

Petit retour en arrière avec le brevet de Lee de Forest en..... 1906...

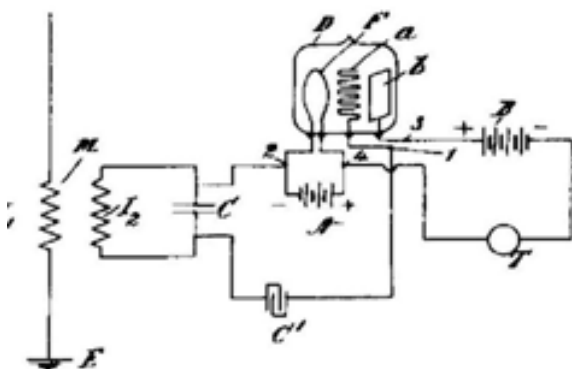


Fig. 1.

En haut 'l'audion', qui sera l'ancêtre de tous les tubes, avec un filament, une plaque, et au milieu la grille...

En bas une paire de plaques avec le filament au centre...ceci sera peu utilisé, sauf quelques tubes 'Gammatron' de Heintz et Kaufman qui ont un (vague) air de famille

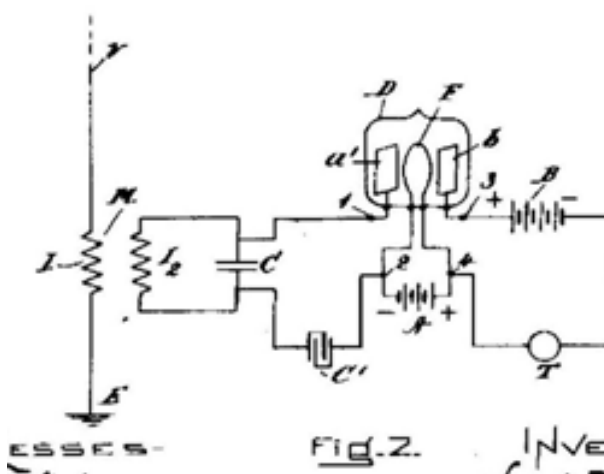


Fig. 2.

Plus proches de nous les tubes 'rod' des Russes font appel au contrôle 'électrostatique' du courant entre filament et plaque, (même si cette dernière est une simple tige) par d'autres 'tiges' interposées symétriquement sur le parcours des électrons...rien qui ressemble à une 'grille' classique

La représentation de la 'double diode' de Lee de Forest a été reprise sur des milliers de schémas montrant le redressement 'double alternance'...qui ne peut marcher si on s'en tient précisément au dessin...(démonstration par, J. Groszkowski, Henrich Barkhausen...) tandis que Eugène Bloch (ami de Henri Abraham qui réalisait les premières TM) se 'plante' sur le sujet dans 'les Phénomènes Thermioniques' 1923

Dans les 5U4 5R4 80 80S GZ32 EZ40 AZ50 AX50 AZ11 EZ11 EZ12 117Z6 43IU 84A...les deux éléments redresseurs sont totalement séparés, chaque plaque disposant de son émetteur d'électrons, ou alors utilisent une cathode commune avec les deux plaques l'une au dessus de l'autre...par contre, si la 'double diode' contient du gaz, par exemple de la vapeur de mercure, les ions positifs neutralisant la charge d'espace, le fonctionnement en symétrie devient possible...cas de la 83.

Après la réalisation de triodes 'maison'...en route pour de nouvelles aventures afin de voir à quoi pourrait bien servir la 'double diode' de Lee de Forest.

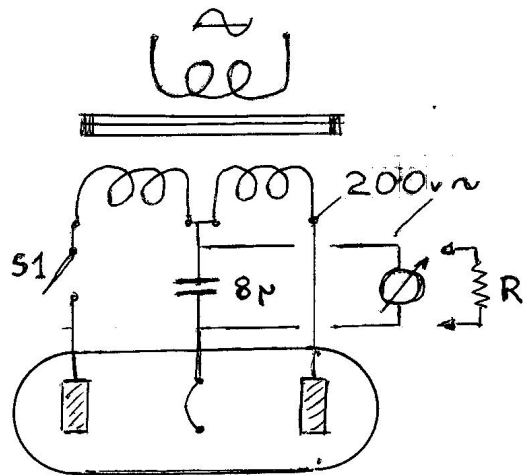
Plutôt 'rustique' vis-à-vis d'une triode...un filament encadré par une paire de plaques avec toute liberté quant à la dimension ou l'écartement des éléments...

Première vérification des assertions de Messieurs Groszkowski-Barkhausen....

Suivant le schéma on reconnaît le redressement simple alternance avec S1 ouvert, qui passe en double alternance en fermant S1....

Pour peu que l'ensemble se borne à charger un condensateur de bonne qualité, bien isolé, on doit trouver en sortie la tension crête de la tension alternative...a peu de choses près si le voltmètre ne se montre pas trop gourmand.

En pratique avec 200 volts appliqués à une plaque, on relève une tension continue qui varie entre 267 et 279 volts suivant les tubes...une légère différence étant notée entre les deux plaques d'un même tube, ceci suite aux variations géométriques (surface, centrage...) de même, pour une même plaque, la tension augmente quelque peu en utilisant un voltmètre avec 30 mégohms de résistance interne au lieu du classique 10 mégohms...par exemple 273 volts deviennent 279 volts chargés par 30 mégohms



Sur ces premiers essais on arrive à une tension redressée dans les 1,33 à 1,39 fois les 200 volts de départ, donc pas très éloignée du 1,414 théorique.

En dehors des variations dues à la géométrie des éléments, la différence se trouve également dans la faible chute de tension résiduelle entre plaque et filament.

Si ce dernier est capable de délivrer plusieurs milliampères, il s'agit ici de microampères et l'espace filament plaque présente inévitablement une certaine résistance.

Egalement, la charge apportée par le voltmètre, même avec 30 mégohms n'est pas infinie...sans oublier la précision des instruments, la 'pureté' de la sinusoïde 50 Hz, ou ses incessantes fluctuations....

La suite est plus intéressante....

Avec une plaque délivrant une tension dans la gamme évoquée ci-dessus, la fermeture de S1 provoque une chute non négligeable de la tension, redressée cette fois en 'double alternance'....avec 190 à 214 volts, la diminution varie entre 20 et 30% selon les tubes.

La situation ne s'améliore pas, bien au contraire, si la charge en parallèle sur le condensateur augmente, cas d'une alimentation classique

Donc vérification expérimentale de ce que disait Henrich Barkhausen...*on a fait de nombreux et vains essais avec cette disposition erronée...*

Partant du fait que les deux plaques sont, à tout moment, de potentiel opposé, il semblait logique que la plaque 'négative' apporte son concours pour repousser les électrons et ainsi renforcer l'action de son vis-à-vis positive...rien de tout cela et les 'bons auteurs' (Paul Berché dans quelques pages sur l'électrostatisme, ou Barkhausen au sujet des tubes 'à commande externe'...) réduisent à néant cette illusion

Comme quoi les lexiques de lampes sont souvent de grands menteurs....

Tout n'est pas perdu...

Il a été mentionné que les variations dans la géométrie des diodes amenaient des différences sur les tensions redressées....

Pourquoi ne pas accentuer radicalement la chose, avec comme résultat une 'double diode' où le filament est très nettement plus proche d'une plaque que de l'autre...disposition 'asymétrique' comparée à un filament au centre, donc 'symétrique'.

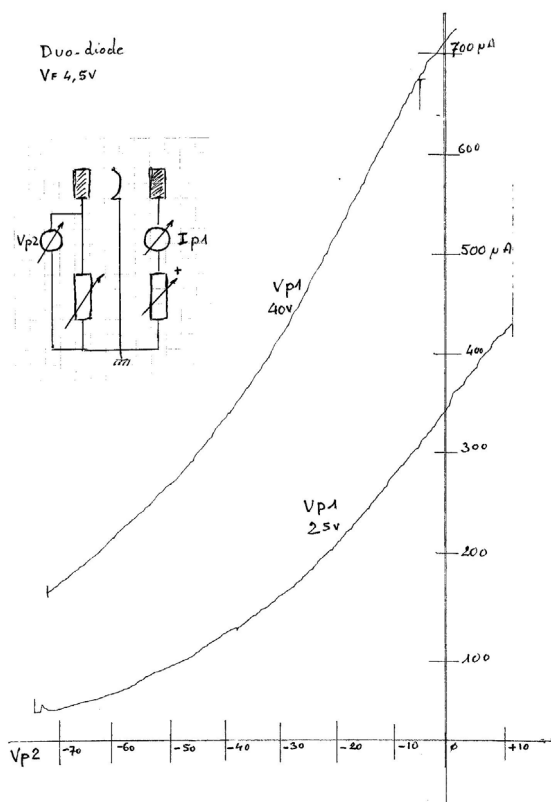
Les essais de base en redressement mono alternance donnent très sensiblement les mêmes résultats que pour le modèle de base 'symétrique'....la tension issue de la plaque proche du filament étant néanmoins plus élevée que celle de son vis-à-vis, ce qui est logique, le parcours d'une poignée d'électrons étant plus ou moins long sur un espace plus ou moins résistif.

La tension de crête est de l'ordre de 1,37 fois la tension alternative pour les plaques proches du filament, contre 1,25 pour les plus éloignées.

Par contre en passant au redressement des deux alternances la tension chute très nettement moins que pour les tubes symétriques...à peine 10% suite à l'influence réduite de la plaque éloignée, l'autre plaque bénéficiant de sa proximité avec le filament.

En pratique l'espace filament plaque est de l'ordre de 1,5 mm pour l'une, passant à 3 ou 5 mm suivant les tubes pour la deuxième plaque

A ce stade la question se pose d'un éventuel 'gain' consécutif à l'action d'une plaque sur son homologue...la réponse est donnée par le relevé des caractéristiques sur une table traçante.



La similitude avec les courbes I_p/V_g d'une triode est trompeuse....en fait les deux courbes montrent l'influence d'une tension négative appliquée à la plaque figurée à gauche (V_{p2}), sur le courant recueilli par la plaque de droite (I_{p1}), cette dernière étant alimentée en 25 ou 40 volts.

Courbes relevées sur un tube dont les plaques sont à des distances égales du filament, le courant ayant été limité à une valeur modérée.

On constate que pour réduire de moitié le courant V_{p1} il faut appliquer une tension négative sur la plaque 'de commande'...de même valeur que celle, positive, sur l'autre plaque...de là à dire que le 'gain' est de -1pas de quoi crier au miracle.

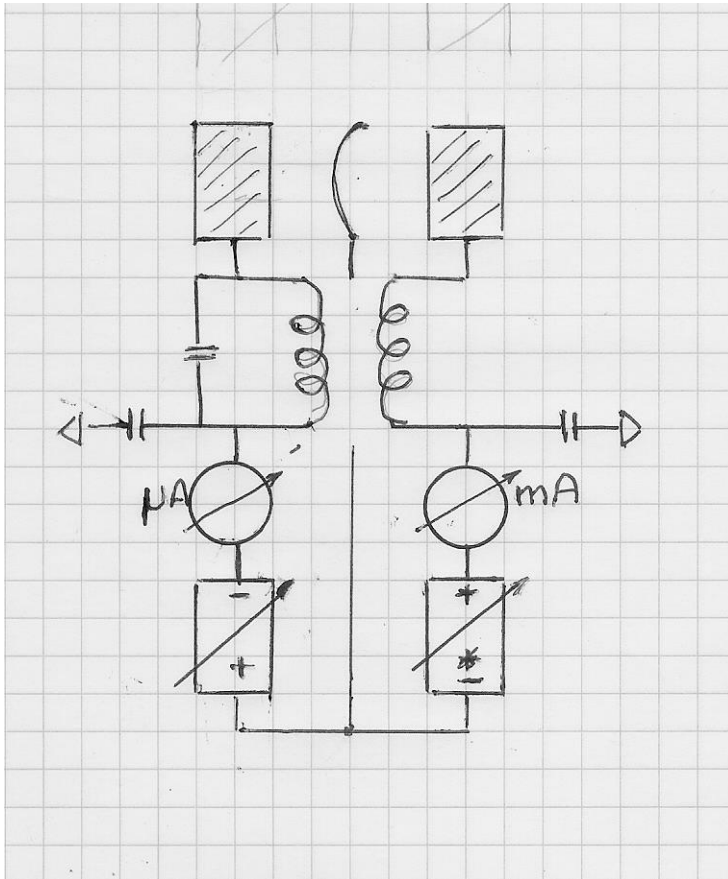
Dans le cas des tubes 'asymétriques' il y a certes une amélioration mais guère plus.

Doit-on renoncer à une utilisation quelconque faute d'un gain appréciable... ?..

Pas si sûr...nous venons de voir qu'une tension négative appliquée à une plaque pouvait modifier le courant de l'autre...la plaque 'négative' devient assimilable à une

grille conventionnelle qui est généralement négative et dépourvue de courant (pour peu que le vide soit de bonne qualité), donc à haute impédance.

A défaut d'un gain en tension, on arrive à un éventuel gain en puissance où la tension aux bornes d'un circuit accordé va se retrouver, plus utilisable, sur la deuxième plaque, même si la tension a perdu de sa valeur absolue....et pourquoi pas l'inverse.. ?..



A priori, ce qui vient d'être envisagé peut être mis en œuvre en reliant les deux électrodes par un couplage externe, pour obtenir ce qui a tout d'un oscillateur...

Le manque de nervosité de la paire de plaques sera compensé par le rapport de transformation de l'élément de couplage.

Reste à mettre en pratique avec fer à souder et divers composants...



Premier montage avec une diode 'symétrique' et un pot de ferrite.

Après quelques péripéties avec le rapport du nombre de tours primaire-secondaire, 1/3 étant finalement adopté, une oscillation est obtenue sur 19200 Hz

La tension c.a.c. est modeste, aux alentours de 25 à 30 volts, très dépendante de la tension négative sur la plaque reliée à l'enroulement 'secondaire' comportant le plus grand nombre de tours.

La progression de la valeur c.a.c. suit fidèlement l'augmentation de la tension négative, ceci jusqu'à un point où l'oscillation décroche.

A noter que, peu avant ce point, la tension négative est très sensiblement la moitié de la tension c.a.c, ici -13 volts

Une perturbation importante de l'oscillation se produit en approchant une main du tube...débutant par une 'modulation' a 50 Hz, de plus en plus prononcée, jusqu'à provoquer l'arrêt des oscillations.

Le remplacement du tube par un modèle 'asymétrique' améliore sensiblement les choses, la tension c.a.c passant à 80 volts.

A défaut de parler d'un gain pour ce dernier tube (au sens habituel du terme) on se bornera à évoquer une meilleure 'sensibilité'.....

Autre différence : l'approche de la main est sans effet sur l'oscillation

Deuxième essai, avec un très petit transformateur BF, rapport 1/3 pour vérification des essais précédents.

Cette fois, avec une diode asymétrique, le niveau d'oscillation augmente.

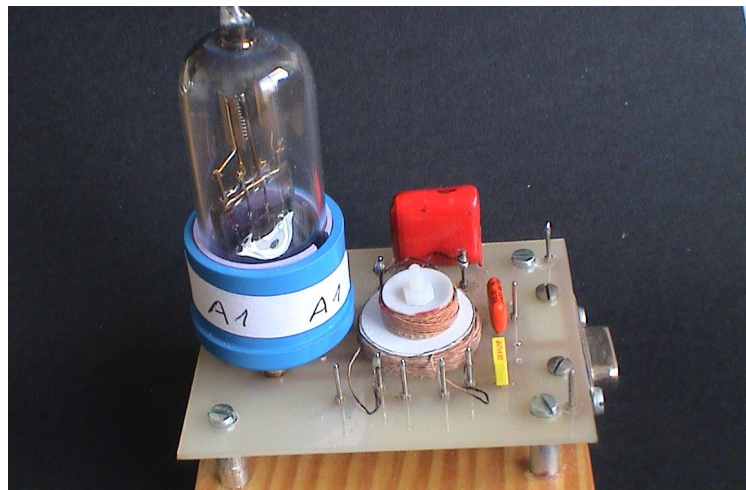
Suivant la tension négative, l'oscillation, vers 1 kHz, grimpe entre 80 à 120 volts avec éventuelle retouche de la tension positive de plaque, ou chauffage filament.



Dernière tentative...on explore les U.H.F des années 1920

Avec une autre diode asymétrique et des selfs du type 'self de choc' bobinées en fil de Litz...réalisation d'un circuit accordé sur 310 kHz par un 510 pF, couplage avec une self de même nature mais bien allégée coté nombre de tours...

Oscillation dans des conditions quasiment identiques à celles ci-dessus.



Juste pour voir, sans le condensateur, avec les seules capacités réparties, un enroulement primaire encore amaigri, cela oscille sur 1410 kHz et 120-130 volts c.a.c.

Dernière remarque, si la tension négative est encore une fois très voisine de la moitié de la tension c.a.c. il se produit une inversion du sens du courant (en microampères) qui entre ou sort de la plaque négative...ceci coïncidant avec le passage par la tension négative c.a.c./2...une analogie avec les grilles qui réagissent au moment où leur polarisation devient insuffisante.

Pour l'ensemble des essais la tension positive est de l'ordre de 150/200 volts, la tension c.a.c. aux bornes de l'enroulement 'primaire' de 25 volts à 1410 kHz.

La charge de cet enroulement par une résistance de 15000 ohms en parallèle permet d'obtenir quelques milliwatts, sans plus.

Cette très modeste puissance est à rapprocher de la dimension des plaques, 9 x 6 mm, guère plus d'un demi cm², contre pratiquement dix fois plus pour la TM.

Choix décidé en prévision de la 'purge' des éléments par le seul 'bombardement électronique' au lieu du chauffage haute fréquence, ce dernier peu efficace sur des surfaces planes, alors que la forme tubulaire de la triode classique est idéale.

Les plaques passent au rouge avec 10 mA sous 400 volts...par comparaison, une anode tubulaire demande cinq fois plus de courant pour le même effet.



Dernière remarque : 'l'effet de main' évoqué plus avant est constaté sur les seules diodes munies de plaques avec non seulement les 'grandes' dimensions de la photo ci-dessous, mais également plus éloignées du filament, ceci comparé aux 'petites' plaques 9 x 6 mm,

Cette perturbation à lieu quel que soit le circuit d'essai, à l'inverse il ne se produit pas avec aucune 'petite' diode, symétrique ou non.

Si, habituellement, le fonctionnement de la triode est basé sur une tension contrôlant un courant, on peut revenir à la démonstration de Camille Gutton qui, dans 'La lampe à trois électrodes', définit son fonctionnement uniquement par l'action des 'lignes de force', ou 'charges électrostatiques'...pour en arriver à calculer le coefficient d'amplification k.

Contrôler le début d'oscillation d'une électrode par ailleurs à haute impédance...cela a un petit air de détectrice à réaction.....demain est un autre jour.

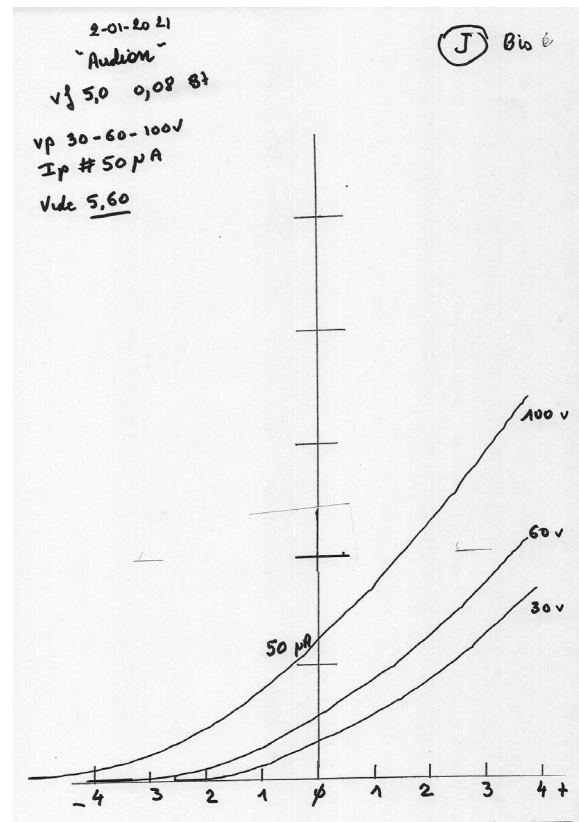
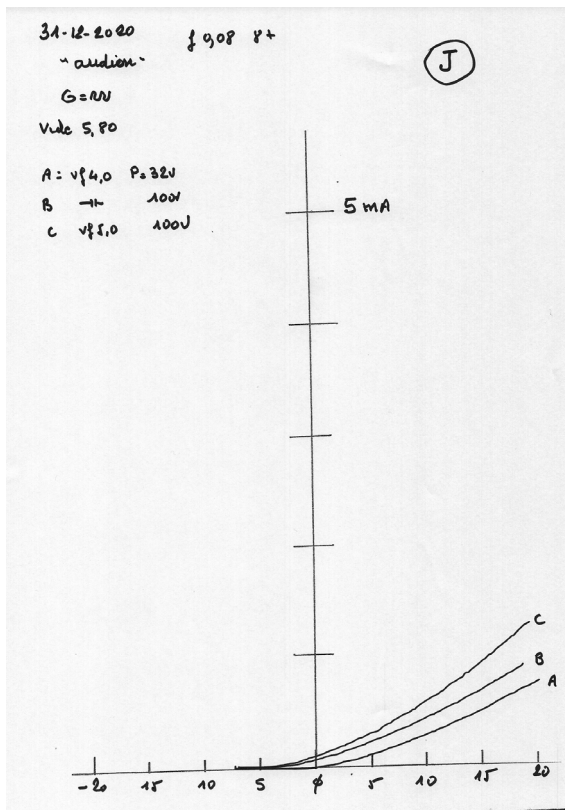
Après ces divers essais, il est évident que si la 'diode double' ne détrônera pas la bonne vieille triode, elle méritait que l'on se penche un peu sur elle.....

Au fait, le vénérable 'Audion'. ?...



Juste pour vérifier...un filament...une 'grille' (en fait un bout de fil plié en zig zag)...une 'plaque'...le tout dans une enceinte maintenue sous vide par une pompe....on alimente.

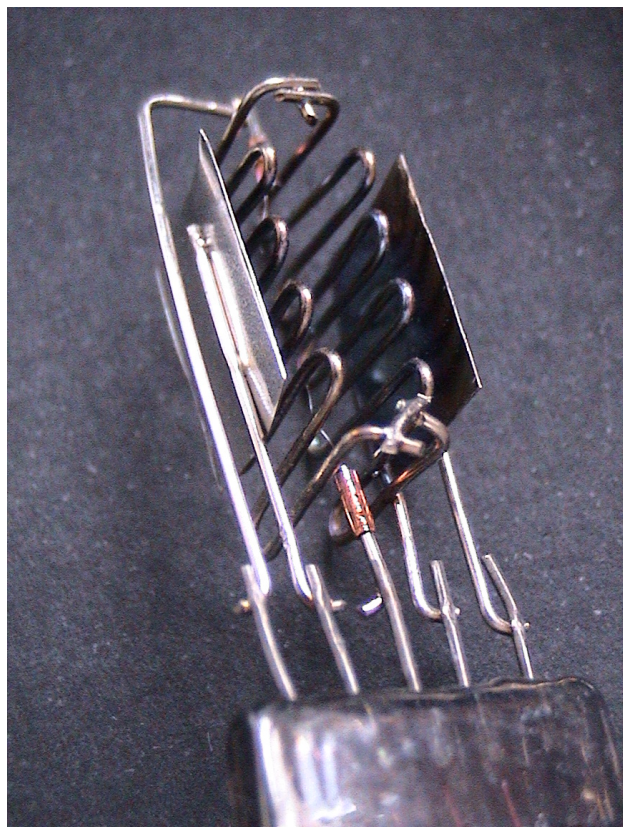
Le résultat est, pour le moins, peu brillant....avec les tensions plaque ou filament habituelles, le courant semble débiter avec une tension grille nulle pour monter péniblement à 500 μ ampères....guère mieux avec 100 volts plaque



En fait il faut changer d'échelle, quitter les milliampères pour arriver aux microampères et retrouver la courbe I_p/V_g d'une triode pas très vivace....conséquence de la structure plane d'un tube bien vidé.

Avec un vide médiocre, mille fois moins bon que celui d'une pompe moderne, les 'Audions' avaient tendance à présenter de belles lueurs bleues au delà de quelques dizaines de volts plaque...contrepartie d'une 'sensibilité exceptionnelle' (et capricieuse) décrite par les utilisateurs.

Donc, peut mieux faire....et Lee de Forest qui double la mise avec l'Audion 'double wing', deux plaques, deux grilles, le filament au centre.....



Amélioration certes, mais peu utilisable de nos jours, encore la géométrie 'plane' avec un vide de bonne qualité.

Au fait, avec un vide analogue à celui obtenu par les 'trompes à mercure' cela donnerait quoi. ?..

Rien de plus facile, partant de 10^{-4} Torr laisser remonter lentement la pression et voir comment les choses évoluent.

Si l'idée était bonne, la suite nettement moins.

Il est bien connu que la nature a horreur du vide...celui des Audions devait se trouver quelque part entre le 'micron', autrement dit le millième de Torr...et le Torr. (millimètre de mercure du côté des baromètres)

A ce niveau, les jauges à ionisation, que ce soit à cathode froide ou chaude, déclarent forfait, les dernières risquant même de voir leur filament se volatiliser au contact de l'air.

Reste les jauges à conduction thermique, Pirani, thermocouple ou autre thermistance.

Si leur étendue de mesure convient, la précision des modèles à notre portée est plus ou moins dépendante de la température ambiante, sans oublier une échelle de lecture qui est tout sauf linéaire....

Revenons à nos Audions...le point de fonctionnement était trouvé en variant la tension plaque ainsi que le chauffage filament pour un début d'ionisation.

A ce moment le courant plaque augmentant considérablement, suite à la réduction de la charge d'espace, la sensibilité en détecteur devient alors excellente.

Sitôt dit, sitôt fait...en variant les tensions filament, grille, plaque, sans oublier le niveau de vide...il y a de quoi déplacer le chariot montrant l'évolution du courant plaque sur une table traçante...avec les sautes d'humeur dudit chariot enregistrant un courant passant brutalement d'une poignée de microampères à deux ou trois milliampères suite à l'ionisation.

Si les tensions d'alimentation peuvent être maintenues constantes, il n'en est pas de même pour le vide...il y a toujours quelque chose qui fuit ou dégaze, même très peu.

En conséquence, il s'est avéré difficile de maintenir le courant plaque à un niveau constant et modéré, par exemple un milliampère.

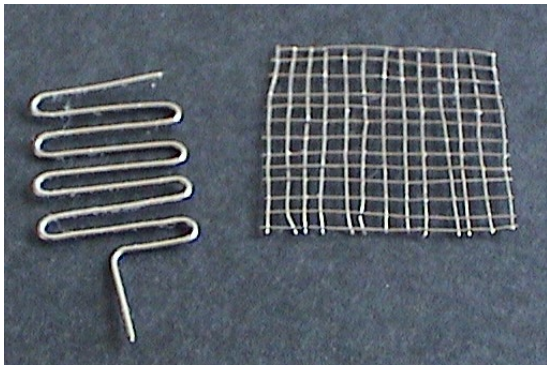
Partant d'une tension plaque de 30 volts, sa réduction accompagnée d'une augmentation de la pression permet néanmoins de retrouver les valeurs précédentes.

Persévérant hardiment dans cette voie, cela s'est terminé par l'envolée en butée du chariot...revenant deux secondes plus tard à la raison, n'ayant plus rien à mesurer, le filament ayant rendu l'âme...

Le résultat de ces 'mesures' (!) est une feuille remplie de gribouillis parfaitement incohérents qu'il a été sage d'oublier.

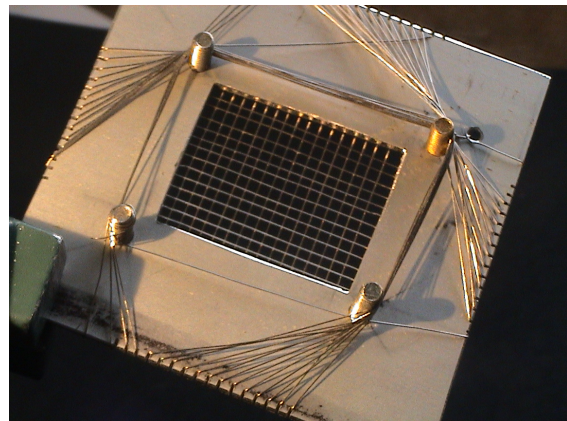
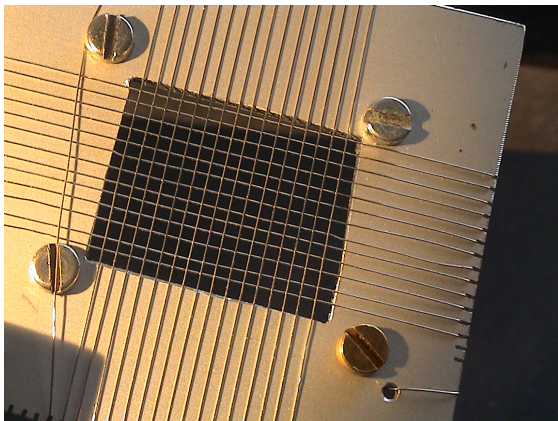
Le 'double wing' de ces péripéties va bien... on lui a greffé un nouveau cœur.

Si le principe de la structure plane pose problème, améliorer l'action de la grille est envisageable...en l'état on peut évoquer ce que certains appelleront plus tard la 'densité de grille'...rapport entre la surface du fil la constituant vis-à-vis de la surface totale qu'elle occupe...autrement dit, suivant le 'pas' du 'bobinage', une passoire ou un goulot d'étranglement pour les électrons, avec comme conséquence la modification des paramètres

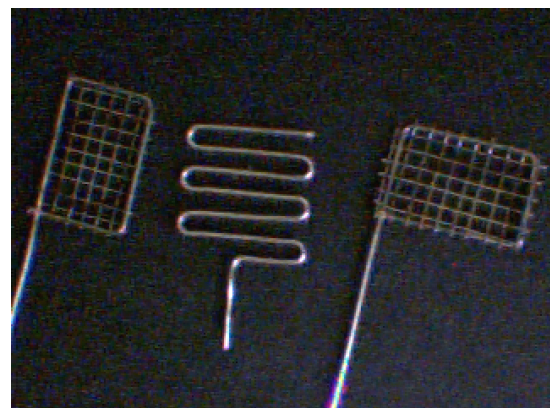


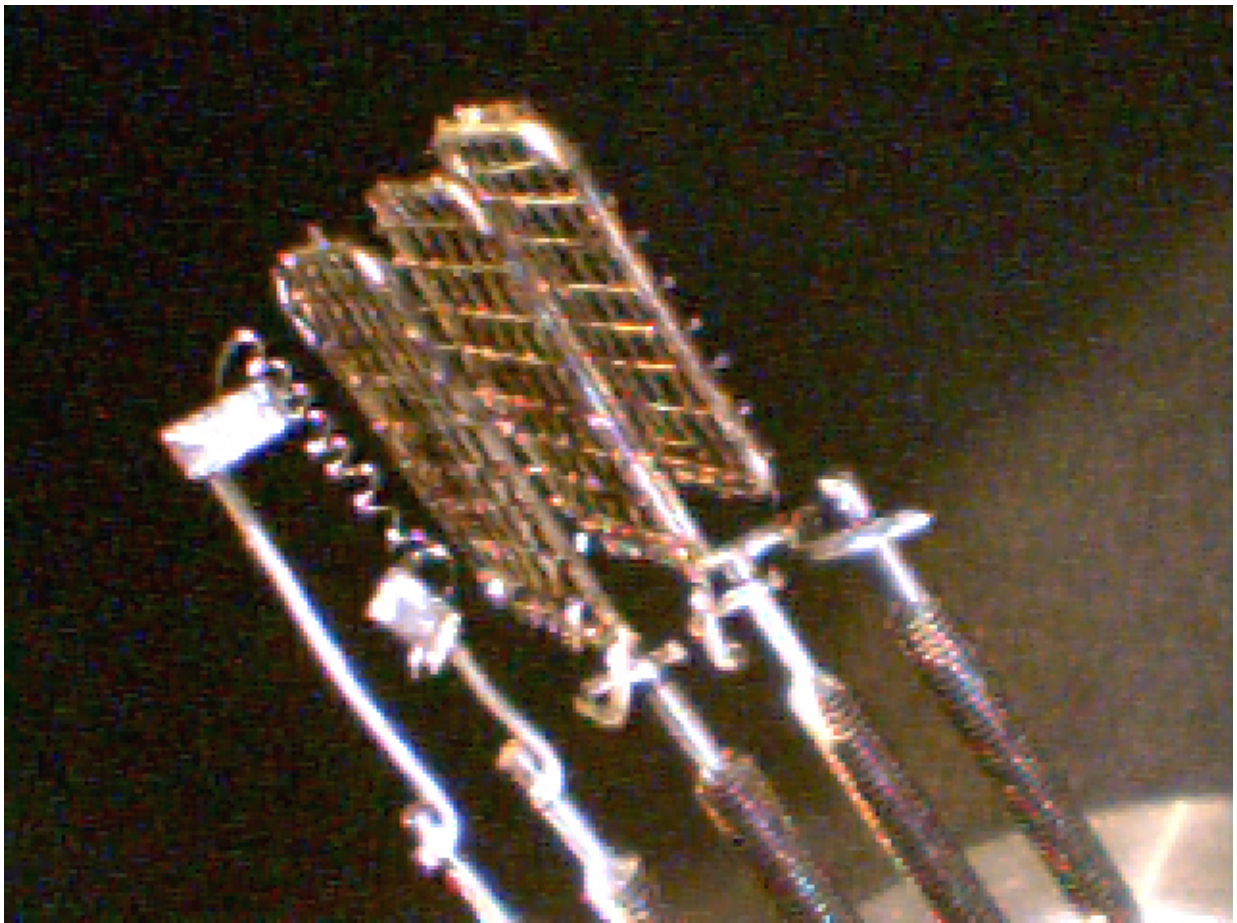
Pour débiter, ce qui ressemble plus ou moins à un grillage...mailles irrégulières, manque de planéité...pas vraiment concluant.

On persiste avec quelque chose de plus régulier, dont la 'maille' dépend du 'pas' des encoches du cadre de bobinage....au passage, la soudure simultanée, avec des électrodes planes, de près de 200 points de croisement des fils demande dans les 2000 ampères durant une fraction de seconde.



Partant du tamis ci-dessus, on réalise des grilles a la dimension voulue...avec possibilité de modifier la distance inter électrodes...dans la foulée, une autre paire de grilles...pas pour faire joli, mais la dernière ne rechignera pas à faire office de plaque...la deuxième, puisque on ne veut pas d'elle comme plaque se verrait bien en grille écran.....ou l'inverse....





Ensuite des essais qui confirmeront que la disposition asymétrique des électrodes n'est vraiment pas l'idéal.

Les électrons sont, dès le départ, plus sollicités par la plaque sur une fraction du diamètre du filament.

De plus, allant au plus court, ils n'ont que faire de la surface d'une grille beaucoup trop large vis à vis de leur origine.

.....qu'il y ait une grille ou deux....