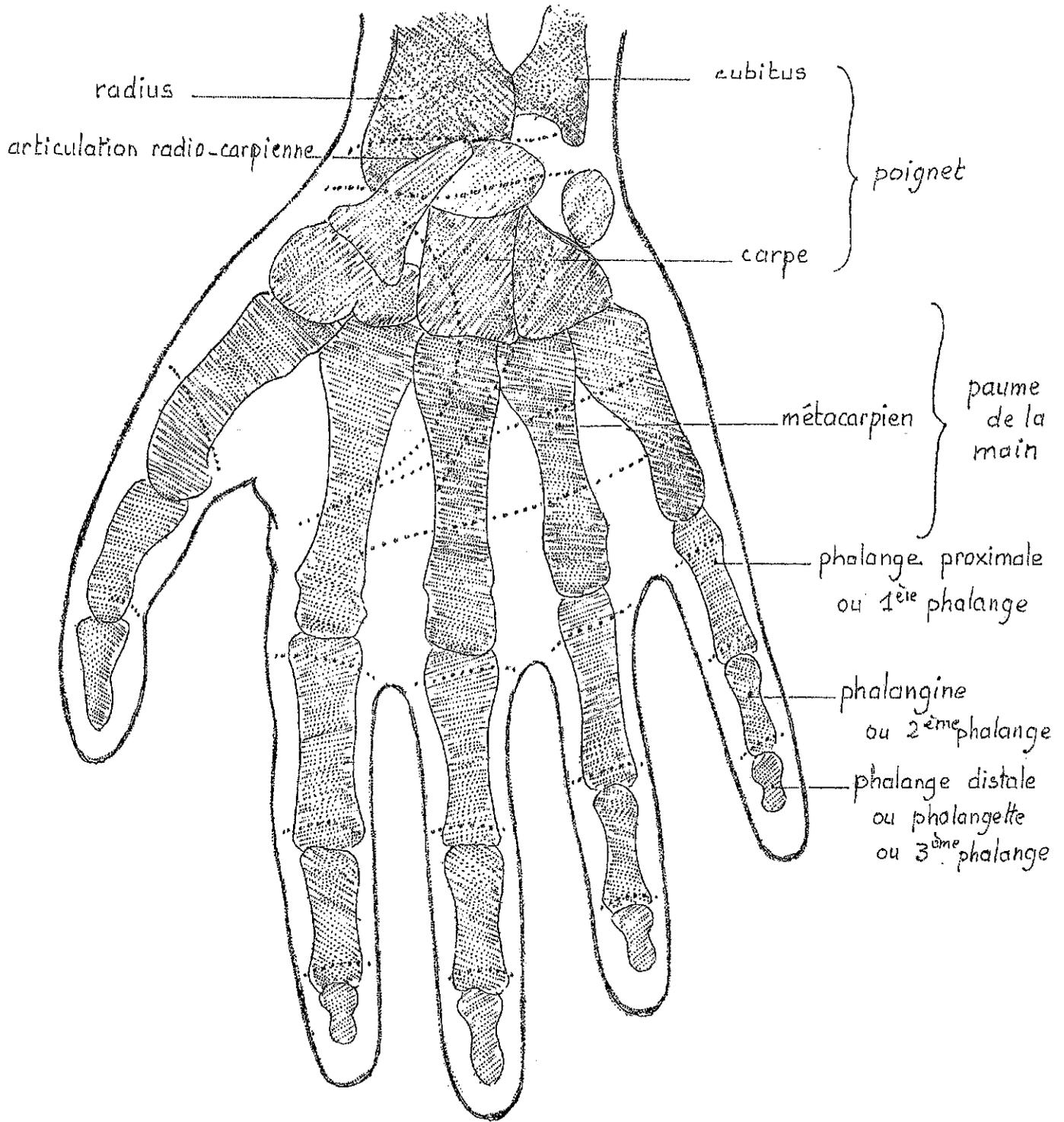


fig. 15

Le squelette du poignet et de la main avec l'indication des contours de celle-ci et en pointillé, les repères cutanés (lignes de la main)
On remarquera que le carpe s'articule exclusivement avec le radius.

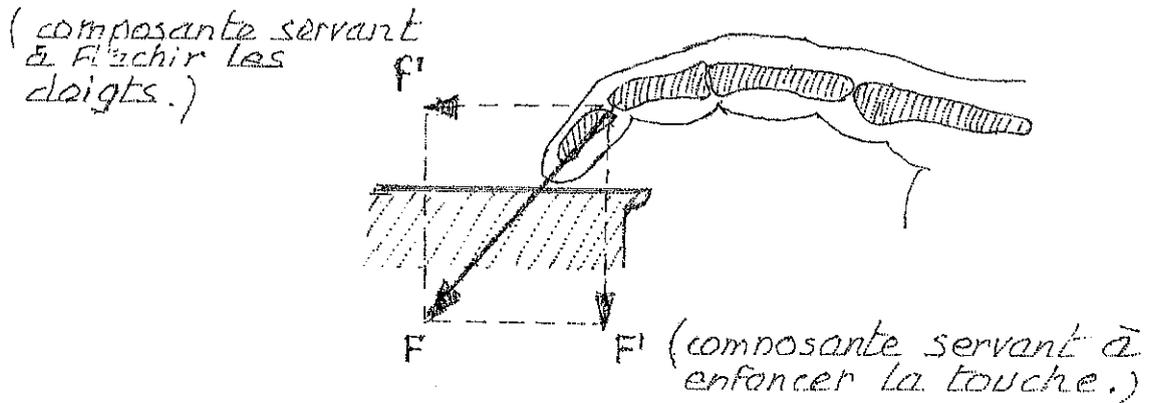


Schéma de la décomposition de la force amenée à l'extrémité du doigt.

Figure 16

II - LES CONDITIONS DE PRODUCTION DE LA FORCE D'ENFONCEMENT

Nous avons montré comment l'on pouvait concevoir en fonction des données de l'expérience confrontées à celles de l'anatomie la transmission d'une force produite au niveau du bassin jusqu'au doigt de l'exécutant. C'est de sa production que nous allons parler maintenant.

1. Il n'y a guère de problèmes pour ce qui est de l'élément producteur ; ce sont les muscles lorsqu'ils se contractent. Les difficultés concernent le lieu et les conditions de cette contraction. Nous allons partir à nouveau d'un schéma simplifié. Considérons deux segments osseux réunis par une articulation qui permet des mouvements de flexion-extension, comme celle du coude par exemple, un muscle s'insérant sur chacun des segments et passant en pont au dessus de leur articulation (fig. 17a). La contraction du muscle, donc le développement d'une force, n'est possible que si l'une de ses extrémités est fixée, ce qui implique l'immobilisation d'un segment et par là-même le blocage de l'articulation voisine. Si l'on se reporte à l'une quelconque des articulations du bras, de l'avant-bras ou de la main, on se rend compte immédiatement que la contraction de n'importe quel muscle suppose la fixation d'un segment, ce qui entraîne une gêne à la mobilisation incompatible avec le jeu. Ce raisonnement n'est valable que pour des

...../

forces assez importantes par rapport à la puissance des muscles ce qui est le cas ici. Il y a cependant un endroit dans l'organisme où une contraction, même intense, est possible sans entraîner aucune limitation de la mobilité des articulations voisines, c'est le bassin. Celui-ci est solidaire du siège, auquel il est fixé par le poids même du corps. Tous les muscles dont une des insertions se trouve sur le bassin vont donc pouvoir se contracter sans bloquer les articulations voisines puisque cette partie du squelette est déjà fixé. La contraction de ces muscles peut avoir alors deux sortes d'effets : ou bien elle s'épuise dans la réalisation d'un déplacement (de la colonne vertébrale ou de la cuisse par rapport au bassin), mais ceci n'intéresse pas notre problème, ou bien le déplacement est minime ou nul et la plus grande partie de la force produite s'accumule sur place ou se propage. Si cette force reste sur place, elle provoque une sensation de tension dont l'intensité est variable avec l'intensité de la contraction et le temps pendant lequel elle se prolonge. La tension peut, au minimum, être à la limite du perceptible ou à l'inverse, devenir extrêmement douloureuse. Si les conditions que nous avons précédemment décrites sont réalisées, la force se propage jusqu'à son point d'application et son intensité peut être alors automatiquement déterminée par les nécessités du jeu.

2. Bien que le repérage clinique en soit particulièrement difficile, la détermination analytique des muscles susceptibles de répondre aux conditions que nous avons formulées nous semble possible. Nous n'en donnerons que la conclusion pour éviter de surcharger cet exposé de nouvelles données anatomiques complexes : ce sont les muscles fessiers, qui s'insèrent en haut sur la face externe de l'os iliaque et en bas sur le grand trochanter (apophyse située à l'extrémité supérieure de la diaphyse fémorale). Signalons à ce sujet quelques faits faciles à constater sans chercher à en donner l'explication : la détente complète et obligée des muscles ischio-jambiers qui vont du bassin à la jambe, s'insérant là au niveau de la face postérieure de l'extrémité supérieure du tibia et dont on sent facilement les tendons derrière le genou; la bascule en avant du bassin, facile à repérer par la saillie osseuse de l'épine iliaque antéro-supérieure communément appelée l'os de la hanche, sans pour autant qu'il soit bloqué dans une position extrême. Cette position du bassin ne doit pas être gênée par des tensions excessives des muscles antérieurs ou postérieurs de la paroi abdominale; elle s'accompagne d'une légère accentuation de la lordose lombaire normale; sa disparition ou son inversion, facile à constater, est un bon repère pour l'instrumentiste ou le professeur. Enfin dans le jeu de l'orgue intervient en plus une légère contraction des quadriceps destinée à compenser le poids des membres inférieurs et à maintenir les pieds au dessus du pédalier. La force nécessaire au jeu du pédalier a la même origine que celle nécessaire au jeu du clavier et sa transmission du bassin au pied répond au mêmes conditions, compte-tenu des différences anatomiques.

3. Il reste à envisager le problème du rendement musculaire, c'est-à-dire le rapport entre la puissance développée pendant le jeu et la puissance maximum qui peut être fournie par les muscles considérés. Il se trouve justement que les fessiers, spécialement le grand fessier, sont parmi les muscles les plus puissants de l'organisme. Même dans l'exécution d'enchaînements d'accords aux deux mains, qui requièrent pourtant une force relativement importante, celle-ci reste faible par rapport à celle que ces muscles peuvent fournir. C'est dire que dans de bonnes conditions techniques la fatigue musculaire doit toujours rester insignifiante.

III - LA MOBILITE DES SEGMENTS

1. Lorsque les deux conditions fondamentales que nous venons de définir, production d'une force au niveau du bassin, réalisation des conditions mécaniques de sa transmission sont réunies, l'instrumentiste se trouve en mesure d'assurer à chacune des articulations intermédiaires une mobilité maximum sans que celle-ci remette en cause ce qui la conditionne. Nous avons vu précédemment les conditions particulières qui la rendent possible au niveau du bassin. Nous avons dit aussi qu'au niveau de l'épaule la contraction des muscles qui interviennent pour mettre l'omoplate en bonne position ne peut avoir de répercussions défavorables sur sa mobilité puisque leurs autres insertions se trouvent sur la colonne vertébrale et sur la cage thoracique. On pourrait faire une nouvelle objection à cela, la colonne vertébrale comme la cage thoracique étant des éléments osseux de transmission entre le bassin et l'épaule. Nous ferons remarquer qu'il s'agit ici d'éléments impairs et médians et que la contraction des muscles dont il s'agit, qui est simultanée et de direction opposée à droite et à gauche, se trouve de ce fait avoir un effet de fixation nul sur ces deux éléments.

2. Un problème se pose encore : quels sont les muscles qui assurent les déplacements nécessaires au jeu et pourquoi leur contraction ne limite-t-elle pas la mobilité articulaire ? Nous répondrons d'abord à la deuxième question, la plus générale. La force nécessaire pour provoquer ces mouvements est très faible. Elle est égale à celle que nous déployons quand nous mobilisons ces mêmes articulations dans le vide ; la résistance de l'air peut être considérée comme nulle ici ; seul le poids du segment de membre sous-jacent devra être compensé pour que le mouvement s'effectue. C'est une force légèrement supérieure au poids de tout le membre supérieur qui sera nécessaire à l'épaule pour mobiliser le bras ; elle est fournie par le deltoïde pour les mouvements d'abduction (écartement du bras) et par le grand pectoral pour ceux d'adduction (rapprochement). C'est, au coude, le poids de l'avant-bras et de la main qui devra être contrebalancé ; le brachial antérieur assure

la flexion et le triceps l'extension. Au poignet le grand palmaire, le petit palmaire et le cubital antérieur assurent la flexion, tandis que le premier et le deuxième radial externes et le cubital postérieur provoquent l'extension. Ces muscles assurent également les mouvements de latéralité de la main mais nous ne parlerons pas de leur mécanique très compliquée qui n'apporterait aucun élément d'importance au problème qui nous intéresse. Il est évident que ce n'est pas le poids seul du segment de membre sous-jacent qui est à prendre en considération mais aussi le bras de levier qui intervient dans chaque cas (distance entre l'extrémité fixe du muscle et le point d'application de la force) ainsi que la direction du mouvement. Notons également ici que le rapport entre la puissance nécessaire à la mobilisation des segments et la puissance maximum des muscles mis en jeu est faible, c'est-à-dire que les conditions de travail de ces muscles sont excellentes.

3. Quant aux mouvements des doigts qui sont presque exclusivement des mouvements de flexion-extension, ce sont les muscles fléchisseurs et extenseurs des doigts qui les déterminent et il nous paraît important de souligner certaines de leurs particularités. Leurs corps musculaires se trouvent au niveau de l'avant-bras, leurs insertions supérieures se faisant sur le radius, le cubitus et même l'humérus; leurs tendons passent en point au-dessous et au-dessus du poignet et se terminent, pour les muscles fléchisseurs sur la phalangine et la phalangette (2° et 3° phalange), pour les extenseurs à la base de la face dorsale des trois phalanges. La puissance de ces muscles est relativement faible et elle est très variable de l'un à l'autre, mais dans la conception que nous nous faisons de la technique de clavier cet inconvénient apparent est sans importance. En effet les forces mises en jeu se décomposent en deux : la force nécessaire à l'enfoncement des touches est fournie par les muscles les plus puissants de l'organisme situés au niveau du bassin et la force nécessaire à la mobilisation des doigts est fournie par les fléchisseurs et les extenseurs des doigts; cette dernière restant extrêmement faible par rapport à la puissance que peuvent développer ces muscles pourtant peu puissants, la contraction faible que nécessite la mobilisation des doigts est possible sans entraîner de répercussions fâcheuses sur la mobilité des articulations sus et sous-jacentes (coude, poignet, articulations des doigts).

Un autre fait anatomique concerne l'indépendance des doigts. Pour tous ses mouvements, le pouce possède des muscles particuliers. Il n'en est pas de même pour les autres doigts. Il existe deux fléchisseurs communs, l'un superficiel, l'autre profond. Comme leur nom l'indique ils sont communs aux quatre doigts; cela a peu d'importance dans le jeu car la possibilité de flexion des doigts est bien supérieure à celle dont on a besoin. L'extension, au contraire, ne dépasse guère quelques degrés (on considère comme degré 0 la position des doigts telle qu'ils se trouvent dans le prolongement des métacarpiens); dans la position de jeu la première phalange en est déjà très proche puisqu'elle est à peine fléchie quand le doigt affleure la touche; le doigt utilise donc l'exten-

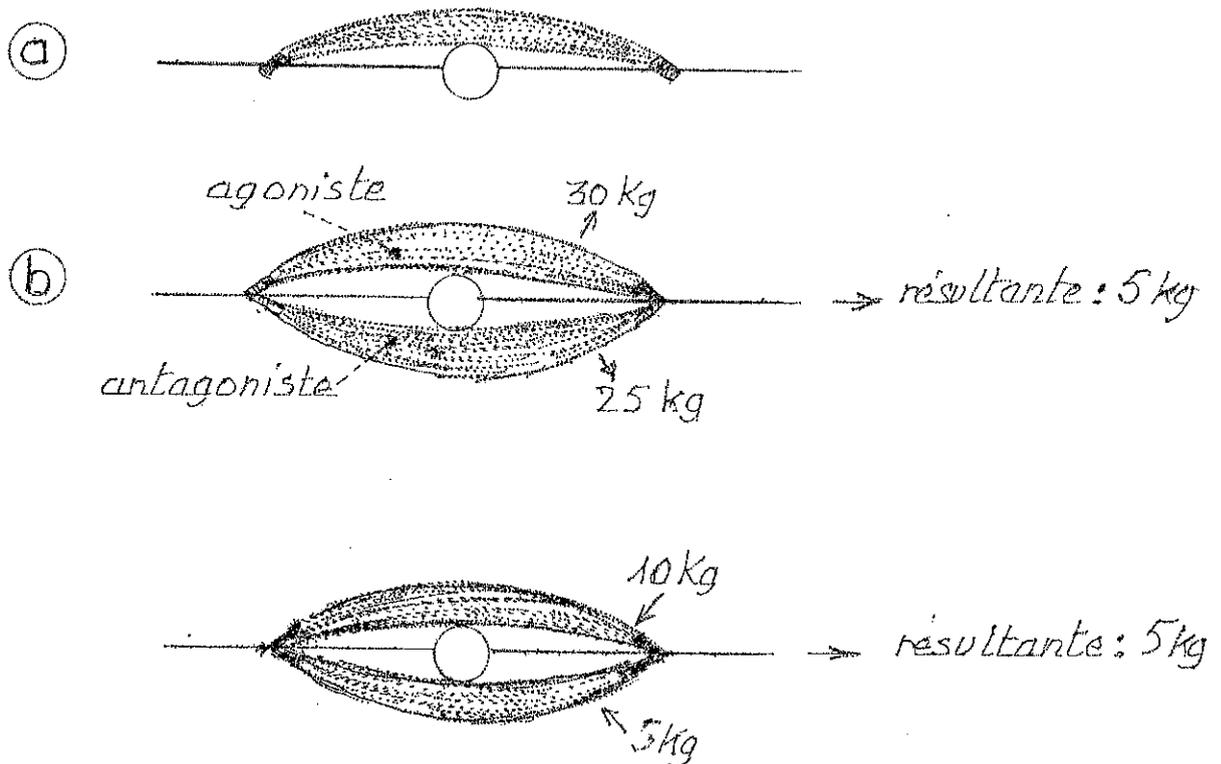
sion à l'extrême de ses possibilités. Pour ce mouvement il existe un extenseur commun des doigts, un extenseur propre de l'index et un extenseur propre du cinquième. Ceci nous explique la difficulté que nous éprouvons à dissocier les mouvements du 3° et du 4° doigt. Enfin le volume respectif des muscles ou des faisceaux musculaires affectés à chaque doigt est extrêmement variable, relativement important pour les muscles du pouce, très faible à l'opposé pour ceux du 5° doigt. Tous ces faits nous semblent démontrer suffisamment qu'il est impossible de mettre sur le compte de ces muscles la réalisation des efforts que le jeu exige. Mais dans la mesure où l'on admet la répartition des tâches telle que nous l'avons définie plus haut, ces contingences anatomiques ne constituent plus un obstacle.

Il reste à envisager les mouvements d'écartement et de rapprochement des doigts entre eux. Ceux-ci sont sous la dépendance des muscles lombricaux, interosseux palmaires et dorsaux. L'amplitude de ces mouvements est limitée par une formation fibreuse inextensible, le ligament palmaire interdigital. L'amélioration des écarts que l'on constate au fil des années d'étude n'est pas due, comme on le croit trop souvent, à une modification de l'écart absolu possible mais à la diminution progressive des tensions voisines qui, par leur existence même, imposent aux petits muscles qui commandent ces mouvements des efforts qu'ils ne sont pas capables de fournir.

4. Il faut encore insister sur le sens à donner à la notion de mobilité. Elle ne se confond pas avec l'ampleur des mouvements. Elle concerne seulement la liberté avec laquelle ils peuvent se faire, c'est-à-dire en définitive, leur réalisation avec un effort minimum. Ceci est vrai pour tous les mouvements au niveau de toutes les articulations, sauf pour les mouvements d'écartement des doigts, dits d'extension (au sens des pianistes), qui peuvent nécessiter l'utilisation maximum des possibilités anatomiques. Pour tous les autres, mouvements de flexion-extension des doigts, du poignet, du coude, mouvements d'abduction-adduction de l'épaule, etc....., le jeu n'exige que des amplitudes bien inférieures à celles que l'anatomie et la physiologie permettent. Par contre la rapidité avec laquelle ils peuvent être effectués, qui est une qualité dépendante mais distincte de la mobilité, est un élément important de diversification du jeu. C'est, avec la variation d'intensité de la pression exercée, ce qui détermine les variations infinies de la qualité du son.

IV - LA DETENTE

1. Jusqu'à maintenant nous avons envisagé les conditions qui permettent à notre système de produire une force et de la transmettre aux doigts tout en assurant à chaque articulation le maximum de mobilité. Mais il est encore une qualité qui peut être considérée comme une résultante de la réalisation des conditions précédentes, distincte et concomitante de la mobilité, c'est la détente. Il s'agit d'une qualité subjective dont nous allons tenter de voir quel peut être le substratum anatomo-physiologique. Dans un souci de clarté, nous avons simplifié, dans ce qui précède, l'analyse des conditions de production de la force d'enfoncement. Dans l'organisme humain il n'existe pas de contraction musculaire isolée. Chaque contraction d'un muscle (agoniste) s'accompagne obligatoirement de la contraction de son antagoniste. La force utilisable est donc la différence entre les deux forces opposées. Pour une même différence, ces forces peuvent être très élevées ou très faibles (fig. 17).



Production de la Force d'enfoncement (schéma)

Figure 17

...../

Mais si la force résultante reste la même, la sensation éprouvée et la fatigue qui en résultent sont bien différentes : sensation pénible de tension et fatigue rapide dans le premier cas, l'inverse dans le second.

2. Nous avons dit qu'il y avait toujours contraction simultanée d'un agoniste et d'un antagoniste, mais il y a aussi un phénomène de diffusion qui fait que cette contraction entraîne presque toujours la contraction à un moindre degré des muscles du même groupe ou de groupes voisins. Au fur et à mesure que l'adaptation progresse, ces phénomènes tendent à s'atténuer, en même temps que se réalisent de façon toujours plus précise les conditions de transmission; la sensation de détente s'accroît. Nous pourrions nous demander si la diminution continue de l'intensité de la contraction simultanée des agonistes et des antagonistes ne va pas aboutir à l'annulation de l'une des deux. Il est probable qu'il s'agit là d'une limite idéale qui n'est jamais atteinte dans la réalité. De toute façon il existe toujours une certaine tension, dite tonus de repos, qui constitue la limite inférieure, variable dans une certaine mesure d'ailleurs d'un individu à l'autre et chez un même individu, au dessous de laquelle il n'est pas possible de descendre.

3. Nous dirons un mot seulement du problème posé par la dissymétrie fréquente et importante de la position des deux bras au cours du jeu. Elle est une incontestable difficulté et nécessite des mouvements obliques ou latéraux de bascule du bassin et une grande mobilité du tronc. Nous ne pouvons nous étendre sur ce point; disons simplement qu'il s'agit là d'un élément de complexité supplémentaire qui ne modifie en rien les considérations fondamentales qui précèdent.

V - LE CONTACT AU CLAVIER ET LES PROBLEMES DE SENSIBILITE

1. Nous pouvons maintenant aborder la question du toucher ou du contact au clavier. Tout le monde sait la multitude de qualifications utilisées pour caractériser le bon toucher. Elles peuvent se regrouper en deux grands types qui semblent contradictoires : force, fermeté, solidité, profondeur, d'une part, légèreté, moëlleux, douceur, d'autre part. Nous allons chercher, comme pour la détente, quels éléments anatomo-physiologiques peuvent être à l'origine de ces sensations chez l'instrumentiste. Rappelons d'abord qu'il existe deux grands types de sensibilité : superficielle, comprenant les sensibilités tactile, thermique et douloureuse, et profonde. Chacune possède ses récepteurs particuliers et ses voies et centres spécifiques. La sensibilité superficielle nous renseigne sur la qualité de la touche, sa dureté, sa froideur;

...../

elle n'a pas d'intérêt pour notre problème. La sensibilité profonde comprend la sensibilité intéroceptive, c'est-à-dire celle des viscères, qui ne nous concerne pas ici, et la sensibilité proprioceptive, celle des muscles et des articulations avec leur appareil de contention, capsule et ligaments. C'est la plus importante pour nous. La sensibilité articulaire apprécie l'ajustage correct des segments osseux. Lorsqu'elle se transmet intégralement, la pression rapproche les surfaces articulaires l'une de l'autre au maximum et supprime toute laxité; seule la sensibilité articulaire peut rendre compte des sensations de fermeté perçues au niveau du doigt. La sensibilité musculaire, qui nous renseigne sur l'état de détente plus ou moins complète des muscles des doigts et de la main, est à l'origine des impressions de douceur et de moëlleux.

2. Lorsque l'adaptation est parfaite, ces sensations sont prédominantes. Elles servent de repères essentiels et souvent exclusifs à l'instrumentiste; elles sont le point de départ des multiples modifications de tout le corps qu'exige continuellement le jeu, modifications devenues presque entièrement automatiques avec le temps et presque toujours inaperçues de l'intéressé. Cette adaptation de tout le corps est tellement méconnue qu'il semble alors que seuls les doigts font quelque chose. Ceci nous explique pourquoi l'attention a toujours été concentrée exclusivement sur la main. Il faut ajouter que la difficulté à réaliser ces conditions est telle que seul un petit nombre d'individus, dont l'équilibre musculaire et les attitudes habituelles sont, au départ, proches de celles-ci, est en mesure d'y réussir complètement. Un entraînement quotidien, utilisant et perfectionnant ces attitudes de façon inconsciente, est alors suffisant; l'esprit, disponible, s'attache exclusivement aux problèmes concernant le texte et le résultat paraît aussi naturel à celui qui l'atteint que le simple fait de marcher.

3. Que se passe-t-il lorsque cette adaptation est incomplète ou incorrecte? Sans doute le jeu s'en trouve-t-il limité, mais nous laisserons ici cet aspect, pour nous attacher à un phénomène capital qui est comme le signal-symptôme de cette inadéquation: la douleur. Tout le monde sait que l'effort musculaire prolongé et intense fait apparaître une douleur dans les muscles intéressés. Nous avons vu plus haut que, même si la mise en rapport des divers segments osseux est correcte, c'est-à-dire si les conditions de transmission sont réalisées, les conditions de production de la force d'enfoncement pouvaient s'accompagner d'efforts musculaires très intenses et inutiles. La douleur ainsi provoquée est d'apparition lente et ne s'accompagne jamais d'impression de blocage, d'impossibilité de mouvements. Il en est une autre, par contre, qui apparaît vite, devient rapidement très intense, est en général assez bien localisée et s'associe à un blocage des mouvements qui oblige souvent à interrompre le jeu; cette douleur indique le lieu où la transmission ne se fait plus. On peut en comprendre le mécanisme de la façon suivante. Nous avons dit déjà que pour qu'un muscle puisse se contracter, l'une de ses extrémités au moins doit être

fixée. Cette fixation n'est possible que par l'immobilisation du segment correspondant et donc de l'articulation voisine. Cette immobilisation empêche non seulement les déplacements à ce niveau mais encore se fait le plus souvent dans des conditions telles qu'elle interdit toute transmission d'une force produite en deçà. Tout se passe donc comme si le point d'appui du système se trouvait déplacé; comme si la force nécessaire était recherchée par l'instrumentiste, non plus au niveau des muscles du bassin, mais en un point plus rapproché de la main. Quant à la gêne aux mouvements ou leur blocage, ils s'expliquent dans ce cas par le fait que les muscles des doigts se trouvent brusquement obligés de fournir un effort inhabituel qui dépasse leurs possibilités et qui diminue comme nous l'avons vu précédemment, la mobilité articulaire proportionnellement à l'intensité de l'effort qui s'est avéré nécessaire. Il faut remarquer cependant que l'intensité de la gêne est aussi en rapport direct avec la proximité du siège du blocage principal. Les possibilités restent encore assez grandes si celui-ci se situe en amont de l'épaule ou même simplement au niveau de celle-ci. Il est fréquent de noter alors une douleur cervicale basse ou interscapulaire.

4. Ce que l'on observe le plus souvent en fait constitue des solutions de compromis qui peuvent s'expliquer de deux façons. D'une part il se produit dans des limites assez étroites, de hypertrophies musculaires compensatrices, dont l'importance et le siège sont fonction de l'éloignement plus ou moins grand du point d'appui du système par rapport à la main. Tout se passe comme si l'instrumentiste n'utilisait qu'une partie de son corps. D'autre part l'instrumentiste se trouve limité dans son jeu. Il peut l'être d'une façon absolue, certaines difficultés lui étant complètement inaccessibles. Il peut l'être d'une façon relative et l'on remarque souvent alors l'alternance de tensions excessives, pour l'exécution des passages fortissimo, et de relâchement complet dans les passages piano. Ceci limite infiniment les possibilités expressives, donne un jeu dur dans le forte et une sonorité inconsistante dans le piano, mais n'exclue pas, évidemment, malgré la réduction des moyens, la manifestation toujours possible de la musicalité et de la compréhension des textes dont l'instrumentiste est capable.

IV - DE QUELQUES NOTIONS TRADITIONNELLES A LA LUMIERE DE L'ANALYSE PRECEDENTE ET DE QUELQUES PROBLEMES PARTICULIERS

1. Comme on l'a peut-être déjà noté avec étonnement il n'a jamais été question jusqu'ici d'un certain nombre d'éléments que les conceptions traditionnelles donnent comme fondamentaux. Elles font porter sur eux l'essentiel du travail en fonction de cette idée que les exigences de la technique imposent la correction d'éléments defectueux de notre organisme peu propres à y satisfaire naturellement. Il faudrait donc égaliser les doigts c'est-à-dire renforcer certains muscles pour annuler les différences dont

...../

nous avons vu qu'elles étaient inscrites irrémédiablement dans la constitution anatomique; il faudrait travailler l'articulation des doigts dans l'espoir illusoire d'accroître l'amplitude des mouvements des doigts les plus défavorisés; il faudrait acquérir la souplesse comme si celle-ci n'était pas donnée au départ. Egalité, articulation, souplesse ne sont pour nous que la surface des phénomènes, leur apparence; ce sont des résultantes. Nous allons montrer comment on peut les concevoir à partir de l'analyse que nous avons faite. Nous avons dit les disproportions très importantes de volume, donc de puissance, qui existent entre les muscles qui commandent les mouvements des doigts. Il est donc inconcevable d'égaliser la force des doigts en faisant travailler aussi intensément qu'on le voudra les plus faibles d'entre eux. Par contre si nous avons au niveau du bassin une source unique, productrice de la force nécessaire, ce sera elle, et elle seule, qui s'appliquera aux deux mains et à chaque doigt de chaque main. La seule condition nécessaire et suffisante pour que les doigts deviennent égaux c'est que la transmission se fasse complètement. L'égalisation des doigts passe donc par l'ajustage des segments osseux intermédiaires, elle n'a pas à être travaillée pour elle-même.

L'idée que la plus grande amplitude possible de mouvements est nécessaire au jeu est à l'origine du travail de l'articulation des doigts. Nous avons montré pourquoi cette amplitude est très variable d'un doigt à l'autre, très faible en particulier pour le 4^o doigt. Il n'est pas possible de modifier cet état de choses. De toute façon le problème n'est pas là. On doit distinguer l'amplitude de la mobilité. C'est cette dernière qui est nécessaire. Quant au déplacement, il suffit qu'il puisse être légèrement supérieur à la hauteur d'enfoncement de la touche. Il est essentiel par contre que ce petit déplacement puisse se faire avec le maximum de facilité et que sa vitesse puisse être contrôlée et variée au maximum. Nous savons maintenant que cette liberté est directement liée à la détente des muscles de l'avant-bras et de la main. Cette détente est elle-même sous la dépendance de la bonne position des segments osseux et de la disparition des tensions inutiles.

Le terme de souplesse est, lui, beaucoup plus ambigu. Il désigne surtout la sensation de détente au niveau du poignet et des doigts et la mobilité de ces articulations. Il n'y a donc rien à ajouter à ce que nous avons dit précédemment.

2. On se demandera sans doute aussi pourquoi le titre de cet essai concerne la technique de clavier et non pas précisément la technique du piano. C'est que les faits que nous avons décrits sont valables pour tous les instruments à clavier, je dirais même qu'ils le sont pour une infinité de gestes ou de techniques manuelles qui n'ont rien à voir avec les instruments de musique. Nous allons voir rapidement à quel niveau et par quels éléments peuvent se différencier les techniques du clavecin, de l'orgue et du piano.

Il est banal d'entendre dire que la technique du clavecin est très différente de celle du piano. En effet l'étouffement du son dès que la touche est lâchée oblige à utiliser comme à l'orgue

des doigtés de substitution. Ce fait joint à l'impossibilité de faire varier l'intensité impose aussi des répétitions exactement mesurées, donc une attention au mouvement de relèvement du doigt qui n'est pas habituelle au piano. Mais je ne vois aucun élément qui justifie l'affirmation fréquente que l'articulation des doigts (c'est-à-dire l'amplitude des mouvements de flexion-extension au niveau de la métacarpo-phalangienne) doit être plus importante ou plus franche qu'au piano. Les exigences que nous avons définies comme fondamentales restent ici parfaitement valables. Je dirais même qu'elles seules peuvent expliquer les différences de qualité de l'attaque qui sont malgré tout réalisables et perceptibles, dans la mesure où elles donnent aux doigts le maximum de possibilités.

Nous n'avons rien à ajouter pour la partie manuelle du jeu de l'orgue. Pour le jeu du pédalier nous avons dit qu'il fallait considérer les problèmes comme analogues, quoiqu'en plus simples, à ceux de l'exécution au clavier. Il s'agit d'un point qui est hors de notre sujet et nous nous contenterons de remarquer que les mêmes conditions de mobilité y sont nécessaires; plus encore que pour le piano, il est évident que le seul point d'appui fixe du système ne peut être que le bassin.

3. Nous avons déjà vu les éléments subjectifs (c'est-à-dire ceux qui sont perçus par l'instrumentiste) de la bonne adaptation au clavier. Nous allons discuter maintenant les critères objectifs de celle-ci (c'est-à-dire ceux de l'auditeur). Ils sont pour nous au nombre de deux : la perfection du legato et la qualité de la sonorité. On comprend facilement après tout ce que nous avons dit qu'un legato parfait soit l'effet inéluctable d'une bonne adaptation. La même pression est transmise à chaque doigt; elle passe de l'un à l'autre sans-à-coups dans la mesure où la main et les doigts assurent les déplacements nécessaires en maintenant les rapports qui permettent la transmission. Quant à la qualité sonore elle est liée à cette dissociation essentielle que nous avons déjà soulignée : la force nécessaire à l'enfoncement des touches est fournie par les muscles du bassin, tandis que la force nécessaire à un déplacement sans résistance est fournie par les muscles locaux. Nous avons déjà dit que, dans ces conditions; malgré le peu de puissance de ces muscles, l'effort qui leur était demandé restait proportionnellement très faible. Ceci explique la possibilité d'un contrôle très précis des petits mouvements des doigts, donc de la qualité de l'attaque et de sa diversification à l'infini.

4. Il nous reste à parler de quelques problèmes particuliers surtout importants dans le jeu du piano. Le staccato offre une difficulté du fait de la discontinuité du contact au clavier. En effet nous avons déjà dit qu'il existe un état d'équilibre entre la force produite au niveau du bassin et les nécessités du jeu. De plus l'appui du doigt au clavier permet de sentir, et donc de contrôler, la correction de la position du corps. L'interruption du son qu'exige le staccato nous met donc pendant un court moment dans une sorte de vide où cette possibilité de contrôle disparaît; pouvoir maintenir un état convenable suppose donc une maîtrise considé-

rable de l'ensemble.

On peut admettre que les notes répétées n'amènent aucune difficulté supplémentaire lorsqu'elles sont faites en changeant de doigt pour chaque attaque. Lorsqu'elles ne peuvent être faites qu'avec le même doigt, on se trouve au contraire en face de deux problèmes : celui de la perte du contact, comme pour le staccato, et celui d'un mouvement alternatif du doigt. Ce dernier mouvement implique à chaque changement de direction un arrêt brusque avant que le doigt ne reparte dans l'autre sens. L'expérience montre que, dans ce type de mouvements, il est très difficile d'éviter une augmentation progressive, inutile et gênante, de l'effort des muscles qui le provoquent. Là encore la perfection de l'équilibre de l'ensemble peut seule en permettre une réalisation aisée.

Le fait qu'il soit possible de jouer des morceaux comportant des octaves consécutives, et souvent de façon prolongée, pourrait à lui seul faire mettre en doute l'importance de l'articulation des doigts telle qu'elle est conçue traditionnellement. Si les octaves simples et conjointes ne nous semblent pas poser de problèmes, les octaves répétées nous obligent à discuter une nouvelle difficulté. Les doigts ne peuvent guère ici se mobiliser; aussi demande-t-on en général un mouvement de flexion-extension du poignet. Mais celui-ci est difficile à contrôler dans sa force et sa vitesse du fait de l'importance du poids de la main par rapport à l'extrême faiblesse des muscles qui commandent ce mouvement. Il semble bien que la solution se trouve dans l'utilisation d'un mouvement alternatif se faisant d'arrière en avant et d'avant en arrière, donnant à l'épaule une sensation de rebondissement de tout le bras. Il est rendu possible par de très légers mouvements de flexion-extension du coude; il a l'avantage de se faire selon l'axe suivant lequel la pression d'enfoncement est amenée à la main depuis l'épaule, donc de permettre le maintien complet de la mobilité et de la détente de tout le membre supérieur. Ceci n'exclut pas l'utilisation occasionnelle de petits mouvements complémentaires du poignet mais à condition que ceux-ci restent toujours au second plan par rapport à ce mouvement fondamental. Ceci n'est possible, là encore, que lorsqu'un équilibre parfait est atteint, la difficulté la plus grande étant de pouvoir maintenir pendant sa réalisation la position du coude en dehors, c'est-à-dire la rotation interne de l'humérus à l'épaule. Nous pensons qu'il s'agit là d'un palier dans les difficultés qui est bien marqué par les différences que l'on peut noter entre les études de Chopin et celles de Liszt. Les premières ne contiennent aucune étude en notes répétées et seulement deux en octaves, essentiellement conjointes ce qui nous paraît capital; celles de Liszt, au contraire, qu'il a d'ailleurs appelées à juste titre d'exécution transcendante, comportent des octaves presque constamment et, qui plus est, des octaves disjointes.

.... /

VII - L'ACQUISITION

Nous allons indiquer les points importants concernant le processus d'acquisition de cet ensemble de gestes.

1. Dans un premier temps l'effort de recherche ne peut être que parcellaire; il consiste à découvrir les positions que nous avons décrites et à en éprouver la nécessité en développant au niveau du bassin un effort dont les effets deviennent perceptibles au niveau des doigts. Mais pendant longtemps ceci ne peut être réalisé qu'avec une aide extérieure et la coïncidence entre les deux éléments reste fortuite et peu durable. Cette réussite précaire, occasionnelle, est pourtant capitale car elle permet d'éprouver un ensemble de sensations qui n'apparaissent que dans ces conditions et qui vont devenir les repères indispensables. La difficulté tient à l'interdépendance absolue de ces deux facteurs; elle est telle que la bonne position ne peut être appréciée en l'absence d'un effort adéquat et que celui-ci ne peut être suscité, là où il doit se produire et selon une intensité convenable, si la position nécessaire n'est pas au moins approximativement réalisée. L'incertitude éprouvée par l'instrumentiste rejaillit même sur ce qu'il y a d'exact dans ce qu'il fait car il est alors incapable d'en apprécier l'utilité. En dehors de circonstances exceptionnelles, il nous paraît presque impossible de sortir seul de cette situation.

Dans un deuxième temps la coïncidence entre les deux éléments devenant plus fréquente et plus stable, son repérage par l'instrumentiste se précise et s'affirme en même temps que le sentiment de sa nécessité se fait toujours plus fort; surtout, il devient possible de la retrouver seul et pas uniquement par un hasard heureux; un véritable travail peut s'instaurer alors. Cette situation peut être réalisée en un temps extrêmement variable, de quelques mois à quelques années.

2. Mais lorsque cet état se réalise, c'est de façon encore précaire et peu économique : précaire car la position reste approximative et instable, peu économique car les efforts fournis, aussi bien pour produire la force d'enfoncement que pour maintenir la position, restent trop considérables. La progression dépend alors de deux facteurs. L'un est négatif : il tient à ce qu'un geste fait une fois sera toujours infiniment plus facile à reproduire que n'importe quel autre geste, même plus adéquat. Le sentiment de la précarité du résultat obtenu et la peur de perdre le peu qui semble acquis s'ajouteront au phénomène de facilitation précédent pour interdire à l'exécutant les modifications nécessaires. Le facteur positif, dynamique, est la recherche d'une détente toujours plus grande des intermédiaires, c'est-à-dire l'obtention du même résultat avec un effort toujours moindre. C'est la constatation répétée que la diminution des efforts entraîne une augmentation des possibilités qui permet à cette détente de s'installer

.... /

et de s'accroître progressivement.

Un des points essentiels du travail est l'enchaînement des sons. Nous n'avons rien à ajouter, du point de vue de l'analyse des phénomènes, en ce qui concerne les enchaînements qui n'obligent pas à quitter le clavier. Dans ce cas la force amenée au poignet passe sans hiatus d'un doigt à l'autre. Il y a par contre une difficulté lorsque l'intervalle entre deux notes est tel que la main doit perdre le contact avec le clavier. Nous retrouvons là la difficulté du staccato : la perte de contact supprime un repère essentiel qui est la résistance éprouvée normalement pendant le jeu; elle entraîne pendant un certain temps la perte au moins partielle de l'équilibre de l'ensemble. Mais il s'y ajoute une deuxième difficulté, la mesure exacte de la distance à parcourir pour tous les intervalles possibles; nous l'appellerons la connaissance du clavier.

3. Il nous reste à dire pourquoi ce travail aboutit à une réalisation de plus en plus aisée; en d'autres termes pourquoi la virtuosité est-elle possible ? Il nous semble nécessaire de faire intervenir ici deux phénomènes. Une automatisation progressive de nombreux gestes, d'abord purement volontaires, s'établit; elle ne devient pourtant jamais totale. A celle-ci s'associe à notre avis une modification plus profonde, plus difficile à percevoir qui affecte l'équilibre d'ensemble du corps. L'exécution même des gestes les plus quotidiens peut en être transformée. Nous la concevons comme une amélioration du rapport existant entre le tonus de repos des muscles agonistes et celui des muscles antagonistes dans chaque groupe fonctionnel. La meilleure formule pour exprimer ce phénomène est de dire qu'une nouvelle répartition du tonus musculaire apparaît.

Nous terminerons par quelques remarques à la limite de l'analyse physiologique et de la pédagogie de la technique de clavier. A travers ce qui précède on pouvait déjà deviner que l'acquisition de la virtuosité repose sur deux principes de travail. Le premier, fondamental, consiste à "établir le contact au clavier", c'est-à-dire à mettre en position les segments intermédiaires (tronc, bras, avant-bras, main, doigts) et à produire une force que nous avons appelée force d'enfoncement. Ce travail est incompatible avec un entraînement systématique sur des formules traditionnelles (gammes, arpèges, etc... réguliers ou "en rythmes") puisqu'il suppose la remise en question à tout instant de ce qui vient d'être fait. Cette mise en place peut exiger des années d'effort. Le deuxième est l'automatisation des gestes acquis. Elle ne peut être entreprise que lorsque l'essentiel est solidement établi; commencer trop tôt ce travail fait courir le risque de rendre définitives des erreurs qui bloqueront la technique à un niveau médiocre et limiteront donc les possibilités expressives. La remise en cause ultérieure d'une technique fondée sur un compromis de ce genre, si elle n'est pas théoriquement impossible, suppose de telles circonstances favorables pour aboutir qu'elle ne peut être raisonnablement proposée qu'exceptionnellement. Mais il s'agit là, déjà, de problèmes pédagogiques.