

## Présentation de quelques Ondes à tube électroniques

Dans cette rubrique nous proposons une description aussi détaillée que possible de quelques instruments fabriqués par M Martenot : du premier modèle présenté en 1928, jusqu'au dernier modèle avant le prototype à transistors annoncé en novembre 1971.

Avertissement :

L'ensemble des articles présentés sous cette rubrique sont les résultats des travaux réalisés de 2013 à nos jours, comme pour tous travaux de recherches, on commence par une exploration des informations existantes. Celle-ci étant peu nombreuses, et pour éviter au lecteur des renvois systématiques aux mêmes références, nous les citons ci-dessous :

Maurice Martenot, *brevet* 666.807 ; 02/04/1928.(Brevet fondamental, instrument fonctionnant par variation de capacité).

Maurice Martenot, *brevet* 703.923 ; 08/01/1930. (Touche intensité).

Maurice Martenot, *brevet* 708.073 ; 25/04/1930. (Contrôle de la variation du son).

Maurice Martenot & Daniélou, *brevet* 841.128 ; 13/01/1938. (Adaptation pour l'exécution de la musique orientale).

Maurice Martenot, *brevet* 841.866 ; 01/02/1938.(Clavier mobile).

Maurice Martenot, *brevet* 1.004.392 ; 14/04/1947.(Précisions techniques sur le clavier mobile.)

Maurice Martenot, *brevet* 1.004.397 ; 15/04/1947.(Diffuseur à cordes résonnantes).

Maurice Martenot, *brevet* 1.004.406 ; 16/04/1947.(Précisions techniques, instruments à condensateur ruban ou fil).

Thomas Bloch, *Illustration de la description des sept modèles.*

Article écrit par Thomas Bloch pour son disque « Music for ondes Martenot »

Naxos 8.555779, 2004. Polycopiés.

Loriod, J. *Technique de l'onde électronique*, Edition Alphonse Leduc.

60ème réunion du Gam. Université de Paris VI. *Les Ondes Martenot*. 26/04/1972. Polycopié.

Martel C. *Maurice Martenot Alchimiste de l'électricité*, Polycopié.

Laurendeau, J. *Maurice Martenot Luthier de l'électronique*.

Editions Louise Courteau. Nouvelle édition septembre 2017.

[http://t.p.e.musique.free.fr/tpe/site/dossier\\_ii1.html](http://t.p.e.musique.free.fr/tpe/site/dossier_ii1.html)

Auteur inconnu, *Les ondes Martenot*. Polycopié.

Courrier Thierry, *Onde Martenot N°169*. Polycopié, 2012.

Courrier Mathilde, *Constat d'état Onde Martenot N°15*. Polycopié, 2012.

Musée de la Musique : *Archives photographiées* ; dossiers 4, 5, 15, 18, 21.

Musée de la Musique : *Inventaire 'Corpus Martenot' (2001?)*

Musée de la Musique : *Résistance à poudre M.7275*. Photocopie.

Jossic M. *Caractérisation et étude paramétrique de la poudre de l'Onde Martenot*,  
Musée de la Musique, 2011.

Meurisse T. *Etude d'un système à retour d'effort simulant la touche d'expression des Ondes Martenot*. Musée de la musique, 2011.

## Onde N°15

### Présentation de l'instrument



Sur cette photographie, le meuble type 'Gaveau' est présenté sans les pieds.

L'Onde N°15 appartenant à Mme PRIESTER est en dépôt au Musée de la musique. Elle présente la particularité d'appartenir à la première génération (3<sup>ème</sup> modèle) d'instruments possédant à la fois un jeu au fil et un jeu au ruban associé à un clavier fictif. Il s'agit probablement d'un des premiers modèles fonctionnant avec un ruban, celui-ci permettant de parcourir 7 octaves : du Do<sub>1</sub> au Si<sub>7</sub>. Cet instrument qui a appartenu à la mère de Mme PRIESTER, aurait voyagé jusqu'à Alger juste avant le 2<sup>ème</sup> conflit mondial.

Il s'agit d'un beau meuble en bois rouge fabriqué par l'entreprise Gaveau, en parfait état de conservation du point de vue de l'ébénisterie.

Nous avons entrepris l'étude électrique de cet instrument, dans le but d'obtenir une remise en fonctionnement, à l'occasion de travaux d'études de conservation-restauration réalisés sur le corpus Martenot du Musée de la musique (cf. dossiers de Mathilde Courier).

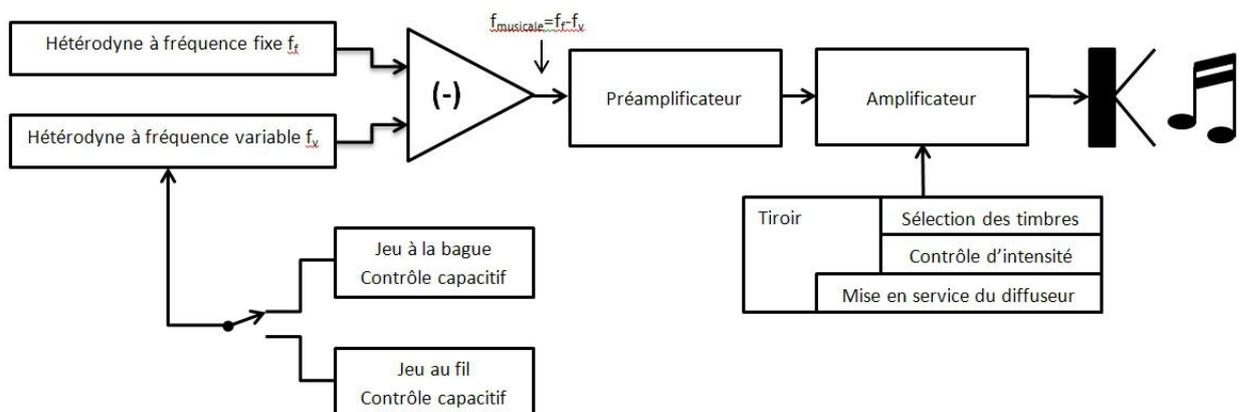
L'instrument, du point de vue électrique, est pratiquement complet. Sont absents : le système à fil, les accus et les piles de polarisation. Aucun **Diffuseur** associé à cet instrument n'est disponible.

## Organisation de l'instrument



Meuble ouvert : on observe à droite le tiroir rentré, la platine de l'ensemble électronique au centre en bas, et le boîtier d'alimentation à droite. Au milieu on peut apercevoir le condensateur ruban.

La configuration générale de l'instrument est conforme aux descriptions faites par M. Martenot dans ses différents brevets. Nous donnons dans la figure ci-dessous la structure de cette Onde.



Le système fonctionne sur le principe de la soustraction de fréquences générées par deux hétérodynes, l'un de fréquence fixe ( $f_f$ ) et l'autre de fréquence variable ( $f_v$ ), commandées soit par le ruban, soit par le fil. Aucune de ces deux fréquences n'est perceptible par l'oreille humaine, mais la soustraction de l'une par l'autre génère une troisième fréquence ( $f_{\text{musicale}}$ ) audible. Grâce à l'hétérodyne à fréquence variable, il est possible de parcourir un large spectre de fréquences musicales.

Ce signal est pré-amplifié par un tube amplificateur, lui-même suivi d'un amplificateur de puissance à triode alimentant le **Diffuseur**. La particularité de ce dernier est la structure de la commande du volume sonore ; en effet, le réglage d'intensité s'effectue au niveau de la puissance à l'aide d'une touche 'intensité'.

Le traitement harmonique du signal est aussi réalisé au niveau de la puissance par un jeu d'interrupteurs situés sur le tiroir et permettant de sélectionner le ou les filtres. De même, un interrupteur autorise la mise en service du **Diffuseur**.

Tous ces sous-ensembles fonctionnent avec les premières séries industrielles de tubes électroniques de type batterie, série Axxx et Bxxx de **Philips**. Plusieurs dispositifs accumulateur/chargeur, piles et bloc redresseur sur réseau 110V (non représentés dans cette figure) alimentent sous les différentes tensions nécessaires les tubes électroniques.

Note :

Le diffuseur est, du point de vue de la technologie électro-acoustique, le prédécesseur du haut-parleur. Il se trouve que les convertisseurs électro-acoustiques mis au point par M. Martenot sont aussi nommés **Diffuseurs**. Ainsi, et pour les distinguer des premiers, ils seront notés en caractères gras avec une majuscule.

Pour réaliser l'analyse fonctionnelle de l'instrument sous l'angle de la technologie d'électricité, nous regrouperons les divers dispositifs en huit sous-ensembles :

- le système 'hétérodynes + mélangeur-préamplificateur + amplificateur' porté par un châssis en tôle d'aluminium,
- le système à ruban,
- le système à fil,
- le 'tiroir',
- l'alimentation HT à partir du réseau 110V,
- le système chargeur + accumulateur pour le chauffage des tubes électroniques sous 4V,
- les piles de polarisation des grilles des derniers tubes BF,
- le sous-ensemble composé du **Diffuseur**.

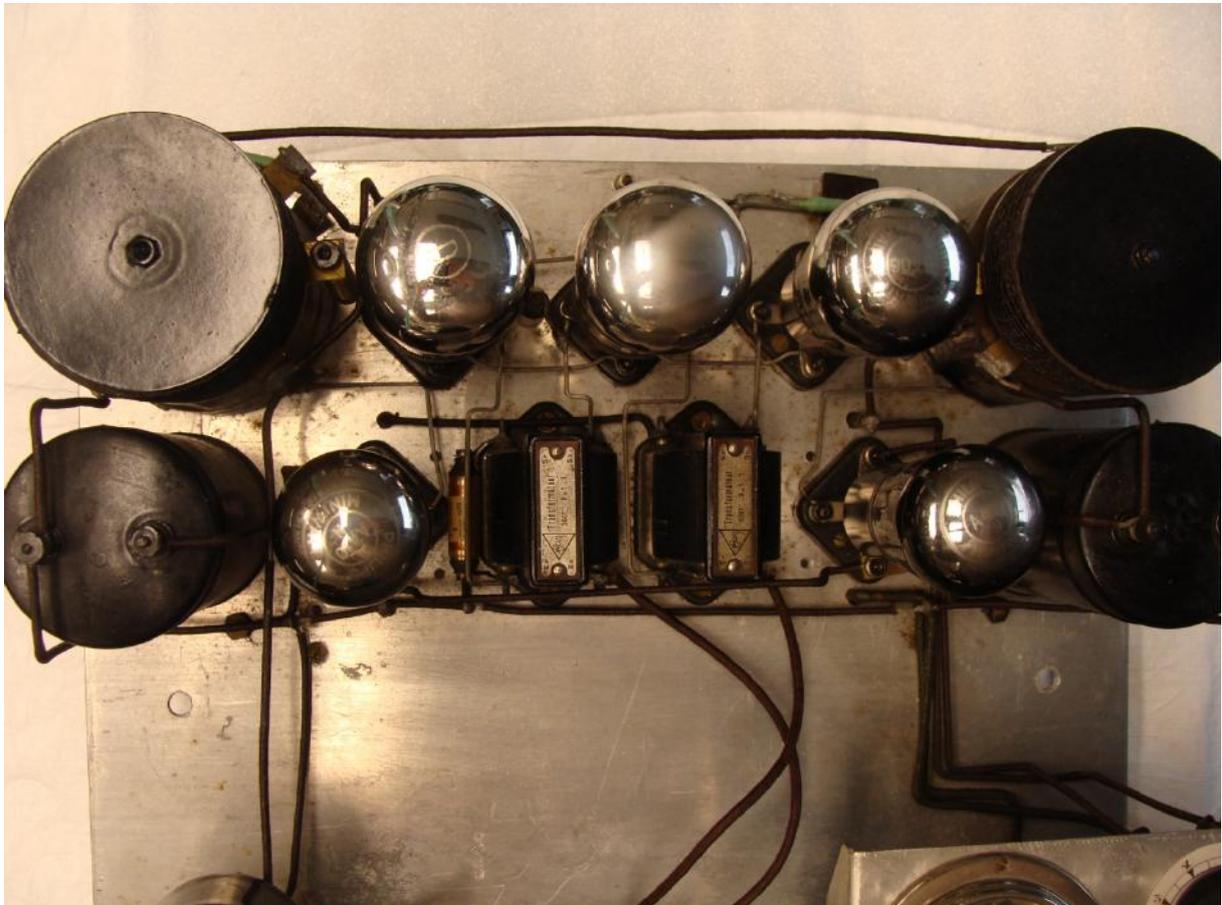
La conception modulaire mise au point par M. Martenot pour son instrument facilite grandement toutes les opérations de maintenance, de réglage et d'étalonnage. En effet, la platine principale, réalisée sur une tôle en L en alliage d'aluminium, supporte tous les composants électroniques. Ceux-ci sont câblés selon la technique dite 'de la planche à pain' : les liaisons sont vissées. En principe du moins, car nous constatons dans le cas de l'Onde un système mixte (vissage/soudage). Les composants sont disposés sur la platine de façon apparente et sont reliés par des fils de câblage en cuivre nu ou isolé. Il est donc aisé de retirer cette platine du meuble de l'instrument et d'intervenir au plus près d'un composant pour procéder à un dépannage éventuel.

La réalisation de la partie électronique de l'instrument passe par l'utilisation des techniques des années 1920. M. Martenot maîtrise parfaitement ces techniques. Il emploie les tubes électroniques disponibles à cette époque : les tubes triodes type 'batterie', ainsi nommés car ils nécessitaient pour fonctionner une tension (4V) délivrée par une batterie d'accumulateur.

Pour jouer une mélodie sur ce type d'instrument, il fallait le relier au secteur 110V alternatif,

recharger au préalable la batterie d'accumulateur, et s'assurer que les piles de polarisation (3V & 9V) étaient en place et en état de fonctionner.

## Le système hétérodynes + mélangeur-préamplificateur + amplificateur

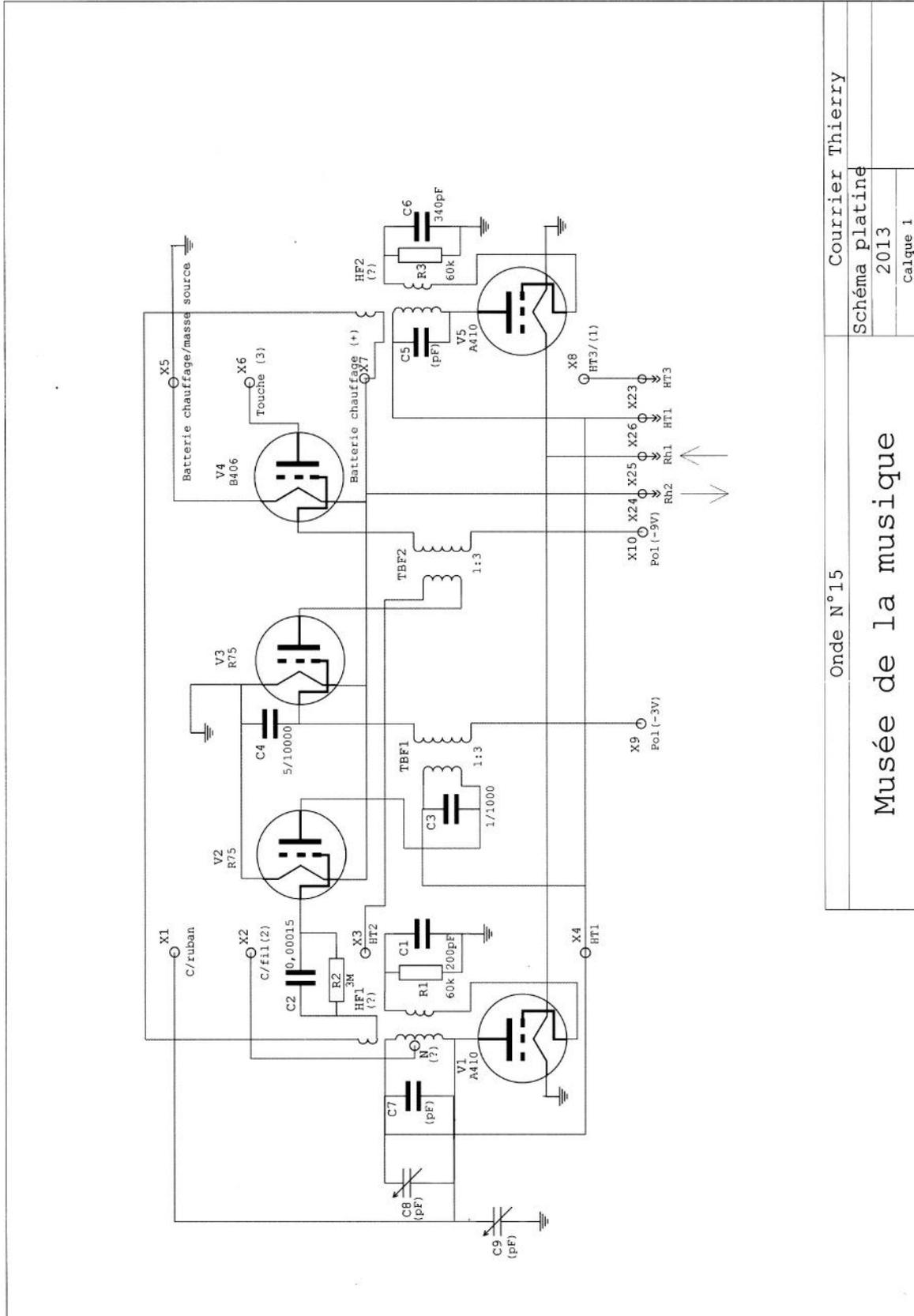


Le bloc hétérodynes + préamplificateur + amplificateur.

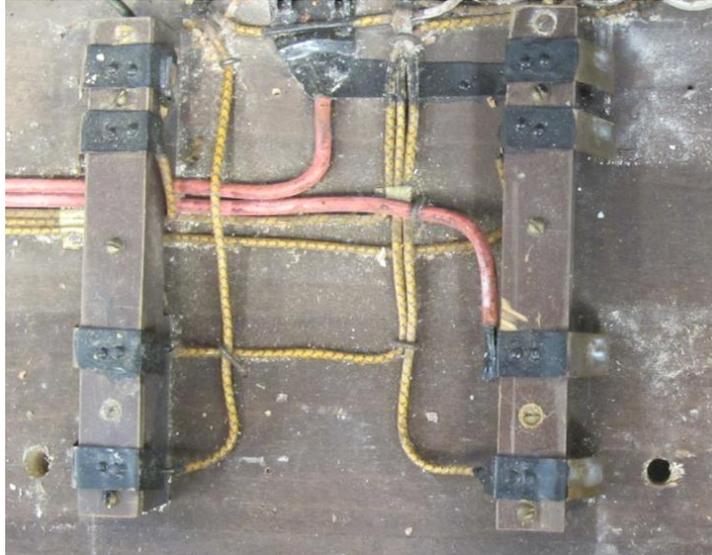
Nous ne disposons pas de schéma du '**bloc générateur**' de cet instrument. Nous l'avons donc relevé et le présentons page suivante. Les composants dont les valeurs n'ont pu être identifiées sont repérés par le symbole (?).

Les tubes électroniques V1 et V5 du type triode A410 sont les tubes oscillateurs. La triode V2 du type R75 (=A409) assure la fonction de mélangeuse et de pré-amplificatrice. La triode V3 du type R75 (=A409), est, elle aussi, pré-amplificatrice et assure le pilotage de la triode V4 du type B406. Cette dernière triode réalise la fonction d'amplification de puissance et délivre le signal amplifié au **Diffuseur**. Ce tube délivre une puissance électrique (<1W) relativement faible aux bornes du **Diffuseur**.

Cet ensemble à triodes sera reproduit dans sa structure dans les instruments suivants, y compris ceux qui fonctionneront avec un clavier (Onde N°169).



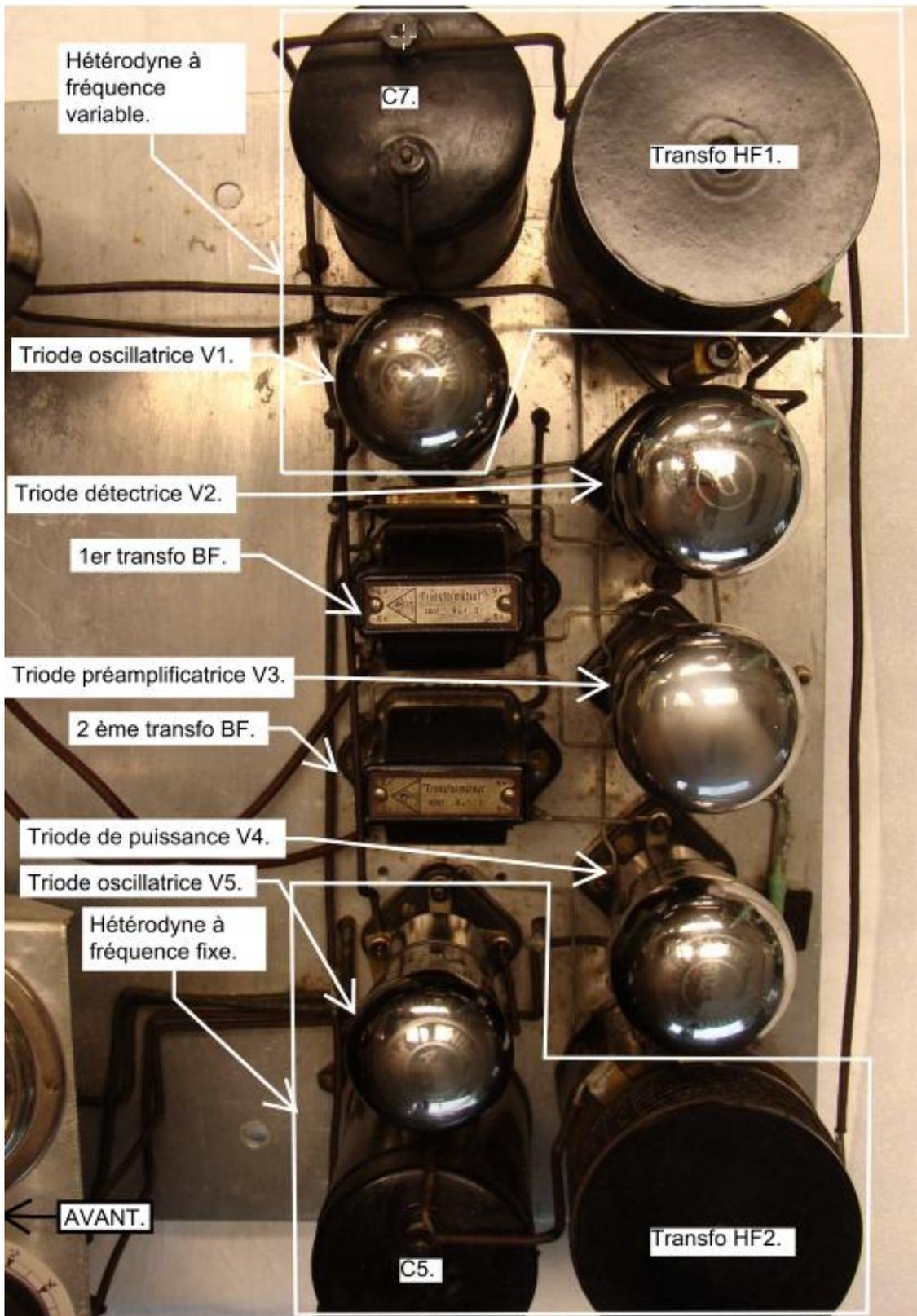
Au niveau de la réalisation, on remarquera que M. Martenot a utilisé un connecteur réalisé par lui-même, et qui consiste à monter des lames de cuivre semi-rigides d'une part sur la platine, et d'autre part, sur le fond du meuble. Une forte pression de contact est obtenue par son serrage contre le fond du meuble grâce à deux tiges filetées. Ces contacts sont repérés de X<sub>1</sub> à X<sub>8</sub>.



Le connecteur de fond de meuble.

Le schéma mis en œuvre par M. Martenot est simple : deux oscillateurs interfèrent pour générer une fréquence musicale et un amplificateur permet de rendre l'écoute confortable. Ce schéma sera reproduit sur les instruments suivants, tout en réactualisant les composants électroniques, jusqu'au modèle 47.

Note : le modèle 47 présente la particularité de fonctionner avec un mélange électronique des fréquences grâce à l'utilisation d'un tube électronique penthode. Il ne sera jamais commercialisé.



Platine principale, positionnement des composants.

## Les hétérodynes

Analysons maintenant de façon plus détaillée le fonctionnement des oscillateurs. L'analyse sera identique pour un fonctionnement avec le ruban ou le fil.

L'oscillateur à fréquence variable est réalisé autour de la triode V1 (A410). L'inductance primaire du transformateur HF1 associé aux condensateurs C7, C8, C9 ainsi que le condensateur réalisé par le ruban définissent la fréquence de résonance du circuit. Nous retrouvons alors le schéma tel qu'il est défini par M. Martenot sur son brevet N°1.004.406. Le condensateur C7, disposé en arrière sur la platine, permet le réglage grossier de la fréquence ; le condensateur C9, accessible en face avant par l'opérateur, est réglable à l'aide d'une molette et autorise un ajustement précis de l'accord. Notons que le fil agit de la même façon que le ruban sur l'hétérodyne car la capacité obtenue sur la borne X<sub>2</sub> est appliquée à une fraction N de l'enroulement primaire. Le secondaire de l'enroulement HF1 est en série avec le circuit de grille de la triode et constitue un circuit de réaction qui force la triode à osciller. Celle-ci est polarisée par son courant de grille grâce à la résistance R<sub>1</sub>, en parallèle avec le condensateur C<sub>1</sub>. Un deuxième enroulement secondaire à faible nombre de spires permettra de prélever la tension nécessaire pour réaliser le mélange avec le signal de l'oscillateur fixe. Ce signal est une sinusoïde pure.

Au niveau de l'oscillateur fixe (HF2/V5), le montage est identique, aux condensateurs près. Il s'agit donc d'un oscillateur à triode et à circuit plaque accordé. La réaction par la grille est obtenue par un premier secondaire dont le nombre de spires est nettement inférieur à celui du primaire. La polarisation est fixée par le courant de grille à travers la résistance R3, découplée par C3. Le condensateur C5 et l'inductance primaire du transformateur HF2 fixent la fréquence de résonance. Cette fréquence n'est pas réglable. Un deuxième enroulement secondaire à faible nombre de spires permettra de prélever la tension nécessaire pour réaliser le mélange avec le signal de l'oscillateur variable. Ce signal est aussi une sinusoïde pure.

Nous montrerons dans le chapitre consacré aux mesures que les fréquences des oscillateurs sont comprises entre 80 kHz et 90 kHz et sont conformes aux valeurs annoncées par M. Martenot dans son brevet.

Les transformateurs HF1 et HF2 sont de grande taille et bobinés selon la technique dite du 'nid d'abeilles'. Cette technique était utilisée à cette époque pour réduire les capacités réparties. En effet, l'inductance primaire (>5 mH) de ces transformateurs est élevée par rapport aux fréquences d'utilisation et nécessite un grand nombre de spires.

Nous avons évoqué lors d'une étude précédente (Onde N°169) les avantages et les inconvénients du choix de cette structure. Nous retiendrons ici la simplicité de mise en œuvre et, en contrepartie, la grande sensibilité aux dérives de cette structure. Rappelons que M. Martenot soulève dans son brevet N°841.866 ces problèmes de dérives. Pour les réduire en partie, le circuit d'alimentation HT(HT1) des triodes oscillatrices et détectrice est séparé du circuit d'alimentation HT(HT3) des triodes de l'amplificateur. Un réglage du circuit de chauffage des triodes oscillatrices est prévu.

Dans ce même dossier, nous avons largement analysé la technique de réalisation du condensateur à ruban qui pilote l'oscillateur variable. La technique du fil est exposée par M. Martenot dans ses brevets 666.807 et 1.004.406. Sur l'instrument, toute la partie mécanique qui supporte le condensateur variable à fil est absente. Sont identifiables : les poulies latérales associées, en particulier la poulie inclinée de sortie du fil, l'interrupteur de basculement mode ruban/mode fil et un couvercle en bois à droite du meuble, permettant de sortir le fil.

Nous concluons cette partie en rappelant que la fréquence musicale est obtenue par la mise en œuvre de deux oscillateurs sinusoïdaux, l'un fixe, l'autre réglable grâce à un condensateur à ruban ou à fil. La technique mise en œuvre par M. Martenot est très sensible aux dérives.

## Le fil



D'après l'étude réalisée par M. Bloch, l'instrument du 3<sup>ème</sup> modèle (preuve photo à l'appui), possédait un jeu au fil et un jeu à la bague. L'Onde N° 15 présente donc tous les éléments extérieurs qui permettent de l'identifier comme un instrument du 3<sup>ème</sup> modèle. Malheureusement, le dispositif réalisant ce condensateur variable commandé par un fil est absent de l'instrument : il ne reste qu'un emplacement vide, un jeu de poulies, une trappe d'accès avec son couvercle, et une borne de connexion au circuit oscillant associé au commutateur jeu au fil/ jeu au ruban. Une description du fonctionnement d'un condensateur à fil est donnée par M. Martenot dans son brevet N°1.004.406 PL.IV. C'est son idée première et originale afin de réaliser des *glissandi*. Il s'agit en fait d'un schéma technique indiquant le principe de fonctionnement plus que d'un dessin industriel. Nous n'avons donc que peu d'informations sur ce dispositif de condensateur à fil.

Les composants qui participent au fonctionnement en mode fil ont pu être localisés et un schéma est relevé. Mais leurs fonctions électriques ne sont pas formellement identifiées. Il s'agit des composants C10, C11, C13 et INT2. Le rôle de l'interrupteur INT2 commandé par l'ouverture/fermeture du couvercle du meuble est délicat à définir. Cette partie de schéma est donnée à titre indicatif et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour définir exactement les fonctions de ces composants.

## Le ruban



Le système à ruban

Le ruban est l'une des interfaces entre le musicien et l'instrument. La première description en est donnée par M. Martenot dans son brevet N° 666.807 alors qu'une première version, qui utilisait un fil conducteur, avait été réalisée. Le ruban est le perfectionnement logique de cette invention. Ces premiers condensateurs sont réalisés à partir de parois continues de forme évasée. Pour les fréquences musicales basses, une seule paroi est utilisée car la capacité nécessaire est faible. Pour les

fréquences hautes, et afin de réduire l'accroissement de fréquence, M. Martenot utilise un second circuit oscillant dont la fréquence de résonance est constante. Les armatures de ces condensateurs sont fixes et ne permettent aucun réglage. Par la suite, M. Martenot apportera les perfectionnements suivants :

- Le fractionnement des condensateurs par octave ou plus et la mise en œuvre des associations série/parallèle avec d'autres condensateurs.
- L'ajustage de la valeur du condensateur par l'utilisation de lames fendues, qui faciliteront l'accord de l'instrument.
- Le guidage par patins de fond et patins latéraux ainsi que la mise en place d'une rupture de ligne afin de réduire la vibration du ruban pendant son déplacement.

Toutes ces améliorations ont été constatées sur l'Onde N°169. Elles sont parfaitement décrites par M. Martenot dans le brevet N°1.004.406.

Nous n'entrerons pas davantage dans les détails, puisqu'une étude complète a été réalisée sur l'Onde N°169 : elle montre en particulier l'ensemble des difficultés que M. Martenot a dû surmonter pour réaliser ce dispositif.

Le système à ruban est le perfectionnement logique du système à fil. C'est le dispositif qui définit l'originalité de l'instrument : grâce à lui, avec une inertie insignifiante, le musicien peut réaliser des *glissandi* de sept octaves avec une rapidité étonnante.

La mise au point de ce condensateur variable commandé par un ruban est probablement la difficulté majeure qu'a rencontrée M. Martenot lors de la conception de son instrument. En effet l'ordre de grandeur des capacités nécessaires au fonctionnement du ruban sont très proche des valeurs parasites existantes sur l'ensemble des dispositifs câblés.

## Le mélangeur-préamplificateur

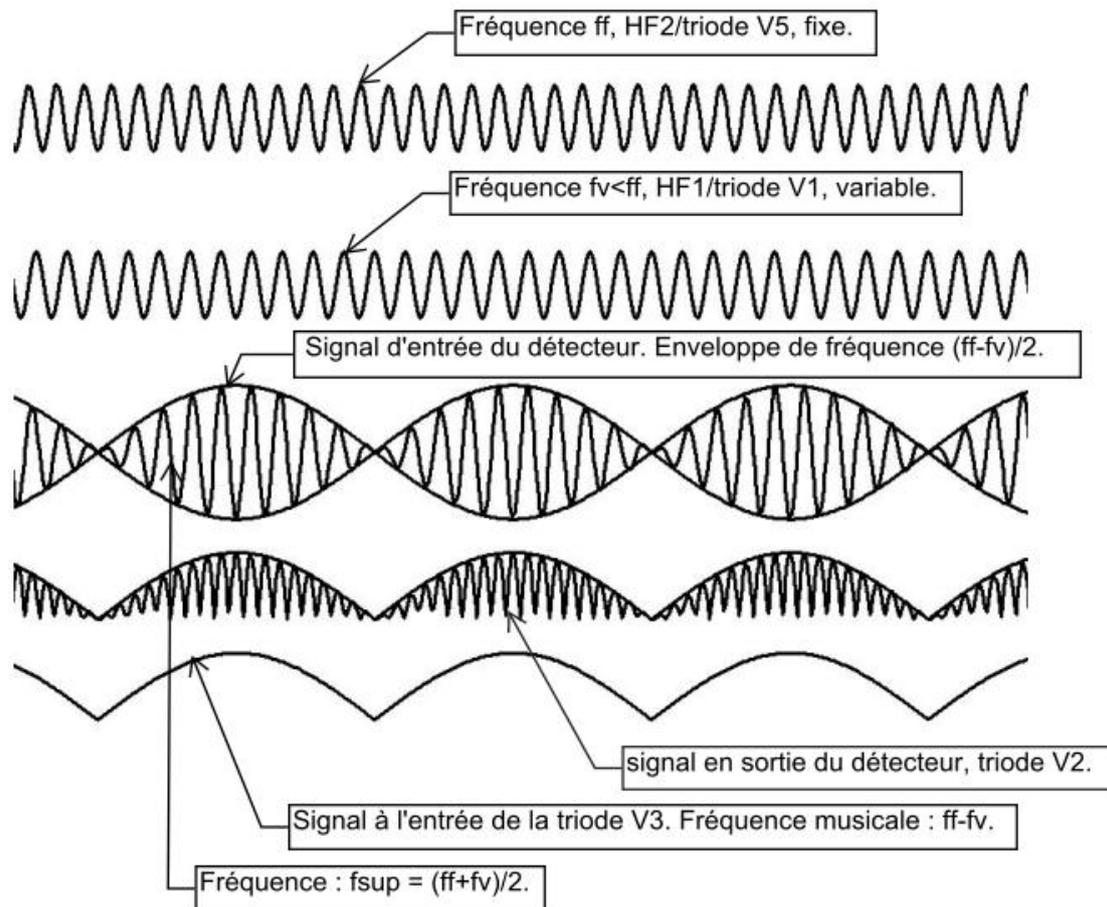
Au niveau des hétérodynes, le mélange des signaux sinusoïdaux issus des deux oscillateurs est réalisé par la mise en série de deux secondaires des transformateurs HF1 et HF2. Le mélange est donc du **type additif** (en réalité une soustraction). En application du principe physique du battement, on obtient ainsi au niveau de la triode V2 un signal sinusoïdal de fréquence :

$$f_{inf} = (f_f - f_v) / 2$$

Ce signal est l'enveloppe d'un deuxième signal sinusoïdal de fréquence :

$$f_{sup} = (f_f + f_v) / 2$$

Mais le signal résultant est appliqué à la grille de la triode V2, qui fonctionne en mode détecteur ou redresseur. C'est-à-dire qu'en sortie de celle-ci nous obtenons une sinusoïde redressée dont la fréquence est  $f_{musicale} = f_f - f_v$ . En effet, le condensateur C2, en parallèle avec la résistance R2 de grande valeur, constitue avec la grille de la triode V2 la cellule de détection. Le signal musical n'est pas sinusoïdal. Nous retrouverons cette forme de signal sur les modèles à transistors fabriqués par M Martenot, il suffit sur ces instruments de sélectionner le mode N°8.



La liaison entre la triode (V2) détectrice et la triode (V3) pré-amplificatrice est réalisée à l'aide d'un transformateur BF (TBF1) de rapport 1/3. Le condensateur C3 permet de réduire l'amplitude du signal de fréquence  $(f_f + f_v)$ . De cette façon, seul le signal à fréquence musicale est appliqué à ce transformateur. Le secondaire de ce transformateur est relié à la grille de la triode (V3) qui fonctionne en amplificateur de tension. La triode est chargée dans son circuit plaque par un deuxième transformateur BF (TBF2) de même rapport 1/3. La polarisation de grille est assurée par une pile. D'après les documents du constructeur, on peut prévoir le point de fonctionnement suivant : Tension de plaque  $V_a = 90V$ , tension de grille  $V_g = -3V$ . Remarquons que l'amplification apportée par les deux triodes en cascade est très élevée, le signal est rapidement déformé par la saturation, il s'apparente plutôt à un signal type rectangulaire à faible rapport cyclique, ce signal très riches en harmonique sera par la suite filtré en sortie de l'amplificateur. Mais ce mode de fonctionnement va entraîner deux conséquences, la première : l'échange en cas de panne d'une triode ou bien d'un transformateur provoquera un changement perceptible de la tonalité de l'instrument, la seconde : le mode de fonctionnement en saturation est préjudiciable aux composants tel que les transformateurs BF.

Pour conclure cette partie : la synthèse de l'onde musicale est additive, mais le signal à la fréquence de battement est ensuite redressé par un dispositif électronique. On obtient finalement un signal non sinusoïdal riche en harmoniques paires. Signal qui peut être comparé au son de fréquence  $(f_2 - f_1)$  perçu par les musiciens lors d'un accord entre deux instruments.

Une première amplification est réalisée et un filtre élimine la fréquence indésirable  $(f_f + f_v)$ , pour ne conserver que le signal musical.

Ce signal musical est théoriquement identique à celui obtenu sur les derniers instruments à transistors de M Martenot en sélectionnant la commande repérée '8', mais le fonctionnement en

saturation, modifie considérablement ses caractéristiques.

## L'amplificateur

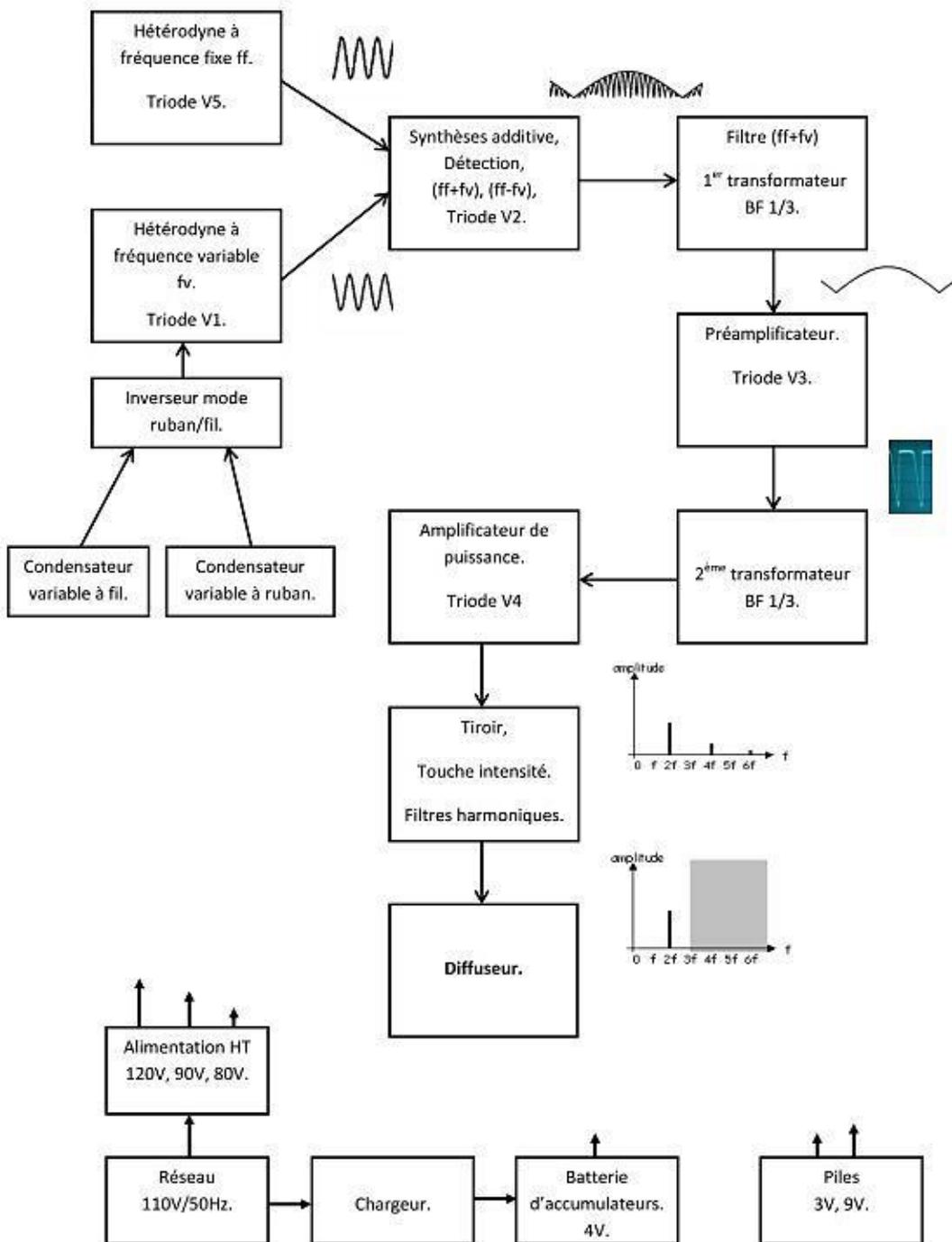
Il est construit autour de la triode V4 de type B406. La puissance délivrée par celle-ci en classe A est très modeste (<1W). Le signal est appliqué à la grille par le secondaire du transformateur TBF2. Le tube est polarisé par une pile. Le circuit de plaque, à pleine puissance, se réduit à la charge constituée par le **Diffuseur** : l'ordre de grandeur de son impédance se situe entre 1000Ω et 2000Ω. Dans ce fonctionnement et d'après les notices techniques des constructeurs, on peut prévoir le point de repos suivant :  $V_a = 120V$ ,  $V_g = -9V$ . Le contrôle de volume sur cet instrument est réalisé par la mise en série d'une résistance avec le **Diffuseur**. Dans une première approche le fonctionnement est simple :

- si la résistance a une valeur infinie ou est en circuit ouvert (touche 'intensité' relâchée), aucun courant ne traverse la triode, et aucun signal BF ne circule donc à travers le **Diffuseur**,
- si la résistance est nulle (touche 'intensité' enfoncée), alors la totalité du signal BF disponible sur le circuit plaque est appliquée au **Diffuseur**.

La maîtrise de toutes les valeurs de la résistance de la touche 'intensité' permet de moduler dans toute son amplitude l'intensité du signal à travers le **Diffuseur**. De plus, un opérateur peut exploiter toutes les finesses de jeu, en particulier au niveau des 'attaques'.

Une analyse approfondie a été réalisée dans le dossier de l'Onde N°169. Elle montre précisément que le fonctionnement n'est pas aussi simple. En particulier, une perte de contrôle du volume sonore peut se produire lorsque la touche est relâchée : c'est le phénomène de fuite observé par les Ondistes.

Sur la page suivante nous donnons un schéma synoptique résumant le fonctionnement de l'Onde N°15.

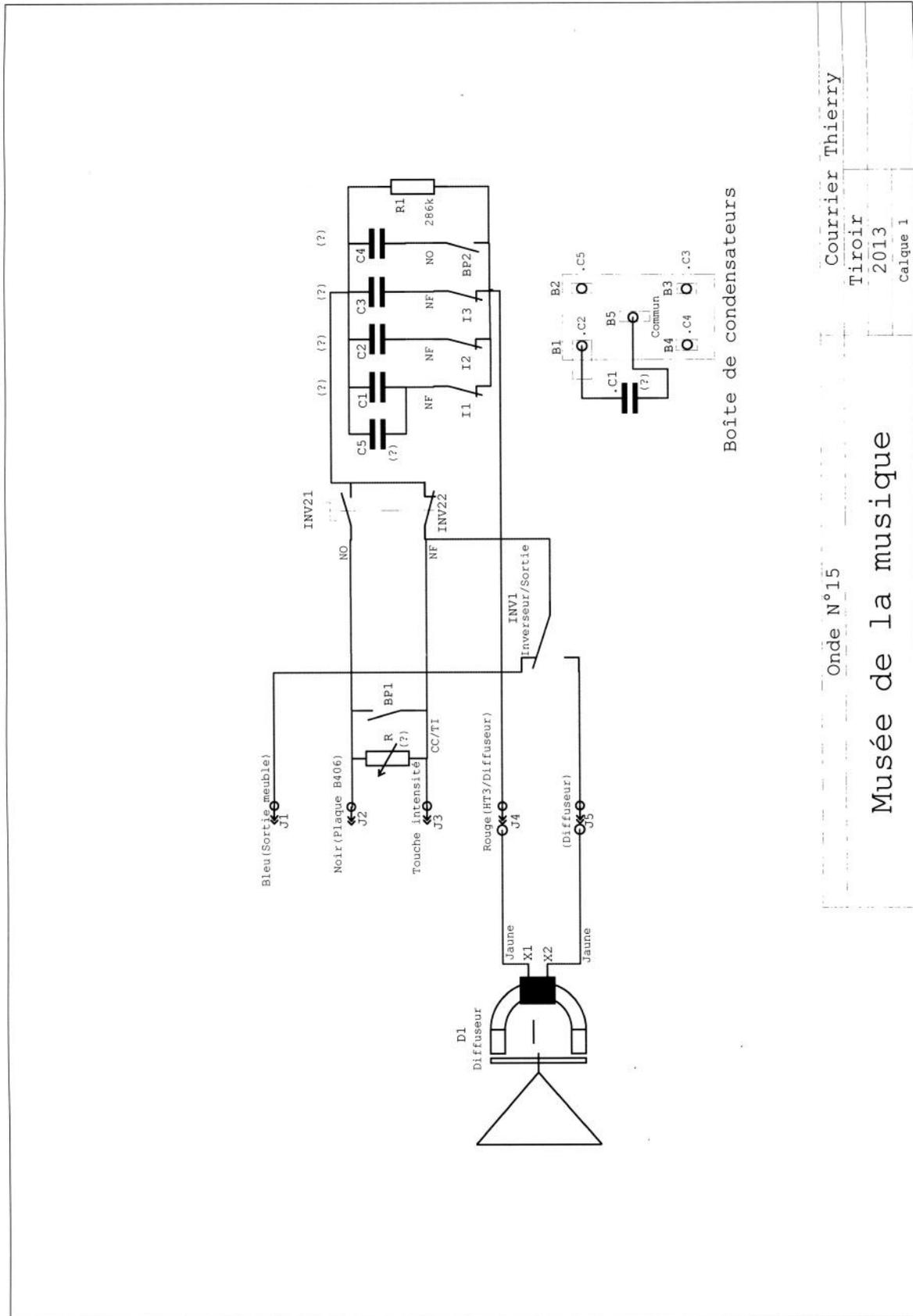


## Le tiroir



Le tiroir

Ce dispositif assure plusieurs fonctions au niveau de l'instrument : il permet à l'opérateur d'agir sur la touche intensité, mais aussi de choisir les différents timbres. De plus, il assure les liaisons électriques avec le **Diffuseur** grâce à deux connecteurs à deux broches, situés sur le côté du tiroir. Nous ne disposons pas de schéma du tiroir. Il est donc nécessaire de réaliser un relevé ; nous le donnons page suivante.



Sur ce schéma, les interrupteurs sont tous représentés dans la même position : la touche de couleur rouge est enfoncée.

On observe que la sélection de timbres est obtenue grâce à la mise en service de capacité C1, C2, C3, C4, C5 qui limite par une fréquence de coupure haute la bande passante du système.

Onde N°15

Courrier Thierry

Tiroir

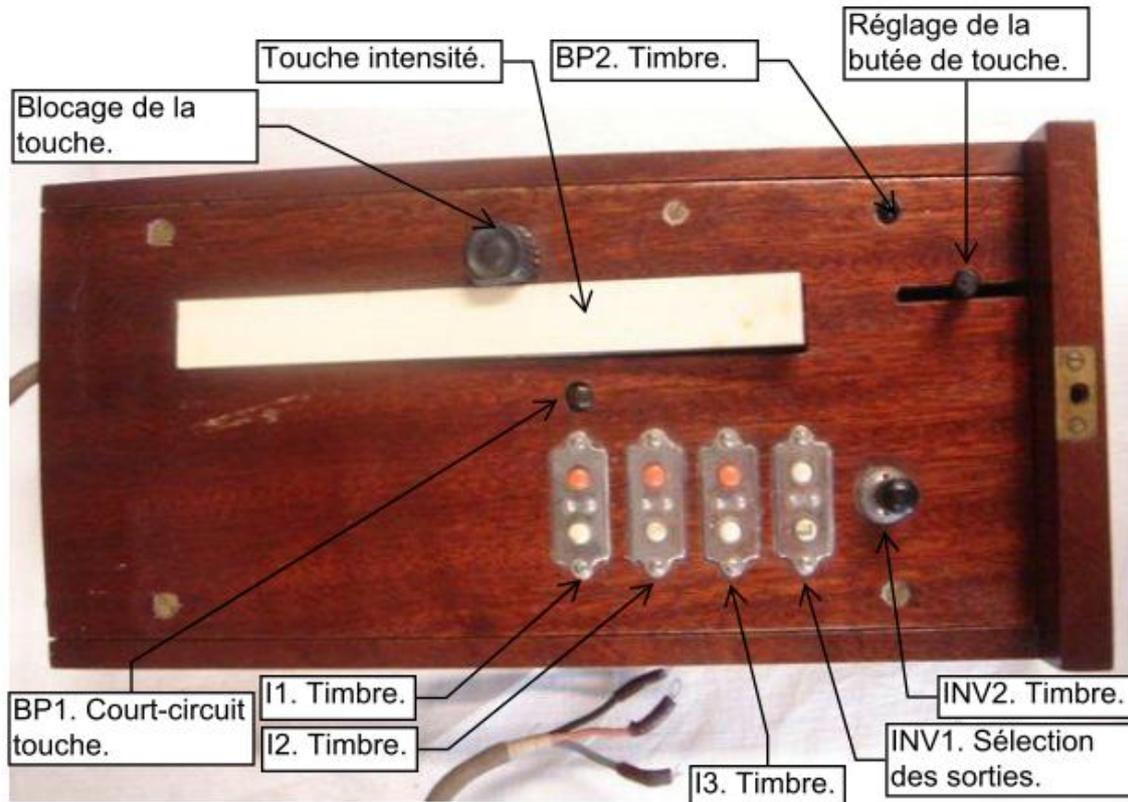
2013

Calque 1

Musée de la musique

C'est le choix qu'a fait M. Martenot. Choix qu'il confirme dans une conférence donnée à Gravesano le 12/08/1954 au cours de laquelle il précise que « **le dosage des harmoniques par bandes de fréquences [lui] a semblé bien suffisant** ».

Le bouton poussoir BP1 court-circuite la touche 'intensité'. L'inverseur INV21/22 applique les filtres harmoniques soit en amont de la résistance de touche, soit en aval de la résistance de touche. C'est la sélection 'g'.



Repérage des touches et des commandes du tiroir.

Tous ces effets sont obtenus par des interrupteurs à bascule, à commutation douce et à touche haute. Le doigté de l'opérateur permet de les choisir momentanément ou de façon permanente. Ils peuvent bien sûr se combiner et ainsi offrir à l'exécutant un tableau très diversifié de ressources sonores.

La résistance  $R1$  réalise un circuit de décharge des condensateurs des filtres harmoniques et réduit les bruits de commutation.

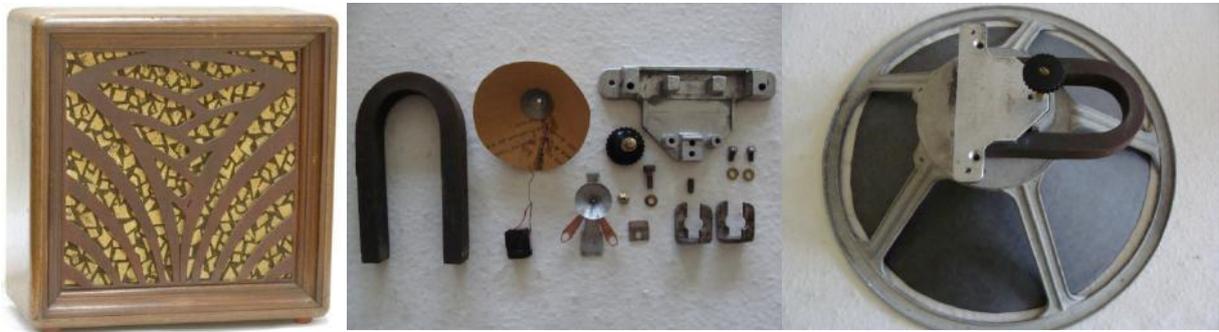
Enfin, l'inverseur INV1 permet d'orienter le signal de sortie soit vers le connecteur du tiroir, soit vers un autre connecteur du même type installé en fond de meuble.

La touche 'intensité', installée elle aussi dans le tiroir, a été étudiée dans les détails dans le dossier de l'Onde N°169.

Aucune valeur n'a pu être mesurée : tous ces condensateurs présentent des fuites importantes. Mais par comparaison avec le schéma du tiroir de l'Onde N°169, on peut probablement affecter les valeurs suivantes aux condensateurs :  $C1+C5 = 40 \text{ nF}$ ,  $C2 = 20 \text{ nF}$ ,  $C3 = 10 \text{ nF}$  et  $C4 = 250 \text{ nF}$ . Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour vérifier que ces valeurs, lorsqu'elles sont mises en service, produisent les effets définis par M. Martenot. Sur ses premiers instruments, M. Martenot repère ces touches par les chiffres 1, 2, 3. Il ajoutera ensuite le N°0, puis le N°4 et d'autres touches, comme 'g'. Les correspondances ne sont pas toujours faciles à établir.

## Le Diffuseur

Le **Diffuseur** est le dernier élément constitutif de l'instrument 'Onde Martenot'. Nous n'avons pas à notre disposition de dispositif représentatif associé à l'instrument. Mais il s'agit probablement d'un modèle à tige et cône papier. Une description complète a été réalisée sur un modèle de ce type dans le dossier de l'Onde N°169. La bande passante de ces dispositifs est étroite. L'influence sur la musicalité de l'instrument est déterminante.



Exemple d'un diffuseur contemporain à ceux utilisés par M. Martenot

## Les alimentations



Le module alimentation haute tension

Les alimentations, indispensables au fonctionnement de l'instrument, doivent répondre à des critères de conception qui, s'ils ne sont pas purement musicaux, peuvent cependant interférer au niveau de la musicalité de l'instrument : variation de puissance en cours de jeu, bruits de ronflement, parasites divers, etc.

Les alimentations se divisent en quatre unités :

- le module alimentation haute tension,
- la batterie d'accumulateur,
- le chargeur,
- les piles de polarisation.

Le module alimentation installé dans le meuble de l'instrument a semble-t-il été réalisé par un atelier spécialisé. Logé dans un boîtier peint en noir, son démontage nous a apporté peu d'informations. Il semble qu'il s'agisse d'une structure double puisque nous observons la présence de deux

transformateurs, deux valves redresseuses de type 506, des inductances, des condensateurs de filtrage et des rhéostats de réglage. De nombreux éléments ne peuvent être identifiés, soit parce qu'ils ont été dégradés, soit parce qu'ils ne sont pas accessibles. Il n'a pas été possible de relever un schéma.

L'analyse de fonctionnement global de l'instrument et la lecture des notices des constructeurs (relatives aux tubes électroniques utilisés), nous permettent de contourner la difficulté et de proposer les caractéristiques probables suivantes :

- Une entrée : secteur 110 V/50 Hz
- Une sortie 120 V continu pour alimenter la triode de puissance
- Une sortie 90 V continu pour alimenter le préamplificateur
- Une sortie 80 V continu pour alimenter les hétérodynes

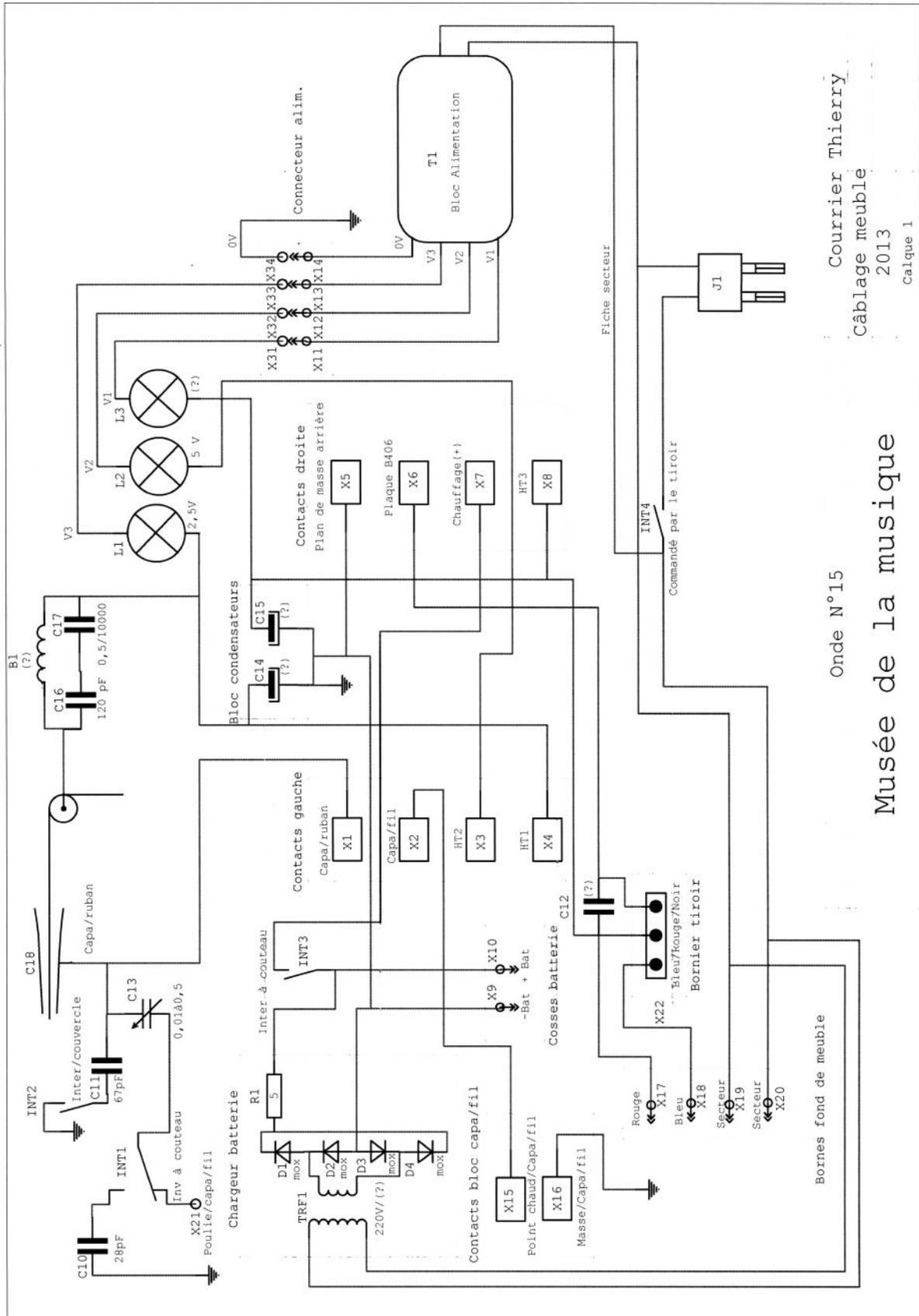
Deux condensateurs de filtrage (C14, C15) sont installés au fond du meuble. Ils assurent le découplage des hautes tensions au plus près de la platine principale. A la mesure, ils présentent des fuites importantes, mais ne sont pas en court-circuit. Si la mesure de la valeur n'est pas concluante, il est encore possible de les mettre sous tension avec la platine principale.

Rappelons que pour assurer le fonctionnement de l'instrument, il faut aussi disposer d'une batterie d'accumulateur (4V) pour le chauffage des tubes. Ces batteries sont absentes du meuble, mais l'emplacement est clairement identifié. Deux cosses à visser (X9, X10) sont placées à proximité de la zone de glissement du tiroir. Elles devaient être serrées sur les bornes correspondantes de la batterie d'accumulateur.

Un système chargeur d'accumulateur est installé à gauche du meuble sur la paroi latérale. Il est constitué d'un petit transformateur, relié d'une part au réseau 110V/50Hz et, d'autre part, à un redresseur en pont complet équipé de cellules au métal/oxyde ou au sélénium. Un système astucieux, imaginé par M. Martenot, permettait de ne mettre en service ces accumulateurs, à l'aide d'un interrupteur (INT3), que lorsque le tiroir était ouvert. Un autre interrupteur (INT4), disposé à droite du tiroir et commandé lui aussi par le tiroir, assurait la mise sous tension générale de l'instrument.

Pour assurer la polarisation (3V & 9V) des triodes de l'amplificateur, deux piles sont nécessaires. Elles étaient disposées sur la platine principale : des traces d'oxydation, dues aux fuites que présentaient fréquemment ces dispositifs, sont apparentes sur le châssis. Elles alimentaient de façon permanente les grilles des triodes amplificatrices.

Le câblage du fond du meuble est donné page suivante.



Courrier Thierry  
 Câblage meuble  
 2013  
 Calque 1

Onde N°15  
 Musée de la musique

M. Martenot avait prévu un dispositif de mesure des tensions sur son instrument. Il a donc placé, sur la platine principale, un voltmètre à deux échelles : 0-180 V/0-6V, ainsi que deux boutons poussoirs

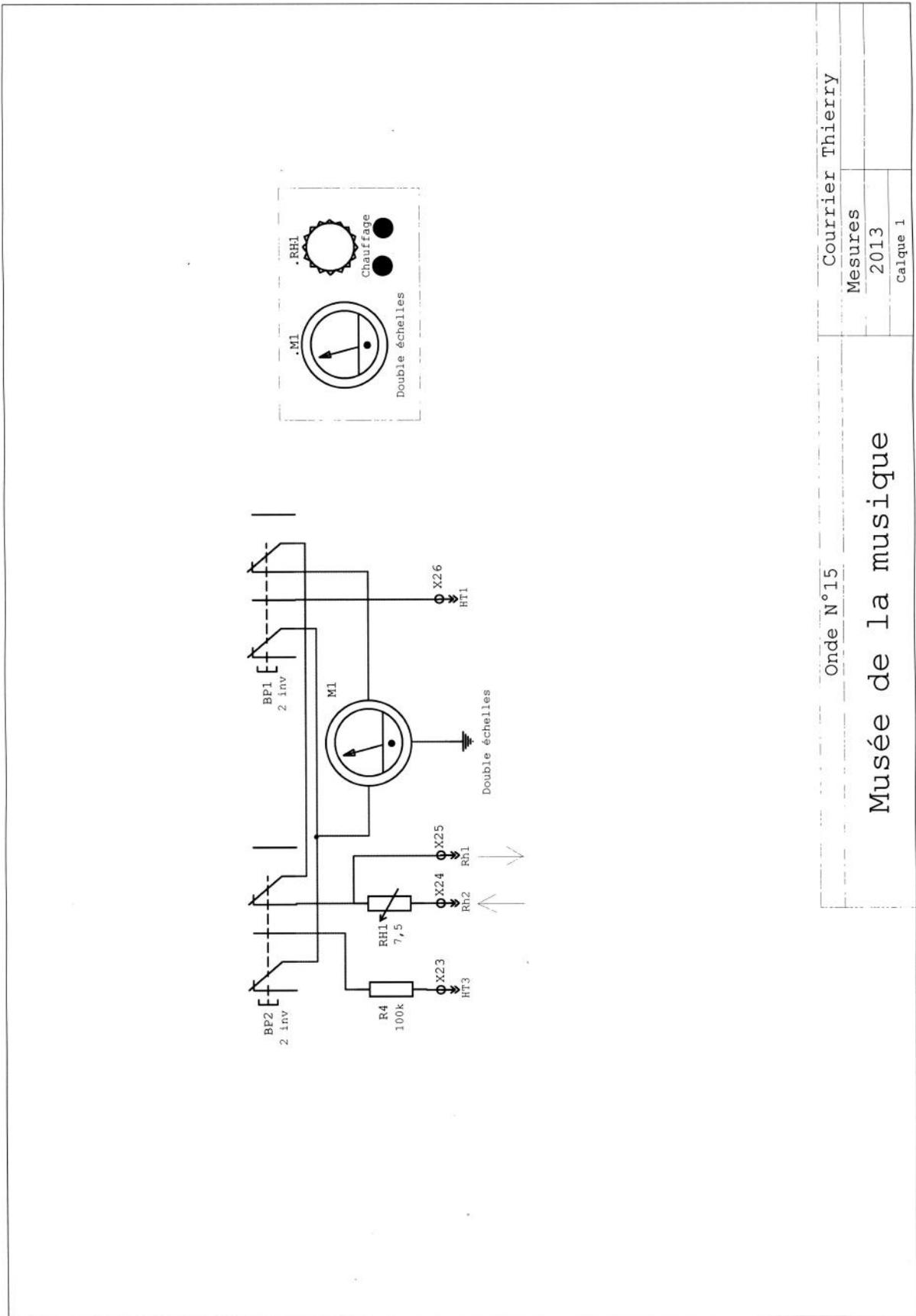
et un rhéostat de réglage. Etaient ainsi rendues possibles les mesures suivantes :

- Les deux boutons poussoirs relâchés : mesure de la tension de chauffage des triodes des hétérodynes. Un rhéostat de réglage, gradué de 0 à 10, permettait d'ajuster la tension de chauffage. Généralement, les triodes des hétérodynes avaient leur filament sous-alimenté (3 à 3,5V) afin d'améliorer la stabilité des oscillateurs. Cette valeur de réglage nécessitait d'abaisser la tension appliquée aux plaques autour de 80V.
- Pression sur BP1 : mesure de la haute tension (HT3 = 120V) aux bornes de la triode de puissance.
- Appui sur BP2 : mesure de la haute tension (HT1= 80 V) aux bornes des triodes des hétérodynes.



Le dispositif de mesure

Le schéma de ce système de mesure est donné page suivante.



A noter aussi, une autre curiosité au niveau de ces sources d'alimentation : trois lampes 'mignonnette' (L1, L2, L3) sont connectées en série avec chacune des sources haute tension. Ces

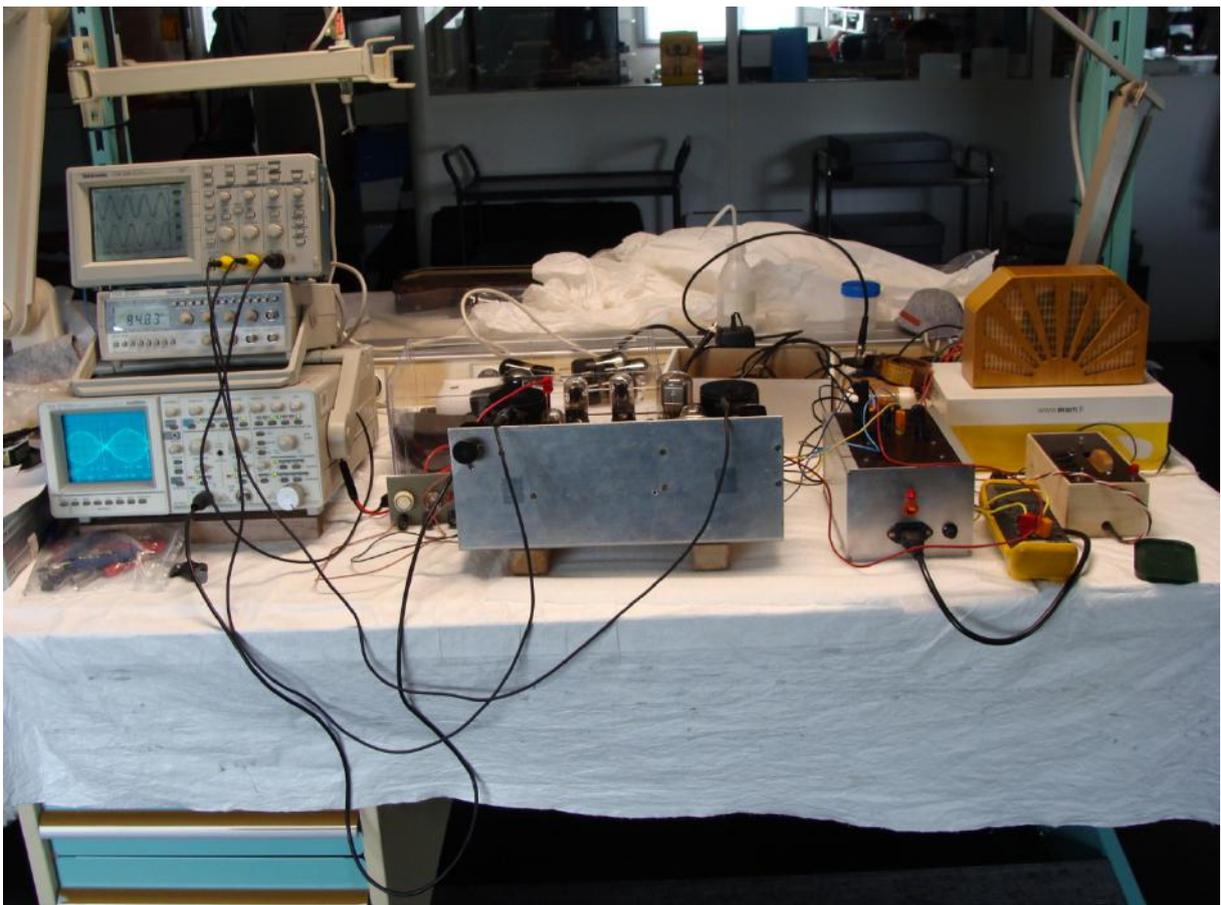
Onde N°15		Courrier Thierry	
Musée de la musique		Mesures	2013
		Caique 1	

lampes d'éclairage basse tension étaient traversées par le courant consommé par les triodes. En fonctionnement normal, on pouvait apercevoir une faible lueur rouge ; en cas de défaut, la surintensité provoquait la rupture du filament, et en conséquence l'ouverture et l'isolement du circuit haute tension correspondant. Ces lampes avaient donc un rôle de fusible.



Les lampes mignonnettes

## Les essais



Mesures sur table

## - Les préparations

Les éléments de câblage sont dans des états de conservation très divers. Grâce à la possibilité d'accéder à tous les points nécessaires au fonctionnement de l'Onde, seul le câblage de la platine principale est déterminant. Or, celui-ci est en bon état.

Nous avons donc effectué les opérations suivantes :

- substitution de tous les tubes à vide,
- substitution des deux transformateurs BF,
- substitution de toutes les sources à courant continu,
- construction d'une touche 'intensité',
- échange du ruban,
- acquisition d'un **Diffuseur**.

Ces essais ne sont intéressants que si nous arrivons à reproduire les sons tels que M. Martenot les a entendus. Il faut dès lors sélectionner les éléments qui ont une influence déterminante sur l'authenticité de l'onde musicale.

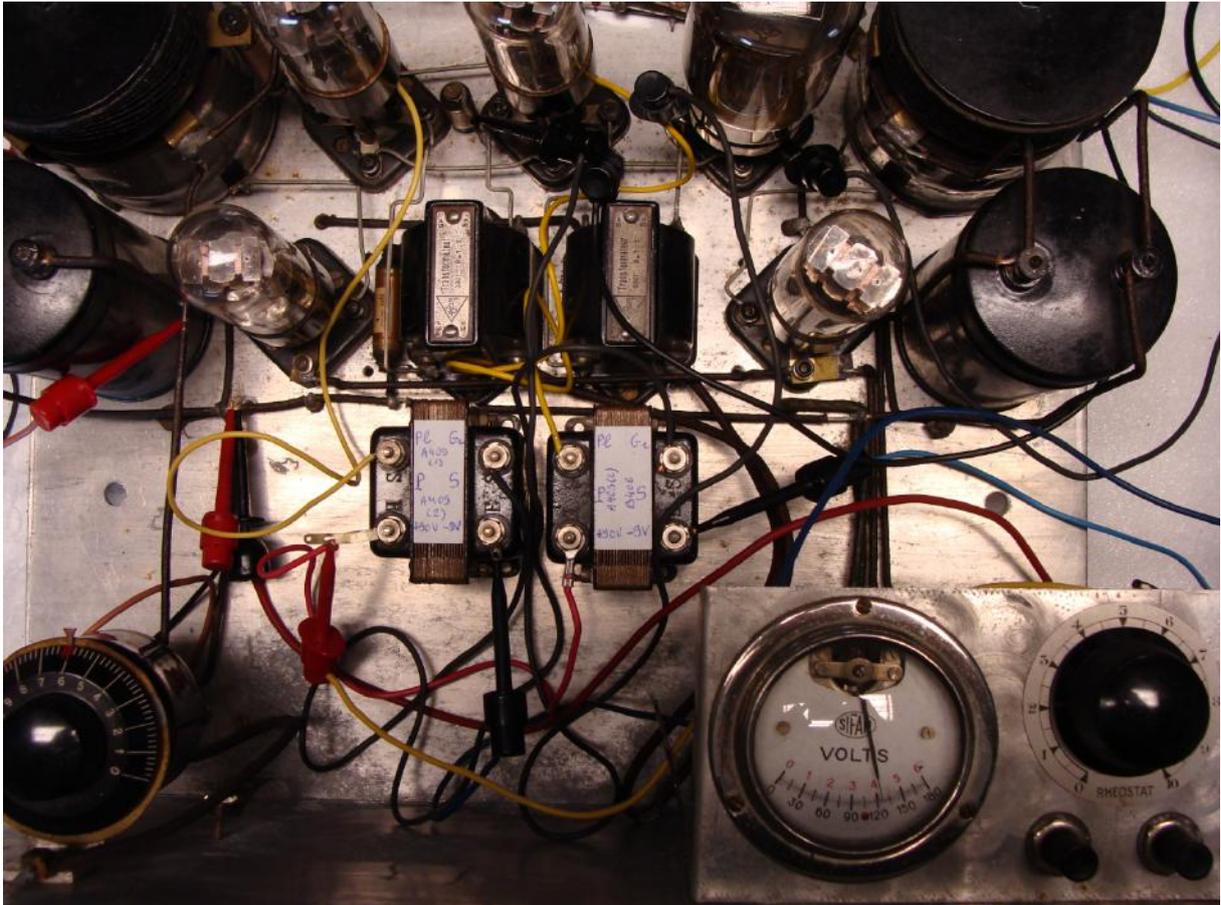
D'un point de vue purement instrumental, la touche et le ruban sont les deux interfaces caractéristiques de l'instrument. Le fonctionnement du ruban restera authentique, même après échange de celui-ci. Pour la touche, la substitution est plus délicate mais réalisable.

Au niveau du fonctionnement électrique, c'est l'ensemble :

détecteur/préamplificateur/amplificateur/**Diffuseur**,

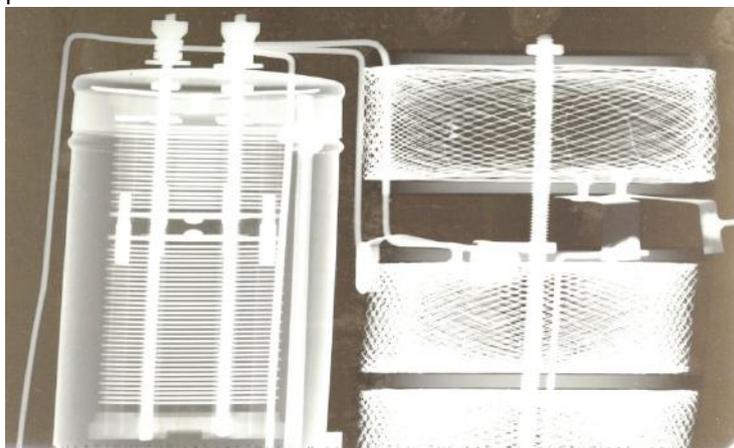
qui est déterminant (régime de saturation). Les deux transformateurs basses fréquences ont des caractéristiques spécifiques qui influent sur la bande passante et la dynamique du système. Ces performances sont en relation directe avec l'utilisation de matériaux ferromagnétiques. Ils seront échangés avec des modèles des années 1920, strictement équivalents.

De la même façon, nous utiliserons pour les triodes les mêmes modèles à l'état neuf.



Substitution des transformateurs basses fréquences

Les condensateurs C5 et C7, qui définissent à vide les fréquences de résonance de chacun des hétérodynes, sont enfermés dans un boîtier métallique peint en noir. Ces deux condensateurs sont alimentés directement sous la haute tension HT1 = 80 V. Ni l'état général, ni le type de ces condensateurs ne sont observables directement. Une radiographie est nécessaire. Le cliché est d'excellente qualité. Le doute est levé : ces condensateurs sont à air, et en parfait état de conservation. Le risque à la mise sous tension est éliminé à ce niveau.



Radiographie du circuit oscillant. A gauche, le condensateur à air. A droite, les enroulements en nid d'abeilles du transformateur HF.

## Le diffuseur

- Le diffuseur à tige et cône papier.



Le haut-parleur tel que nous le connaissons aujourd'hui est apparu autour des années 1927/1930. Il était très encombrant et lourd, nécessitait l'utilisation d'un transformateur d'adaptation et éventuellement d'un circuit d'excitation. La probabilité que M. Martenot ait utilisé ce dispositif dès sa mise à disposition est faible. En revanche, il intégrera le haut-parleur dans ses **Diffuseurs**, seul ou avec un diffuseur à tige et cône papier vers 1930/33 (?)

- Le diffuseur à tige et cône papier est le dispositif reproducteur de son qui s'impose notamment en T.S.F dès 1925. En réalité, il est le précurseur du haut-parleur électrodynamique puisqu'il utilise un aimant permanent et une membrane en forme de cône. La différence essentielle réside dans le transfert d'énergie entre le système électrique et le système mécanique. Pour le diffuseur, le transfert d'énergie se fait au travers d'une palette métallique mobile autour d'un axe et reliée au cône par une tige. Pour le haut-parleur, le transfert d'énergie est direct puisqu'il s'agit d'une interaction champ magnétique/bobine. La bobine mobile est solidaire de la membrane en papier. Le diffuseur à tige et cône papier a le meilleur rendement de tous les dispositifs connus à l'époque, hors haut-parleur. Même si la bande passante est étroite, elle est supérieure à celle du cornet ou du diffuseur à membrane et est plus centrée par rapport à la bande acoustique musicale. C'est probablement le dispositif utilisé par M. Martenot dès la création de son instrument. Nous adopterons donc ce type de diffuseur. Les pièces de collection sont largement disponibles car très utilisées en T.S.F ; la restauration fonctionnelle ne pose aucune difficulté. L'authenticité de la reproduction sonore sera préservée.

## - La réalisation

Après avoir substitué les composants en défaut ou sensibles, nous avons réalisé les essais sur la platine principale, hors meuble. Il s'agissait de s'assurer que les deux hétérodynes pouvaient fonctionner. Bien que l'hétérodyne à fréquence fixe ait présenté quelques difficultés au démarrage, nous avons visualisé chacun des deux signaux. Ces hétérodynes délivrent des signaux sinusoïdaux de très bonne qualité.

Nous percevons très rapidement des problèmes de dérives, en particulier des glissements de fréquence, par influence. La difficulté majeure à surmonter est celle des mesures des fréquences elles-mêmes. La variation de capacité pour obtenir deux fréquences sonores successives peu être inférieure au pF. Dans ces conditions, la mesure est perturbante. Ainsi, une mesure (sans ruban) de

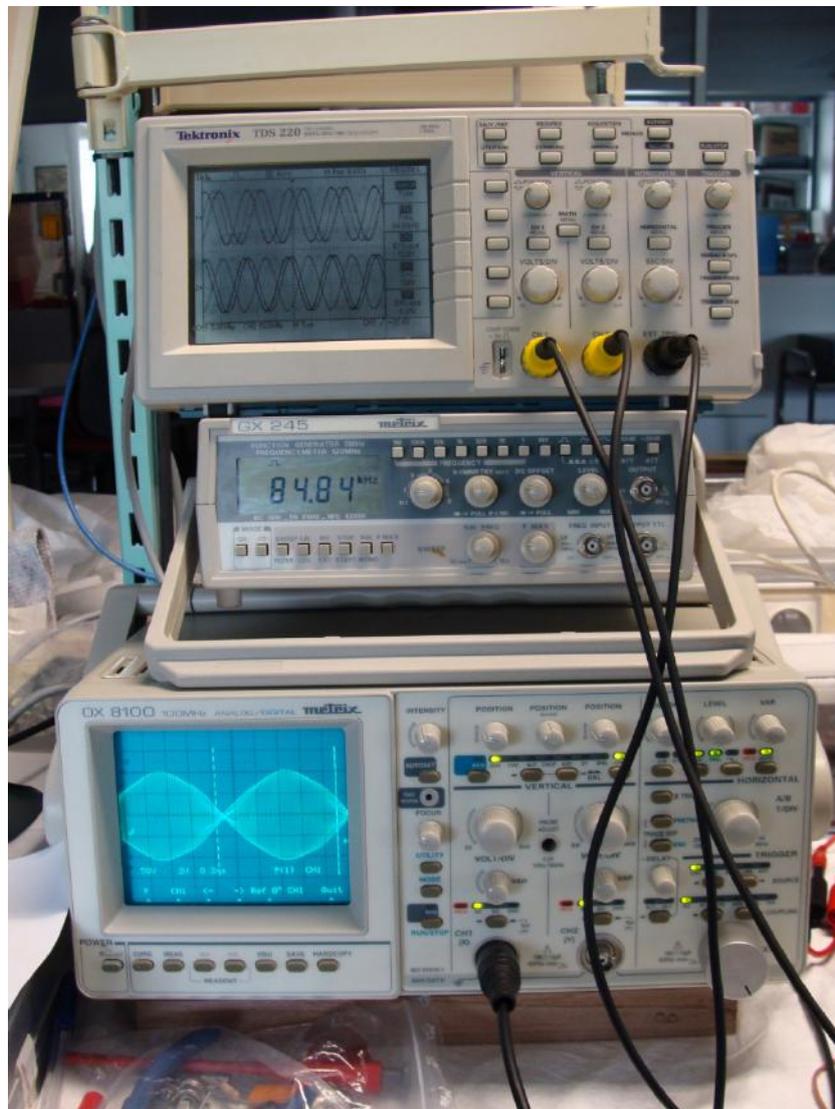
fréquence sur l'hétérodyne à fréquences variables a donné les résultats suivants :

- Mesure par influence en utilisant un conducteur type antenne,  $F = 91,00$  kHz.
- Mesure réalisée à l'aide d'une sonde 1/10,  $F = 90,11$  kHz.

Par la suite, toutes nos mesures seront réalisées à l'aide de sonde 1/10. Pour s'affranchir de ces contraintes au niveau des mesures, il faut disposer d'équipements et de conditions de mesures qui ne sont accessibles que dans les laboratoires spécialisés.

Toujours sur table, nous avons testé le fonctionnement de la chaîne détection + amplification. D'abord sur une charge résistive pure, puis sur un haut-parleur couplé à un transformateur d'impédance. Le fonctionnement est conforme à l'analyse.

Dans une deuxième étape, nous avons réintégré la platine principale dans le meuble et nous avons renouvelé les essais avec le ruban et un **Diffuseur**. L'instrument fonctionne normalement, et les *glissandi* sont obtenus malgré une faible tension du ruban existant.



Le signal de battement à l'entrée de la triode V2

Nous constatons que l'instrument est désaccordé aussi bien en centrage qu'en étendue de fréquence.

Les glissements de fréquence sont perceptibles en particulier par approche de la main de l'opérateur à proximité de l'instrument. Il sera donc nécessaire lors des essais d'enregistrement de faire fonctionner l'instrument couvercle fermé.

Sur toute l'étendue de mesure on observe une excellente qualité des signaux sinusoïdaux délivrés par les hétérodynes .

La remise en état de fonctionnement de cet instrument a été effectuée dans de bonnes conditions. Cela est dû à l'accessibilité des différents composants de l'instrument, à sa conception modulaire et à son bon état général de conservation.