

UNIVERSITÉ D'ALGER

2/76

1 ex

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ELECTRONIQUE

DÉPARTEMENT ÉLECTRICITÉ

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
PROJET DE FIN D'ÉTUDES
BIBLIOTHÈQUE

ETUDE ET REALISATION

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ÉCOLE NATIONAL POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE
D'UN

ORGUE - SYNTHÉTISEUR

MULTIMONODIQUE

proposé par :

M^r SINTÈS

professeur à l'E.N.P.A

réalisé par :

I. GRIB

Y. SMARA

Promotion: 71-76

UNIVERSITE D'ALGER

FILIERE INGENIORAT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**ETUDE ET REALISATION
D'UN
ORGUE - SYNTHETISEUR
MULTIMONODIQUE**

proposé par :

M^r SINTÈS

professeur à l'E.N.P.A

réalisé par :

I. GRIB

Y. SMARA

Promotion: 71-76



R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons tout d'abord à remercier monsieur SINTES pour sa compréhension et la confiance qu'il a placée en nous tout au long de l'élaboration de ce projet .

Nous remercions par ailleurs toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre ont , dans la mesure de leurs moyens , contribué à la réalisation de ce projet .

"...L'instinct de la musique est au fond
de tout être humain..."

AVANT-PROPOS :

Pour bien comprendre le fonctionnement des instruments de musique traditionnels et ce qu'il faut obtenir avec les instruments de musique électroniques, il nous a semblé indispensable de commencer par rappeler succinctement les bases de l'acoustique.

Le musicien caractérise un son par sa hauteur, son timbre, et son intensité.

a) La hauteur :

C'est la fréquence du son. On sait que le spectre audible s'étend environ de 16 Hz à 15 KHz. Il a été divisé arbitrairement en octaves qui couvrent un intervalle de fréquences dans le rapport de 1 à 2. La fréquence de référence est le LA3 fixé à 440 Hz.

Les différentes octaves sont :

DO-2	à	DO-1	=	16 -	32 Hz
DO-1	à	DO 1	=	32 -	64 Hz
DO 1	à	DO 2	=	64 -	128 Hz
DO 2	à	DO 3	=	128 -	256 Hz
DO 3	à	DO 4	=	256 -	512 Hz
DO 4	à	DO 5	=	512 -	1024 Hz
DO 5	à	DO 6	=	1024 -	2048 Hz
DO 6	à	DO 7	=	2048 -	4096 Hz
DO 7	à	DO 8	=	4096 -	8192 Hz
DO 8	à	DO 9	=	8192 -	16384 Hz

Une octave est divisée en sept intervalles égaux. Un intervalle n'est agréable à l'oreille que s'il s'exprime par une fraction simple.

Lorsque deux sons sont produits simultanément, il en résulte un accord qui est une sensation particulière de l'ouïe.

Cette sensation est désagréable lorsque l'accord est dissonnant et que le rapport des fréquences ne peut s'exprimer que par une fraction de nombres importants. Elle est agréable lorsque l'accord est consonnant, c'est à dire qu'il s'exprime par une fraction simple. Ainsi, les accords d'octave (2/1) et de quinte (3/2) sont-ils particulièrement agréables.

b) Le timbre :

Le timbre d'un instrument est donné par les harmoniques et les partiels qui accompagnent la note fondamentale. C'est ainsi qu'on reconnaît à l'oreille différents instruments jouant la même note, ainsi qu'une personne de connaissance qui parle ou qui chante.

Chaque instrument couvre une plage de fréquences qui lui est propre. Cette notion de plage couverte est importante pour l'étude des amplificateurs, des haut-parleurs et des enceintes acoustiques destinés à la musique électronique.

c) L'intensité :

Chaque instrument de musique peut fournir une plage d'énergie comprise entre le pianissimo et le fortissimo. Le rapport entre ces deux puissances acoustiques est la dynamique. Ce rapport est généralement très grand, il peut atteindre 10^6 , d'où l'intérêt d'adopter la notation en décibels.

Par exemple un orchestre symphonique complet jouant fortissimo produit environ 70 watts acoustiques.

- EFFET SUBJECTIF CREE PAR LES DIFFERENTES
DISTORSIONS :

a) Largeur de la bande de fréquence sans distorsion :

La bonne reproduction des graves donne l'impression de volume, d'espace et de rondeur du son.

La reproduction sans distorsion du médium donne le niveau sonore apparent et une bonne intelligibilité.

Par contre, la reproduction correcte des aigus donne de la clarté, de la richesse au timbre, une sonorité aérée.

De plus, il doit y avoir un bon équilibre entre les graves et les aigus. Les électroniciens en haute fidélité ont établi la règle des 400 000 ; c'est le produit entre la fréquence la plus basse et la fréquence la plus élevée transmise à -3 dB par la chaîne électro-acoustique.

Par exemple : $20 \text{ Hz} \times 20\,000 \text{ Hz} = 400\,000$

C'est une erreur de croire que l'on puisse pousser les aigus si les graves ne sont pas amplifiés, car l'impression subjective procurée à l'écoute sera désagréable par manque d'équilibre. Par exemple : si on atteint seulement 80 Hz à -3 dB, on ne devrait pas dépasser 5000 Hz dans les aigus ($80 \times 5000 = 400\,000$).

b) Distorsion non linéaire apparente :

On dit qu'un élément de transmission introduit de la distorsion non linéaire lorsque pour un signal d'entrée sinusoïdal, la tension de sortie se présente sous la forme d'un signal déformé qui peut être décomposé en une somme de sons sinusoïdaux (théorème de Fourier).

Il en résulte un déséquilibre du timbre de l'instrument et une introduction de sons partiels qui ne sont pas dans un rapport simple avec le son fondamental et qui de ce fait provoque des combinaisons de sons non harmoniques désagréables à l'oreille .

c) Distorsion différentielle :

Lorsque deux ou plusieurs sons sinusoïdaux frappent le tympan de l'oreille, on perçoit une série de sons combinés qui sont détectés par les nerfs de l'oreille comme de véritables sons objectifs . Comme ils ne sont pas présents dans le champ sonore , ils sont appelés : sons subjectifs.

Si ces sons différentiels sont nombreux et de niveau élevé, ils empatent les graves et donnent de la confusion dans le médium et l'aigu .

d) Distorsion de phase :

L'oreille est sensible au déphasage de plusieurs ondes de fréquences différentes si elles se composent algé-

briquement avant de réagir sur le tympan. En effet l'intensité totale d'une onde sonore varie en fonction des phases relatives de ses composantes qui peuvent être additives ou soustractives; le niveau sonore perçu par l'oreille varie donc de la même façon.

On peut utiliser cette propriété de l'oreille pour créer une réverbération artificielle dans un instrument de musique électronique.

INTRODUCTION :

Depuis sa création, l'électronique est venue au secours de tous les domaines de la civilisation moderne tels que les spectacles, l'information, l'industrie, les sciences fondamentales, les mesures, l'électro-ménager, l'astronautique, les télécommunications, etc.

L'électronique peut aussi aider les compositeurs et les musiciens exécutants. Elle le fait depuis plusieurs dizaines d'années avec des appareils électroniques divers dont le plus important est l'orgue électronique, mais celui-ci n'est toutefois qu'un instrument de musique tendant à remplacer l'orgue classique et mettant les possibilités de ce dernier à la portée du plus grand nombre de musiciens professionnels et amateurs.

Tous les électroniciens savent qu'il est relativement facile de créer des sons et de leur donner des formes diverses à l'aide de réseaux actifs ou passifs utilisant des composants électroniques et électriques.

La musique électronique est le résultat, en matière de composition musicale, des procédés de création de sons nouveaux ou de sons "rares" à l'aide de procédés électroniques.

L'appareil le plus caractéristique de la musique électronique est le synthétiseur. C'est généralement un appareil très important en volume et en prix.

Ceci nous a amené à étudier un appareil de musique original en ce sens qu'il n'est ni un synthétiseur ni un orgue à part entière, mais qu'il constitue un instrument hybride permettant de réunir les avantages de ces deux types d'instruments.

Nous nous sommes attachés à réaliser un instrument répondant aux critères suivants :

- Fournir des timbres multiples permettant de varier les sonorités.
- Permettre d'exécuter tous les accords au même titre qu'un orgue polyphonique.
- Permettre, conjointement avec un magnétophone multiplay, la réalisation d'oeuvres musicales complètes.
- Offrir certains effets lui conférant un cachet original.
- Etre d'un prix de revient peu élevé.

P R E S E N T A T I O N G E N E R A L E
D E L ' A P P A R E I L

L'appareil se compose des éléments suivants :

- Un clavier du type piano comportant 34 touches dont 20 blanches et 14 noires. Des contacts ont été adaptés à chaque touche; ils se ferment lorsque celle-ci est actionnée.

- Un ensemble de 8 générateurs identiques permettant de délivrer des signaux aux fréquences des notes musicales.

- Une série de circuits de traitement se répartissant comme suit :

- a/ Un préfiltreur-mélangeur.
- b/ Un modulateur en amplitude.
- c/ Un modulateur en fréquence.
- d/ Un modulateur en fréquence à grand indice de modulation.
- e/ Un double filtre passe-bas à fréquence variable ;
- f/ Un filtre passe-bande à fréquence centrale variable.

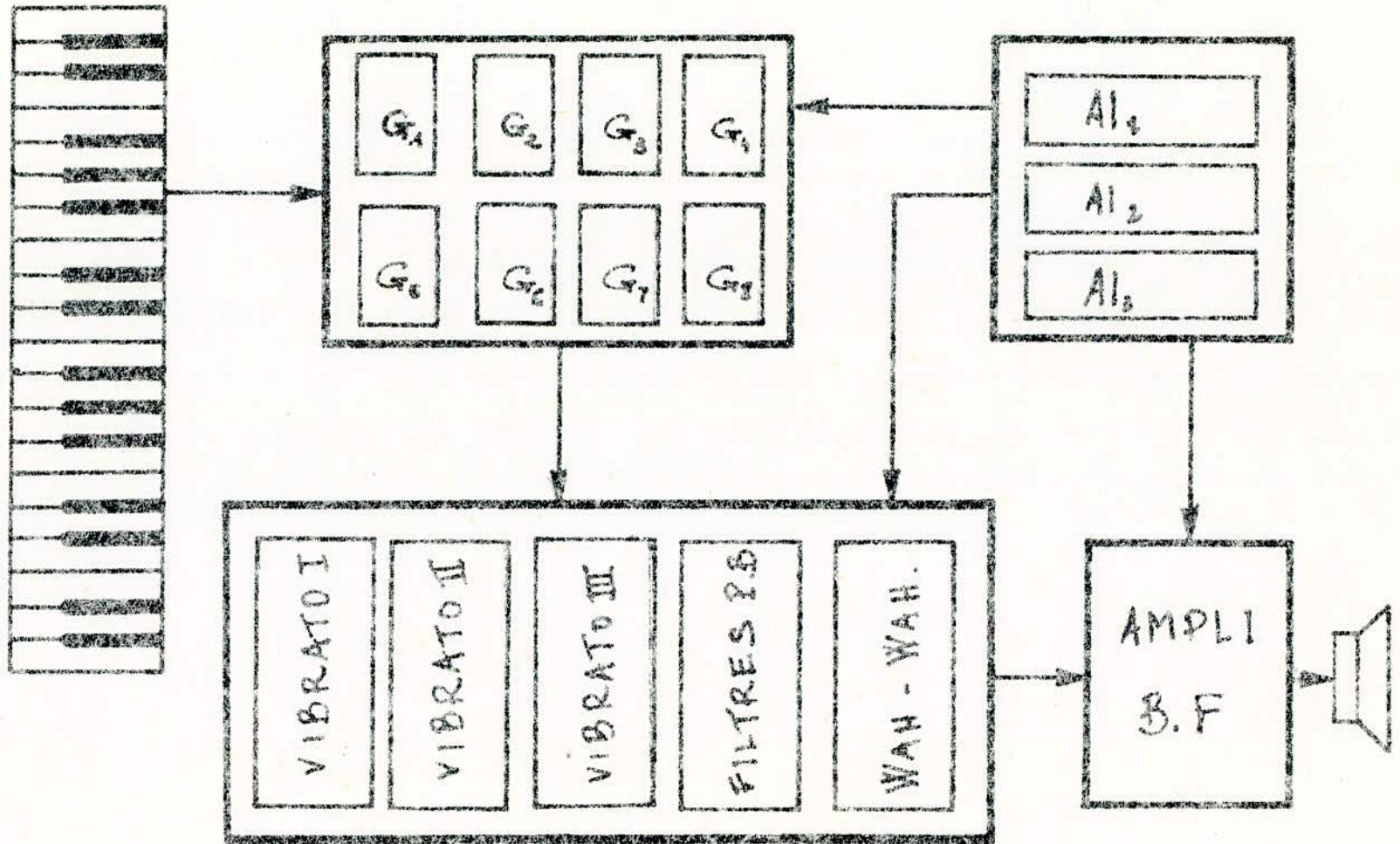
- Un amplificateur B.F. suivi de deux haut-parleurs.

- Trois alimentations dont deux stabilisées.

Tous ces éléments ont été montés dans une console en bois laqué spécialement étudiée à cet effet.

La partie supérieure comporte :

Fig. I



SCHEMA SYNOPTIQUE GÉNÉRAL

- Le clavier, les générateurs et leurs résistances d'accord, les différents circuits de traitement ainsi que les différents organes de commande placés à l'avant de l'appareil.

La partie inférieure comporte :

- Les alimentations, l'ampli B.F, et les hauts-parleurs ainsi que les différentes prises de sortie, situées à l'arrière.

Enfin des commandes au pied permettent de commander certains effets.

Le schéma synoptique de cet ensemble est donné par la figure -I-, où G_1, G_2, \dots, G_8 , et Al_1, Al_2, Al_3 représentent respectivement les générateurs de signaux, et les alimentations.

Remarque : Lors de la conception de cet appareil, nous avons volontairement omis certains effets, soit parcequ'ils se rapprochaient plus du gadget que du circuit véritablement utile, soit parcequ'ils mettaient en oeuvre des solutions relativement complexes et généralement coûteuses.

E T U D E

- I - REPARTITION DES NOTES
- II - ETUDE DES GENERATEURS DE NOTES
- III- PREFILTRAGE ET MELANGE
- IV - DISPOSITIFS DE MODULATION
- V - FILTRES PASSE-BAS
- VI - EFFET WAH-WAH
- VII- AMPLIFICATION BASSE FREQUENCE
- VIII- ALIMENTATION

-I- R E P A R T I T I O N D E S N O T E S

Le premier problème qui se pose lors de la conception d'un instrument de musique est celui de la répartition des notes . Celle-ci va influencer dans une large mesure sur le jeu de l'instrumentiste ainsi que sur les performances artistiques de l'appareil.

Dans les instruments électroniques, on distingue généralement deux catégories : les appareils polyphoniques, dont le plus représentatif est l'orgue électronique. Ceux-ci se caractérisent par la faculté de fournir n'importe quelle combinaison de notes simultanément (toutes les cas échéant). Cette propriété est très intéressante pour les musiciens, mais elle limite considérablement les effets. En effet, ce type d'instrument ne délivre qu'un seul type de signal (en général carré ou sinusoïdal).

D'autre part le nombre de circuits diviseurs est considérable (il aurait fallu 34 bascules dans le cas de notre appareil), ce qui se répercute grandement sur le prix de revient.

La deuxième catégorie d'instruments électroniques est celle des monodiques dont le plus perfectionné est le synthétiseur. Cet appareil, aux très vastes possibilités en matière de timbres et d'effets spéciaux, est néanmoins affligé d'un inconvénient du fait de sa monodie. En effet, il ne peut fournir qu'une seule note à la fois, ce qui constitue un sérieux

handicap pour le musicien qui joue la plupart du temps des accords et non de simples mélodies.

Ceci nous a amené à utiliser une solution réalisant un bon compromis entre les deux systèmes. On réunit ainsi les avantages du monodique et du polyphonique, à savoir: signaux variés et possibilités de jouer les accords.

La solution utilisée consiste à utiliser plusieurs générateurs répartis de manière adéquate, de façon à pouvoir exécuter des combinaisons de notes déterminées correspondant aux accords utilisés sur les appareils à clavier.

Une étude approfondie des tableaux d'accords a permis de dégager, en procédant par élimination, une répartition de notes optimale permettant d'exécuter la quasi-totalité des accords avec seulement huit générateurs. L'exposé complet de cette étude nous mènerait hors du cadre de ce projet.

Cette répartition est la suivante :

- Générateur n°1 : MI1 , FA2 , FA*2, SOL3 , SOL*3.
- Générateur n°2 : LA1 , LA*1 , SI2 .
- Générateur n°3 : FA1 , FA*1 , SOL2 , SOL*2, LA3.
- Générateur n°4 : SOL1, SOL*1, LA2 , LA*2 .
- Générateur n°5 : DO1 , DO*1 , RE2 , RE*2 , MI3.
- Générateur n°6 : SI1 , DO3 , DO*3 ,
- Générateur n°7 : RE1 , RE*1 , MI2 , FA3 , FA*3.
- Générateur n°8 : DO2 , DO*2 , RE3 , RE*3 .

Remarque: le chiffre qui suit chaque note indique l'octave de celle-ci. De même l'astérisque indique une note diésée.

Cette répartition permet d'exécuter les accords suivants :

- Accords majeurs (12).
- Accords mineurs (12).
- Accords de septième de dominante (12).
- Accords majeurs avec sixte (12).
- Accords mineurs avec sixte (12).
- Accords majeurs avec septième majeure.(12).
- Accords mineurs avec septième mineure (12).
- Accords mineurs avec septième majeure (12).
- Accords de septième diminuée (12).
- Accords de quinte augmentée (12).
- Accords septième avec quinte augmentée.(12).

soit la quasi totalité des accords existants.

Les seuls accords non exécutables entièrement sur cet instrument sont les accords de neuvième. Cet inconvénient n'est nullement gênant si l'on sait que les accords de neuvième sont très rarement utilisés et très ardues à exécuter, et qu'ils peuvent être remplacés par l'accord de septième correspondant.

II - E T U D E D E S G E N E R A T E U R S
D E N O T E S

GENERALITES :

Les 34 notes que comporte l'instrument sont délivrées par un ensemble de 8 générateurs de signaux qui se partagent les différentes notes de la manière définie précédemment.

Ces générateurs doivent répondre à plusieurs critères:

- Avoir une bonne stabilité en fréquence, si possible indépendante de la température.
- Fonctionner dans une gamme couvrant au minimum trois octaves.
- Délivrer des signaux variés et riches en harmoniques.
- Etre d'une réalisation facile et nécessitant peu de composants.
- Avoir une bonne fiabilité de fonctionnement.

Toutes ces raisons nous ont fait rejeter les dispositifs à réseaux RC ainsi que les montages à multivibrateurs.

Nous avons préféré utiliser un oscillateur à transistor unijonction qui satisfait pleinement à toutes les conditions énumérées plus haut.

Néanmoins pour augmenter les possibilités de nos générateurs, nous avons adjoint à chaque oscillateur UJT, un dispositif à bascule d'Eccles-Jordan qui élargit considérablement leurs possibilités.

Chaque générateur fournit deux types de signaux :

- Impulsions.
- Carrés.

La fréquence des impulsions est double de celle du signal carré. Cette propriété est très intéressante car elle nous permettra d'obtenir par mélange, des signaux de formes très variées.

Le schéma synoptique de chaque générateur est le suivant :

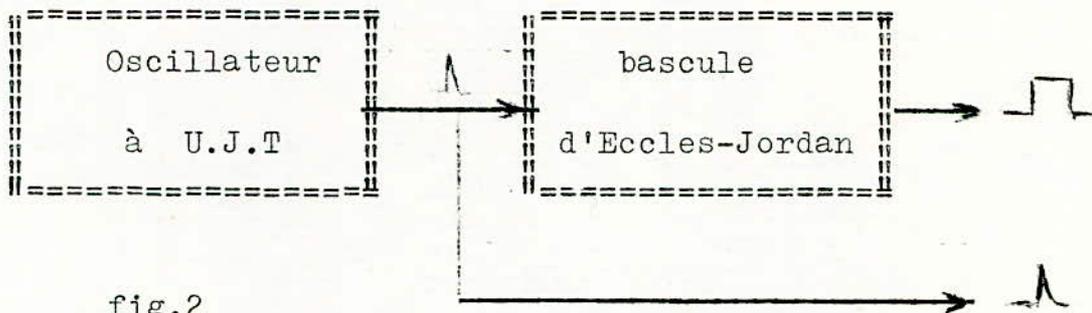


fig.2

1/ Oscillateur à U.J.T :

Le schéma de cet oscillateur est donné à la page suivante, fig.3.

Le transistor utilisé est un 2N 1671 B .

a/ Fonctionnement :

Son fonctionnement s'établit comme suit :

au branchement du contact de touche, C_1 se charge par l'intermédiaire de la résistance r jusqu'à la tension de pic de l'U.J.T; le transistor s'amorce alors et commence

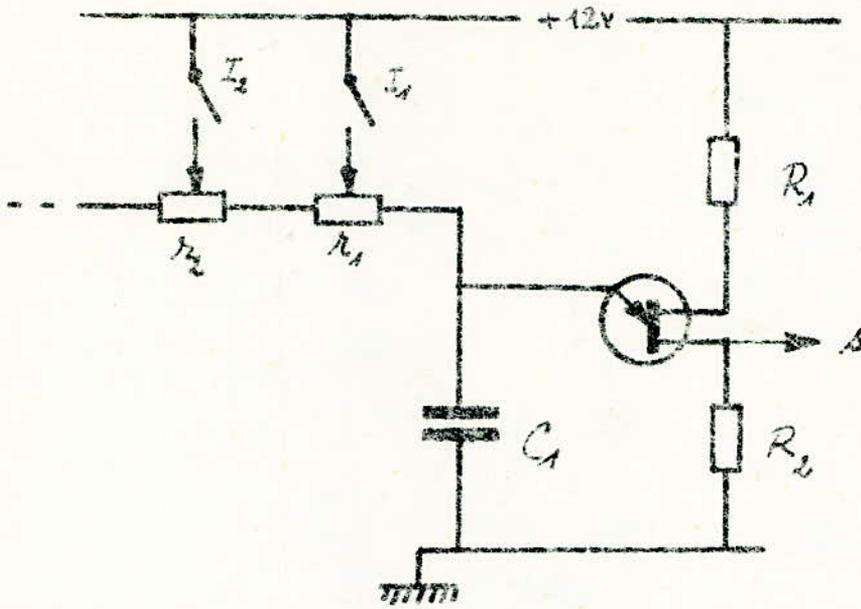


fig. 3. : Oscillateur à U.J.T .

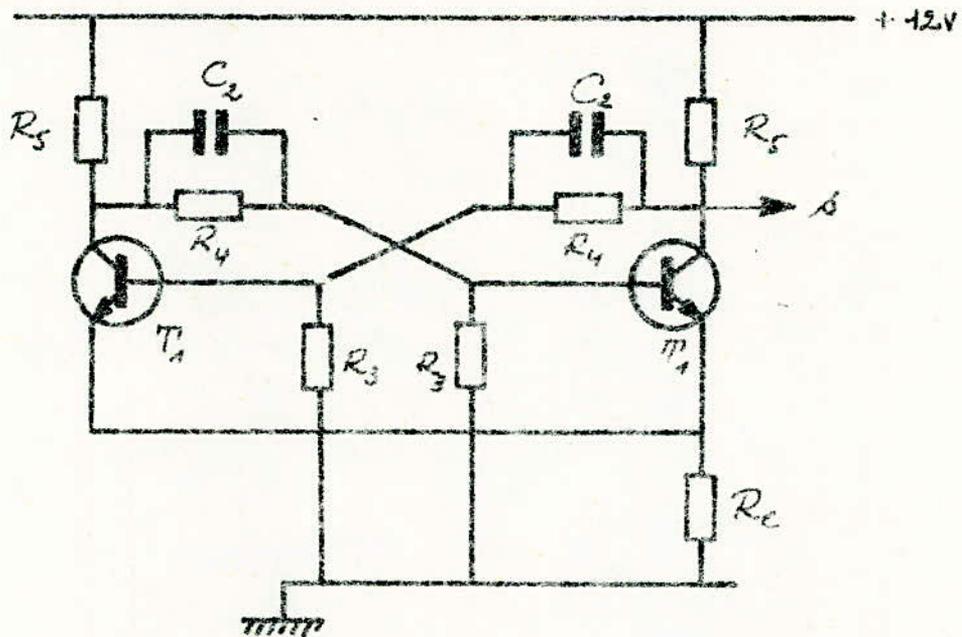


fig. 3a. : Bascule d'ecclès-jordan .

à fonctionner dans la zone de résistance négative.

Le condensateur C_1 se décharge dans R_2 par l'intermédiaire du circuit d'émetteur du transistor. Du fait de la résistance négative, cette décharge se poursuit jusqu'à ce que V_e (tension d'émetteur) atteigne la tension de vallée, valeur à laquelle le transistor se rebloque, ce qui permet à la capacité C_1 de se recharger à nouveau. - Le cycle se répète indéfiniment, tant que le contact de touche est fermé.

L'allure des tensions aux bornes de C_1 et R_2 est donnée à la fig. 3ter .

Toutes les valeurs de ce montage ont été déterminées expérimentalement et optimisées au cours d'essais pratiques, en partant de valeurs classiques pour ce type d'oscillateur.

Les valeurs utilisées sont :

- $R_1 = 470$ ohms
- $R_2 = 82$ ohms

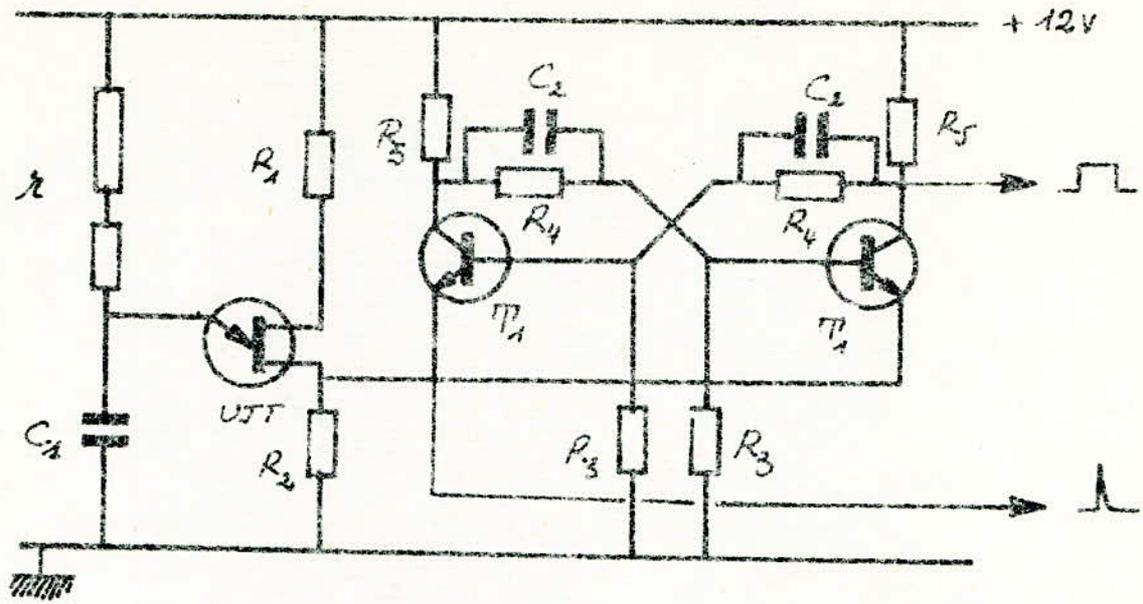
Quant à la valeur de C_1 , elle a été choisie égale à 22 nF de manière à procurer un fonctionnement entre 20 Hz et 10 000 Hz .

La gamme effective de fonctionnement de l'instrument se trouve donc bien encadrée puisqu'elle s'étend de 128 Hz à 880 Hz .

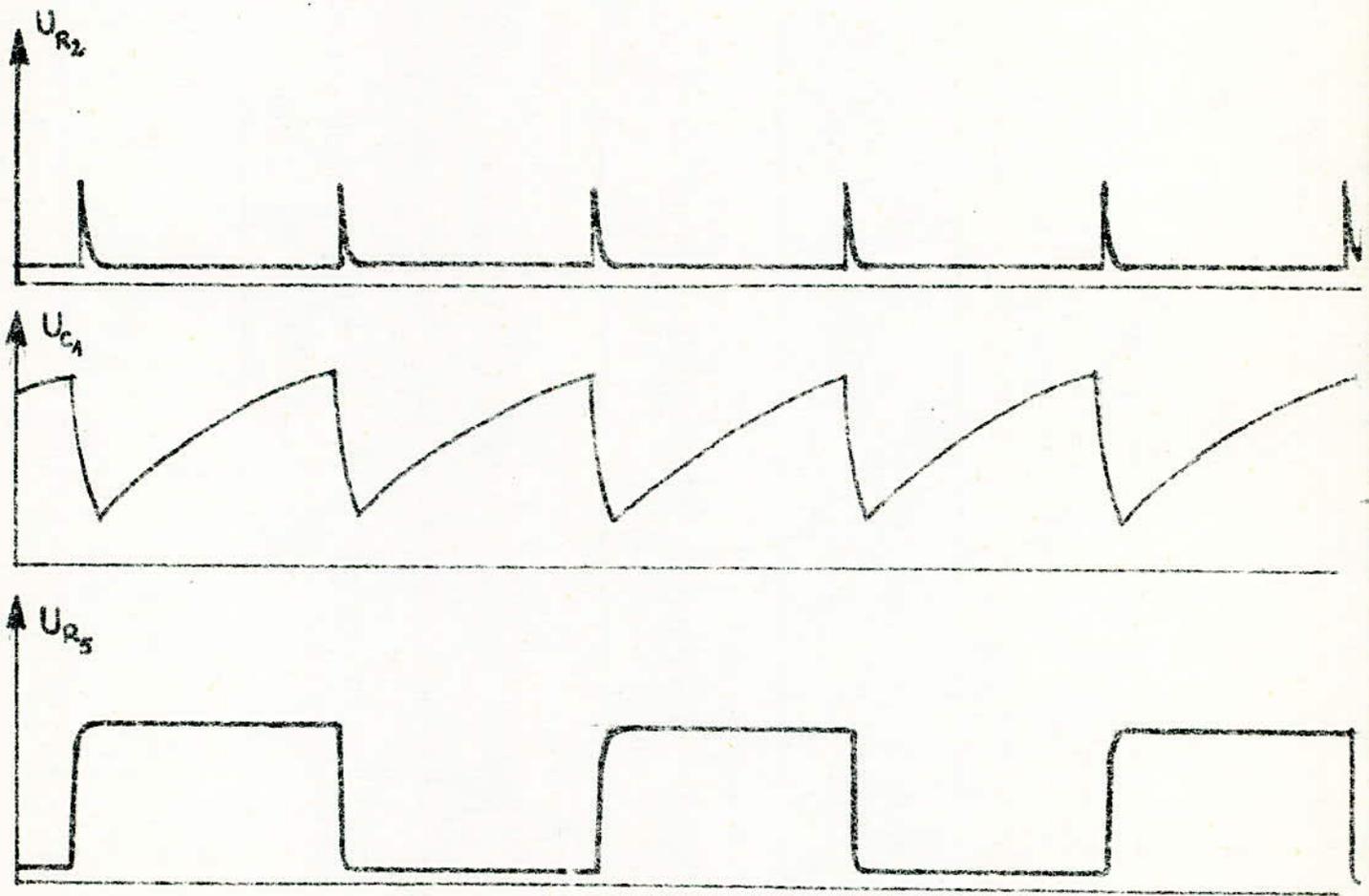
La hauteur du son est déterminée par la totalité des résistances r insérées entre l'émetteur et la ligne positive .

La note la plus grave correspond à la résistance totale la plus élevée et la note la plus aigue, à la résistance totale la plus réduite , ce qui est le cas de r_1 seule , position obtenue lorsque le contact I_1 est fermé .

Le calcul des résistances r s'effectue à l'aide de la formule approximative : $f = 1 / r C$



Générateur complet .



Prenons, à titre d'exemple, le générateur n° 2 et calculons ses résistances d'accord.

Les fréquences délivrées par ce générateur doivent être égales à : 493,9 Hz, 233 Hz, et 220 Hz.

La formule précédente nous donne :

$$r_1 = 1 / f_1 C_1 = 4,54 \cdot 10^7 / 493,9 = 92 \text{ K}\Omega$$

$$(r_1 + r_2) = 1 / f_2 C_1 = 4,54 \cdot 10^7 / 233 = 195 \text{ K}\Omega$$

D'où

$$r_2 = 195 - 92 = 103 \text{ K}\Omega$$

$$(r_1 + r_2 + r_3) = 1 / f_3 C_1 = 4,54 \cdot 10^7 / 220 = 207 \text{ K}\Omega$$

D'où

$$r_3 = 207 - 195 = 12 \text{ K}\Omega$$

Le tableau complet des résistances r des 8 générateurs est donné à la figure 3bis.

2 / Etude de la bascule :

Le rôle de la bascule est de fournir des signaux de fréquence $f/2$ qui permettront de synthétiser conjointement avec le mélangeur des signaux de forme variable.

- Calcul de la bascule :

On choisit $I_{cs} = 10 \text{ mA}$

D'après $20 I_{comax} < I_{cs} < I_{cad}$.

Les formules de la bascule nous donnent :

$$R_5 = V_{cc} / I_{cs} = 12 / 10^{-2} = 1,2 \text{ k}\Omega$$

On choisira $R_5 = 1 \text{ K}\Omega$

La tension de polarisation de base est donnée par

$$V_{BB} = 0,1 V_{cc} = 1,2 \text{ V}$$

La résistance d'émetteur des transistors est égale à :

	NOTE	FREQ. Hz	RES. TOT. R_i	R_i		NOTE	FREQ. Hz	RES. TOT. R_i	R_i
G ₃	IA ₃	880	51,5		G ₁	SOL ₃ *	830	54,5	
	SOL ₂ *	415	109,5	58		SOL ₃	783,8	58	3,5
	SOL ₂	392	116	6,5		FA ₂ *	370	122,5	64,5
	FA ₁ *	185	245,5	129,5		FA ₂	349	130	7,5
	FA ₁	174,5	260	14,5		MI ₁	164,8	275,5	145,5
G ₇	FA ₃ *	739,5	61,5		G ₅	MI ₃	659,2	69	
	FA ₃	698,5	63,75	2,25		RE ₂ *	311	146	77
	MI ₂	329,5	137,75	74		RE ₂	299,5	151,5	5,5
	RE ₁ *	155,5	292,25	154,5		DO ₁ *	138,5	327,5	176
	RE ₁	146,8	310,25	18		DO ₁	130,5	347,5	20
G ₈	RE ₃ *	621,5	73		G ₆	DO ₃ *	554	82	
	RE ₃	587	77,5	4,5		DO ₃	523,3	86,5	4,5
	DO ₂ *	277	164	86,5		SI ₁	247	184	97,5
	DO ₂	261,5	173,5	9,5					
G ₂	SI ₂	494	92		G ₄	IA ₂ *	466	97,5	
	IA ₁ *	233	195	103		IA ₂	440	103	5,5
	IA ₁	220	207	12		SOL ₁ *	207,5	219	116
					SOL ₁	196	231,5	12,5	

fig. 3bis : Tableau des résistances d'accord .

$$R_E = V_{BB} / I_E \approx V_{BB} / I_{cs}$$

$$= 1,2 / 10^{-2} = 120 \Omega$$

Etant donné les faibles fréquences de fonctionnement, on prendra $C_2 = 10 \text{ nF}$.

La résistance R_3 est déterminée par la formule :

$$R_3 \leq 0,8 V_{BB} / I_{comax}$$

Pour I_{comax} on prend le cas le plus défavorable possible .

$$I_{comax} = 10 \mu \text{ A} , \text{ ce qui nous donne :}$$

$$R_3 \leq (0,8 \times 1,2) / 10^{-5} = 96 \text{ K}\Omega$$

On a choisi $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$

R_4 , déterminée à partir des conditions de saturation, est donnée par la formule :

$$R_4 \leq R_5 \left(\beta_{min} / \left(N + \beta_{min} \cdot \frac{V_{BB} \cdot R_5}{V_{cc} \cdot R_3} \right) - 1 \right)$$

Le coefficient de saturation N est pris égal à 1,5

Ce qui nous donne : (avec $\beta_{min} = 50$)

$$R_4 \leq 1,2 \cdot 10^3 (50 / (1,5 + 50 \cdot 0,10,12) - 1)$$

$$R_4 \leq 1,2 \cdot 10^3 (22,8) = 27,5 \text{ K}\Omega$$

On a pris $R_4 = 10 \text{ K}\Omega$

Les éléments de la bascule sont ainsi tous déterminés.

- Attaque de la bascule : On remarque que la résistance $R_E = 120 \Omega$ est sensiblement égale à la résistance R_1 de l'oscillateur à U.J.T . Au lieu de prévoir une attaque classique par les bases ,qui nécessite deux capacités supplémentaires ,et dont la valeur est toujours délicate à

déterminer, on préfère attaquer par les emetteurs en reliant ceux-ci directement à la base B1 du transistor U.J.T .

La résistance R_1 joue le rôle de R_E .

-Remarque : Il est entendu que le calcul de la bascule a été fait en prenant en considération les paramètres les plus défavorables afin de réunir toutes les conditions de fonctionnement . Les valeurs choisies ont été optimisées lors des essais pratiques .

-III-
P R E F I L T R A G E
E T
M E L A N G E

I / PREFILTRAGE :

Les signaux fournis par les générateurs sont :

- Des impulsions de fréquence f
- Des créneaux de fréquence $f/2$
- Des dents de scie de fréquence f

Les deux premiers signaux sont délivrés avec une bonne amplitude et sous une impédance de sortie convenable . Ceci n'est pas le cas du signal dent de scie qui est très sensible au ronflement et qui doit être prélevé sous très grande impédance.

Pour cette raison, nous avons préféré régénérer le signal dent de scie à partir du signal en impulsion plutôt que d'utiliser celui existant.

Nous avons, pour cela, utilisé un filtre passe-bas à cellule RC suivi d'un étage amplificateur classique (utilisant un transistor en émetteur commun) afin de compenser l'atténuation introduite par le filtrage.

On obtient en sortie des dents de scie semblables à celles de l'U.J.T et de même fréquence.

Le montage du préfiltre est donné par le schéma de la fig. 4 a.

Détermination des valeurs des composants :

a) Choix de la valeur de R_6 :

Nous devons avoir :

- $R_6 \gg R_2 = 89$ ohms, pour éviter l'interaction entre les 8 différents générateurs.

- Par ailleurs, R_6 doit être de faible valeur pour

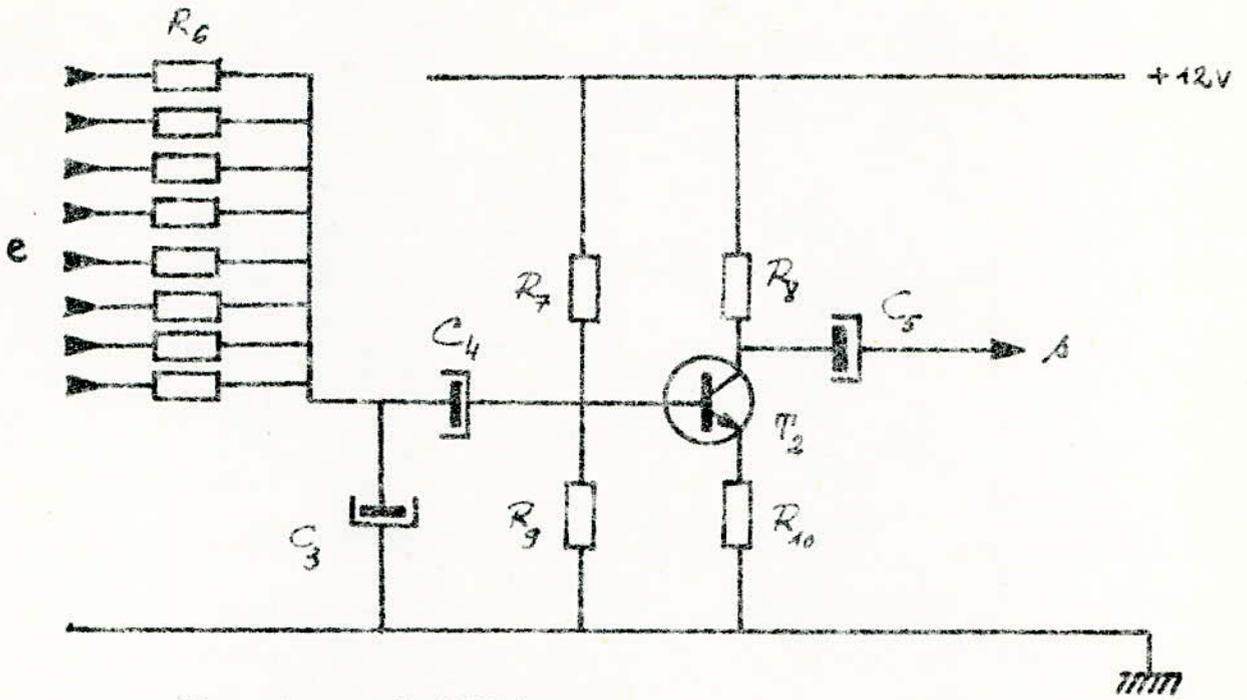


fig. 4a : Préfiltreur .

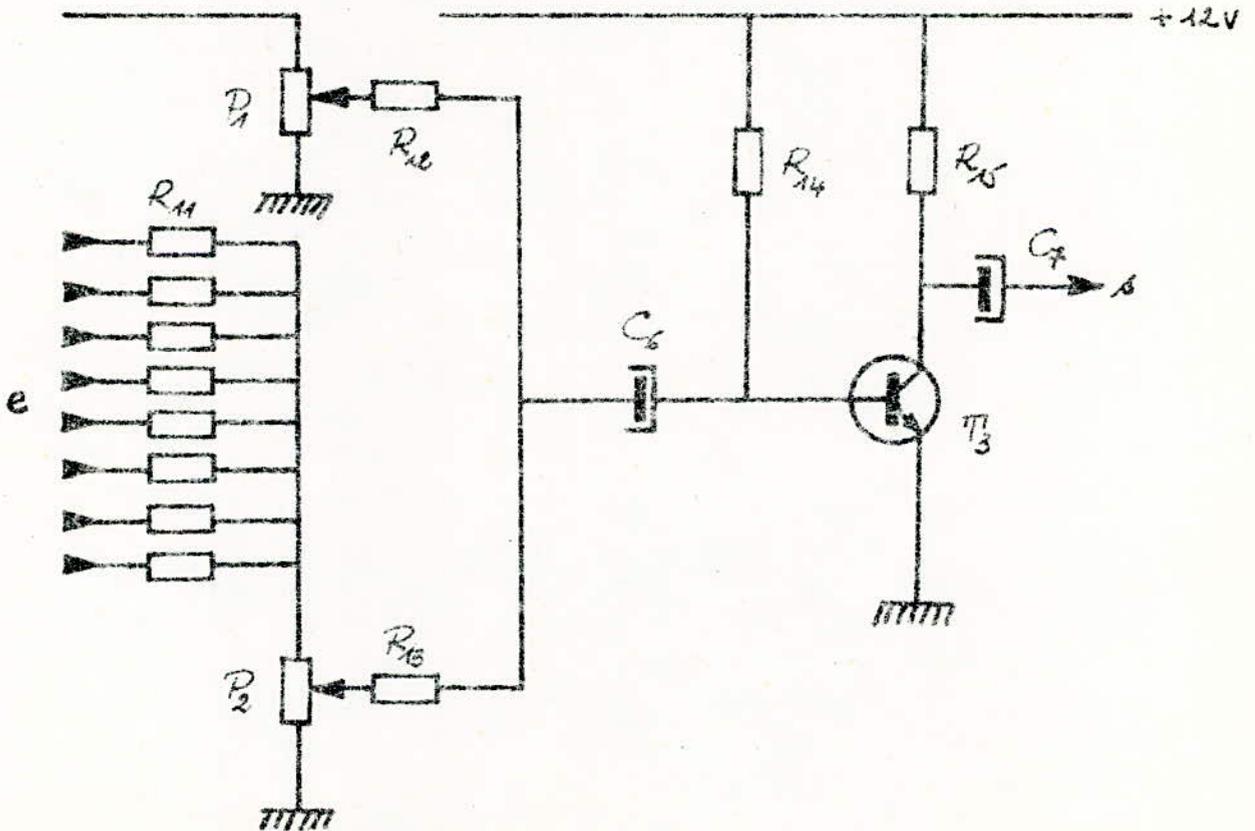


fig. 4b : Mélangeur .

avoir un signal de bonne amplitude .

Ces deux conditions nous ont amené, après de différents essais pratiques , à retenir la valeur $R_6 = 470$ ohms, ceci constitue en effet un bon compromis .

b) Choix de la valeur de C_3 :

La plage de fonctionnement de notre appareil s'étend de 128 Hz à 880 Hz .

Pour obtenir un bon filtrage , la fréquence de coupure f_c doit être inférieure à 128 Hz .

On prend $f_c = 50$ Hz

Ceci nous donne $R_6 C_3 = 1 / 2 \pi f_c = 3,2$ ms

D'où $C_3 = 3,2 \cdot 10^{-3} / 470 = 6,8 \mu F$.

On choisit

$$\underline{C_3 = 10 \mu F.}$$

c) Calcul de l'étage amplificateur :

Puisque $V_{cc} = 12$ V, on choisit $V_{ce} = 6$ V .

Le point de repos est :

$$- V_{ce} = 6 \text{ V}$$

$$- I_c = 1 \text{ mA}$$

$$\text{On a } V_{cc} = (R_8 + R_{10}) I_c + V_{ce}$$

$$\text{Ce qui donne } R_8 + R_{10} \equiv (V_{cc} - V_{ce}) / I_c$$

$$= 6 / 10^{-3} = 6 \text{ K}\Omega$$

On choisit

$$\underline{R_{10} = 150 \Omega}$$

$$\text{D'où } R_8 = 6 - 0,15 = \underline{5,85 \text{ K}\Omega}$$

Les caractéristiques du transistor nous donnent :

$$I_b = 8 \mu A$$

On prend $I_p = 20 \mu A$

$$\text{Comme } V_{cc} = (R_7 + R_9) I_p$$

$$\text{Nous avons } R_7 + R_9 = V_{cc} / I_p = 12 / 20 \cdot 10^{-6} = \underline{600 \text{ K}\Omega}$$

$$R_9 = V_{BM} / I_p = (V_{be} + R_e I_c) / I_{P3} =$$

$$= \frac{0,7 + (150 \times 10^{-3})}{20 \cdot 10^{-6}} = 42,5 \text{ K}\Omega$$

$$R_7 = 600 \text{ K} - 42,5 \text{ K} = 557,5 \text{ K}\Omega$$

$$C_4 = C_5 = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

Pour conclure, le préfiltreur a deux rôles :

- Collecter et amplifier les impulsions provenant des générateurs.

- Transformer les impulsions en dents de scie. (le filtrage étant commutable, on peut obtenir au choix soit des impulsions, soit des dents de scie).

II/ MELANGE :

Les signaux disponibles sont maintenant :

- Un signal carré.

- Un deuxième signal qui peut être soit impulsionnel, soit en dents de scie. Il permet de doser à volonté leurs proportions et d'obtenir un signal résultant de forme très variée.

Le schéma du circuit mélangeur est donné à la fig 4b.

Les signaux carrés sont collectés par l'intermédiaire des résistances R_{11} ; nous avons pris $R_{11} = 1 \text{ M}\Omega$, ceci pour empêcher l'interaction entre les bascules, et assurer un mélange correct des signaux carrés.

Ces derniers sont ensuite dosés par l'intermédiaire du potentiomètre $P_2 = 470 \text{ K}\Omega$ avant d'être associés au signal de sortie du préfiltreur lui même dosé par un potentiomètre P_1 de $470 \text{ K}\Omega$.

Les signaux issus de P_1 et P_2 sont envoyés à l'étage amplificateur (transistor T_3), par l'intermédiaire des résistances R_{12} et R_{13} ayant chacune pour valeur $22 \text{ K}\Omega$.

Calcul de l'étage amplificateur :

Cet étage utilise le transistor T_3 monté en émetteur commun. La polarisation se fait par la résistance de base R_{14}

Le point de fonctionnement a été choisi à : $V_{ce} = 6v$

$$I_c = 4 \text{ mA}$$

Le transistor T_3 (tout comme T_2) est du type 2N 2222.
($\beta = 120$).

$$V_{cc} = 12 \text{ V .}$$

Nous avons : $V_{cc} = R_{14} \cdot I_b + V_{be}$

d'où :

$$R_{14} = (V_{cc} - V_{be}) / I_b$$

$$I_b = I_c / \beta = 4 \cdot 10^{-3} / 120 = 33 \mu A$$

Ceci nous donne : $R_{14} = (12 - 0,7) / 33 \cdot 10^{-6}$

$$\underline{R_{14} = 342 \text{ K}\Omega .}$$

La résistance R_{15} est donnée par :

$$R_{15} = (V_{cc} - V_{ce}) / I_c$$

$$= (12 - 6) / 4 \cdot 10^{-3} .$$

$$\underline{R_{15} = 1,5 \text{ K}\Omega .}$$

$$\underline{C_6 = C_7 = 10 \mu F .}$$

La figure 5. donne certaine formes de signaux qu'on peut obtenir à la sortie du mélangeur.

Ce montage préfiltreur-mélangeur est original ; il présente des possibilités intéressantes sur plusieurs points.

En effet, par rapport au système employé traditionnellement sur les orgues (même les plus perfectionnés), qui utilise un seul type de signal associé à des filtres

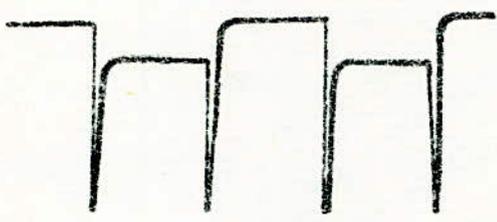
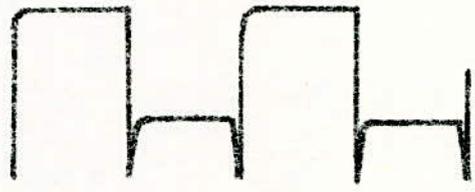
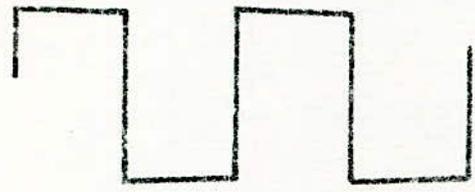
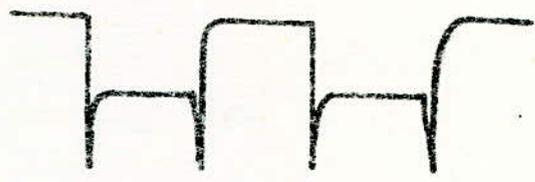
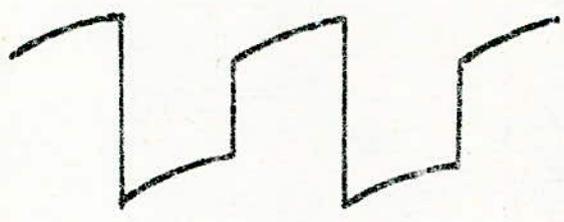


fig. 5



plus ou moins compliqués, ce système présente de multiples avantages :

- Celui de fournir un signal plus riche en harmoniques.

- Le signal a la même forme et la même amplitude sur toute la gamme de fonctionnement, ce qui n'est pas le cas avec les dispositifs à filtres.

- Celui de pouvoir procurer une transposition d'une octave.

- IV -
DISPOSITIFS
DE
MODULATION

GENERALITES :

D'une manière générale, deux types de modulation sont possibles :

- Modulation en amplitude.
- Modulation en fréquence.

Les musiciens les désignent plus fréquemment sous le nom de vibrato .

Dans tous les instruments traditionnels, l'instrumentiste a toujours la possibilité de faire varier à son gré en fonction du temps la fréquence ou l'intensité délivrée par son instrument, et ce, en agissant directement sur celui-ci.

Un violoniste peut, par exemple, en actionnant plus ou moins fort son archet, faire varier l'intensité sonore à son gré. De même, s'il déplace son doigt sur la corde autour d'une position d'équilibre, il obtiendra un effet de modulation en fréquence, effet très apprécié des auditeurs sentimentaux.

De nombreuses méthodes sont utilisées pour créer électroniquement l'effet de vibrato. La plupart utilisent des oscillateurs TBF à circuits RC.

Pour notre part, nous avons préféré utiliser des dispositifs à photodiode originaux et tout à fait inédits qui sont spécialement adaptés aux générateurs qu'on a utilisés.

Nous avons retenu trois types de modulations :

- Une modulation en amplitude.
- Une modulation en fréquence.
- Une modulation en fréquence à grand indice de modulation.

I/ VIBRATO EN AMPLITUDE :

Le but du montage est d'effectuer une modulation à très basse fréquence de l'amplitude du signal provenant de l'étage mélangeur.

Nous utilisons à cet effet un dispositif photo-électrique éclairé à intervalles réguliers par une lampe actionnée par un multivibrateur du type astable.

Le schéma du montage est donné à la fig.6 .

a/ Fonctionnement :

La partie active est constituée par le multivibrateur. La lampe L_A est insérée directement dans le circuit de collecteur du transistor T_5 . Elle s'éclaire à la saturation de celui-ci, et s'éteint à son blocage.

En régime permanent, la lampe clignote avec une fréquence rendue réglable par le potentiomètre P_3 .

Nous avons utilisé comme lampe un modèle à incandescence, qui convient très bien à cet effet.

En effet, bien que le multivibrateur fonctionne en signaux rectangulaires, le flux lumineux émis par la lampe est fortement intégré par suite de l'inertie thermique du filament, ce qui empêche l'infiltration d'harmoniques

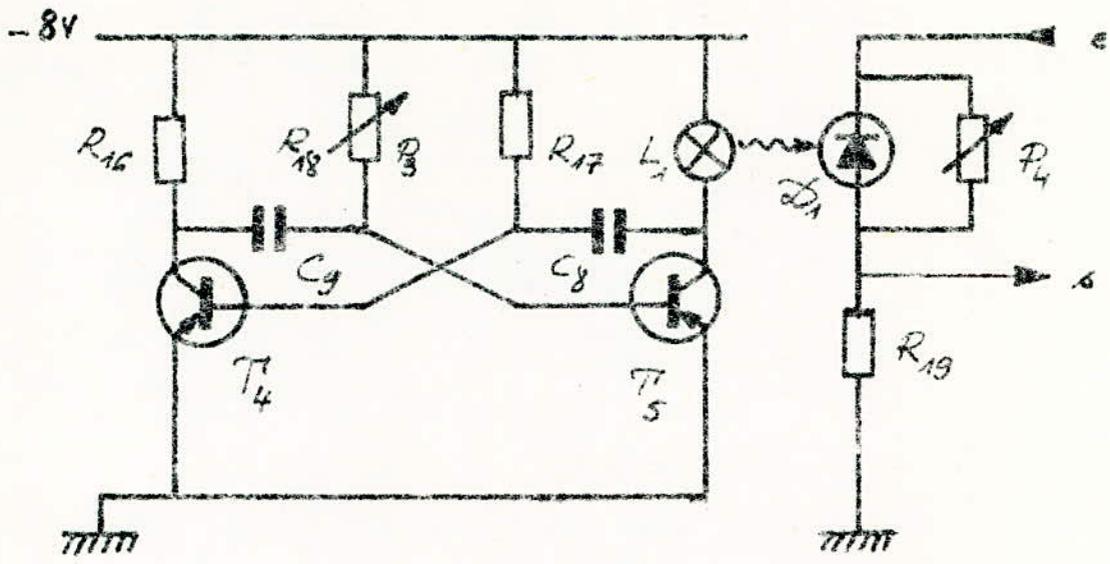


fig. 6 : Vibrato en amplitude .

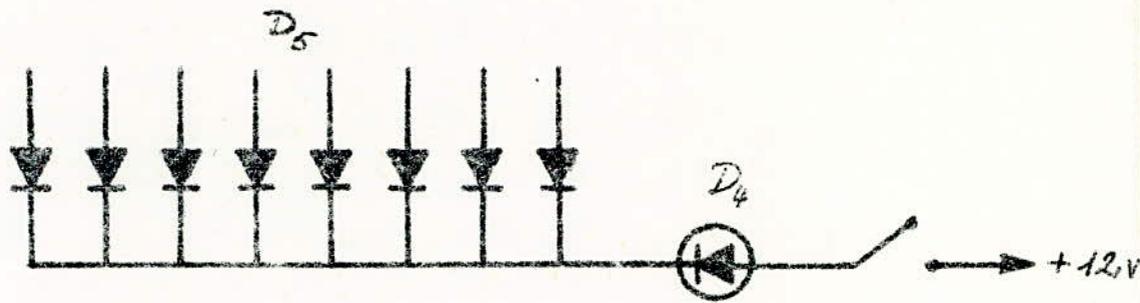


fig. 6a : Effet spécial en fréquence .



Signal modulé en amplitude . fig. 7.

audibles dans le signal à traiter.

Le flux lumineux est en fait pratiquement sinusoïdal.

La deuxième partie du montage est constituée par un pont formé d'un composant photo-électrique et d'une résistance.

N'ayant pas de photorésistance à notre disposition, nous avons expérimenté avec succès une photodiode au Germanium du type 30 F 2 .

R_{19} et D_1 constituent en quelque sorte un pont variable en fonction du flux lumineux qui lui est appliqué, et l'amplitude du signal varie au rythme de celui-ci.

b/ Calcul du multivibrateur :

Les transistors utilisés sont du type 2N 1309, c'est des PNP Germanium et leurs caractéristiques sont :

- $P_c \text{ max} = 0,15 \text{ W}$
- $V_c \text{ max} = 30 \text{ V}$
- $\beta_{\text{min}} = 80$

Les caractéristiques de la lampe sont : 9 V et 75 mA

Ceci nous donne :

$$R_{L1} = R_{16} = 9 / 75 \cdot 10^{-3} = 120 \Omega$$

On prend :

$$I_{CS} = V_{CC} / R_{L1} = 8 / 120 = 66,6 \text{ mA}$$

Avec $V_{CC} = 8 \text{ V}$

On a :

$$I_b = (I_{CS} \times N) / \beta$$

Avec $N = 1,5$: coefficient de saturation .

Donc

$$I_b = (66,6 \cdot 10^{-3} \times 1,5) / 100 = 1 \text{ mA}$$

Avec ceci on peut calculer R_{17} et R_{18}

$$R_{17} = R_{18} = V_{CC} / I_b = 8 / 10^{-3} = 8 \text{ K}\Omega$$

Le multivibrateur étant symétrique on notera :

$$R_{I7} = R_{I8} = R_b$$

On a la période T que l'on choisira égale à une seconde ($T=1s$), qui s'exprime de la manière suivante :

$$T = 1,4 R_b C$$

$$\text{D'où } C = T / 1,4 R_b = 1 / 1,4 \times 8.10^3 = 89,2 \mu F.$$

On prendra $C = 100 \mu F$, ce qui nous donne $T = 1,12 s$, ceci correspond à une fréquence $f = 1 / 1,12 = 0,9 Hz$.

Plutôt que de nous limiter à une seule fréquence de fonctionnement, nous avons préféré la rendre variable en remplaçant R_{18} par un potentiomètre que l'utilisateur peut ajuster à son gré.

Le rapport cyclique se trouve évidemment modifié mais ceci n'est nullement gênant. Bien au contraire, vu l'inertie thermique de la lampe, il faut si l'on désire un fonctionnement correct, actionner celle-ci par des signaux d'autant plus brefs que la fréquence est élevée.

D'autre part, pour avoir une bonne plage de variation de la fréquence, il a fallu modifier la valeur de la capacité C_8 .

Des essais expérimentaux ont amené à choisir :

$$C_8 = C_9 / 2 = 50 \mu F.$$

Pour R_{18} , on a adopté le potentiomètre P_3 d'une valeur de $10 K\Omega$ en série avec une résistance de protection de 100Ω .

c/ Pont diviseur variable :

La résistance R_i de la diode en inverse varie dans de grandes proportions suivant son éclairement.

- $R_i > 1 M\Omega$ dans l'obscurité
- $R_i < 1 K\Omega$ à l'éclairement

R_{19} a été déterminée expérimentalement. La valeur de $1 M\Omega$ retenue assure un pourcentage de modulation d'environ 50 %.

Le pourcentage de modulation est rendu variable par

l'intermédiaire du potentiomètre P_4 qui shunte la photodiode et qui réduit donc son action, et l'annule même au besoin.

La forme des signaux est donnée à la fig.7 .

II/ VIBRATO EN FREQUENCE :

Ce montage nous permet d'effectuer une modulation en fréquence en agissant directement sur les générateurs.

a/ Principe :

Il consiste à utiliser la variation de résistance d'une photodiode qui va influencer sur la résistance d'accord d'un générateur et modifiera la fréquence de celui-ci en fonction de l'éclairement.

b/ Fonctionnement :

Le schéma du montage est donné à la fig.8 .

L'éclairement de la photodiode est assuré par un multivibrateur identique à celui de la modulation en amplitude.

Le pont formé des résistances R_{20} et R_{21} sert à déterminer un potentiel inférieur à la tension de pic de l'UJT. De cette manière, l'UJT reste bloqué au repos, et l'effet n'agit que lorsque une touche est actionnée.

Les valeurs R_{20} et R_{21} ont été choisies respectivement de $470\text{ K}\Omega$ et de $100\text{ K}\Omega$, de manière à avoir une tension de 2 volts environ.

Lors de l'éclairage de la photodiode, celle-ci voit sa résistance diminuer, et une partie du courant destiné à charger la capacité C_1 du générateur est dévié par la résistance R_{21} vers la masse. La capacité C_1 se charge donc moins vite, ce qui représente une diminution de la fréquence.

Lorsque la photodiode n'est plus éclairée, la fréquence revient à sa valeur initiale.

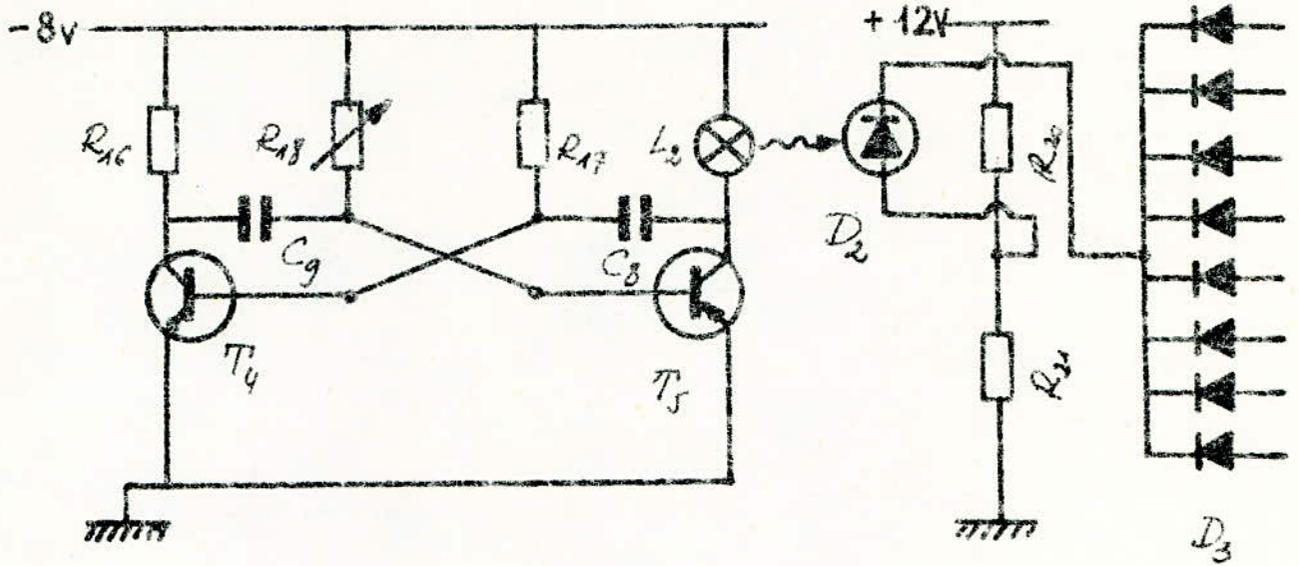


fig. 8 : Vibrato en fréquence .

Les émetteurs des différents UJT sont reliés au montage par l'intermédiaire des 8 diodes au silicium D3 .

Le rôle de ces diodes est d'isoler les différents générateurs entre eux.

III/ EFFET SPECIAL EN FREQUENCE :

(modulation en fréquence à grand indice de modulation)

Ce dispositif tout à fait spécial se traduit par une augmentation importante de la fréquence à des instants réguliers.

Le montage est similaire à celui du vibrato en fréquence, à la différence près que la photodiode est disposée entre l'émetteur de l'UJT et la ligne positive. Dans ces conditions, la fréquence délivrée par les générateurs augmente à l'éclairage de la photodiode D₄ .

Cet effet est actionné par le même multivibrateur que le vibrato en amplitude.

Son schéma est donné à la figure 6a.

Les différents dispositifs de modulation utilisés permettent d'étendre les possibilités acoustiques de l'appareil en donnant une plus grande vérité au son et en créant des effets d'espace, ainsi qu'en variant les ambiances sonores.

- V - F I L T R E P A S S E - B A S

Un filtre électrique est un réseau plus ou moins complexe laissant passer les fréquences utiles et arrêtant les signaux dont la fréquence est indésirable.

Le rôle des filtres passe-bas utilisés en musico-électronique est d'atténuer les harmoniques élevées, ce qui procure un timbre plus doux dépourvu de sonorités stridentes.

Ceci est très intéressant lorsqu'on exécute un fond sonore et permet par ailleurs d'imiter certains instruments.

Le montage utilisé est donné à la figure 9.

Il est composé de deux filtres passe-bas du premier ordre placés en cascade .

Chacun des filtres est précédé d'un étage tampon utilisant un transistor monté en collecteur commun . Les deux filtres sont à fréquences multiples. Le premier comporte deux fréquences de coupure, et le deuxième en comporte quatre .

On peut par action sur deux commutateurs obtenir différentes combinaisons entre les fréquences de coupure.

- Calcul du montage :

Pour les fréquences de coupure nous avons choisi les valeurs suivantes :

- 200 Hz et 500 Hz pour le premier filtre .
- 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz et 2000 Hz pour le deuxième filtre .

La résistance R_{24} a été prise égale à 33 K Ω .

La fréquence de coupure est donnée par la formule :

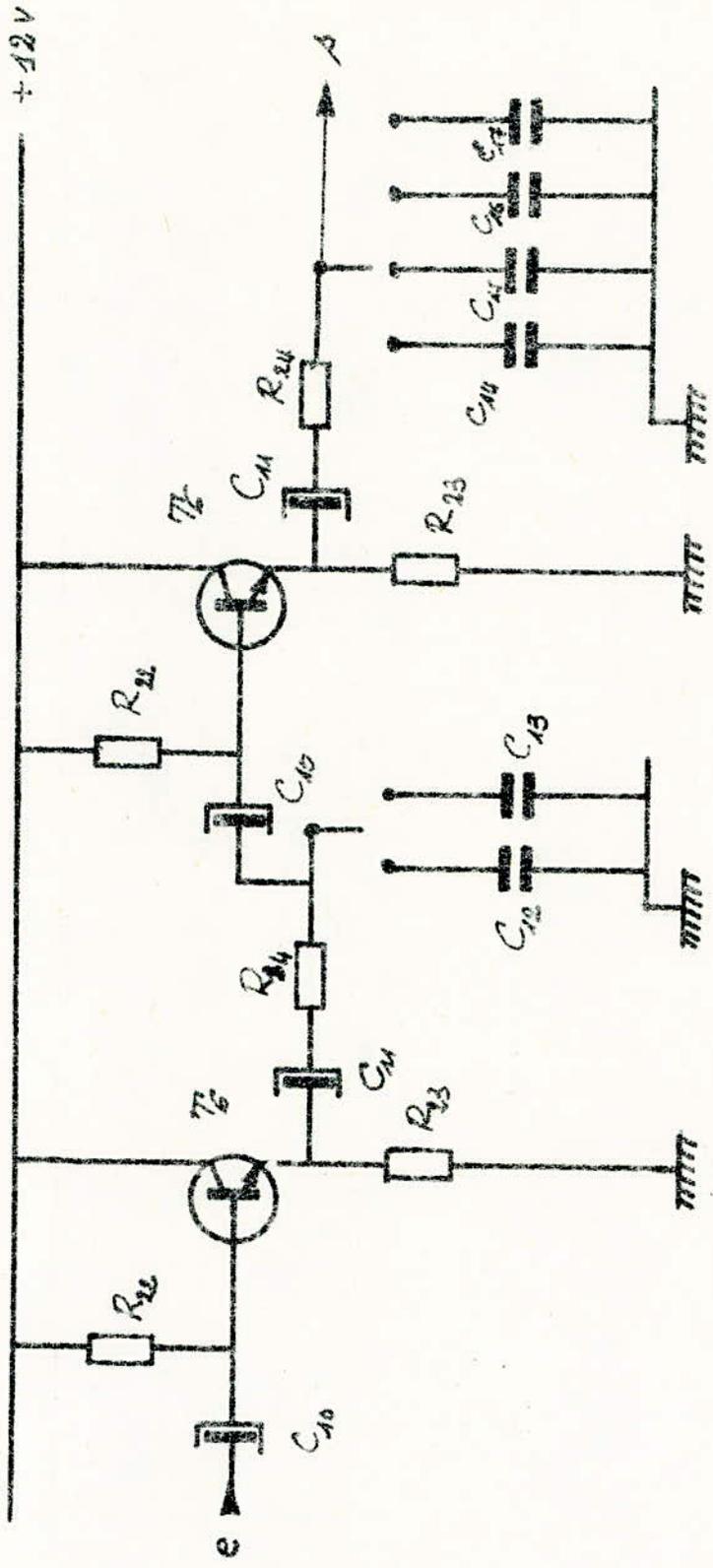


fig. 9 : Filtres passe-bas .

$$f = 1 / 2\pi RC$$

Ce qui nous donne :

$$\begin{aligned} C_{12} = C_{14} &= 1 / 2\pi R_{24} f_c \\ &= 1 / 6,28 \times 33 \cdot 10^3 \times 200 = \\ &= 4,82 \cdot 10^{-6} / 200 = 24,1 \text{ nF} . \end{aligned}$$

$$C_{13} = C_{15} = 4,82 \cdot 10^{-6} / 500 = 9,6 \text{ nF} .$$

$$C_{16} = 4,82 \cdot 10^{-6} / 1000 = 4,8 \text{ nF} .$$

$$C_{17} = 4,82 \cdot 10^{-6} / 2000 = 2,4 \text{ nF} .$$

Les valeurs utilisées sont les valeurs normalisées suivantes : 27 nF , 10 nF , 4,7 nF , 2,2 nF .

Ces filtres sont précédés d'étages collecteur commun destinés à effectuer une attaque en tension .

Le point de repos choisi est :

$$- V_{ce} = 6 \text{ V}$$

$$- I_c = 4 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \text{Dans ces conditions } I_b = I_c / \beta &= \\ &= 4 \cdot 10^{-3} / 120 = 33 \text{ } \mu\text{A} \end{aligned}$$

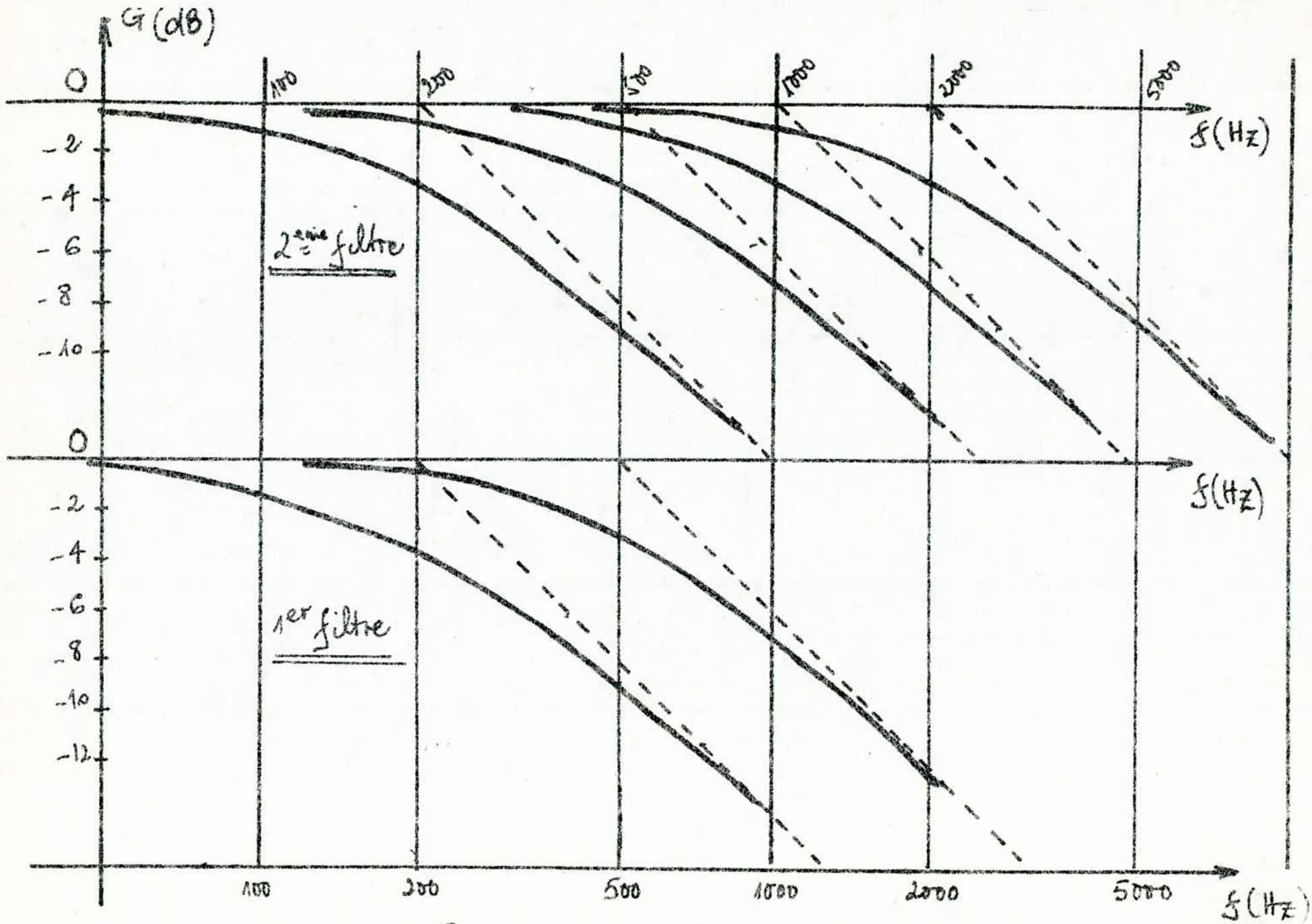
La résistance d'émetteur R_{23} est :

$$\begin{aligned} R_{23} &= (V_{cc} - V_{ce}) / I_c \\ &= (12 - 6) / 4 \cdot 10^{-3} = \underline{1,5 \text{ K}\Omega} \end{aligned}$$

La résistance R_{22} est donnée par :

$$\begin{aligned} R_{22} &= (V_{cc} - V_{bm}) / I_b \\ &= (12 - 6,7) / 33 \cdot 10^{-6} = \underline{160 \text{ K}\Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Avec } V_{bm} &= V_{be} + R_{23} \cdot I_c \\ &= 0,7 + 6 = 6,7 \text{ V} \end{aligned}$$



Courbes de réponse des filtres

Les capacités C_{10} et C_{11} de $50 \mu F$ servent à isoler le circuit des composantes continues .

Remarque : Les deux étages collecteur commun sont strictement identiques .

Les différentes courbes de réponse de ces deux filtres sont données à la figure 10.

En conclusion ,ces filtres s'ajoutent aux différents circuits de traitement ,ceci afin d'augmenter les possibilités de notre appareil .

-VI- E F F E T W A H - W A H

GENERALITES :

Les formations musicales modernes utilisent souvent pour leurs arrangements des effets sonores spéciaux dont le plus connu est l'effet WAH - WAH .

Ce dispositif baptisé ainsi par analogie avec le son qu'il produit, permet de modifier le timbre de l'instrument de façon continue ,et de produire ainsi une variété de sons infinie .

Le principe des montages reproduisant cet effet est très simple .Il consiste en un amplificateur à bande passante volontairement "cassée", par suite d'une contre-réaction sélective dont la fréquence est continuellement variable .

Ceci procure une sonorité très caractéristique et très agréable à l'oreille .

Cet effet est habituellement commandé par une pédale afin de laisser libres les mains de l'instrumentiste.

Le montage utilisé ici est inspiré de celui décrit par K.H.Schubert dans le numéro du 9 / 71 de la revue allemande DAS ELEKTRON .

- Fonctionnement :

le schéma du montage est représenté à la figure 11 .

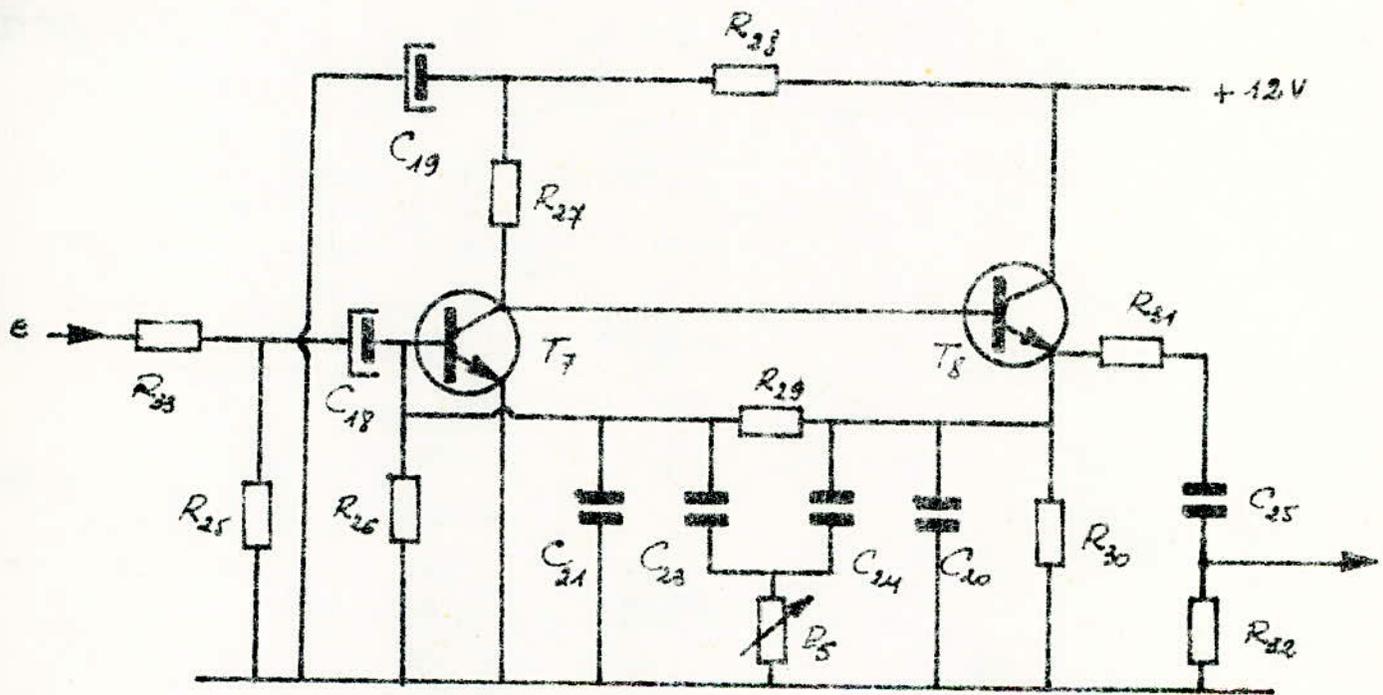


fig. 11 : Filtre passe-bande variable .

Les deux transistors T_7 et T_8 utilisés sont des NPN silicium à grand gain du type BC 109 .

Le transistor T_7 est monté en préamplificateur émetteur commun. Sa base est attaquée par le signal provenant de l'étage précédent (filtres passe-bas) à travers le diviseur de tension $R_{33}-R_{25}$ et le condensateur C_{18} .

La résistance R_{27} placée dans le collecteur de T_7 , sert de résistance de charge .

Le transistor T_8 est monté en collecteur commun , et la résistance de charge R_{30} se trouve insérée dans le circuit d'émetteur .

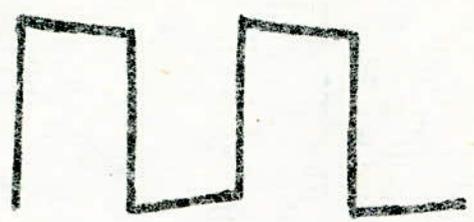
Avec les valeurs choisies , la liaison entre T_7 et T_8 se fait directement .

La polarisation de base de T_7 s'effectue du côté négatif par la résistance R_{26} . Quant à la polarisation du côté positif, elle s'effectue par l'intermédiaire du filtre $C_{20}-C_{21}-R_{29}$ disposé entre la base de T_7 et l'émetteur de T_8 .

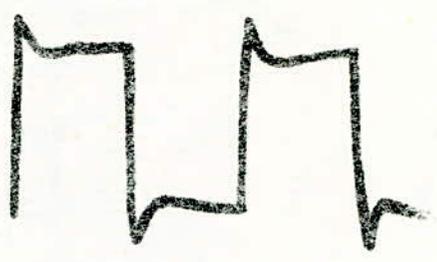
Ce filtre en Π est rendu variable au moyen du potentiomètre P_5 . Il assure une contre-réaction sélective variable . Cette variation continue procure l'effet recherché en modifiant la tonalité d'une manière progressive .

Le signal de sortie est prélevé à travers le pont diviseur $R_{31} - R_{32}$ dans le quel est insérée la capacité C_{25} .

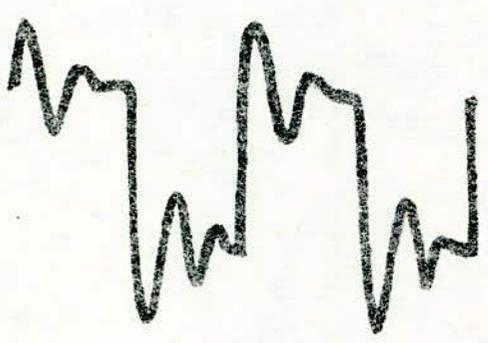
La figure 12. représente l'influence de ce circuit sur la forme du signal .



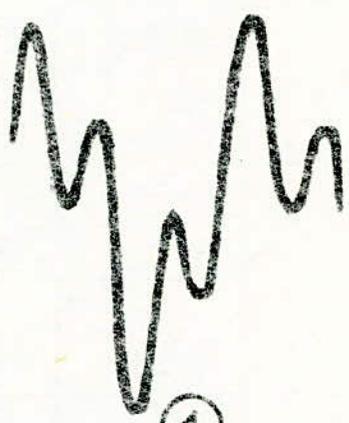
①



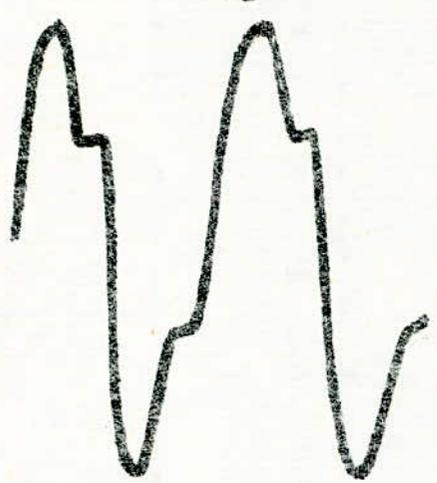
②



③



④



⑤



⑥



⑦

modification progressive
du signal à l'aide du
circuit filtre passe-bande
(effet Wah-Wah).

-VII- A M P L I F I C A T I O N
B A S S E F R E Q U E N C E

C'est dans le souci de rendre l'appareil totalement autonome et prêt à l'utilisation, sans avoir à faire appel à un quelconque dispositif auxiliaire, que nous avons jugé utile de compléter l'appareil par un amplificateur basse fréquence .

L'étude d'un amplificateur étant très délicate, nous avons préféré exploiter un schéma existant que nous avons adapté à notre utilisation .

Cet amplificateur utilise des transistors complémentaires au silicium à base épitaxiale .Ceci est intéressant à plusieurs points de vue :

- Ces transistors constituent en effet un très bon compromis entre les caractéristiques de puissance, de tension et de fréquence .

- Ils permettent une dissipation de puissance élevée, ainsi que des pointes de courant élevées .

- Ils ont un très bon comportement aux fréquences basses .

1/ Fonctionnement :

L'amplificateur comprend :

- Deux étages amplificateurs à grand gain à liaison directe par polarités inversées (transistors N P N et P N P)

- Un étage de puissance à symétrie complémentaire .

L'étage d'entrée à faible bruit N P N (T_{11} = BC 149) est relié directement au driver P N P (T_{12} = BD 136)

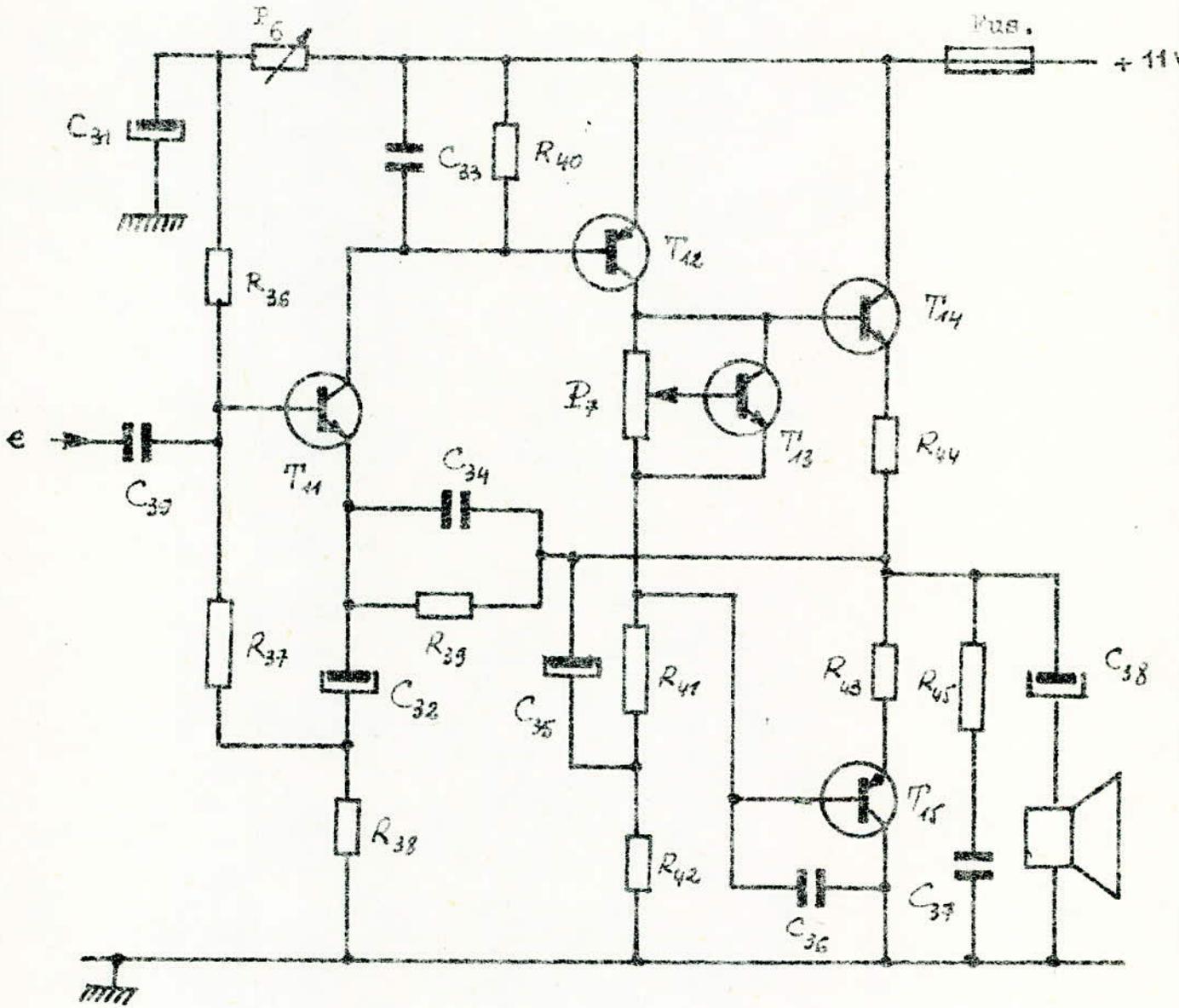


fig. 13 : Amplification basse fréquence .

Le driver permet d'alimenter en phase la paire complémentaire de puissance .

Pour maintenir la tension du point milieu de l'étage de sortie constante, une contre-réaction est réalisée, par l'intermédiaire de C_{34} et R_{39} , en continu et en alternatif entre ce point et l'émetteur de l'étage d'entrée.

Une cellule $R_{38} - C_{32}$ réunit l'émetteur de T_{11} à la masse afin de réduire l'effet de contre-réaction en alternatif .

La résistance ajustable R_{46} sert à régler le courant de repos de l'étage de sortie à 10 mA .

Le transistor T_{13} (BC 148) assure la compensation en température .

Les transistors complémentaires BD 435 - BD 436 de l'étage de puissance sont montés sur des radiateurs d'une surface de 15 cm^2 afin de permettre une bonne dissipation.

Lors de la mise au point, différentes valeurs des composants du circuit ont été modifiées afin d'assurer un fonctionnement correct .

2 / Caractéristiques :

- Tension d'alimentation : 11 V
- Consommation du courant à P_{max} : 500 mA
- Impédance d'entrée : 100 $K\Omega$
- Impédance de sortie : 4 Ω
- Rapport signal/bruit : 60 dB
- Puissance nominale : 5 W
- Réponse en fréquence : 30 Hz - 30 000 Hz

Le schéma de l'amplificateur est donné à la fig. 13.

VIII- A L I M E N T A T I O N

L'ensemble des circuits ayant une consommation non négligeable, une alimentation secteur s'est avérée nécessaire.

Des raisons de stabilité ainsi que le matériel disponible nous ont amené à utiliser trois alimentations différentes.

- La première alimente les circuits de vibrato .
- La deuxième alimente les générateurs et les autres circuits de traitement.
- La troisième est réservée à l'amplificateur B.F .

Deux transformateurs sont utilisés; leurs caractéristiques sont les suivantes :

Transformateur n°1 :

- Tension primaire : 220 V .
- Tensions secondaires : 2 x 20 V_{cr} fournies par deux enroulements indépendants. (2x14 V_{eff})
- Courant moyen au secondaire : 500 mA.x 2 .

Transformateur n°2 :

- Secondaire à point milieu :
- Tension primaire : 220 V .
- Tension secondaire : 2 x 9 V_{eff} .
- Courant moyen au secondaire : 500 mA .

1/ ALIMENTATION DES VIBRATOS :

Les caractéristiques à réaliser sont :

- Débit nominal $i_o = 200\text{mA}$.
- Taux d'ondulation maximal $\alpha = 5\%$
- Tension de sortie $V_s = 8\text{V}$.

Le schéma de cette alimentation est donné à la fig.14.

Le redressement simple alternance est effectué par la diode de puissance D_7 . La capacité de filtrage C_{28} déterminée à l'aide d'une abaque(*) est de $2000\ \mu\text{F}$.

Dans ces conditions, $\alpha = 4,5\%$.

R_c étant la résistance de charge de l'alimentation,

$$R_c = 8\text{V}/0,2\text{A} = 40\ \Omega .$$

$$\omega R_c C = 2 \times 50 \times 40 \times 2 \cdot 10^{-3} . = 25 .$$

Pour cette valeur de $\omega R_c C$, l'abaque de Schade (*) nous donne le rapport V_c / V_t .

$$V_c / V_t = 0,9$$

$$\text{d'où } V_c = 18\text{V}$$

La stabilisation, du type série, est assurée par la diode D_{11} associée au transistor T_{10} .

Le principe de cette régulation utilise la faible résistance de sortie du montage collecteur commun.

Par exemple, si V_c croît, la tension $V_{eb} = V_z - V_s$ décroît, d'où un courant de base plus petit et le transistor devient plus résistant. Cet effet s'oppose à l'augmentation de V_s .

(*) Voir R. BESSON , Technologie des composants électroniques. t.2 .

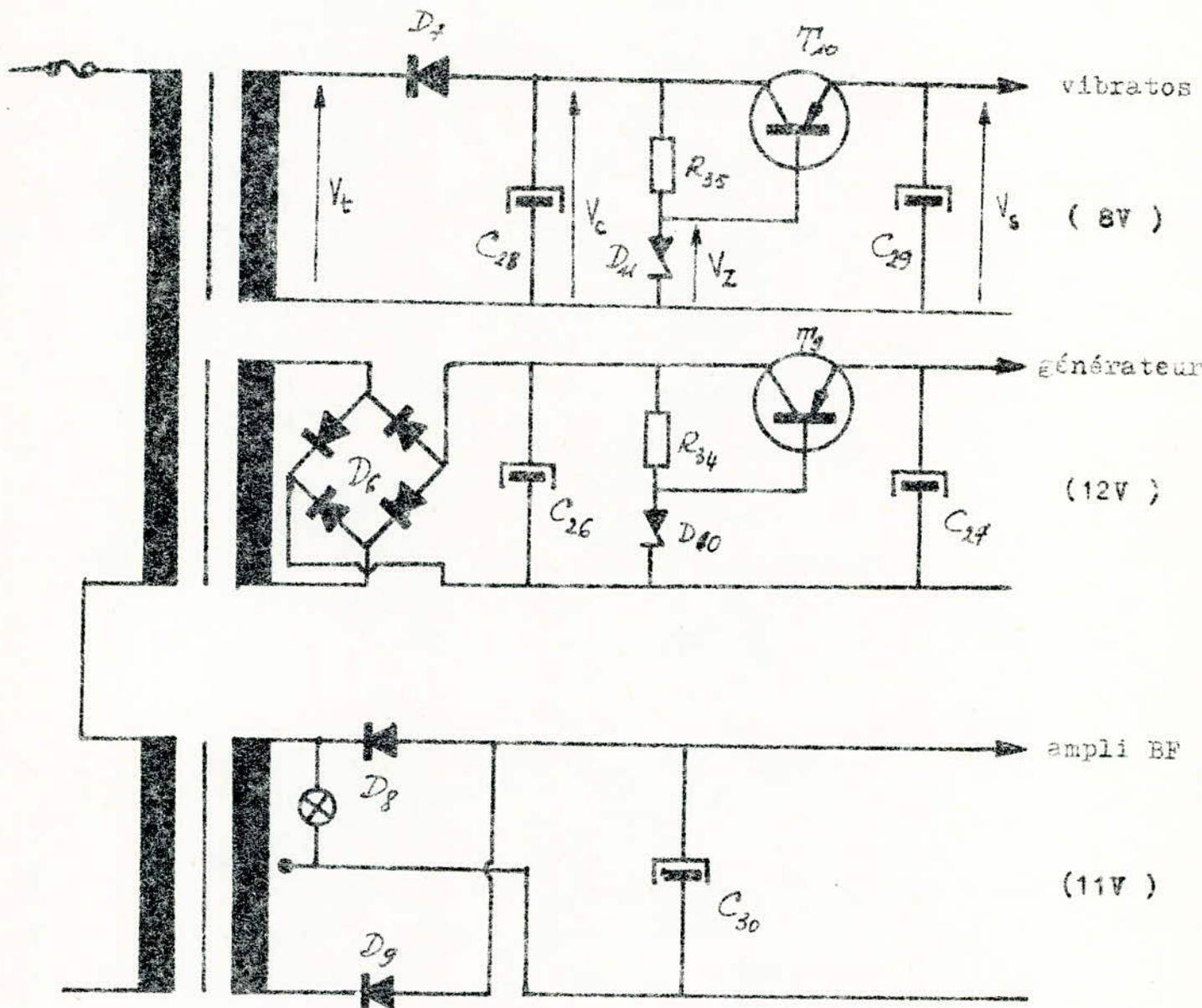


fig. 14,15 et 16 : Alimentation des circuits .

T_{10} est un PNP Germanium de puissance ($P_c = 30W$, $\beta = 50$)
 D_{11} est une zéner du type BZX 8V2, de tension nominale 8,2 et de puissance 0,25 W.

Calcul de R_{35} :

$$i_z > 4 i_b$$

$$i_b = i_c / \beta = 0,2 / 50 = 4 \text{ mA} .$$

On prend : $i_z = 20 \text{ mA} .$

$$P_z = 20 \cdot 10^{-3} \times 8,2 = 164 \text{ mW}$$

$$R_{35} = (V_c - V_z) / i_z = (18 - 8,2) / 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{35} = 490 \Omega$$

Un deuxième filtrage est assuré par la $C_{29} = 1000 \mu F$ ce qui ramène le taux d'ondulation à $\alpha = 3,5 .$

2/ ALIMENTATION DES GENERATEURS :

Les caractéristiques à réaliser sont :

- Débit nominal $i_o = 200 \text{ mA}$
- Taux d'ondulation maximal $\alpha < 2\%$
- Tension de sortie $V_s = 12 \text{ V}$

Le schéma de cette alimentation est donné à la fig.15.
 Le redressement est effectué par le pont de diodes D_6 ,
 et le filtrage par C_{26} .

Pour la valeur $C_{26} = 2200 \mu F$ utilisée, l'abaque donne
 $\alpha = 1,8 \%$

$$R_c = 12 \text{ V} / 0,2 \text{ A} = 60 \Omega$$

$$w R_c C = 2 \times 50 \times 60 \times 2,2 \cdot 10^{-3} = 42$$

L'abaque de Schade nous donne :

$$V_c / V_t = 0,96$$

d'où $V_c = 0,96 \times 20 = 19,2 \text{ V}$

La stabilisation est du même type que celle utilisée précédemment.

$$i_z = > 4 i_b$$

$$i_b = i_c / \beta = i_s / \beta = 0,2 / 50 = 4 \text{ mA}$$

$$R_{34} = (V_c - V_z) / i_z = (19,2 - 12) / 0,02$$

$$R_{34} = 360 \Omega$$

Un deuxième filtrage est réalisé par la capacité C_{27} de valeur 1000 F, ce qui ramène le taux d'ondulation à

$$\alpha = 1,1 \%$$

3/ ALIMENTATION POUR L'AMPLIFICATEUR BF

Le schéma de cette alimentation est donné fig.16 .

Le redressement double alternance est effectué avec seulement deux diodes (D_8 et D_9), le transformateur étant à point milieu.

La capacité C_{30} donne un taux d'ondulation $\alpha = 5\%$ pour une valeur de $2000 \mu\text{F}$.

La tension de crête délivrée par le transformateur est $V_t = 1,41 \times 9 = 12,7 \text{ V}$

Pour $i_o = 500\text{mA}$, consommation maximale de l'ampli, l'abaque nous donne :

$$V_c / V_t = 0,9$$

d'où $V_c = 0,9 \times 12,7 = 11,4 \text{ V}$

Cette alimentation est utilisée sans stabilisation.

R E A L I S A T I O N

- REALISATION DE LA PARTIE ELECTRONIQUE

- A - Générateurs
- B - Circuits de traitement
- C - Alimentation et amplification

- CLAVIER ET CONSOLE

- A - Clavier
- B - Console

- NOTICE D'EMPLOI

- A - Organes de commande et prises
- B - Mode d'utilisation
- C - Entretien
- D - Dépannage

* R E A L I S A T I O N *
* D E L A *
* P A R T I E E L E C T R O N I Q U E *

Tous les circuits de l'appareil ont fait l'objet d'une mise au point expérimentale concernant l'optimisation de leur fonctionnement et des tests de fiabilité ont été effectués sur chacun d'eux.

La réalisation finale a été faite sur circuits imprimés avec sorties sur connecteurs enfichables.

A./ GENERATEURS :

Les huit générateurs ont été regroupés sur un seul circuit imprimé de dimensions 20 x 30 cm, dont toutes les sorties ont été ramenées sur un seul côté afin de simplifier le câblage.

Le circuit imprimé de l'un des générateurs est donné aux fig. 17a et 17b, respectivement côté cuivre et côté composants. Quant à la fig. 18, elle représente le circuit imprimé des huit générateurs.

Les 34 notes du clavier sont accordées par l'intermédiaire de 34 résistances ajustables de 47 K Ω .

Pour plus de commodité, les résistances ont été réunies sur un seul circuit imprimé de 20 x 20cm, situé de manière très accessible, afin de permettre une retouche éventuelle de l'accord de l'instrument.

Les 42 sorties sont reliées aux générateurs d'une part, et aux 34 contacts de touche par l'intermédiaire

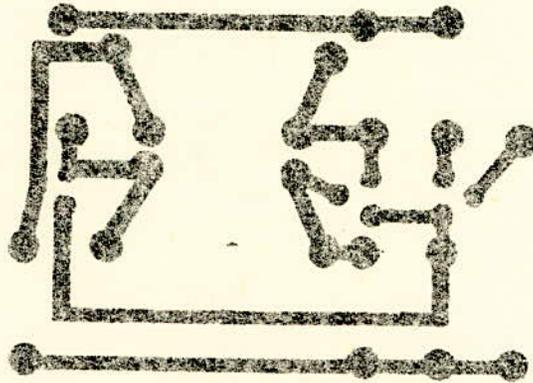


fig. 17a

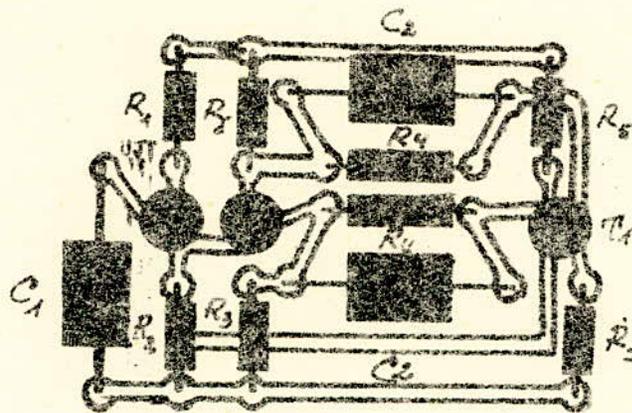
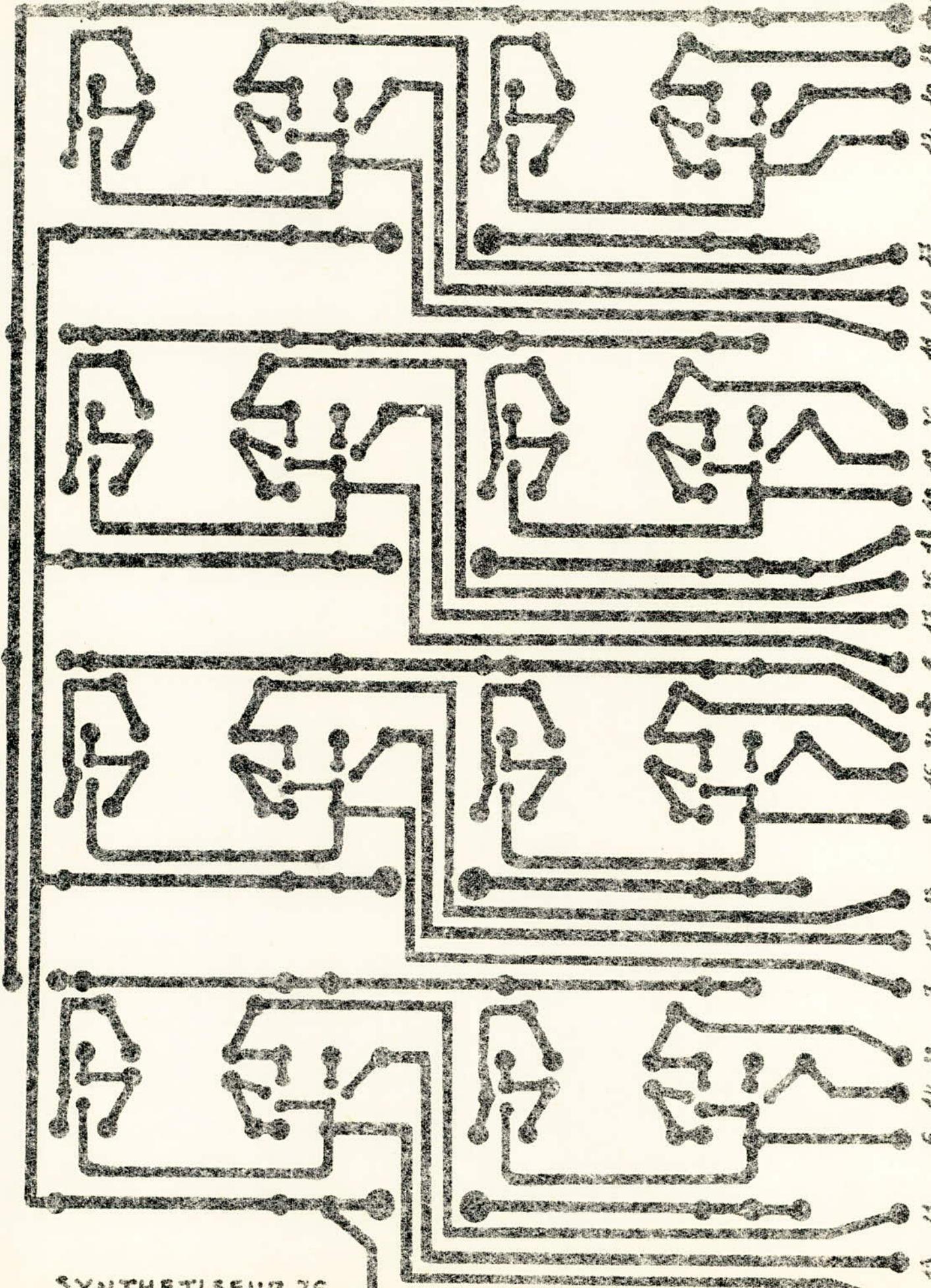


fig. 17b

Nomenclature des éléments :

- U.J.T : 2N 1671 B
- T₁ : BSX 51 A
- R₁ = 470 Ω
- R₂ = 89 Ω
- R₃ = 10 K Ω
- R₄ = 10 K Ω
- R₅ = 1 K Ω
- C₁ = 22 nF
- C₂ = 10 nF



10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

SYNTHETISEUR 76

de cables fins et souples.

Les deux circuits imprimés précédents sont fixés à la face arrière de l'appareil au moyen d'équerres métalliques.

B./ CIRCUITS DE TRAITEMENT

Le circuit préfiltreur-mélangeur a été réalisé sur un circuit imprimé de format 7,5 X 18 cm et comporte deux connecteurs enfichables qui permettent de le relier aux autres circuits et aux potentiomètres de commande.

Il a été installé sur la face arrière, de façon à être le plus près possible des générateurs, vu le nombre important des connexions.

Les autres circuits de traitement qui sont : les vibrato, les filtres, et l'effet Wah-Wah ont été réalisés sur 4 circuits imprimés de format identique (13 X 11) de façon à être rangés dans un casier spécialement conçu à cet effet.

Les photodiodes ont été enfermées dans des boîtes opaques afin de les soustraire des influences extérieures.

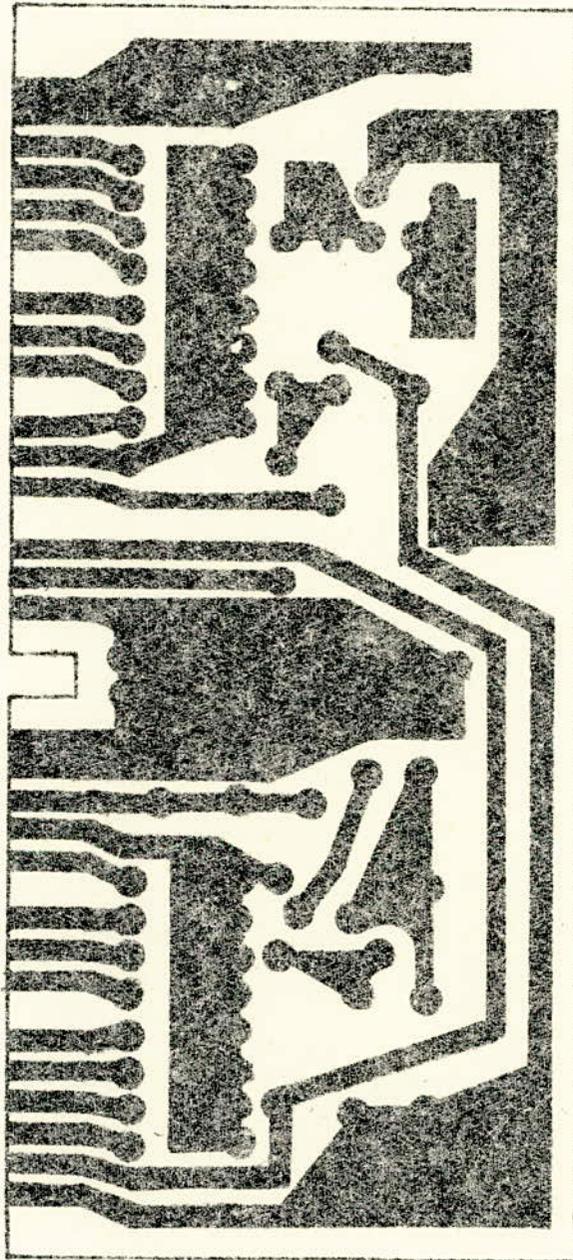
Des commandes au pied ont été prévues pour certains des circuits qu'il est intéressant d'actionner tout en continuant à jouer sur le clavier.

Ces commandes sont au nombre de deux :

- La première consiste en un commutateur double qui permet d'actionner au choix ,soit le vibrato en amplitude soit le vibrato en fréquence à grand indice de modulation.

- La deuxième est une pédale couplée mécaniquement à un potentiomètre qui permet de commander le filtre Wah-Wah .

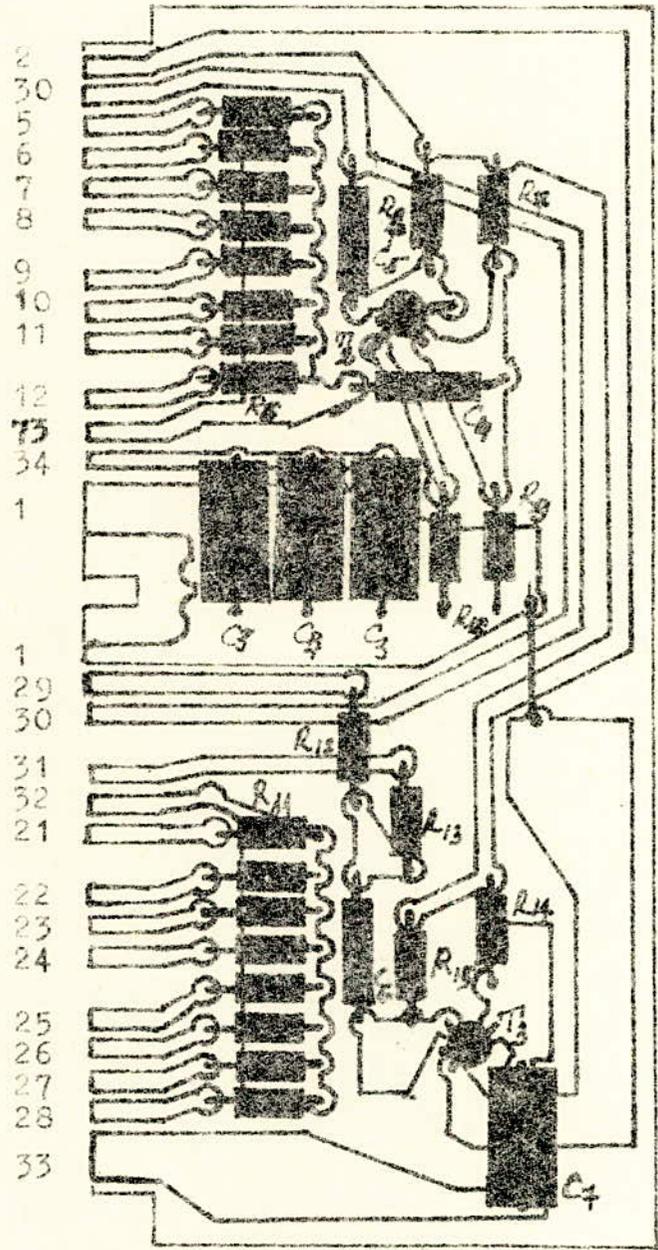
Les schémas des circuits imprimés et la nomenclature des composants utilisés sont donnés dans les pages qui suivent .



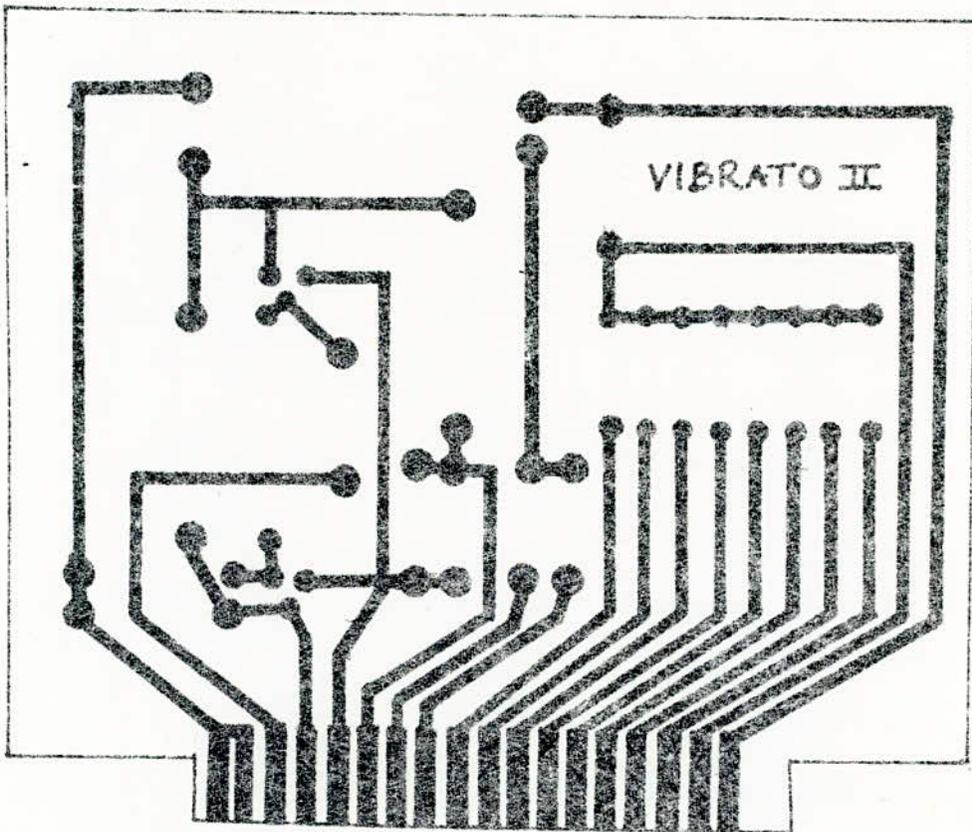
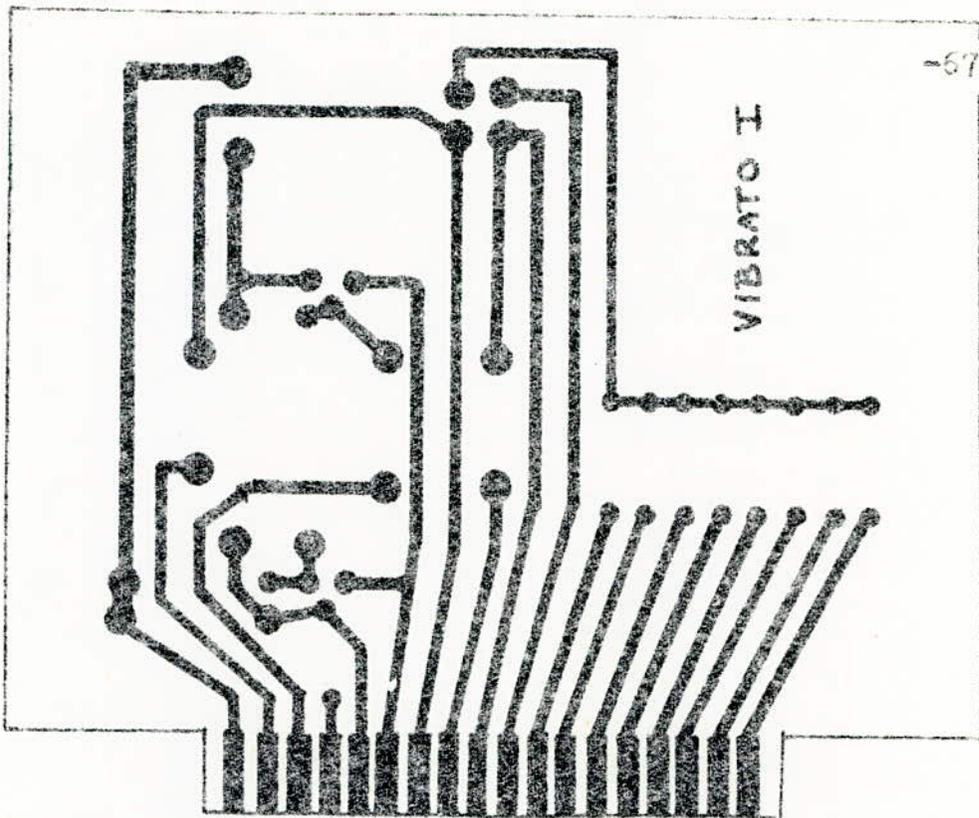
Préfiltreur-mélangeur .

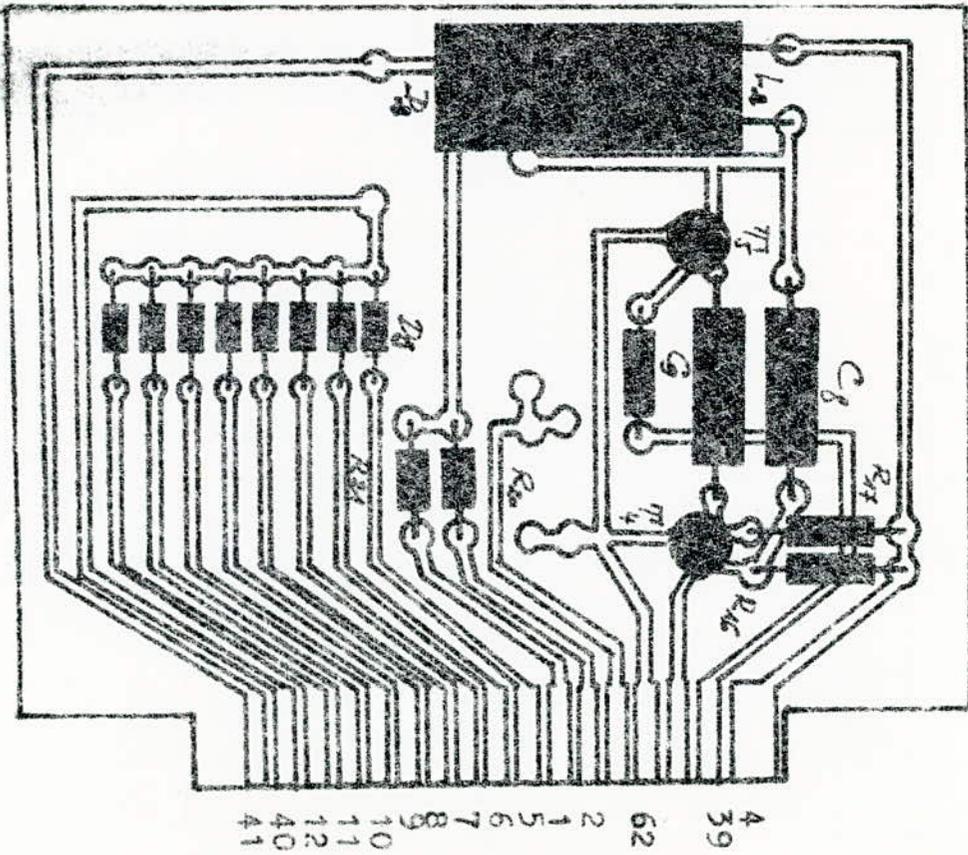
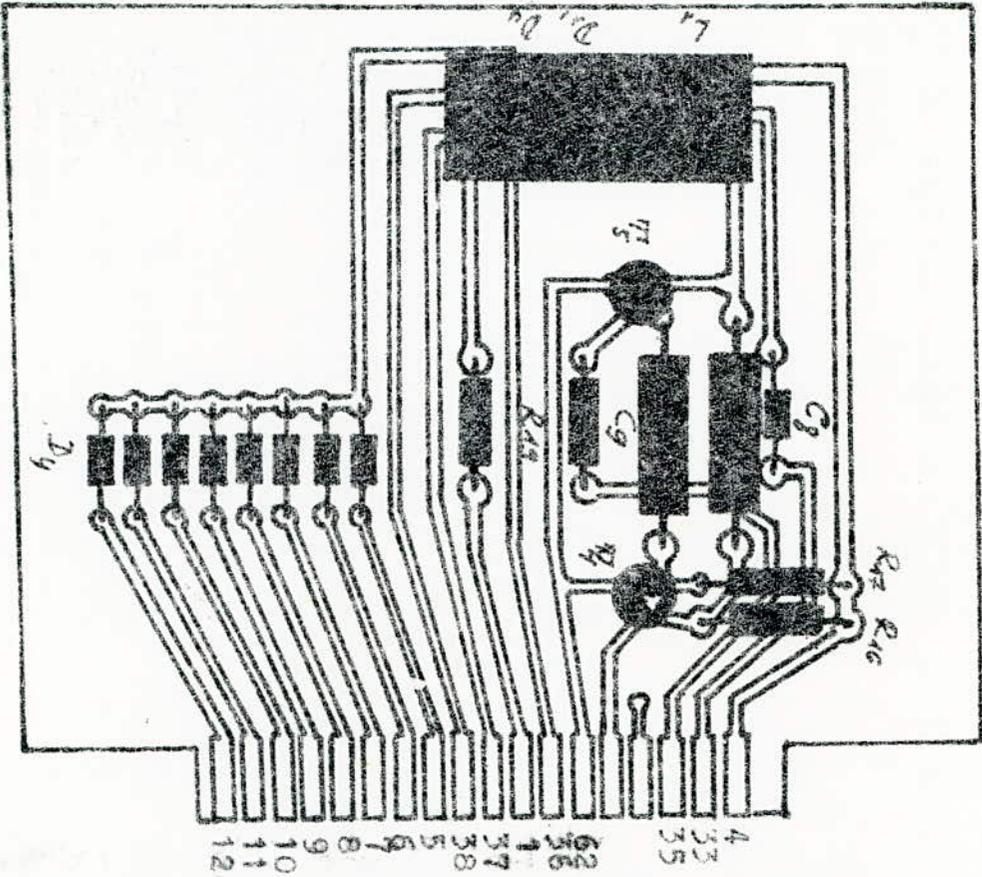
Nomenclature des
éléments :

- $T_1 = T_2 = 2N\ 2222$.
- $R_6 = 470\ \Omega$
- $R_7 = 470\ K\Omega$
- $R_8 = 5,6\ K\Omega$
- $R_9 = 180\ K\Omega$
- $R_{10} = 150\ \Omega$
- $R_{11} = 1\ M\Omega$
- $R_{12} = R_{13} = 22\ K\Omega$
- $R_{14} = 330\ K\Omega$
- $R_{15} = 5,6\ K\Omega$
- $C_5 = 10\ \mu F$
- $C_4 = C_5 = 10\ \mu F$
- $C_6 = C_7 = 10\ \mu F$
- $P_1 = P_2 = 470\ K\Omega$



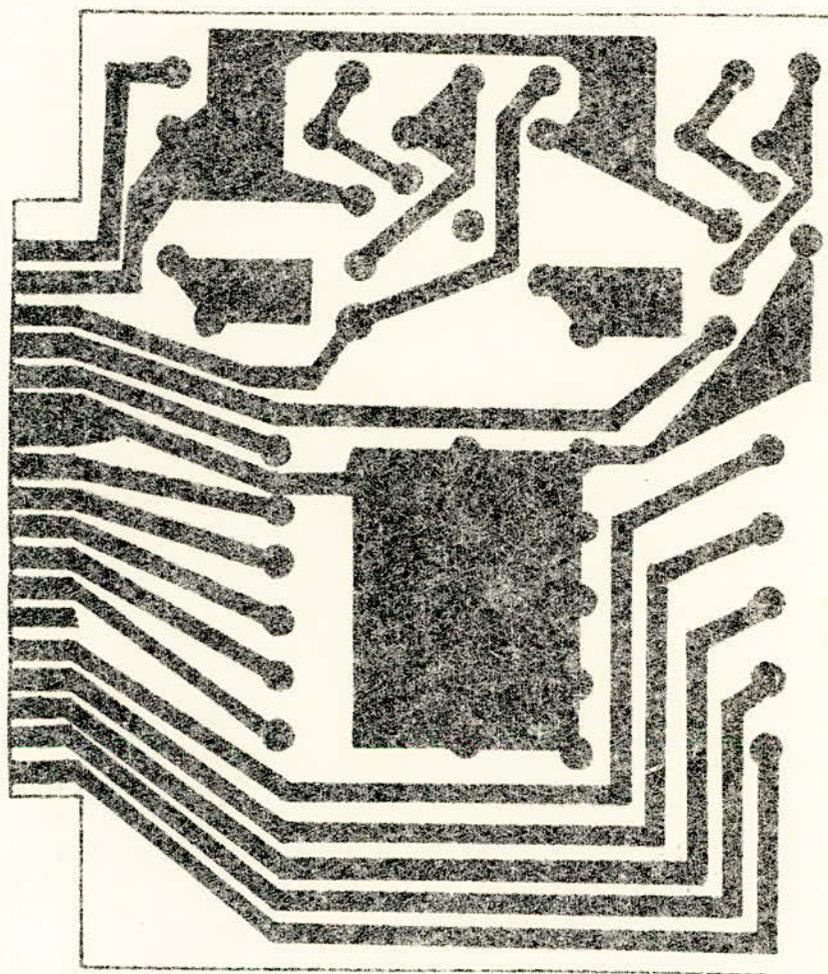
Préfiltreur-mélangeur .





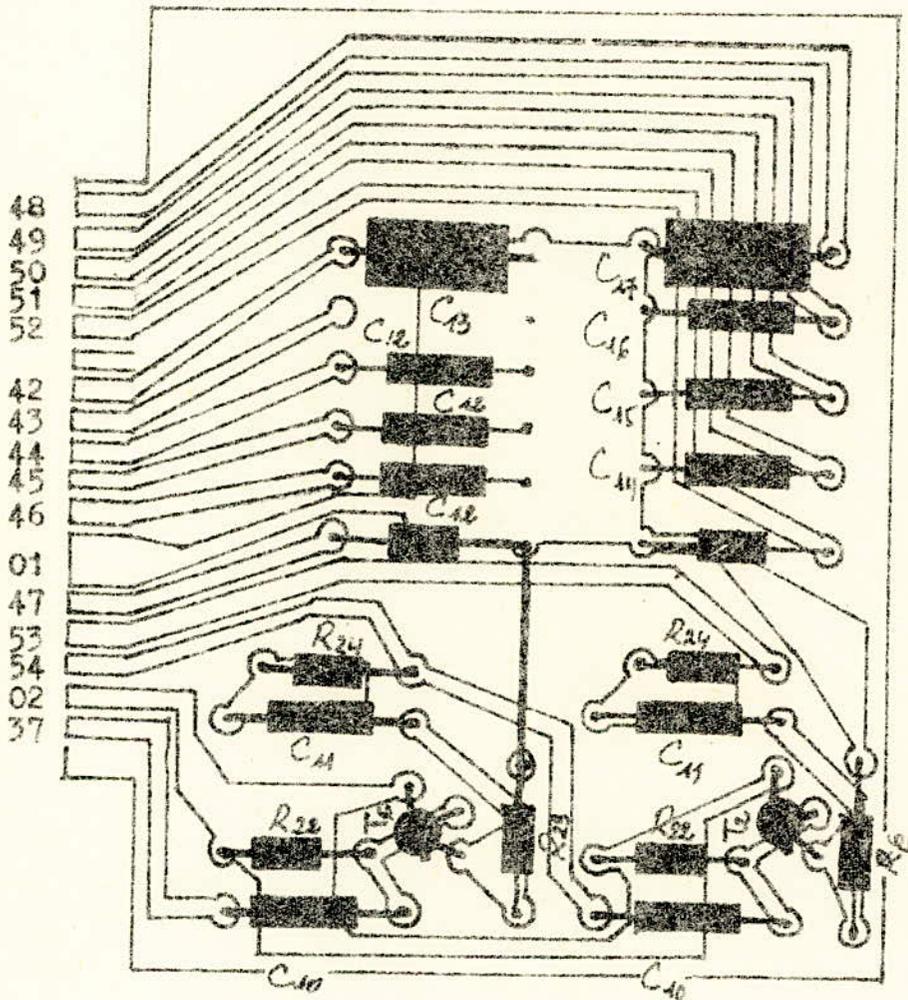
Nomenclature des éléments des vibratos :

- $T_4 = T_5 = 2N 1309$
- $R_{16} = 120$
- $R_{17} = 5,6 K$
- $R_{18} = P_3 = 10 K$
- $R_{19} = 1 M$
- $R_{20} = 470 K$
- $R_{21} = 100 K$
- $P_4 = 470 K$
- $C_8 = 50 F$
- $C_9 = 100 F$
- $D_1 = D_2 = D_4 = \text{Photodiode } 30 F 2$
- $D_3 = D_5 = RA 102$
- $L_1 = L_2 = \text{Lampe } 9V, 75 \text{ mA}$



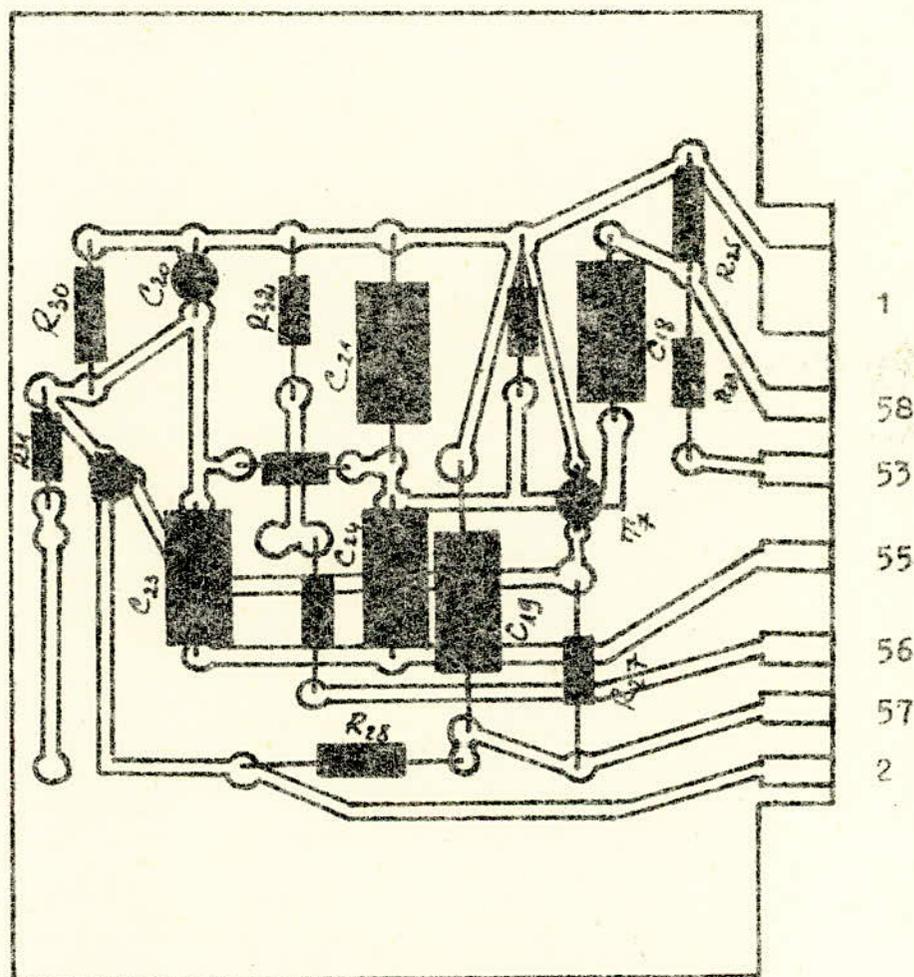
Filtres passe-bas

Nomenclature des
éléments :



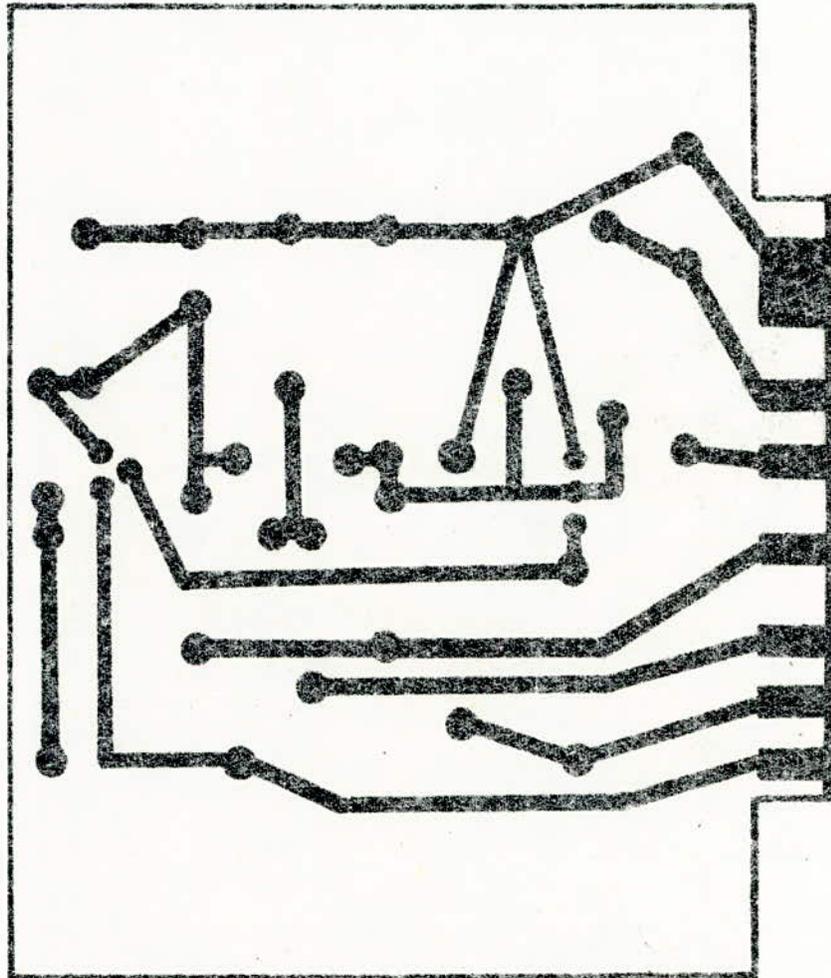
- T_6 = 2N 2222
- R_{22} = 270 $K\Omega$
- R_{23} = 1,5 $K\Omega$
- R_{24} = 53 $K\Omega$
- C_{10} = C_{11} = 50 μF
- C_{12} = C_{14} = 27 nF
- C_{13} = C_{15} = 10 nF
- C_{16} = 4,7 nF
- C_{17} = 2,2 nF

Filtres passe-bas .



Nomenclature des éléments :

- | | | |
|--|---|---|
| - T ₇ = T ₈ = BC 109 | : | - R ₃₂ = 33 KΩ |
| - R ₂₅ = 56 KΩ | : | - R ₃₃ = 470KΩ |
| - R ₂₆ = 120 KΩ | : | - C ₂₁ = C ₂₀ = 1 nF |
| - R ₂₇ = 10 KΩ | : | - C ₂₃ = C ₂₄ = 10 nF |
| - R ₂₈ = 10 KΩ | : | - C ₁₈ = C ₂₅ = 10 μF |
| - R ₂₉ = 470 KΩ | : | - C ₁₉ = 25 μF |
| - R ₃₀ = 5,6 KΩ | : | - P ₅ = 10 KΩ |
| - R ₃₁ = 15 KΩ | : | |



Filtre passe-bande variable .

C / ALIMENTATION ET AMPLIFICATION

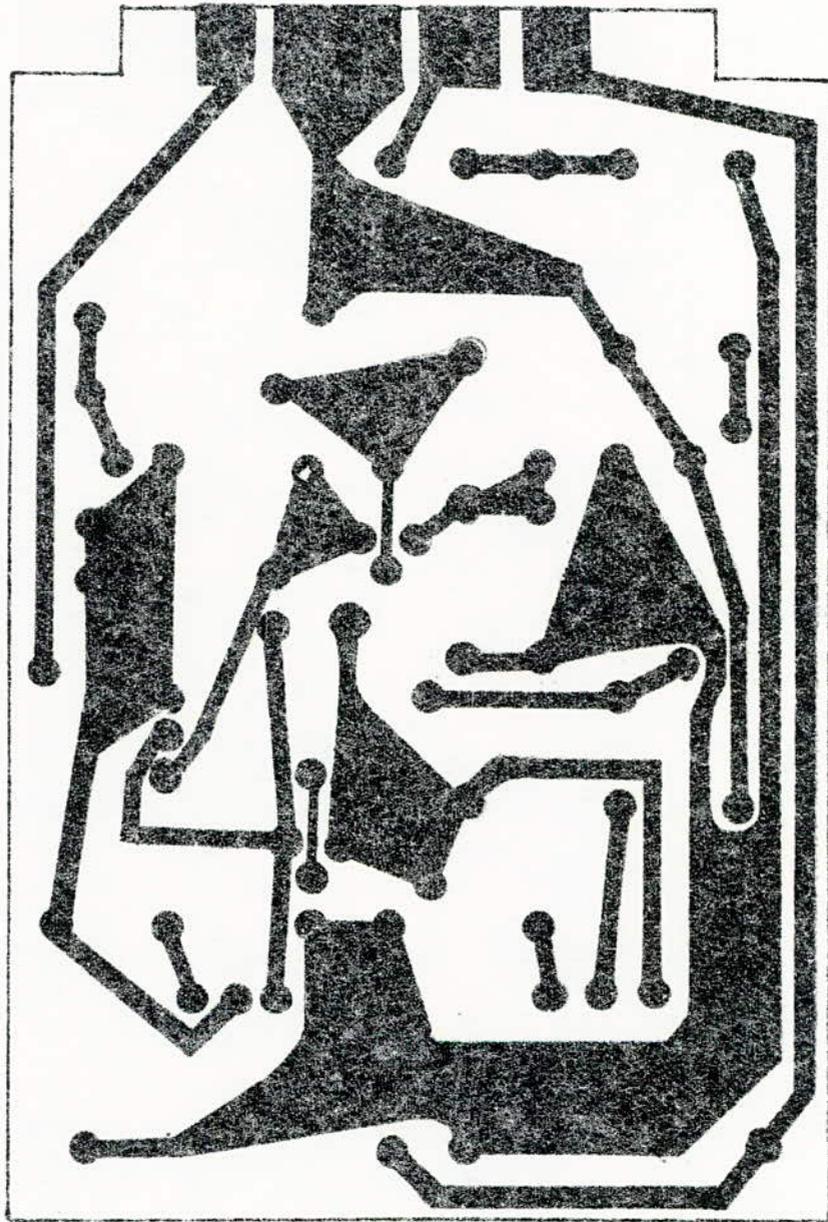
Les circuits imprimés correspondants sont disposés dans la partie inférieure de l'appareil , ainsi que les deux transformateurs d'alimentation et les deux haut-parleurs .

Ces deux circuits ont été réalisés sur des circuits imprimés de format 14 X14 et 13 X 16 , respectivement pour l'alimentation et l'amplification .

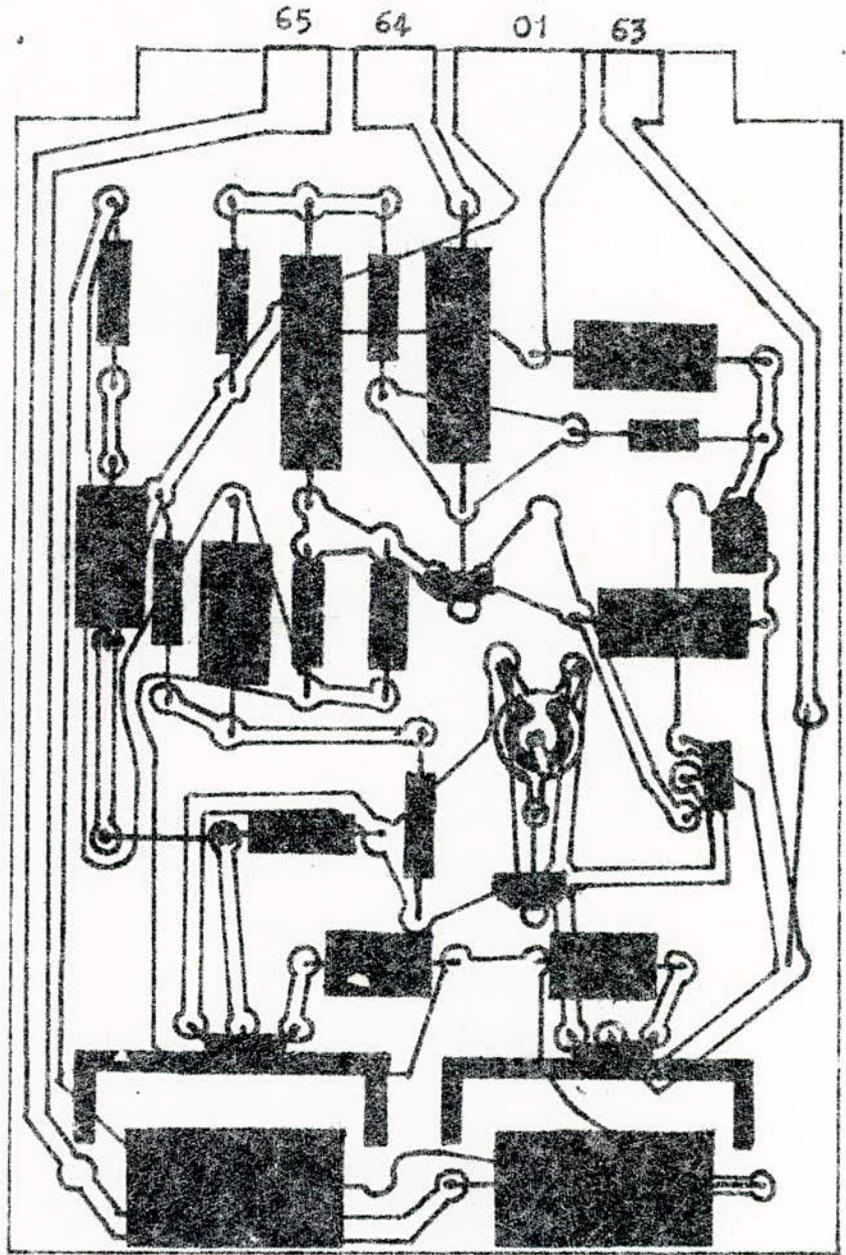
Comme tous les autres circuits , ils comportent des connecteurs enfichables .

Les transistors de puissance sont montés sur des radiateurs , afin de permettre un bon refroidissement . Ceux-ci sont en aluminium d'épaisseur 2 mm et d'une surface de 20 cm² .

Un voyant d'indication de mise en marche de l'appareil a été prévu, il est alimenté en alternatif par l'un des secondaires des transformateurs .



Amplification .



Nomenclature des éléments de l'ampli BF

$$T_{11} = \text{BC } 109$$

$$T_{12} = \text{BD } 436$$

$$T_{13} = \text{BC } 148$$

$$T_{14} = \text{BD } 437$$

$$T_{15} = \text{BD } 438$$

$$R_{36} = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_{37} = 150 \text{ K}\Omega$$

$$R_{38} = 39 \text{ K}\Omega$$

$$R_{40} = R_{39} = 820 \Omega$$

$$R_{41} = 100 \Omega$$

$$R_{42} = 47 \Omega$$

$$R_{43} = R_{44} = 0,5 \Omega$$

$$R_{45} = 10 \Omega$$

$$C_{39} = 220 \text{ nF}$$

$$C_{31} = 10 \text{ F}$$

$$C_{32} = 330 \mu\text{F}$$

$$C_{33} = 6,8 \text{ nF}$$

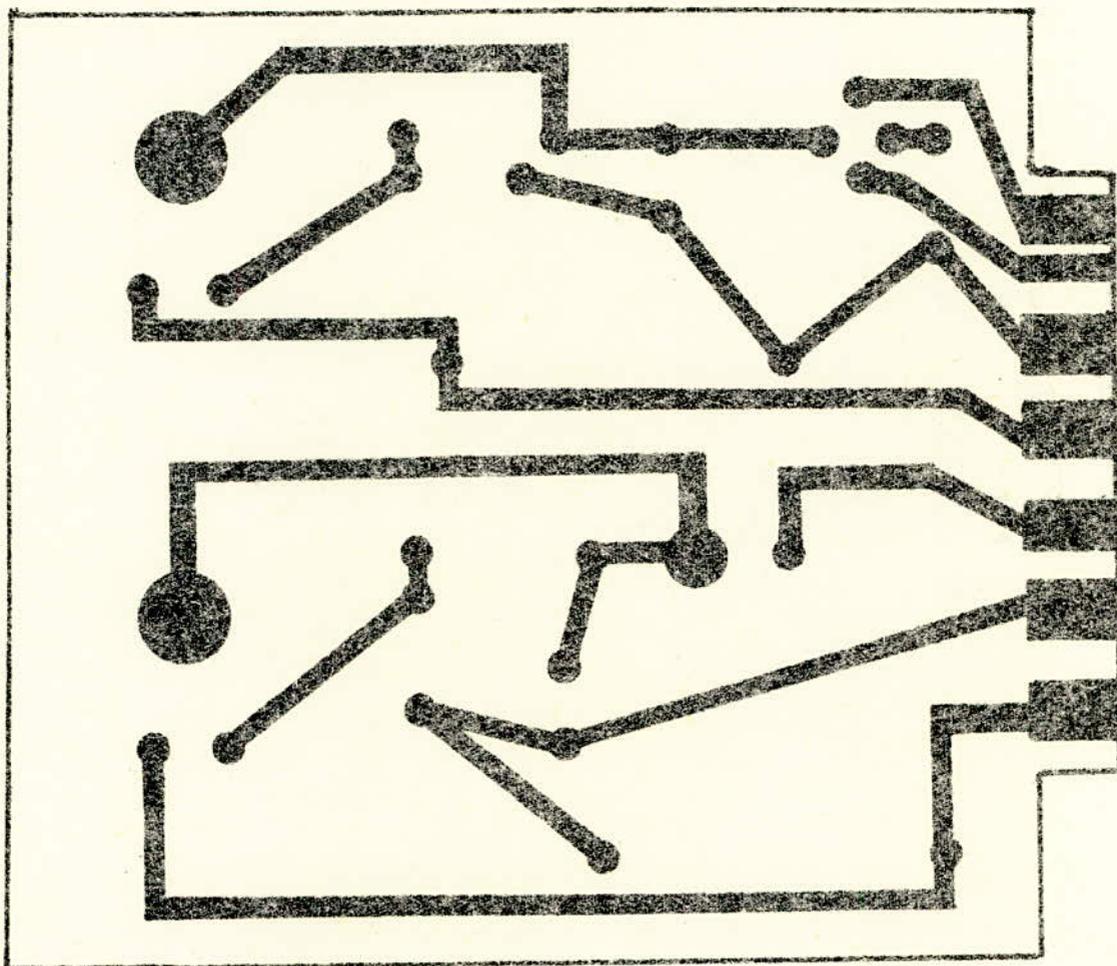
$$C_{34} = 10 \text{ nF}$$

$$C_{35} = 100 \mu\text{F}$$

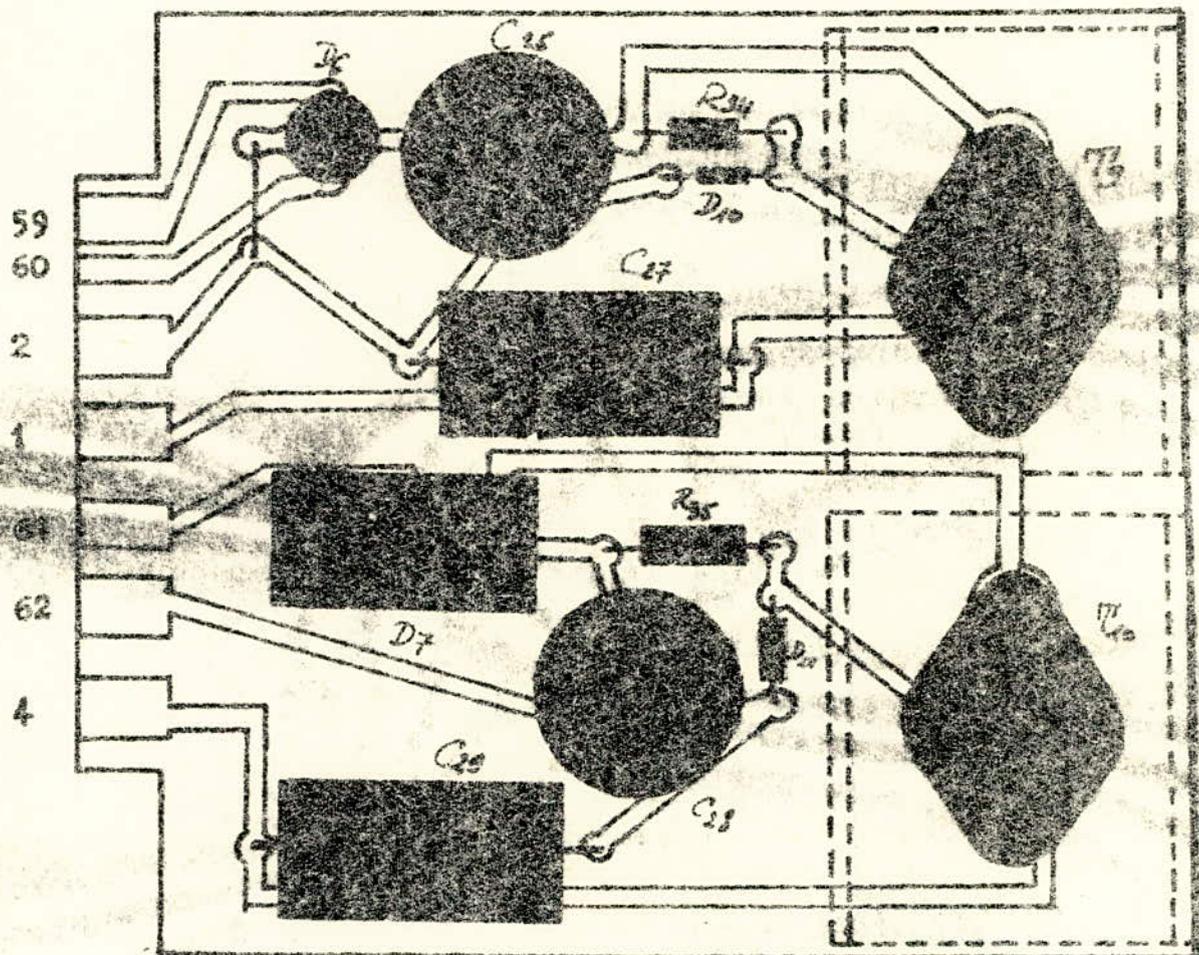
$$C_{36} = 10 \text{ nF}$$

$$C_{37} = 100 \text{ nF}$$

$$C_{38} = 2200 \mu\text{F}$$



Alimentation des circuits .



Nomenclature des éléments :

$T_9 = T_{10}$ = ASZ I7 .	:	R_{34} = 360 Ω
D_{10} = BZX 12 V	:	R_{35} = 490 Ω
D_{11} = BZX 8,2V	:	$C_{26} = C_{28}$ = 2200 μ F 48V
D_6 = Pont redresseur	:	$C_{27} = C_{29}$ = 1000 μ F 25V
D_7 = E 91 R	:	2 radiateurs de 25 cm ²

* C L A V I E R E T C O N S O L E *

I / CLAVIER :

Le clavier utilisé a été récupéré d'un piano et adapté, notamment en raccourcissant les touches .

Chacune des touches ferme un contact lorsqu'elle est actionnée .

Chaque contact comprend :

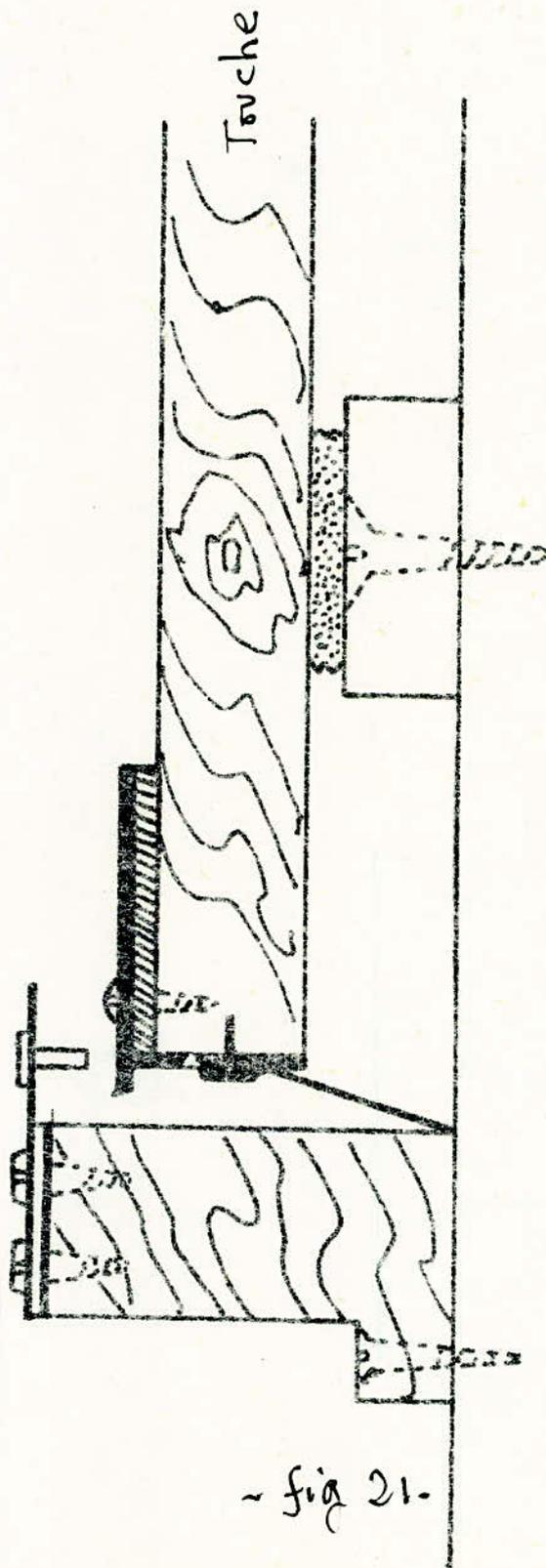
- Une plaque en cuivre doré (afin d'éviter l'oxydation) fixée sur la touche .
- Une lamelle souple comportant un ergot en cuivre doré .

Le schéma d'un contact est donné à la figure 21.

Toutes les plaques sont reliées à la ligne positive. Quant aux lamelles, placées toutes sur un même support, elles sont reliées aux résistances ajustables correspondant aux différentes notes .

Le retour de chaque touche est assuré par un retour élastique .

Des rondelles en feutre ainsi que de la mousse synthétique ont été utilisées, afin d'amortir les différents bruits causés par les mouvements des touches .



~ fig 21.

II / CONSOLE :

La console a été conçue de manière à contenir les différents circuits décrits précédemment tout en étant aussi esthétique que possible .

Elle comporte deux parties principales :

- La partie inférieure: qui comporte à l'arrière les différentes prises de sortie .

- La partie supérieure: qui comprend elle même trois parties :

a) Le socle dans lequel sont fixés :le clavier et les différents circuits de traitement .

b) La face avant où se trouvent les différentes commandes nécessaires au fonctionnement de l'appareil .

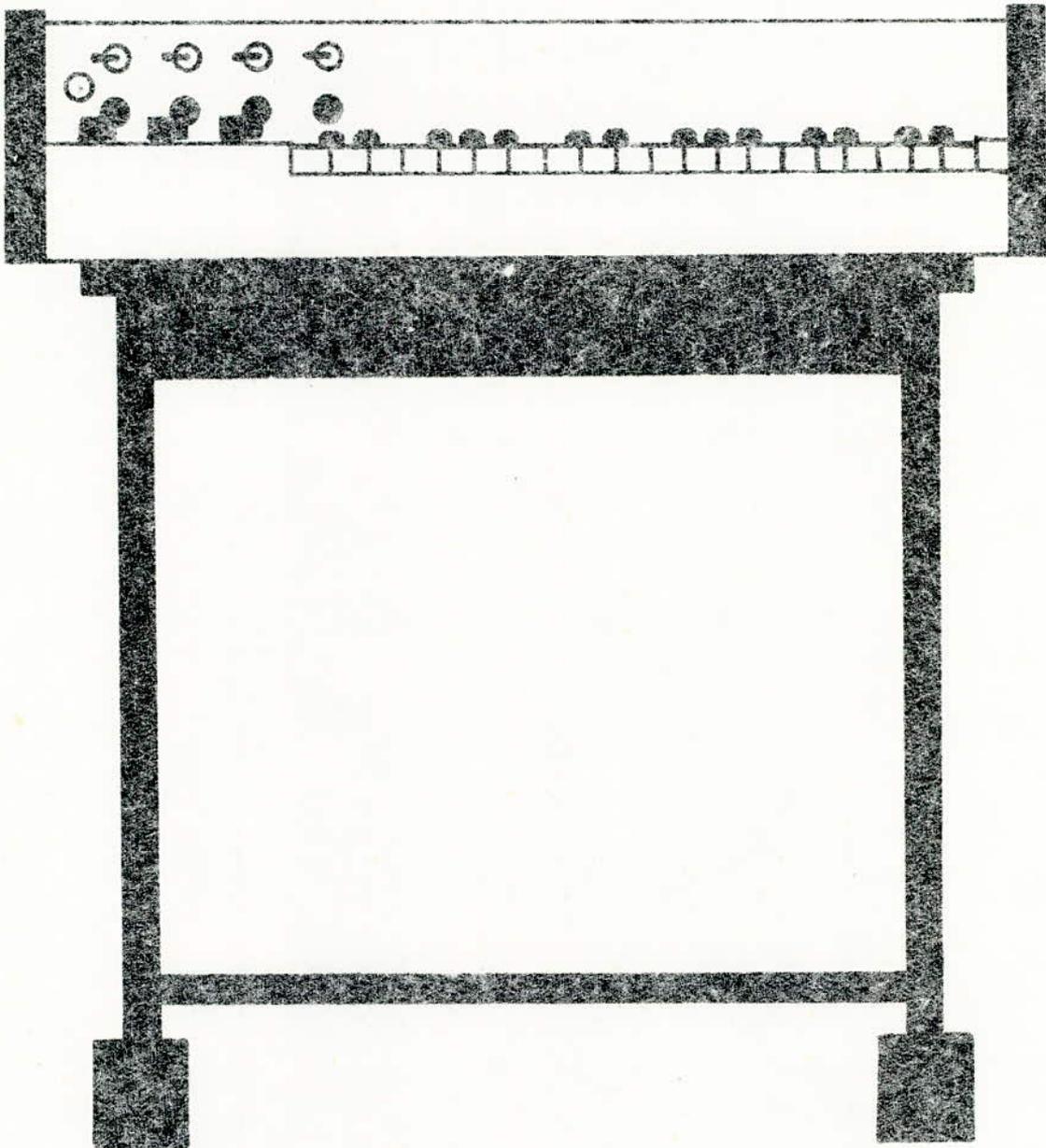
c) Le capot rendu solidaire de la plaque arrière par des charnières, sur laquelle sont fixées les équerres qui supportent les circuits des générateurs et des résistances d'accord .

L'ensemble du coffret a été peint avec de la laque noire et rouge .

L'encombrement de la console est de :

850 x 750 x 500 mm .

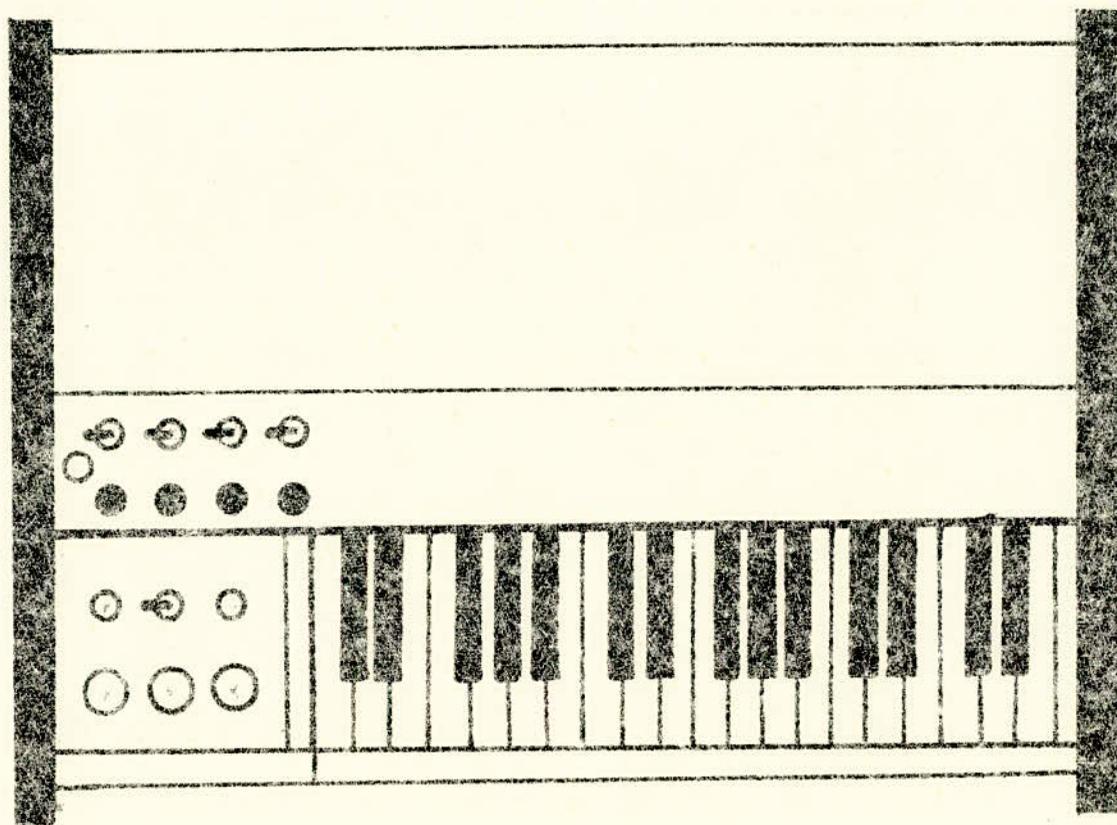
Les vues de face ,de dessus , et de profil sont données aux figures 22 .



SYNTHETISEUR 76

vve de face

echelle: 1/5

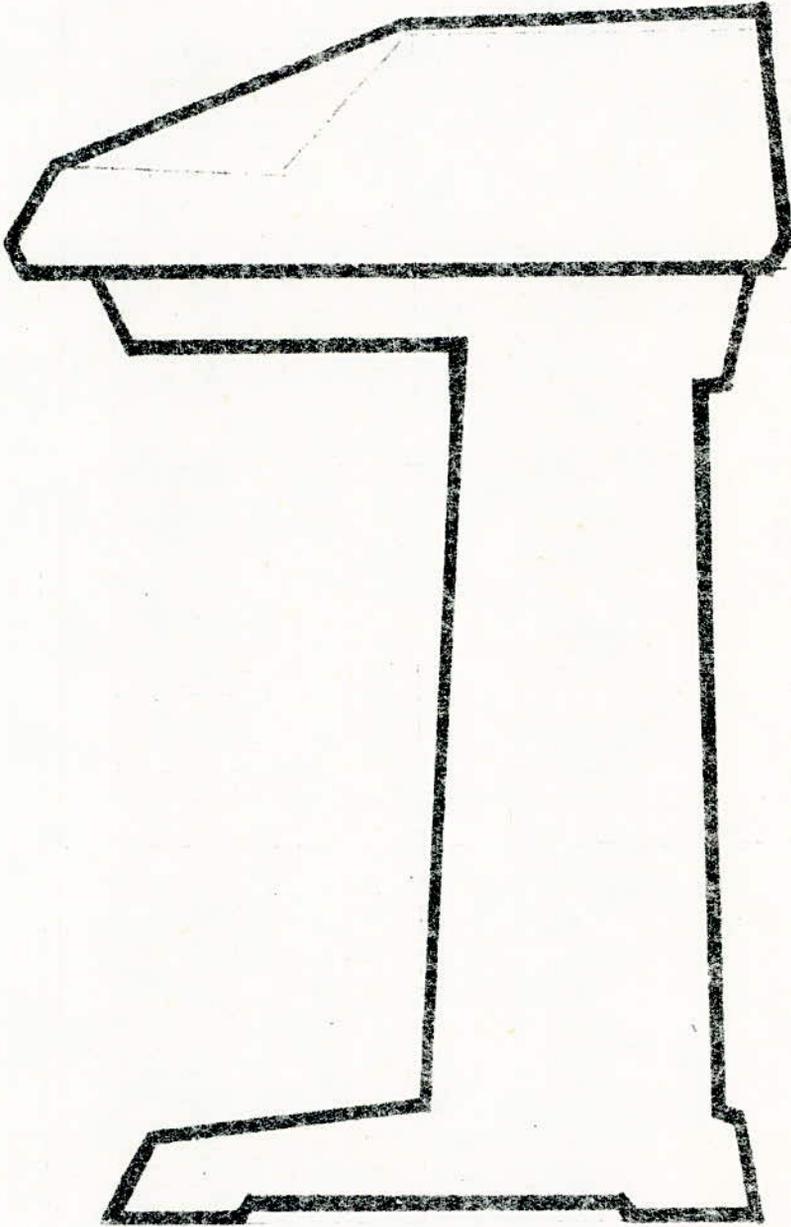


SYNTHETISEUR 76

Vue de dessus

echelle : 1/5

03-



SYNTHETISEUR

vue de profil

echelle : 1/5

* N O T I C E D ' E M P L O I *

A présent que nous avons fait le tour d'horizon tant sur l'étude que sur la réalisation de notre appareil, voyons maintenant le rôle de chacun des boutons de commande et le mode d'utilisation de celui-ci .

1 / ORGANES DE COMMANDE ET PRISES :

Les différentes commandes ont été disposées d'une manière rationnelle et sont facilement accessibles à l'utilisateur .

Les numéros des repères mentionnés par la suite dans le texte correspondent à ceux des figures 23 .

- (1) : Commutateur de vibrato en fréquence .
- (2) : Commutateur de préfiltrage .
- (3) : Commutateur d'effet spécial en fréquence .
- (4) : Commutateur de vibrato en amplitude .
- (5) : Voyant-témoin de mise sous tension .
- (6) : Réglage de la vitesse du vibrato en fréquence .
- (7) : Réglage de la fréquence centrale du filtre passe-bande .
- (8) : Réglage de la vitesse du vibrato en amplitude .
- (9) : Réglage de la profondeur de modulation en amplitude .
- (10) : Dosage du signal carré(créneau) .
- (11) : Interrupteur de mise sous tension .
- (12) : Dosage des impulsions .

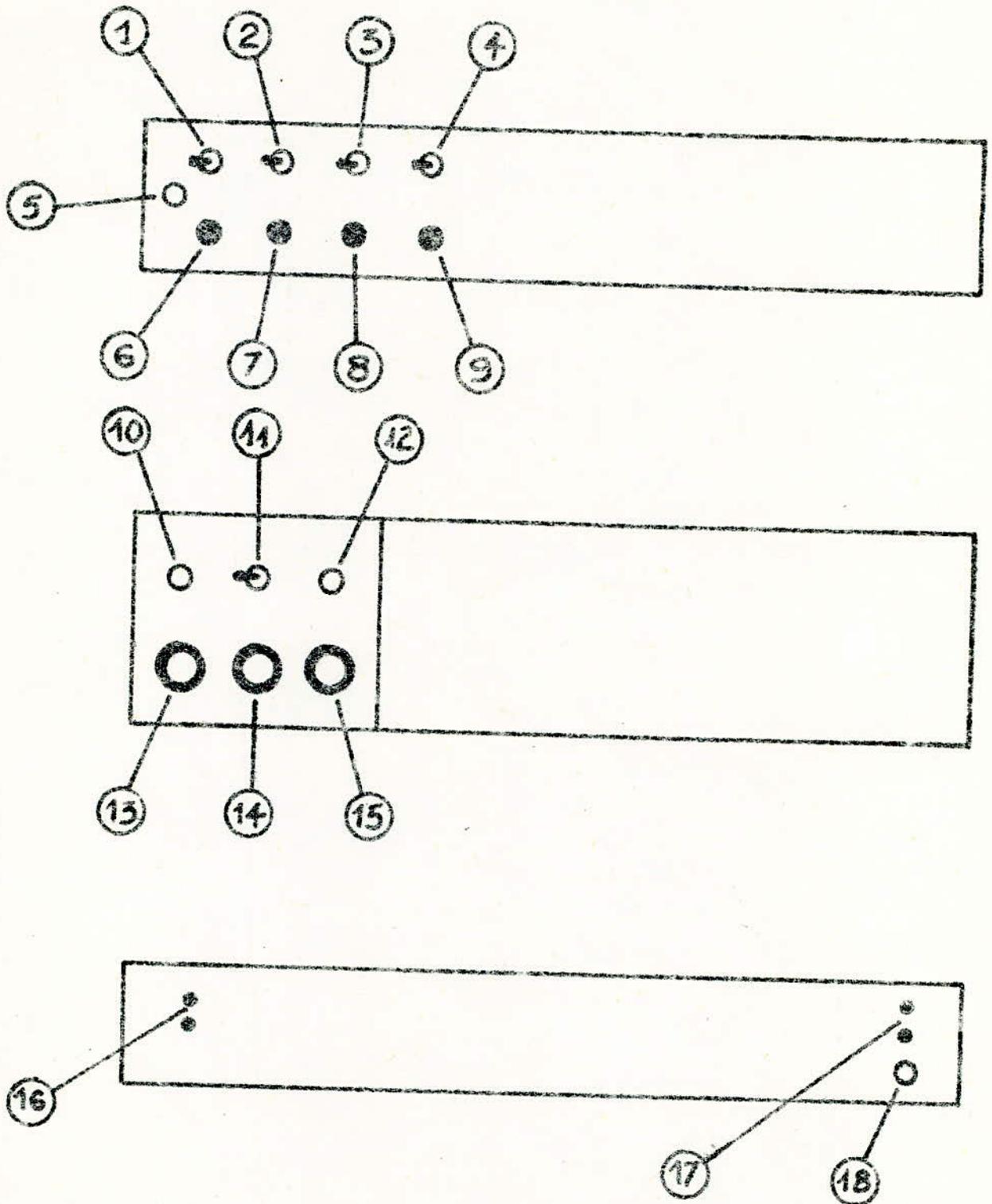


fig. 23 : Organes de commande et prises .

- (13) : Réglage de volume .
- (14) : Commutateur de filtre passe-bas n°1 .
- (15) : Commutateur de filtre passe-bas n°2 .
- (16) : Prise de sortie pour pédale Wah-Wah .
- (17 ,18) : Sortie du signal B . F .

2 / MODE D'UTILISATION :

La marche à suivre pour le bon fonctionnement de l'appareil est la suivante :

- Mettre sous tension par l'intermédiaire de l'interrupteur (11), le voyant (5) s'allume .
- Tout en appuyant une touche quelconque du clavier , régler le volume à l'aide du bouton (13) .
- Doser ensuite les proportions des créneaux et des impulsions à l'aide des boutons (10) et (12) de manière à avoir la sonorité voulue .

A ce stade l'appareil est prêt à l'utilisation ,néanmoins plusieurs possibilités se présentent pour modifier le signal sonore ,en agissant :

- Sur le vibrato en fréquence en commutant l'interrupteur (1) et en réglant la fréquence de vibrato par le bouton (6) .
- Sur le préfiltrage par le commutateur (2) .
- Sur le vibrato en amplitude ou l'effet spécial en fréquence qui sont mis en service respectivement par les commutateurs (4) et (3) . De plus ,pour leur mise en service ,il est nécessaire d'actionner le commutateur situé en bas de l'appareil .

Le réglage de la fréquence de ces deux effets est effectué par le bouton (8) .

- Sur le filtre passe-bande (effet Wah-Wah) . Si on désire commander cet effet par la pédale,il est conseillé de tourner le bouton (7) entièrement vers la droite .

Il est évident que la qualité artistique d'une interprétation exige de la part du manipulant un certain talent qui sera toutefois "activé" par les différents dispositifs électroniques adéquats . Ceci suppose évidemment une bonne familiarisation avec les différents boutons de commande .

Rappelons par ailleurs que le caractère électronique de notre orgue-synthétiseur permet son branchement à un magnétophone, ce qui de toute évidence, est particulièrement efficace pour la conservation des résultats obtenus en improvisant sur cet appareil . Le magnétophone, lui même, peut contribuer également au traitement d'une oeuvre musicale .

3 / ENTRETIEN :

Dans les conditions normales d'utilisation, notre appareil ne demande pas un entretien particulier.

Cependant, il est recommandé d'enlever à intervalles réguliers la poussière qui s'infiltré dans les contacts de touche. Celle-ci en effet peut exercer une influence nuisible, en introduisant des résistances parasites qui vont influencer sur la fréquence des notes.

Pour y remédier, procéder comme suit :

- Enlever la plaque arrière solidaire du capot en dévissant les quatre vis de fixation.
- Effectuer un léger brossage des contacts en évitant de déformer les lamelles.
- Remettre ensuite la plaque arrière avec précaution en veillant à ce que les circuits soient bien remis en place.

Ceci dit, on peut néanmoins réduire cet inconvénient en évitant de laisser l'appareil dans des endroits poussiéreux, ou le capot ouvert.

4 / DEPANNAGE :

Notre souci majeur lors de la réalisation de l'appareil a été de rendre son dépannage aussi aisé que possible .

La console a été étudiée de manière à permettre une très bonne accessibilité aux circuits .

En effet , on peut facilement dégager les circuits de la partie inférieure en dévissant seulement les quatre vis de fixation de celle-ci . Quant aux circuits de la partie supérieure , ils sont directement accessibles en ouvrant tout simplement le capot .

La complexité de la circuiterie aurait pu faire craindre des difficultés lors d'un dépannage éventuel . Il n'en est rien , vu la technique de réalisation utilisée .

En effet, deux points importants contribuent à faciliter grandement la maintenance et le réglage :

- Les circuits imprimés sont répartis par fonction. Ce qui rend la localisation d'un circuit défectueux particulièrement aisée .

- Les interconnexions se font par connecteurs enfichables, ce qui facilite grandement la réparation .

En effet, le circuit défectueux peut être déconnecté facilement, en quelques secondes . On a alors tout loisir de le réparer sans toucher aux autres circuits .

Le câblage peut être très facilement reconstitué en utilisant les repères donnés sur les schémas des différents circuits imprimés . Il suffira de relier tous les numéros identiques .

COMPLEMENT SUR LE CABLAGE

Certains éléments ne figurant pas sur les schémas des circuits imprimés, leurs numéros de câblage sont donnés ci-dessous :

- Potentiomètre de volume : 1,56,64
- Amplitude créneaux : 1,31,32
- Amplitude impulsions : 1,29,73
- Fréquence vibrato I : 4,35,35
- Amplitude vibrato I : 36,37,37
- Filtre passe-bande : 1,55,55
- Fréquence vibrato II : 4,39,39
- Commutateur vibrato I : 36,37
- Commutateur vibrato II : 40,41
- Comm. effet spécial : 2,38
- Commutateur préfiltrage : 34,73
- Comm. Passe-bas I : 54,46,45,44,42
- Comm. Passe-bas II : 53,48,49,50,51,52
- Pédale wah-wah : 1,55
- Hauts-parleurs : 1,65
- Transformateur 2 X 14V : 59,60 et 61,62
- Alimentation + 11V : 63

C O N C L U S I O N

L'appareil décrit ici est d'une conception tout à fait inédite, et présente un très grand intérêt tant du point de vue du prix de revient qu'au niveau des performances. Il est, de ce fait, à même de satisfaire un grand nombre d'amateurs musiciens.

Dans cet exposé, nous avons voulu permettre à ceux qui s'intéressent à la musique, de posséder, ne serait-ce que par l'intermédiaire d'un appareil, des notions sur les techniques électroniques dans le domaine musical.

Quant à l'amateur intéressé par la construction d'un tel appareil, il trouvera ici toutes les données nécessaires. La partie Réalisation, en particulier, lui sera d'un grand secours, puisqu'elle fournit toutes les indications concernant le câblage, les schémas des circuits imprimés, la nomenclature des éléments, etc

Par ailleurs, il convient de souligner que la dénomination même d'orgue-synthétiseur implique qu'il ne s'agit pas d'un orgue électronique habituel, mais d'un instrument aux possibilités plus larges.

En effet, l'utilisateur qui sait combiner les différents effets pourra en tirer des sonorités bizarres et inattendues.

L'adjonction d'un magnétophone est très souhaitable si l'on désire véritablement utiliser cet appareil en tant que synthétiseur. On pourra alors réaliser, notamment par multiplaying^{*}, des oeuvres musicales complètes.

(*) Technique consistant à effectuer un mixage de plusieurs enregistrements successifs, à l'aide d'un magnétophone spécialement adapté à cet usage.

T A B L E D E S M A T I E R E S

Avant propos	6
Introduction	10
Présentation générale de l'appareil.	12
 <u>ETUDE</u>	
Répartition des notes.	16
Etude des générateurs de notes	19
- Oscillateur à UJT	20
- Bascule	24
Préfiltrage et mélange	28
- Préfiltreur	28
- Mélangeur.	31
Dispositifs de modulation.	35
- Vibrato en amplitude.	36
- Vibrato en fréquence.	40
- Effet spécial en fréquence.	42
Filtres passe-bas	43
Effet Wah-Wah	48

Amplification basse-fréquence.	52
Alimentation.	55
- Alimentation des vibratos	56
- Alimentation des générateurs.	58
- Alimentation de l'ampli BF.	59

REALISATION

Realisation de la partie électronique	61
- Générateurs.	61
- Traitement	64
- Alimentation et amplification.	74
Clavier et console	79
- Clavier.	79
- Console.	81
Notice d'emploi.	85
- Organes de commande et prises.	85
- Mode d'utilisation	87
- Entretien	88
- Dépannage	89
- Complément sur le câblage.	90

