

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

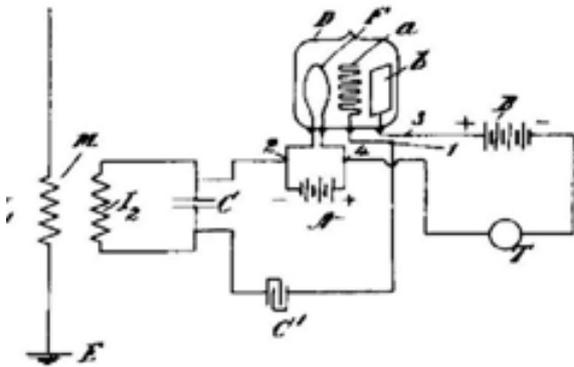


Fig-1.

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

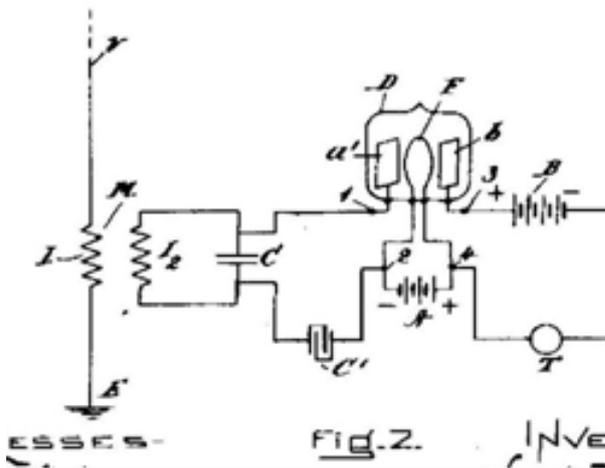


Fig-2.

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.

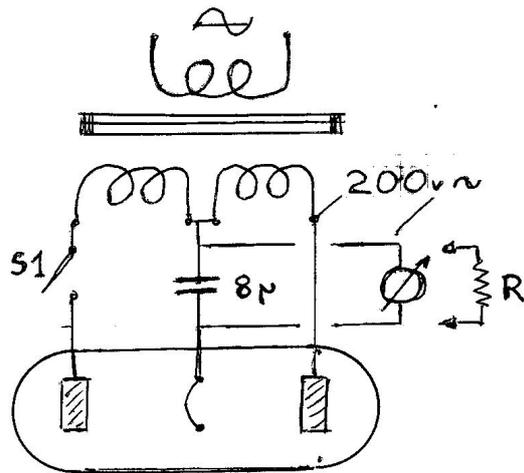
Plutôt 'rustique' vis-à-vis d'une triode...un filament encadré par une paire de plaques avec toute liberté quant à la dimension ou l'écartement des éléments...

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...à 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'.

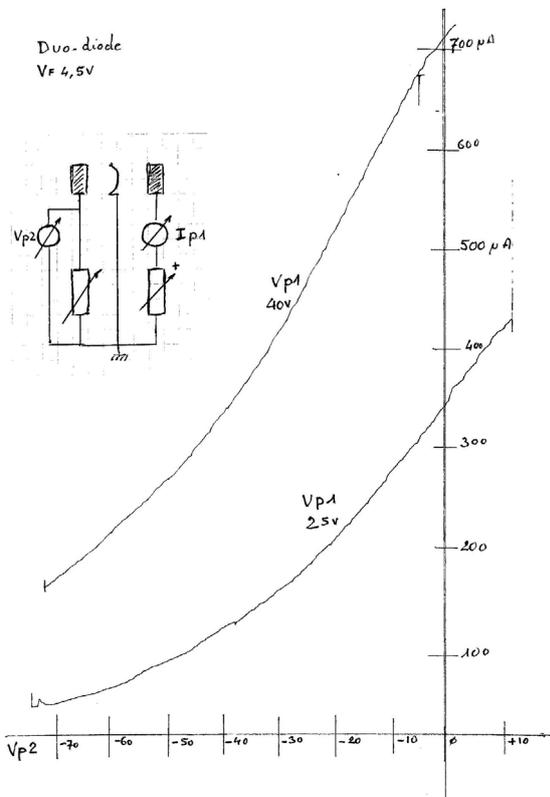
Les essais de base en redressement mono alternance donnent très sensiblement les mêmes résultats que pour le modèle de base 'symétrique'....la tension issue de la plaque proche du filament étant néanmoins plus élevée que celle de son vis-à-vis, ce qui est logique, le parcours d'une poignée d'électrons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

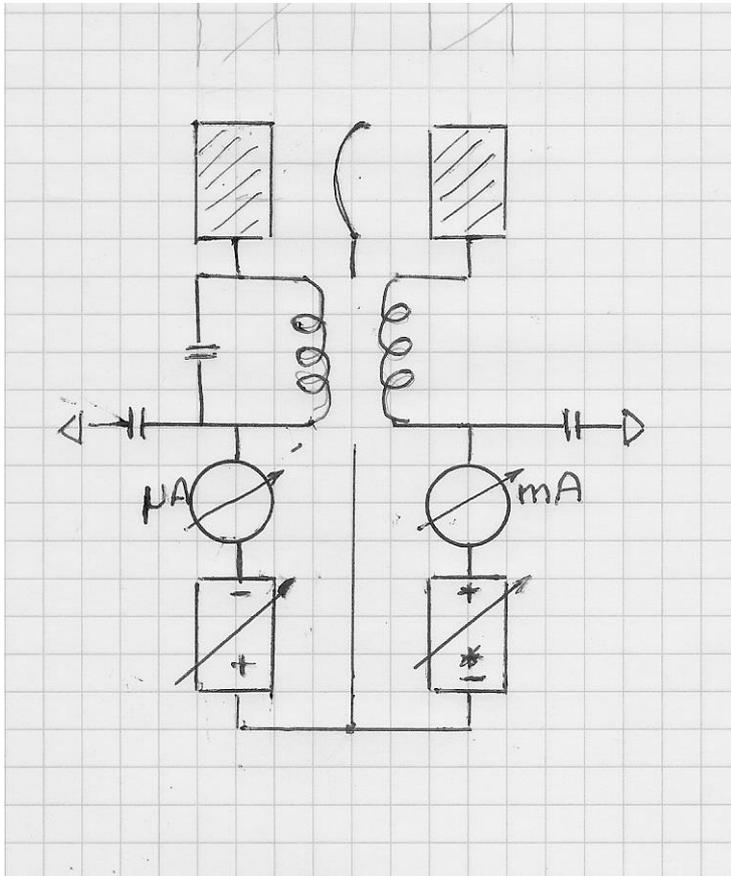
Dans le cas des tubes 'asymétriques' il y a certes une amélioration mais guère plus.

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.

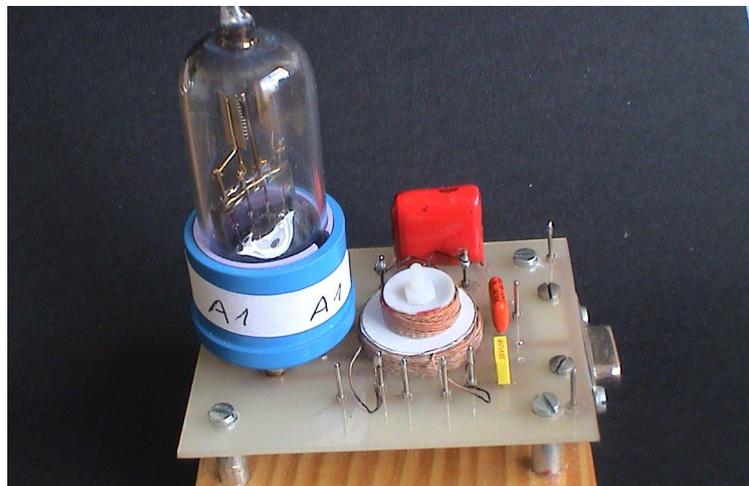
Suivant la tension négative, l'oscillation, vers 1 kHz, grimpe entre 80 à 120 volts avec éventuelle retouche de la tension positive de plaque, ou chauffage filament.



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.

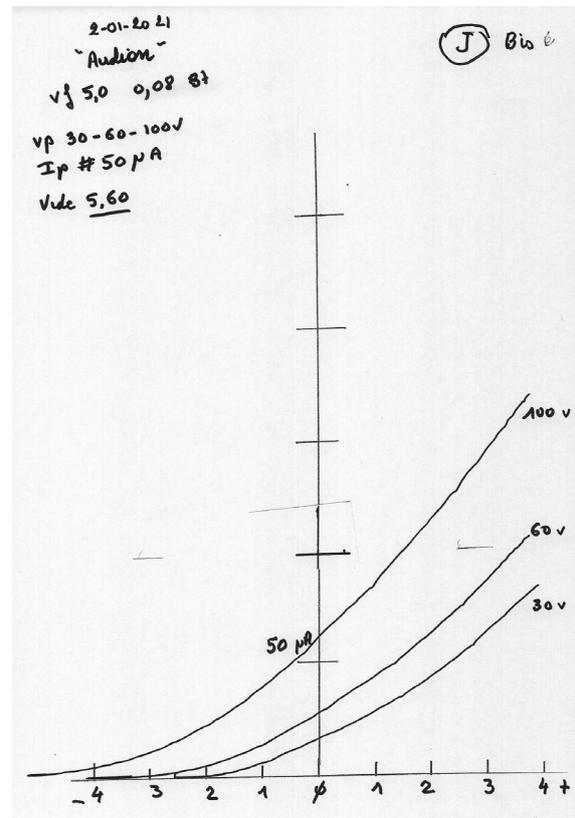
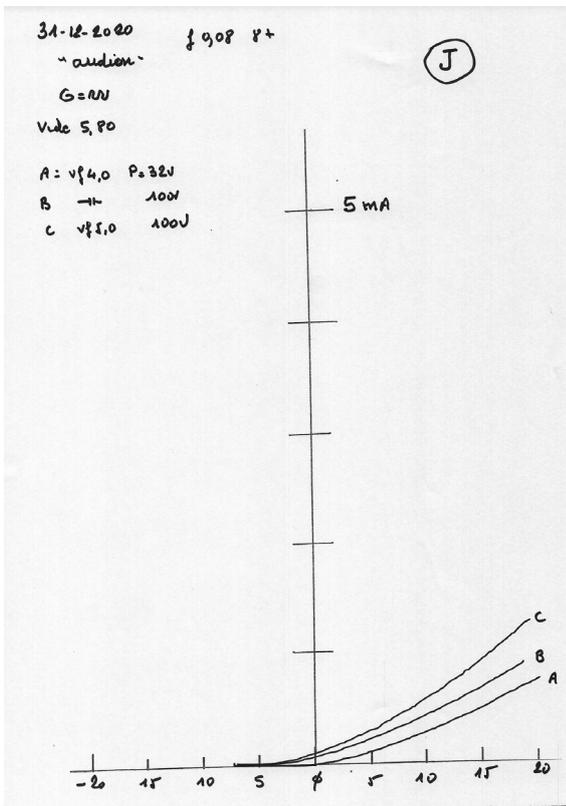
Après ces divers essais, il est évident que si la 'diode double' ne détrônnera pas la bonne vieille triode, elle méritait que l'on se penche un peu sur elle.....

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 500µ 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.

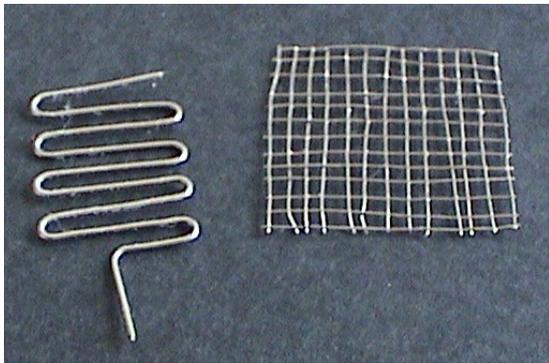
Partant d'une tension plaque de 30 volts, sa réduction accompagnée d'une augmentation de la pression permet néanmoins de retrouver les valeurs précédentes.

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.

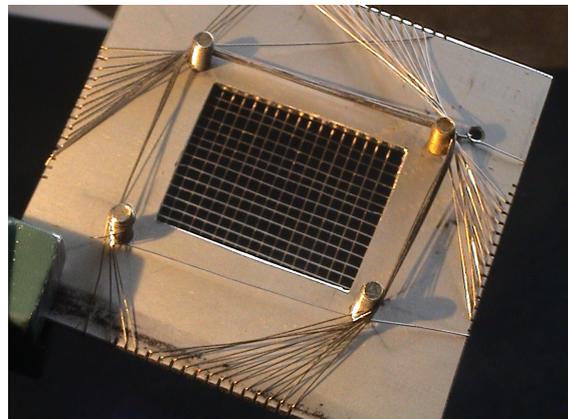
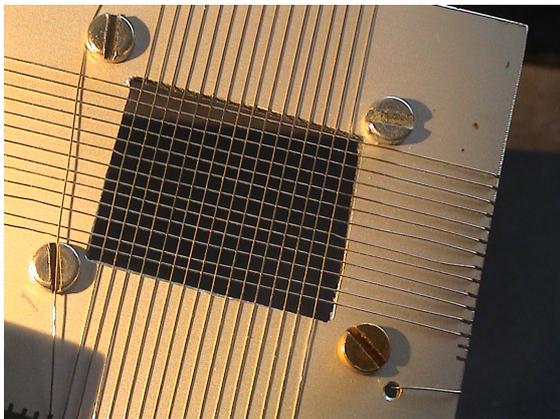
Le 'double wing' de ces péripéties va bien... on lui a greffé un nouveau cœur.

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

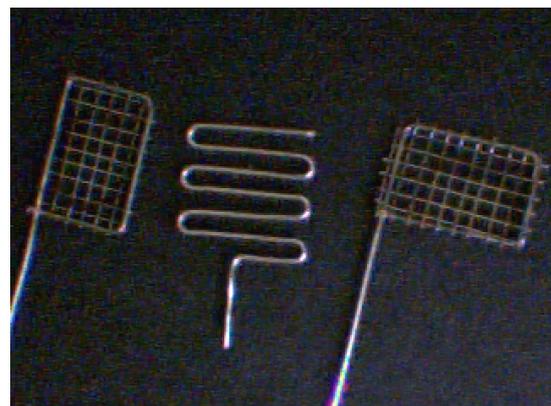


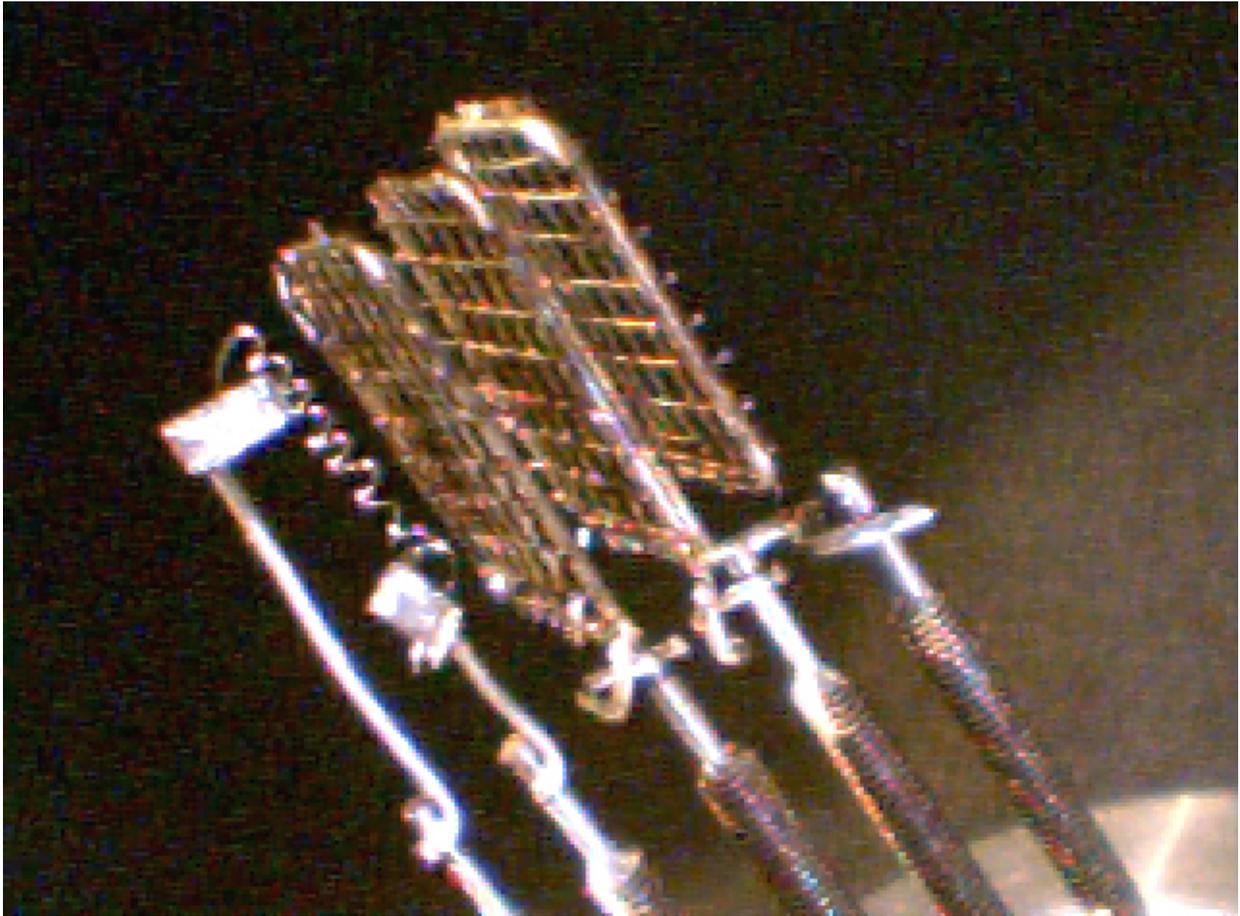
Pour débiter, ce qui ressemble plus ou moins à un grillage...mailles irrégulières, manque de planéité...pas vraiment concluant.

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....

Publicité Micro-Métal...48 Francs, de 1928 Courbe iP vs vG avec 12 volts sur G' et P

Faute de trouver la réponse souhaitée dans la littérature, la tentation est grande de voir cela de près...'in situ', après autopsie de tubes défunts...filament coupé, 'pompé', ou autre défaut rédhibitoire ...

Mais avant il convient de séparer le bon grain de l'ivraie...les 'vraies' bigrilles, ou supposées telles, des 'ersatz' censés les remplacerplus ou moins

On épargnera celles qui, même bien fatiguées, délivrent encore un ou deux milliampères, ce qui suffit amplement pour réaliser une détectrice à réaction.

Au passage attardons nous sur le 'supposées telles' évoqué ci-dessus...savant assemblage de l'ampoule d'une bigrille défunte au sommet d'un culot à cinq broches...ce dernier abritant un circuit imprimé plus une poignée de composants...un 'ersatz' qui oublie de le dire.

Lors d'une 'brocante' il est possible d'éviter ce genre de désagrément...le filament 'froid' d'une bigrille classique, vu à l'ohmmètre, fait une dizaine d'ohms au lieu d'une cinquantaine une fois alimenté vers 3,8/4 volts ...



L'habit ne faisant pas le moine...même avec cinq broches, une lampe de poche peut également être utile pour tenter de voir ce qui se cache à l'intérieur.....

Alors, avec dans les 90 ohms entre broches du filamenta nous le Fou Chantant

Une noix...qu'y a-t-il à l'intérieur d'une noix ?...qu'est ce qu'on y voit ?...quand elle est ouverte...on n'a pas la temps d'y voir...on la croque et puis bonsoir.....Charles Trénet

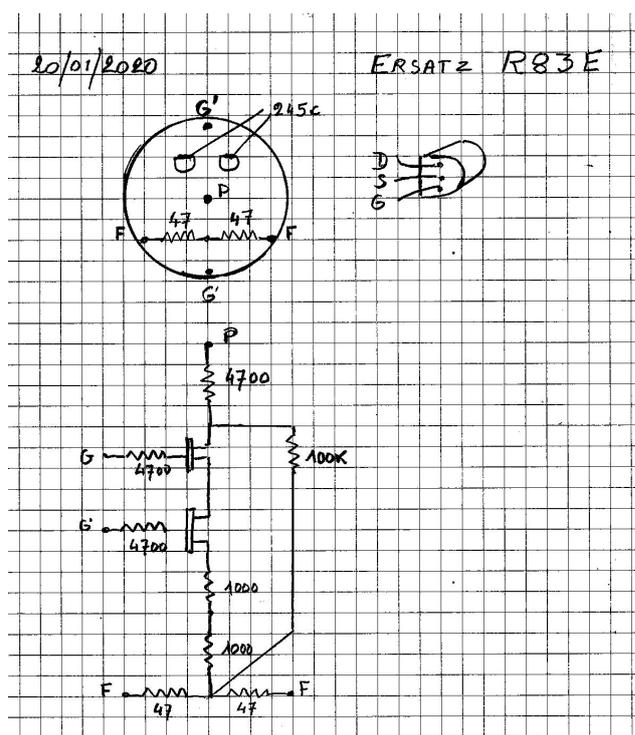
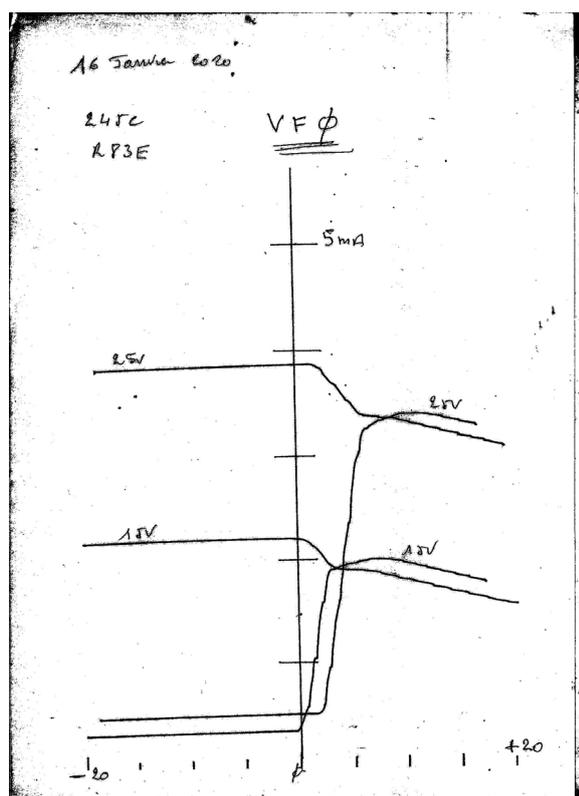
Débarrassée de sa verrerie la 245C a un air de vulgaire triode...pour, une fois déchaussée, mettre à nu un ersatz de bigrille utilisant une paire de transistors a effet de champ...245C...il y en a qui ont le sens de l'humour....

La R83E est un peu plus convenable coté bigrille...mais nantie du même ersatz...



Après les ‘vraies fausses’ bigrilles, la vaste famille des ersatz...des transistors aux lampes subminiatures, Russes de préférence, pour, très logiquement, détourner des tétrodes ou pentodes classiques de leur utilisation normales....avec G1 positive.

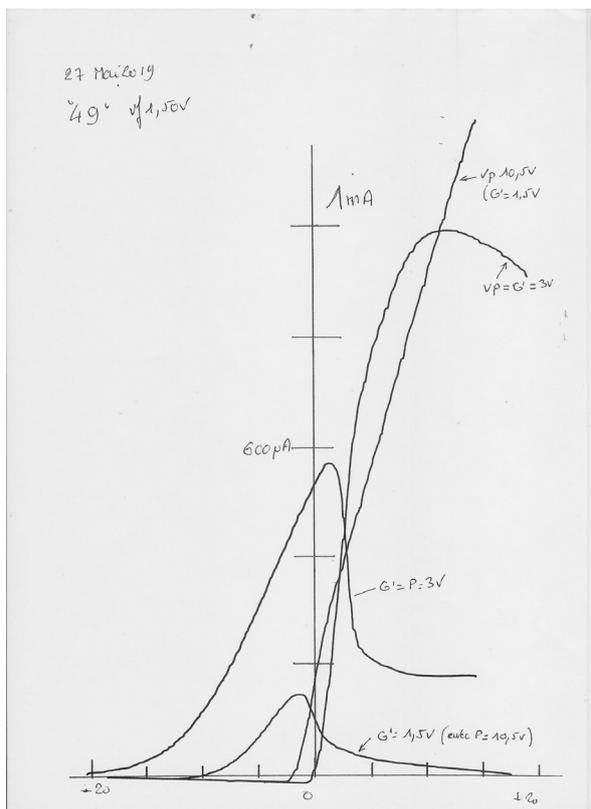
Du plus simple au plus tarabiscoté....coté simplicité, le ‘245C’, avec en contrepartie des courbes relevées à 15 ou 25 volts qui laissent dubitatif...



Curieusement les bigrilles ont également une certaine vogue outre atlantique, à ceci près qu'elles sont généralement utilisées, en tant que 'space charge tube', dans des détectrices à réaction alimentées sous une douzaine de volts.

Mis à part les 12K5 et 12DL8, qui ont été réalisées pour être de vraies 'tétrodes à charge d'espace', l'utilisation de tubes conventionnels, avec G' alimentée par une dizaine de volts, fait l'objet de nombreux messages sur les réseaux internet.

Sur...The Radioboard forum, rubrique 'tube radios'...on trouve, pour n'en citer que deux, 6C6 ou 49 alimentés sous moins de 10 volts avec d'excellents résultats.....



le second tube à été très utilisé, depuis les années 1930, par les 'Hiker's (randonneurs) Américains...l'examen de ses courbes est assez surprenant, avec seulement 1,5 volt sur G' et 10 volts plaque il délivre un milliampère, et presque autant avec 3 volts sur G' et P. Cela est peut être du (évoque sur 'Peeblesoriginals.com) à l'imbrication de G' et G, à la manière de la 'grille mixte' de André Blondel...il n'a toutefois pas été possible de le vérifier visuellement sur le tube en essai. (Photo ci dessus).

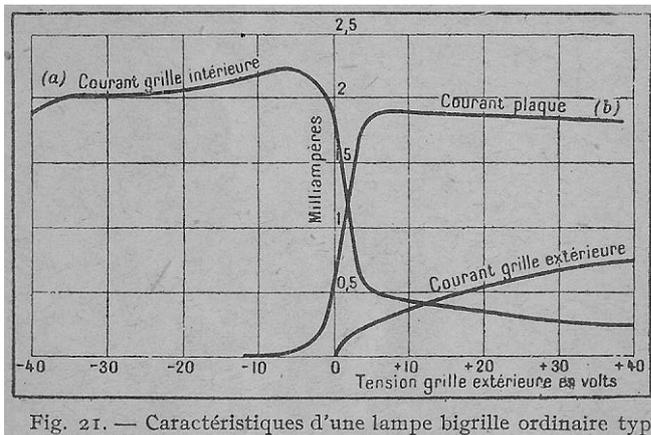
Par contre, certains constatent que tous les tubes courants, tétrode ou pentode, n'acceptent pas de fonctionner sous tension plaque faible, G1 devenue positive étant censée neutraliser la charge d'espace....ce qui amène, encore une fois, à s'intéresser à la géométrie de G'....sur le forum Radiofil, 'Pitagora' qualifié 'd'opaque' la première grille de pentodes, ce qui conduit à utiliser g2 et g3 en place de G' et G...sous réserve que g3 ne soit pas reliée à la cathode...et que le tube fonctionne dans cette configuration. Sur 'RF Café'...l'article 'Low plate-potential tubes' décrit minutieusement la genèse de la tétrode 12K5...avec confirmation de la finesse du pas de G1, 150 tours par pouce (0,17 mm) qui tire néanmoins 75 mA sous 12 volts....

Puisque ce n'est à l'évidence pas le cas des 6C6 ou 49, alimentées par pile, la question restant posée, autant retourner auprès des bgrilles 'bien de chez nous'...

Un peu exagéré le 'bien de chez nous', étant donné que, vers 1922, les premières bgrilles utilisées en France venaient d'Allemagne ou de Hollande...qu'importe l'origine, la disparition de la 'batterie' 40 ou 80 volts était accueillie avec enthousiasme.

Coté filament on en était encore au tungstène pur, un rien gourmand en courant.

Par contre, coté plaque et G', c'est assez modeste...Pierre Hémardinquer ou Marc Chauvière relèvent des courants de quelques milliampères sans plus.



'Les Lampes a deux grilles et leurs Applications Pierre Hémardinquer

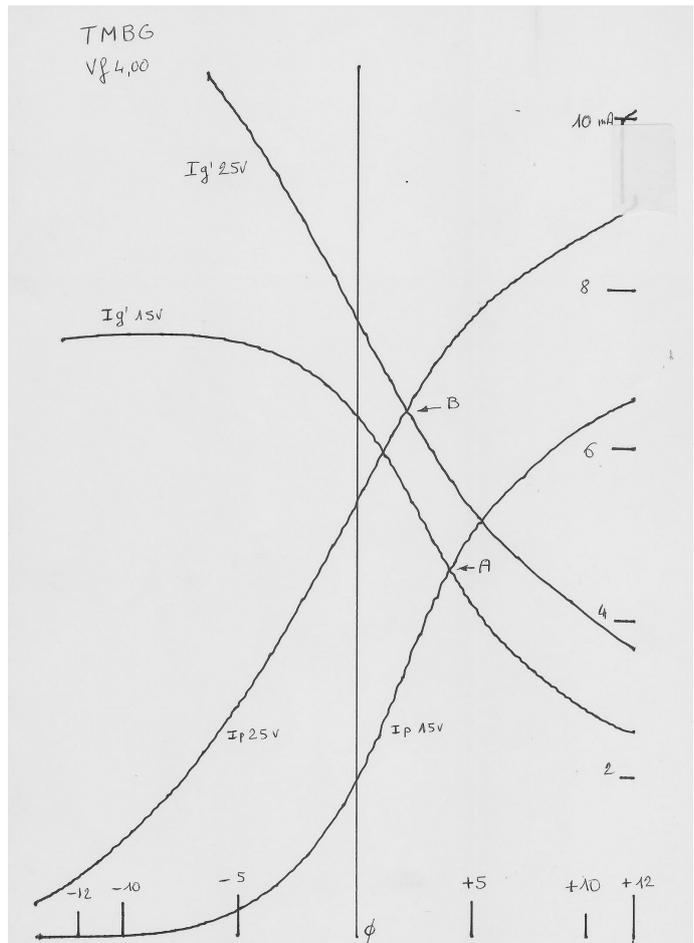
Etape suivante...le tungstène thorié réglant le problème de la consommation filament, on arrive au seuil symbolique de la dizaine de milliampères plaque ou G'.

Il y a bien quelques variations coté filament, du 60 milliampères des 'Micro Bgrilles', aux 80 de la TMBG, voire 120 de la MX40; les courants plaque-G' disponibles allant de pair.

S'ensuit une multitude de bgrilles utilisables sur les variantes de la détectrice a réaction ou du changement de fréquence

Avec une belle anarchie du coté du support...aux quatre broches de la triode on ajoute une cinquième pour G'...mais pas au centre, cela aurait été trop simple...nouveaux entraxes des broches...à moins de rester avec quatre...plus une borne latérale.

En passant à sept broches le sujet est clos...pas vraiment, on peut encore jouer sur les diamètres...

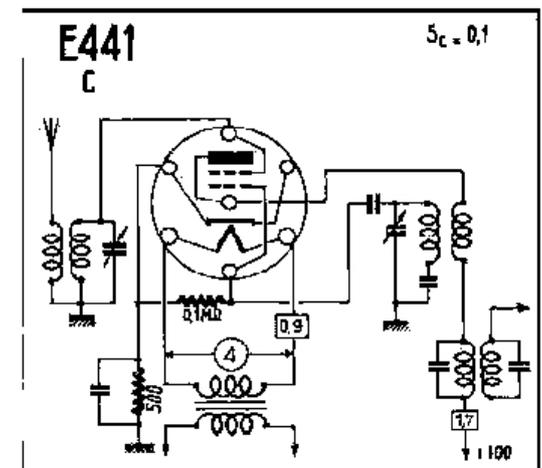
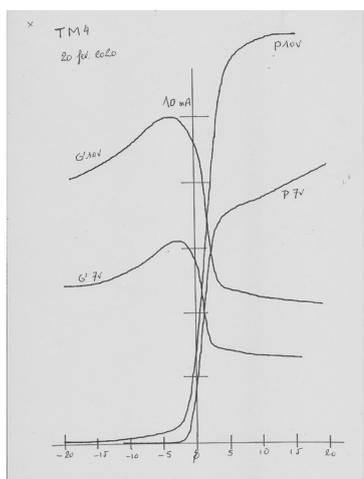


Dernière évolution, la E441 chauffage indirect 4 volts 0,9 ampère depuis le 'secteur', ce qui libère définitivement de la sujétion des piles ou accumulateurs.

Si ce tube, et ses nombreux clones, est particulièrement adapté au changement de fréquence, il reste fondamentalement une bigrille...peu utilisable en l'état.

Le relevé des courbes d'une TM4, sœur de la E441, montre sa bonne volonté pour délivrer un courant notable dès 7 ou 10 volts alimentation, alors que le tube est censé être utilisé avec 100 volts, de quoi assassiner la cathode.

A y regarder de près, on observe que si la courbe donnée par Philips indique bien 100 volts plaque...les deux grilles étant au potentiel 'zéro', il n'y a plus de neutralisation de la charge d'espace, avec comme résultat 1,7 mA de courant plaque



Ceci se retrouve sur le montage classique donné sur le lexique Gaudillat où les grilles évoluent entre polarisation par la cathode, et le courant grille ...quasiment rien.

Avec une éventuelle utilisation en détectrice à réaction, on perd le bénéfice de la variation de l'activité du tube en agissant sur le chauffage...l'inertie de la cathode perturbant le réglage au voisinage de l'accrochage...on oublie cette 'vraie fausse' bigrille'.

Après ce tour d'horizon il reste à observer l'anatomie de quelques bigrilles.

De préférence la version tubulaire des 'Micro Bigrille', plutôt que la forme rectangulaire de la MX40, afin de permettre la comparaison avec les premières triodes.



A vrai dire, au final, rien de vraiment très différent sur les divers tubes 'examinés'

Un tube repéré Ducretet M, probablement une R43M, pouvant être pris comme représentatif de la famille des bigrilles...d'autant que le lexique Brans 1950 donne, sans plus de précisions, les trois versions, O – M – P, de la R43 comme équivalentes à A441....

De mémoire, il semble que les lettres indiquaient l'utilisation préférentielle, Oscillatrice, Modulatrice, Amplificatrice.

Plaque diamètre 10 x 15 (M) diamètre 11 pour d'autres tubes.

Le diamètre du fil des grilles est du 0,2 mm dans tous les cas

Le diamètre extérieur des grilles proches du filament est de 3 mm 6,3 mm pour les autres grilles

10 tours pour les grilles de 6 mm, longueur totale 18 mm (donc débordement vis-à-vis de la plaque)

12 tours pour la grille de 3 mm de la M 14 tours pour les autres, longueur totale 20 mm dans tous les cas.

Ceci donne un pas de bobinage de 1,8 ou 1,4 suivant les grilles....

A nouveau assez peu de différences entre tubes, ce qui justifie plus ou moins de classer les diverses bigrilles (même d'autres marques) comme étant équivalentes à la 'référence' A441....surtout quand on se rappelle que les bigrilles, très sensibles à la tension de chauffage, peuvent être adaptées au cas réel d'utilisation

Comparée à la vénérable TM, on retrouve la plaque, la grille perd un millimètre de diamètre pour se rapprocher du filament et devenir G'

Par contre la grille de commande gagne un bon millimètre de diamètre, tout en conservant sensiblement le même pas de bobinage...rien de très innovant dans tout cela.

Il reste que la 'densité' de G', avec 12%, est faible et sensiblement inférieure aux 15 et 17% des premières TM des marques Fotos ou Métal...ce point confirme que G' est plutôt du type 'passoire' évoqué plus avant.

Ceci peut également expliquer les déboires subis en utilisant des pentodes modernes avec la première grille bobinée 'serré' en fil fin...il est mentionné que, si la G1 d'une 6AU6 attire bien les électrons, elle a tendance à en laisser passer assez peu.

On objectera peut être que la 12K5 a bien une grille a pas très fin...soit, mais elle dispose aussi d'un filament utilisant 5,6 watts (le double d'une TM) pour chauffer une cathode délivrant plus de 100 mA dont quelques dizaines seulement arriveront sur la plaque...tout cela peut sortir 40 milliwatts de basse fréquence.

Il est vrai que, dans une automobile, on parle plus ampères que milliampères

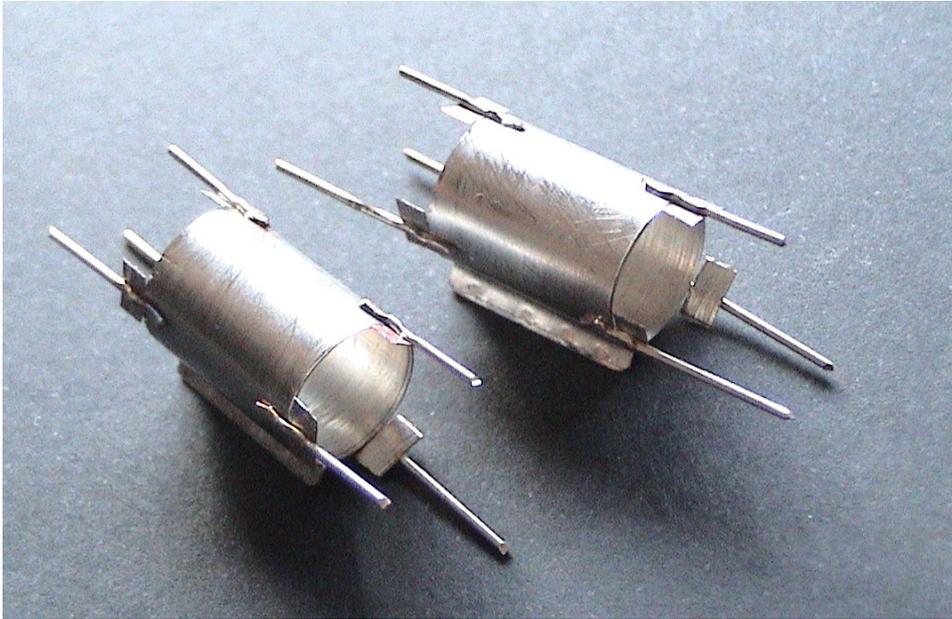
A ce stade il est possible de résumer :

Pour les électrodes...elles sont sensiblement à égale distance les unes des autres...une grandeur de maille à peu près égale pour les grilles (Hemardinquer), confirmé par 'l'examen in situ' des tubes.

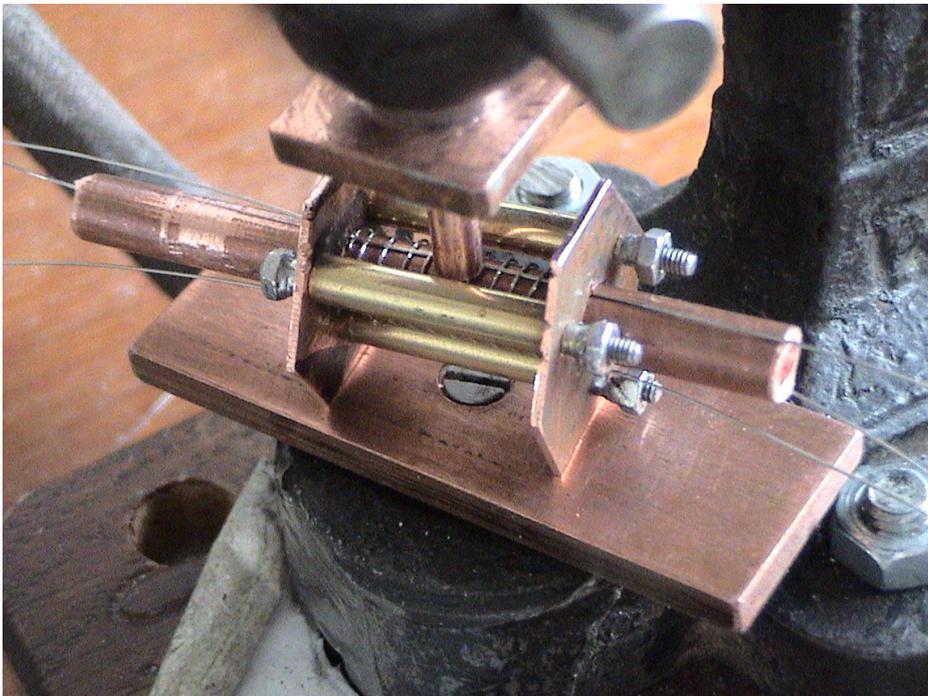
Par contre, rien de concret sur les critères du choix de G'...nombre de tours, pas, autrement dit sa densité ...sa tension vis à vis de celle de la plaque, égale ou réduite, ceci en fonction du courant émis par le filament...Autant de paramètres pour une belle équation qui aurait probablement intéressé Camille Gutton.....

Il reste une autre approche, plus terre à terre...on bobine du fil, on plié de la tôle...on assemble...on teste...et, si besoin, on recommence.

En premier, la plaque...de base 10 mm de diamètre sur 15 de long...quelques essais avec un diamètre 12...peu concluants...

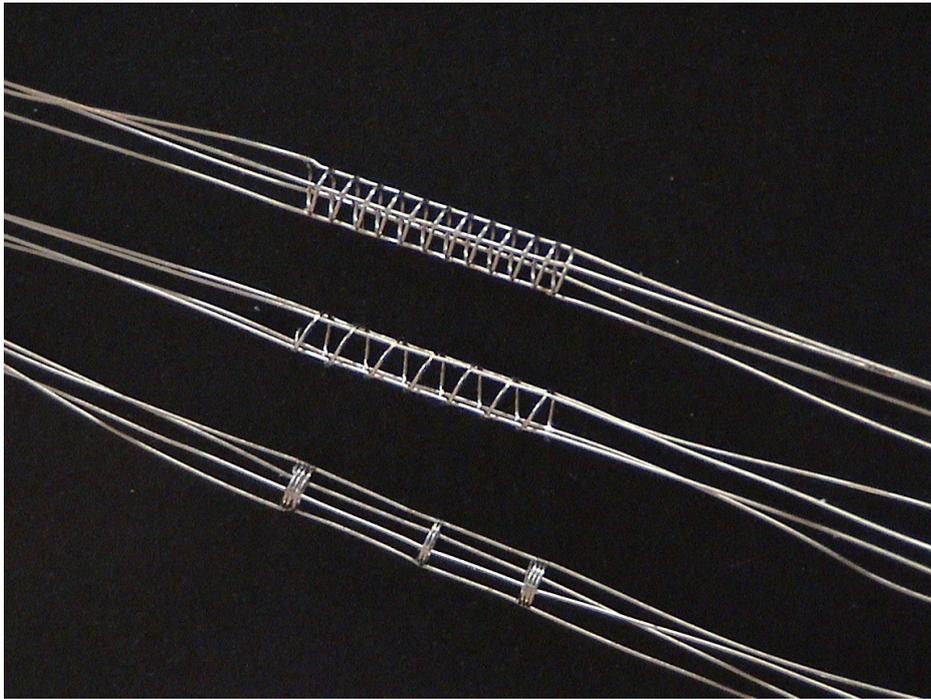


Ensuite, les grilles...si bobiner un fil de quelques dixièmes de millimètre n'est pas un problème, d'autres fils évitent les déformations ultérieures



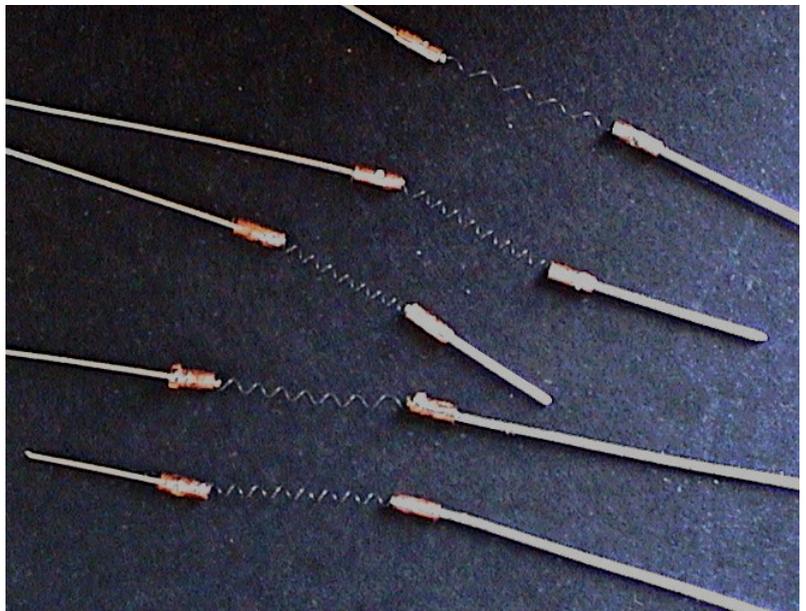
Même avec quatre fils de renfort sur une grille de vingt tours, l'opération est simplifiée grâce à la soudure simultanée de plusieurs points....

G sera aussi proche que possible du filament tout en ménageant un petit espace avec sa voisine G'....mêmes contraintes entre G' et le filament...après arbitrage on retrouve ce qui a été plus ou moins le 'standard' des premières bigrilles... 6 mm de diamètre pour G, 3 mm pour G'.

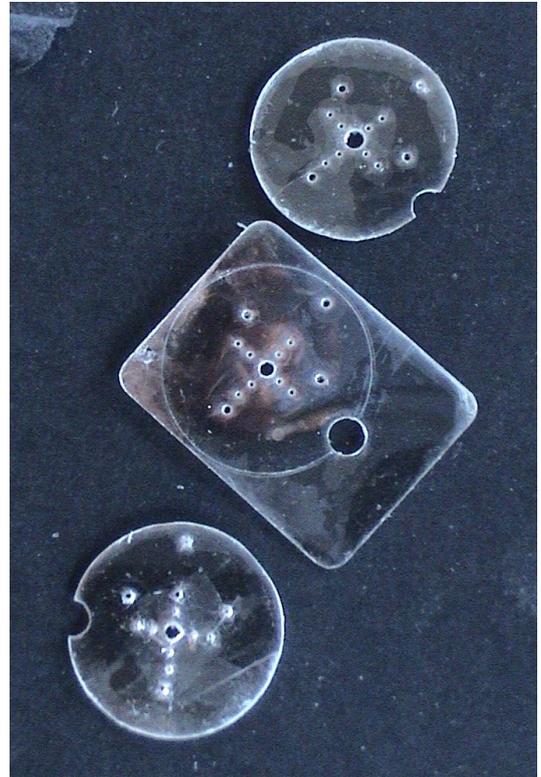


Il restera donc à jouer sur le nombre de tours, au départ 12 ou 20 pour G... réduire ce nombre va diminuer son efficacité pour le contrôle du courant plaque...qui parlait de passoire.?.....du côté de G' les choses sont plus intéressantes...partant des simples 'tiges' évoquées' par 'La T.S.F.Moderne' 10/1922, on peut passer à 7 ou 12, voire 20 tours...et juger du résultat....

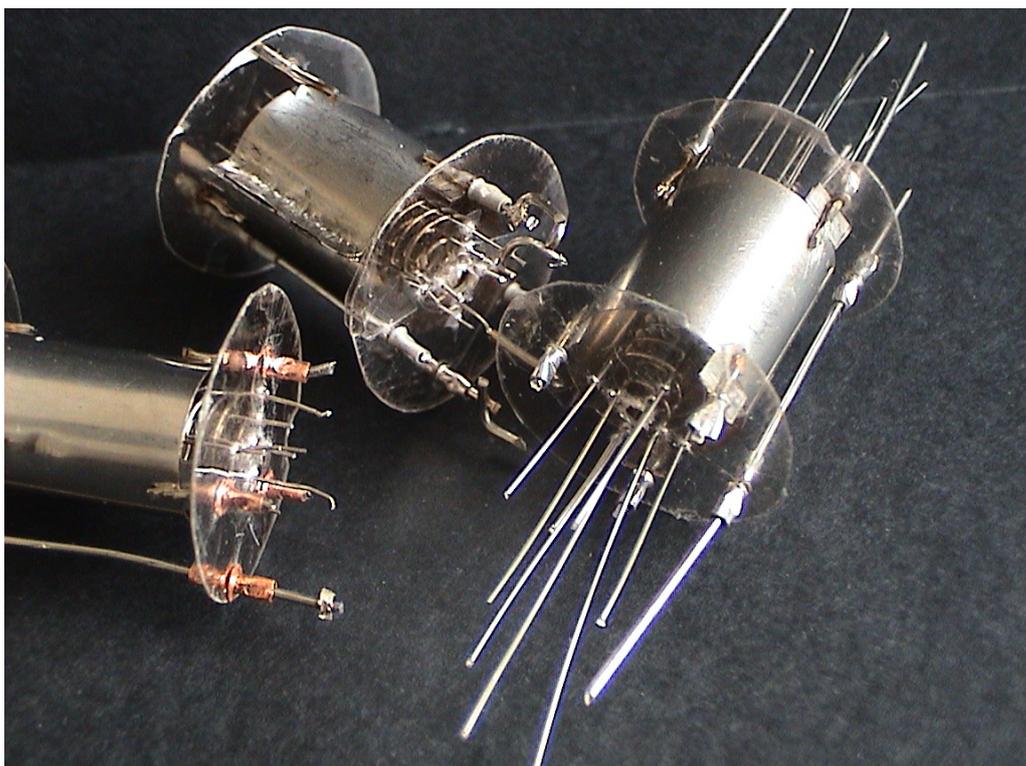
Et le filament dans tout ça, pourvu qu'il délivre, au maximum, une dizaine de milliampères....en tungstène pur de 0,05 ou 0,08, droit ou bobiné en spirale...qu'importe s'il rend l'âme au cours d'essais sur pompe, on le remplacera.



Reste à assembler toute cette quincaillerie....deux disques de mica munis de trous qui recevront les tiges de guidage....

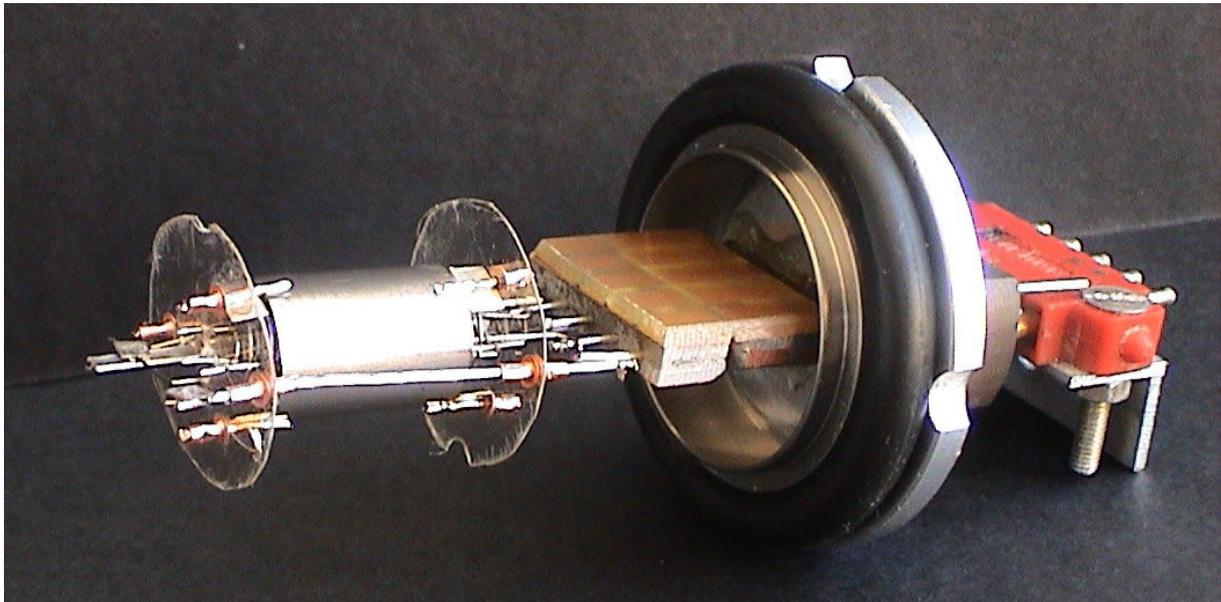


Une fois tout en place...de petits rivets, glissés puis serres sur les tiges, assurent la cohésion de l'ensemble qui pèse un peu moins de deux grammes... l'affaire est faite





Encore un petit effort...relier à une pompe avec le concours de traversées étanches...joints toriques...le tout assemblé grâce à un tube en forme de 'T'...brides de serrage...sans oublier une jauge de mesure du vide.

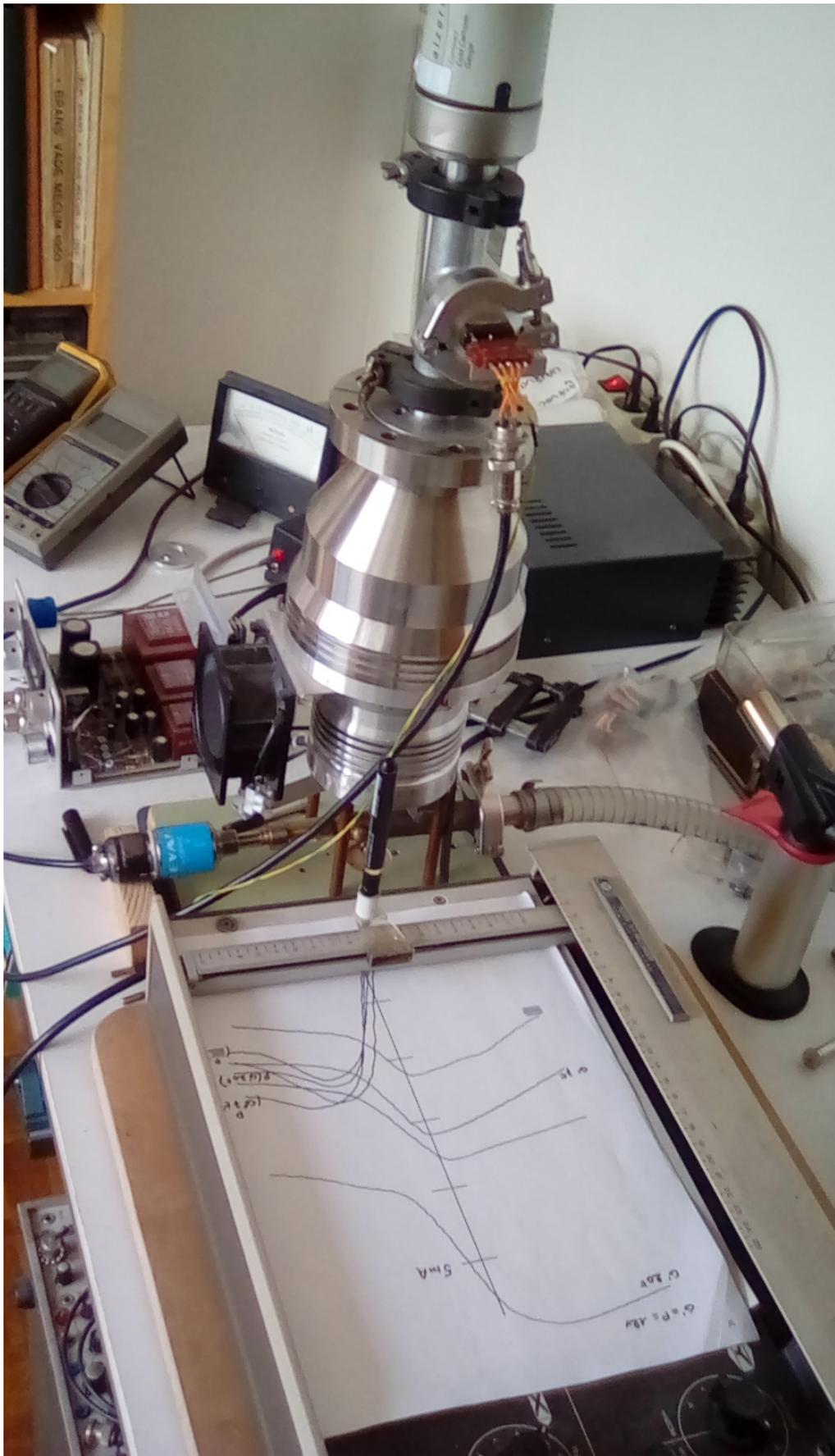


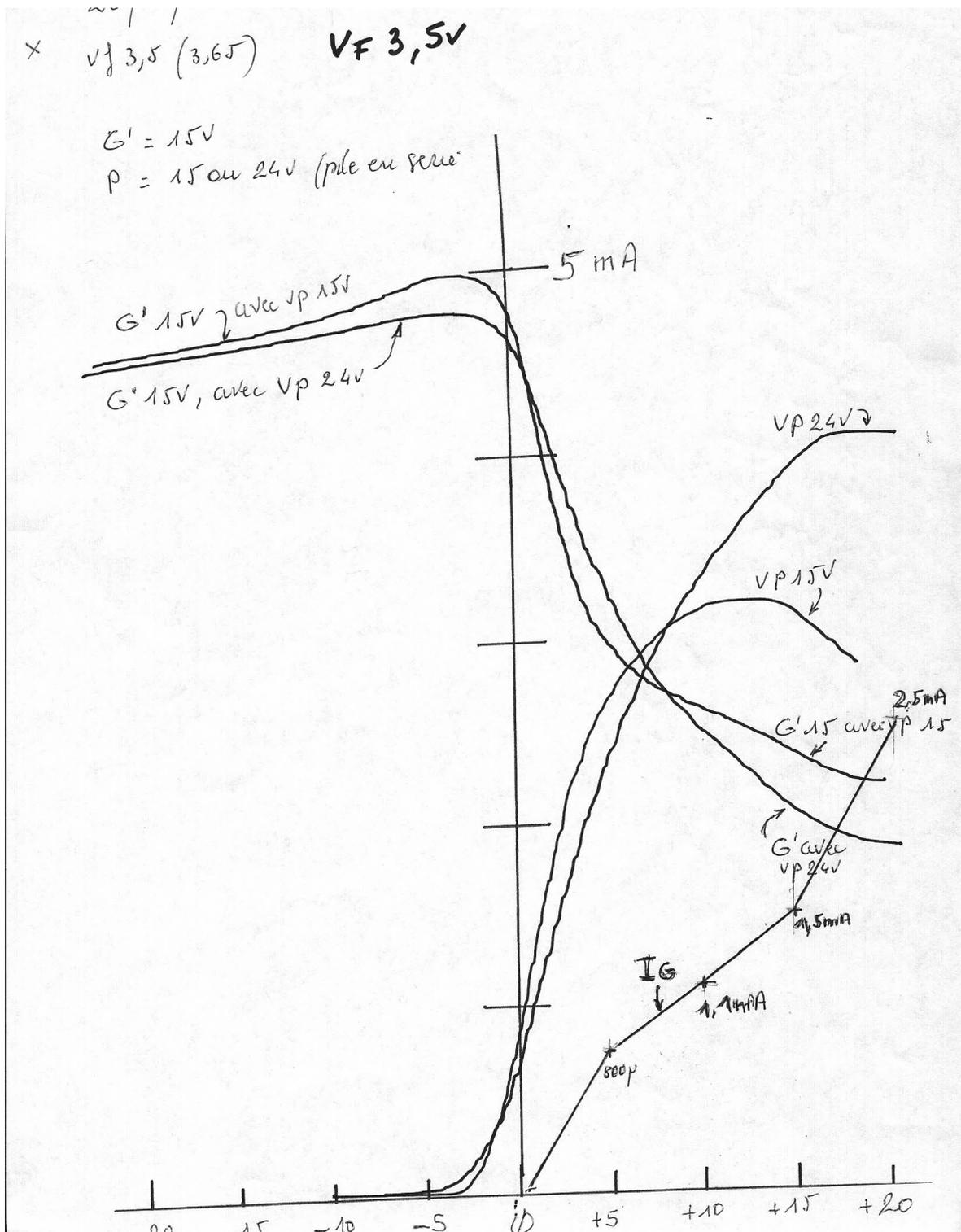
Guère plus d'une demi heure avant un vide acceptable pour les premiers essais...de fait les pompes turbo-moléculaires sont très efficaces dans la zone qui nous concerne

Celle des premières bigrilles plus ou moins bien vidées, peu sujettes à ionisation vu les faibles tensions et courants utilisés...ici la pompe va surtout devoir avaler les résidus gazeux issus de la mise en action du filament, sans oublier l'aluminium du 'T' qui est une éponge à molécules.

Dans ces conditions, avec un diamètre intérieur de 25 mm, la 'tuyauterie' ne fera guère obstacle à l'action de la pompe...une fois les choses stabilisées, il est possible de relever les diverses courbes sur une table traçante, avec

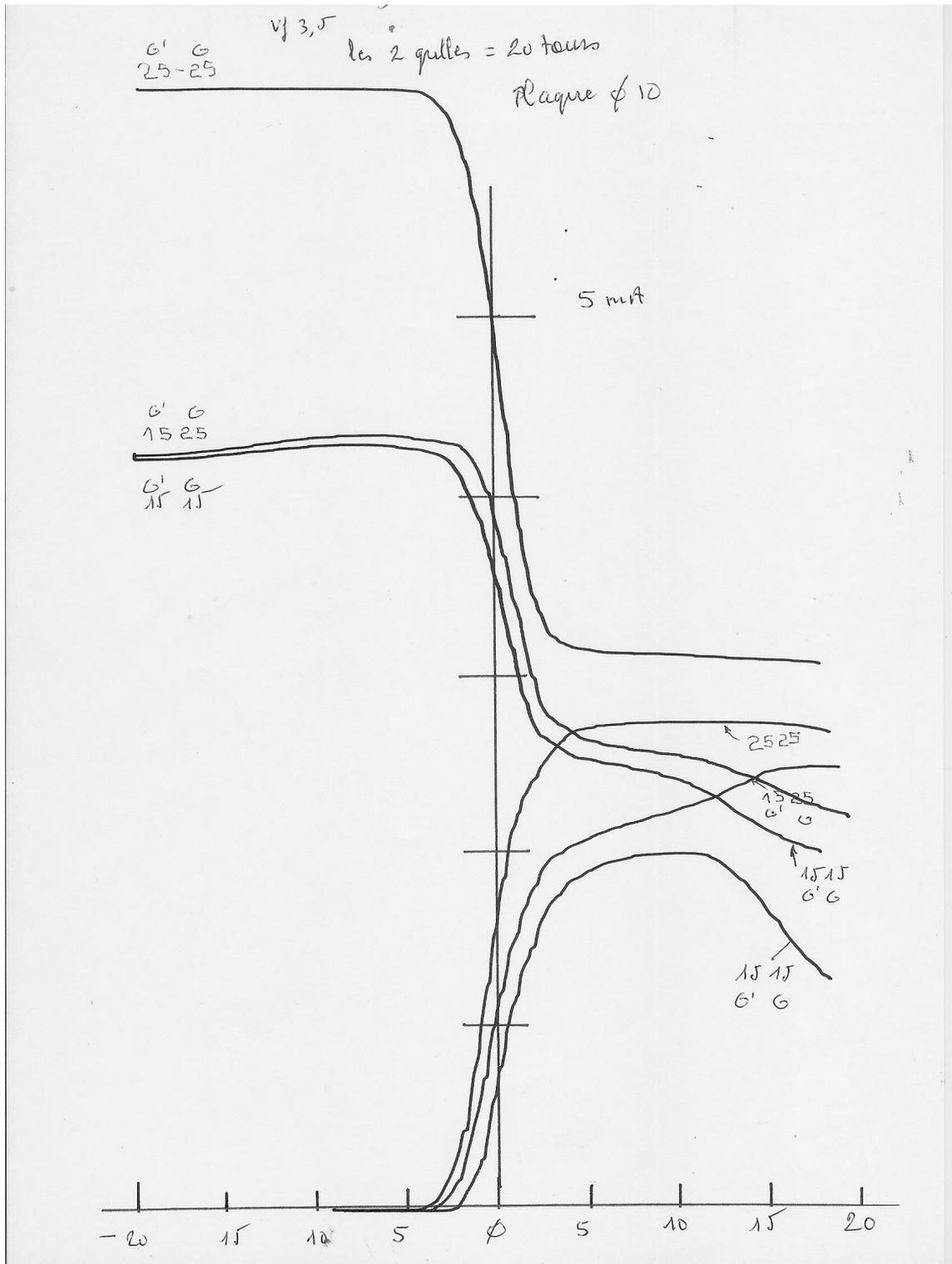
toutefois une remarque : depuis l'origine des bigrilles, leurs courbes montrent les deux côtés de la ligne verticale $G = \text{zéro volt}$, parfois sur des dizaines de volts.... alors que seule une excursion de quelques volts autour de cette ligne est utile. Néanmoins, une vision globale reste souhaitable, ceci permettant de mieux comprendre l'interaction entre les tensions sur $G' - G - \text{Plaque}$, sans oublier le filament





Ici on voit l'influence de G qui, devenant de plus en plus positive, prélève une partie non négligeable du courant se dirigeant vers la plaque (trace en bas à droite)...avec pour conséquence la diminution du courant plaque après un maximum.

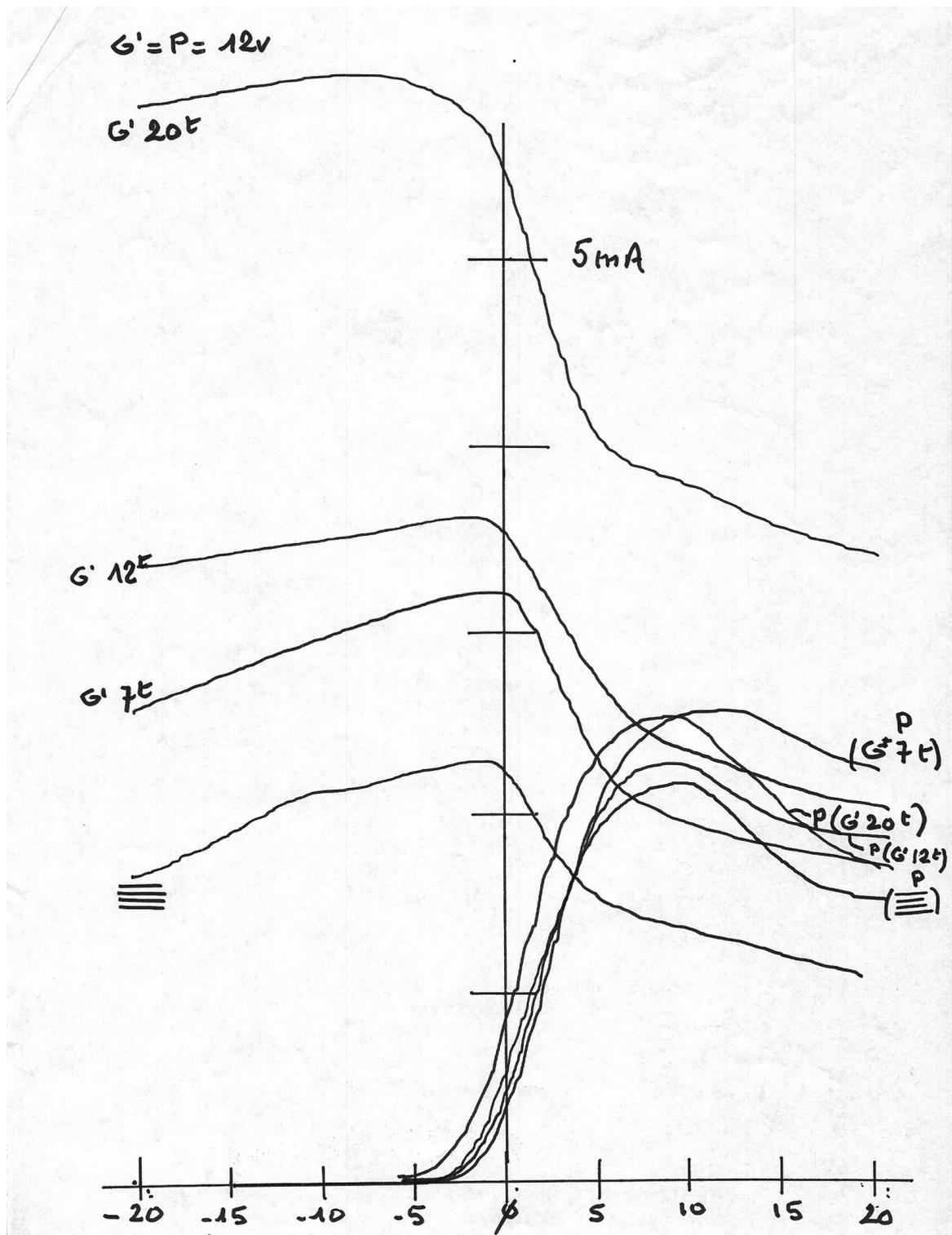
Si G' reçoit 15 volts pour ses deux courbes, une correspond à l'alimentation plaque sous 24 volts...cette dernière étant moins perturbée par le courant de G que dans le cas où elle reçoit seulement 15 volts.



Avec G' et G pourvues de 20 tours, alimentées en 25 volts...une fois G devenue nettement positive, chacun restant sur ses positions, les courants restent stables.

La tension de G étant moins importante que celles des deux autres électrodes, on ne constate plus l'action parasite de son courant...d'autant que l'addition des courants G' plus P montre que l'on se trouve à peu près au maximum initial de G' .

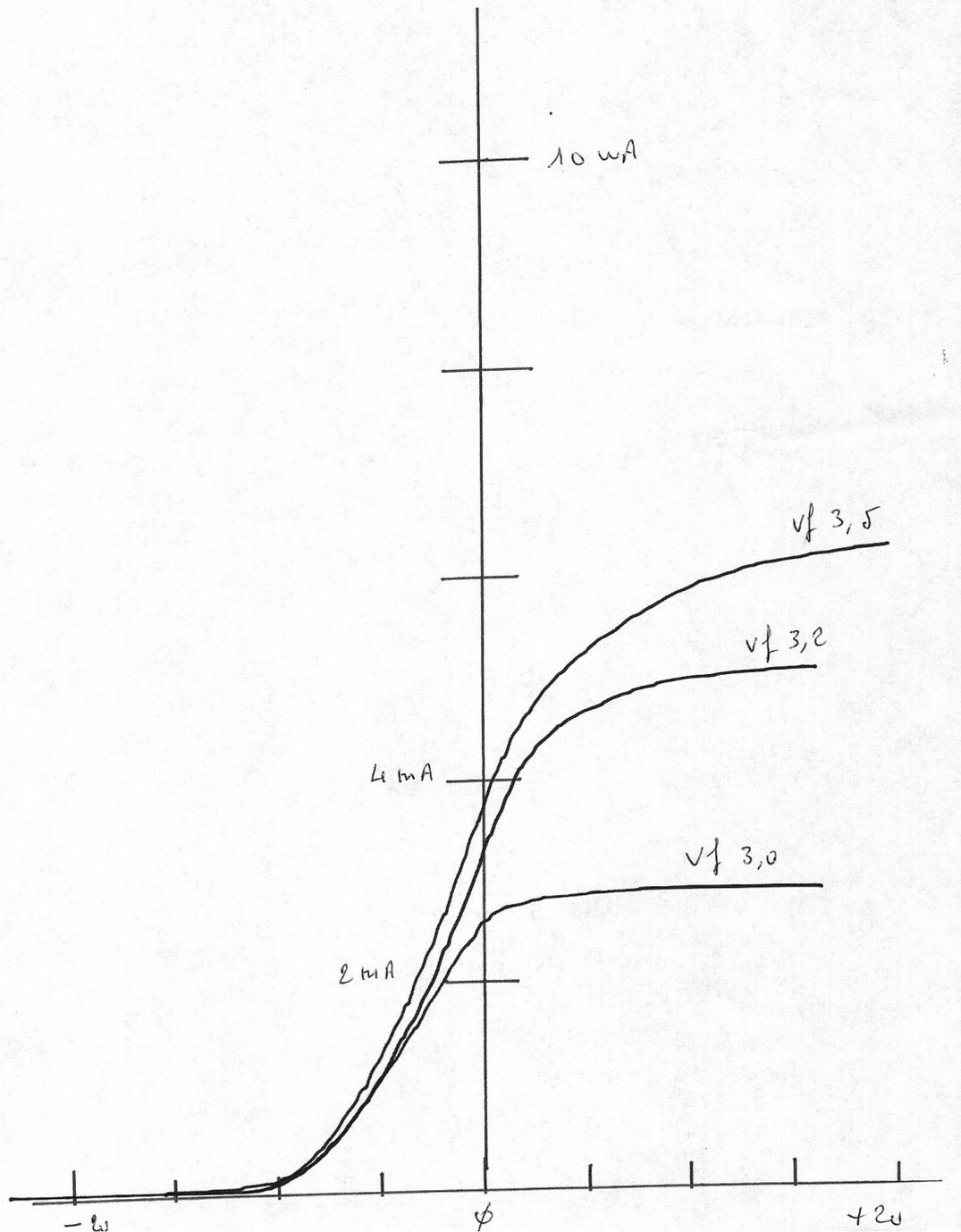
Par contre, en réduisant à 15 volts G' et P , on retrouve la courbe 'en cloche' de I_p .



De l'influence du nombre de tours de G'.....partant des 'quatre tiges' (en bas à gauche) pour en arriver à 20 tours (en haut à gauche), le courant attiré augmente régulièrement...De son côté, dans la zone proche du zéro volt grille, la seule qui soit utilisable, le courant plaque augmente certes, mais reste à des valeurs modérées.

Pour cet essai, la tension G' ou P, limitée à 12 volts ne favorise pas l'obtention d'un courant important...ici, la grille de commande G comporte 12 tours.

3 Mai 25 Volts
 $G' = G = 12 \text{ tours} \times 2$
 Filament 0,1

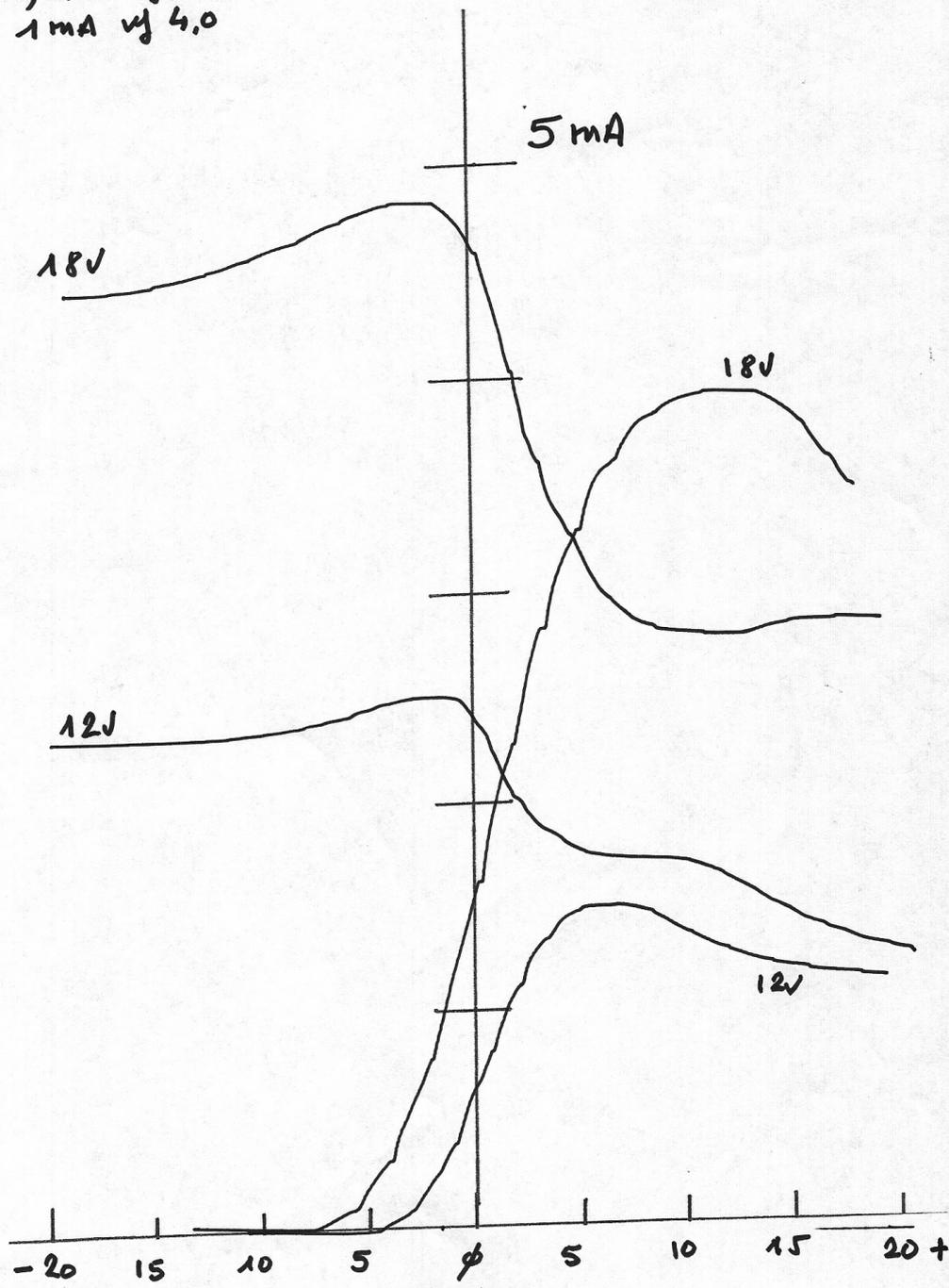


En se limitant à la partie utile des caractéristiques....variation de la tension de chauffage qui part de 3,0 volts, passe par 3,2, pour arriver à 3,5 volts. G' et G 12 tours

Pour l'ensemble des essais présentés, le courant délivré par les filaments a été volontairement limité à quelques milliampères, valeurs habituelles des premières bigrilles, avant l'apparition du tungstène thorié ou autre cathode à oxydes.

fil 905 6t 12⁺-12^t 4-12-2020 (C)
vf 6,0 vide 6,00 (10 mA / 6,0V / 30V)

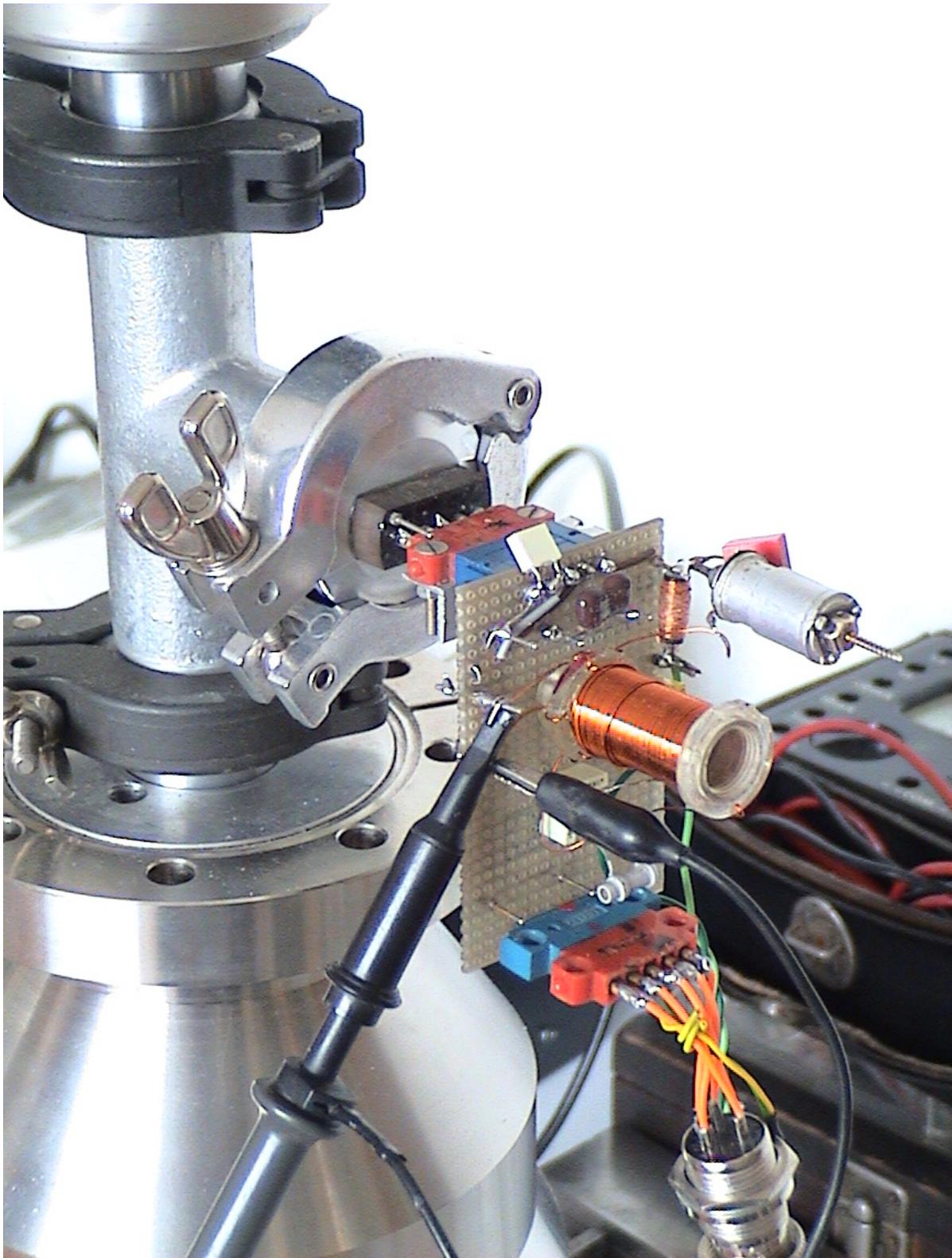
courant G' debrute
18V 0,2 mA vf 3,5
- 1 mA vf 4,0



Bien qu'il soit possible de multiplier à l'infini les essais, en variant le nombre de tours des grilles, les tensions d'alimentation, le filament....

Les courbes ci-dessus sont le résultat d'un choix entre tous ces paramètres :

Filament de 0,05 mm , 12 tours pour les grilles G' et G , alimentation 12 ou 18 volts pour, par exemple, utilisation en détectrice a réaction....



Au passage...il est possible de vérifier le bon fonctionnement d'un tube sans attendre sa mise sous ampoule de verre....

Ici une détectrice à réaction du type Reinartz.

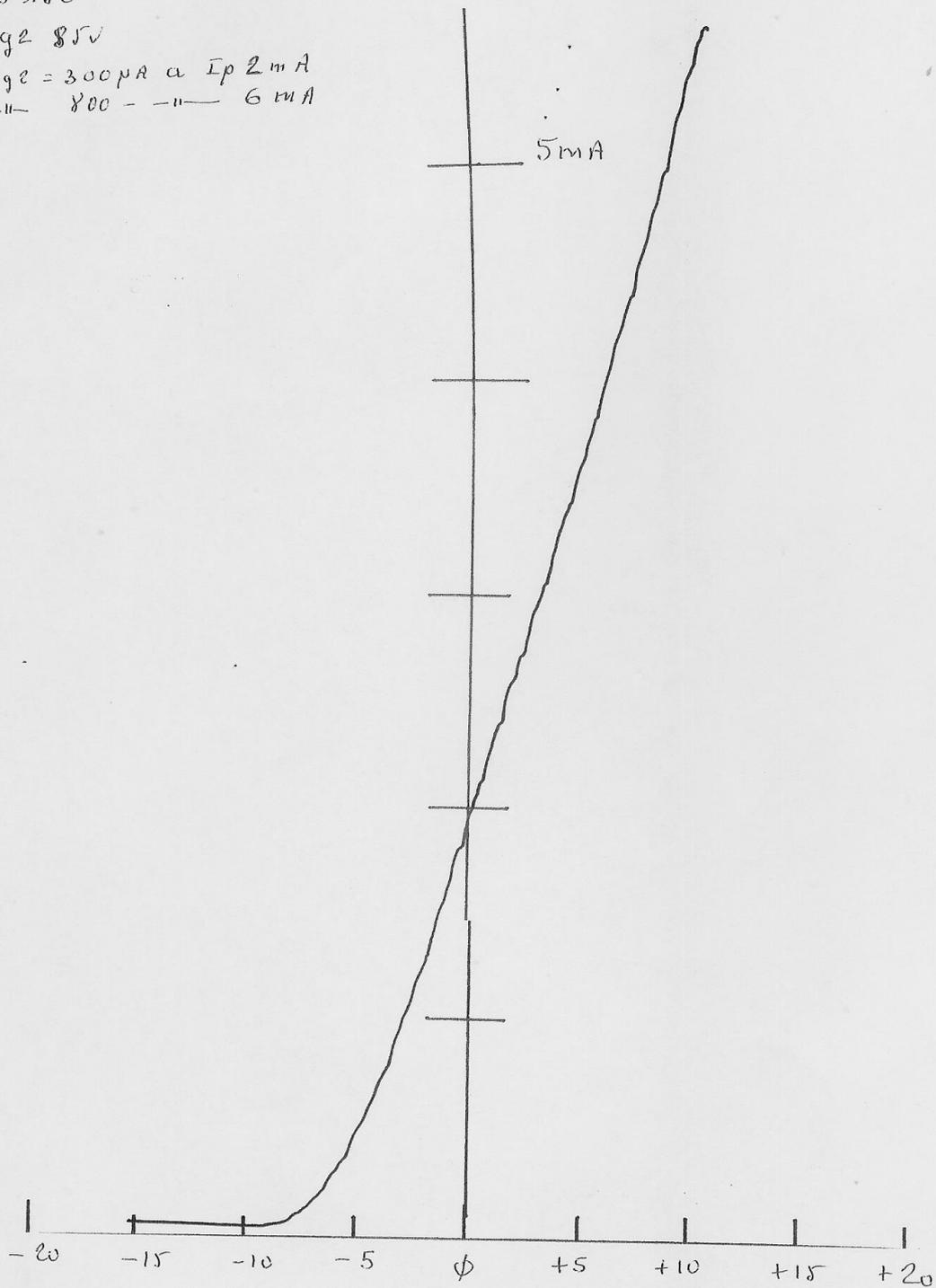
$v_f 3,5 (3,67)$

$V_p 150$

$V_{g2} 85V$

$I_{g2} = 300 \mu A$ a $I_p 2 mA$

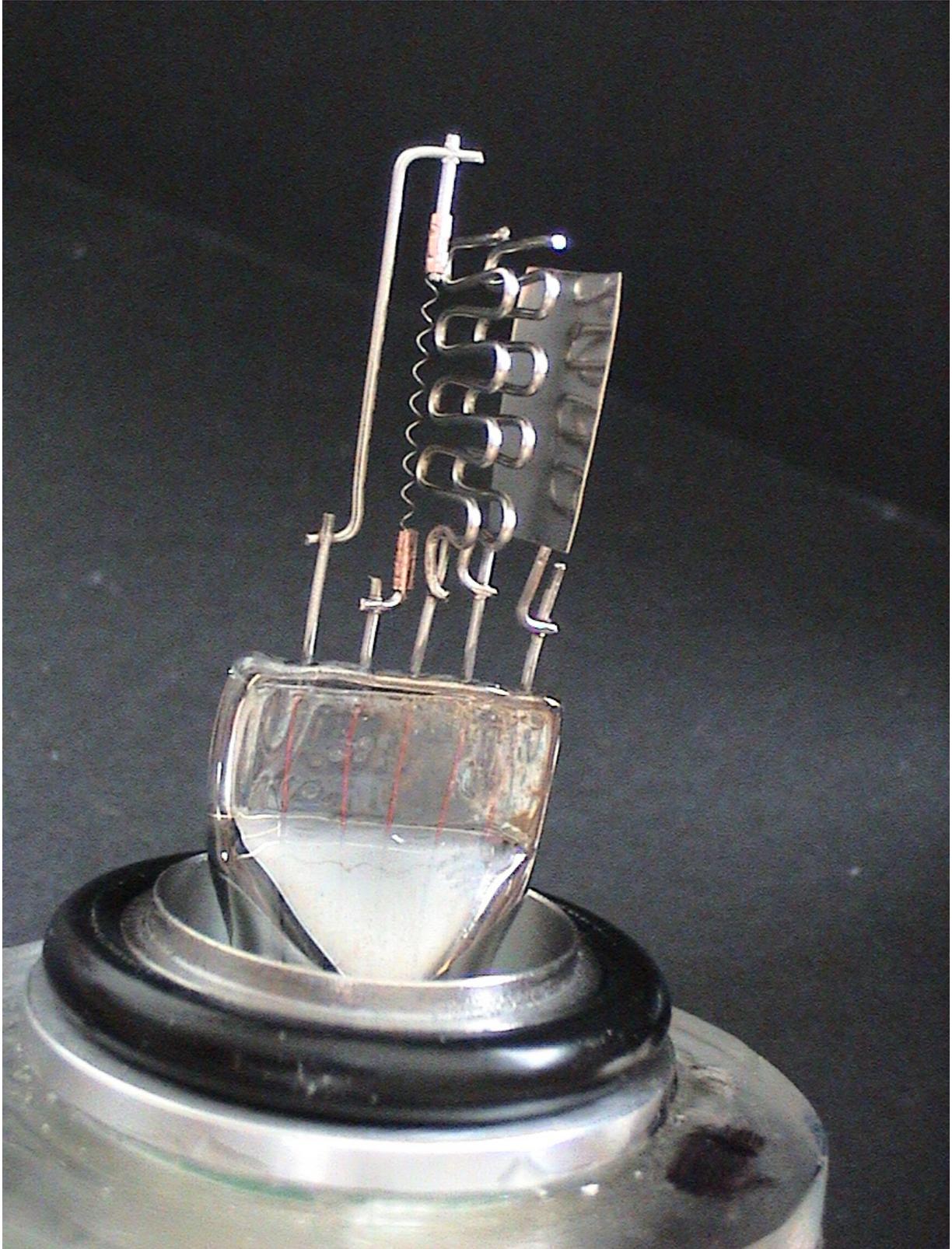
-||- 800 - -||- 6 mA



Juste pour voir...un essai de 'Tétraode' chère à Paul Berché...150 volts plaque, 82 volts sur G qui fait office d'écran, G' reconvertie en grille de commande...

A oublier...ce n'est pas un véritable tube 'a écran', et la HT...aie !...

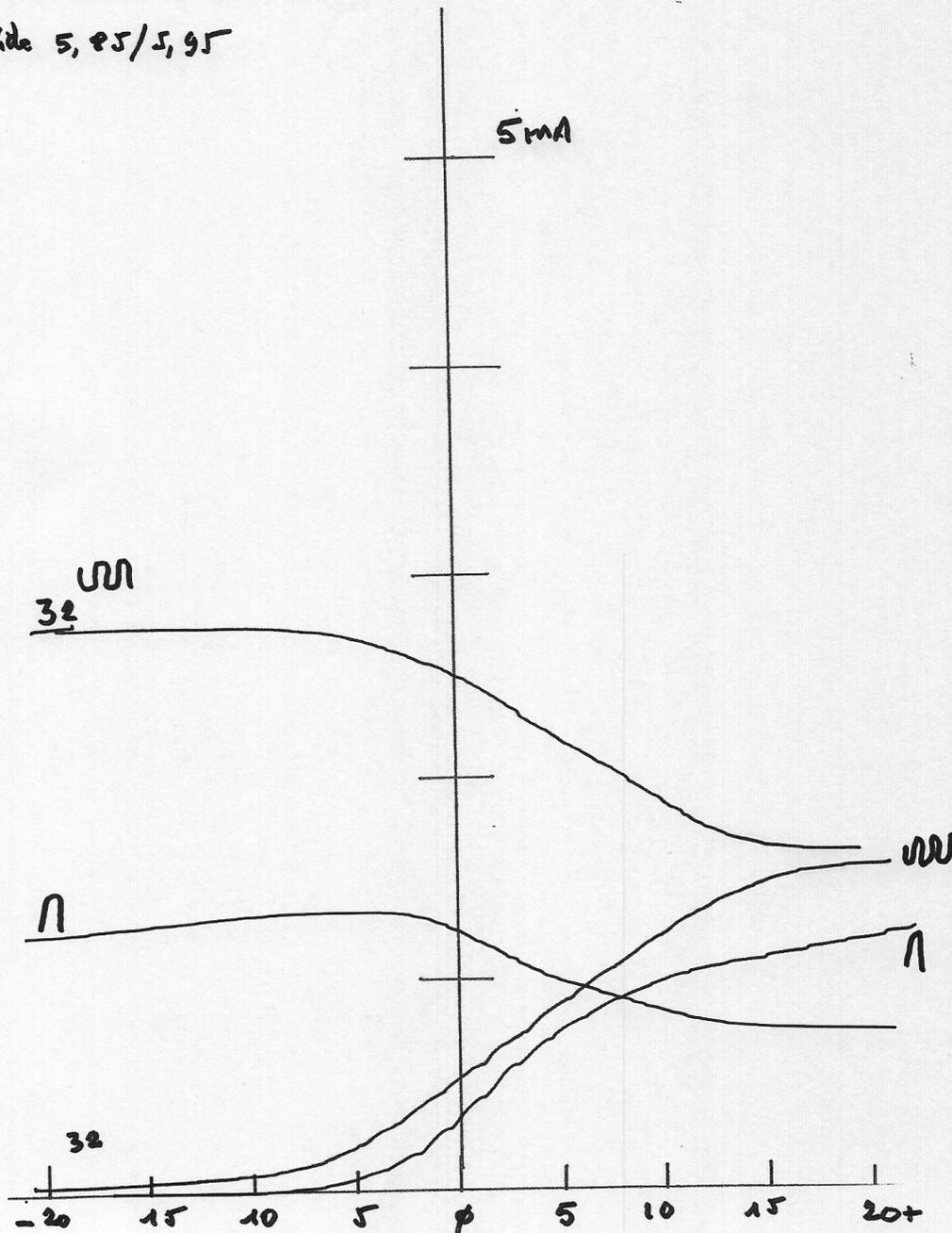
Arrivés à ce stade...on n'est plus à une grille près...



Deux grilles...vous avez dit deux grilles.....comme c'est bizarre.....

"audion" à 2 grilles U
 0,08 8t
 saturation a v/4,0/32v
 vide 5, 85/5, 95

(I) Bis



Bizarre peut être, mais cela réagit comme une 'vraie' bigrille.

Si la première grille, sous la forme du 'zig zag' classique, arrive à extirper 2,5 mA du filament sous 32 volts, elle arrive encore à récolter un peu plus d'un mA en la réduisant à une simple 'épingle à cheveu'

Ceci confirme que, même avec des dimensions ou 'densité' faibles, les grilles G' sont efficaces...un rappel des 'quatre tiges' de la T.S/F Moderne.

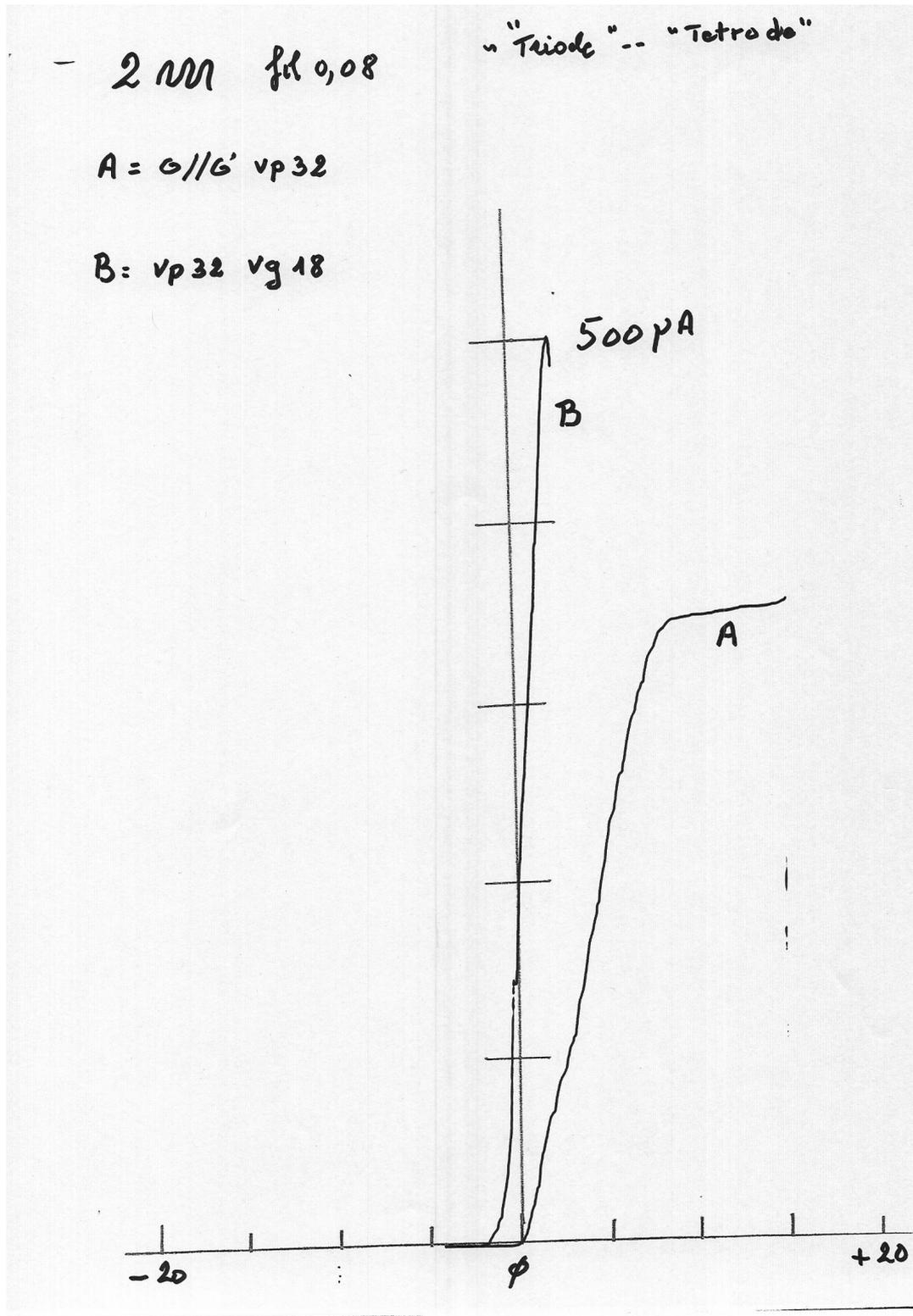
Pour preuve, le courant plaque, a zéro volt sur G arrive à 500 μ A contre une vingtaine dans le cas de l'Audion de base, ceci pour la même tension plaque de 30 volts.

Un bémol toutefois....avec 500 μ A de courant plaque, 2,5 mA sur G', le filament est assez sollicité pour compenser la géométrie plane de l'ensemble.

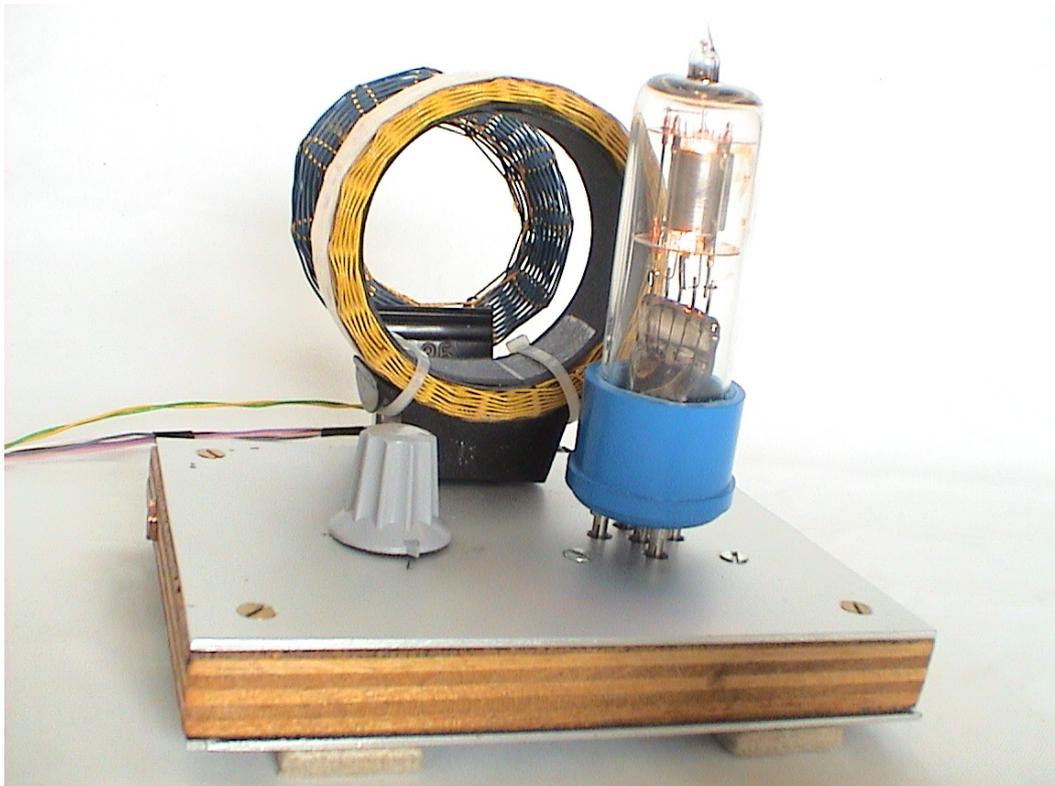
Une autre approche...réunir G' avec G pour réaliser la grille de commande d'une triode conventionnelle, une sorte de retour à 'l'Audion' de base (courbe A)...pour peu que le chauffage filament soit 'modéré' on arrive rapidement à la saturation... avec une courbe du côté des tensions grilles positives...aux oubliettes.

Dernière tentative...il y a bien quatre électrodes, alors pourquoi pas une tétrode...

Rien de plus simple...G' en grille de commande, G avec la moitié de la tension plaque...le résultat, courbe B, est plus présentable...as.....



Tout ceci est passionnant....hélas il vient un moment où il faut se résoudre à abandonner les essais et revenir au monde réel....celui d'une ampoule en verre.



..... longue vie à Radio Luxembourg.....

....en résumé.....

Vers 1924~1926 les avis divergeaient plus ou moins au sujet des bigrilles dans 'La TSF Moderne...le QST Français...

Pierre Chenal pense que l'on va 'vers la suppression de la haute tension' en utilisant la seule tension de chauffage filament, également appliquée à la plaque.

A ceci près qu'en utilisant le classique casque 4000 ohms, même avec un courant plaque modeste, un ou deux volts devant se perdre en route, il fallait avoir l'ouïe fine

Marc Chauvière fait de même, avec quelques subtilités coté rhéostat de chauffage, avant de se résigner à alimenter la plaque sous 8 ou 10 volts.

Tout ceci motivé par le souhait de supprimer la batterie 40 ou 80 volts et son entretien, sans oublier sa charge en un temps où le réseau électrique était en devenir.

Une pensée pour la maîtresse de maison qui se désole devant les fuites d'acide sulfurique qui rongent son parquet....

Vu cent après, il semble que ce n'aurait pas été déchoir que d'alimenter la plaque par trois ou quatre piles plates 'Wonder' ...il restait néanmoins les 4 volts du filament.

Revenons au présent...les diverses configurations évoquées plus avant montrent que G' remplit parfaitement son rôle avec cinq à dix tours,...donc une 'densité' faible.

Aller au-delà risque de priver la plaque d'une partie du courant émis par le filament, le courant G' étant prépondérant...surtout si le filament est peu chauffé

Que ce soit avec un diamètre de 0,05 ou 0,08 mm ce dernier est tout aussi vorace que la vénérable TM...500 mA pour le plus fin, le double pour l'autre, et arriver, vers 2400°, à en sortir quelques milliampères...

Le tube monté sur la détectrice à réaction de la photographie fonctionne avec dix volts sur G' (2,0 mA) ou la plaque (0,3 mA), 4,0 volts sur le filament.... '5/5 fort et clair'

Ces dernières appréciations, plus ou moins subjectives, appellent quelques remarques : si une oreille juvénile sera à même de confirmer, une autre, d'âge canonique, aura tendance à remonter la tension d'alimentation.... sans aller jusqu'au 'réception le casque sur la table', entre dix et vingt volts il y a de la marge.

Au-delà rien ne va plus...la tension de G' devenue très importante attire un grand nombre d'électrons, qui ont ensuite tendance à échapper au contrôle de G.... Il en est de même si G' est dotée d'un trop grand nombre de tours...

Pour confirmation : avec 30 volts sur la plaque, on retrouve un fonctionnement quasiment normal en limitant l'activité de G' par réduction à 20 volts de sa tension.

Pour tirer le meilleur parti de la poignée de milliwatts délivrés par la plaque, il sera bon d'oublier le casque 4000 ohms pour quelque chose de plus moderne... avec un transformateur, ce qui évitera de faire passer un courant indésirable dans les enroulements du casque.

Au sujet 'basse fréquence'...Pierre Chenal espère voir arriver des bigrilles 'de puissance pour audition en haut parleur...alors que Marc Chauvière s'en tient à $U.I=W$ où le produit de deux valeurs, par principe faibles dans le cas de la bigrille, donnent un résultat tout aussi modeste....à moins d'augmenter la tension....

Divers essais ont montré la facilité avec laquelle les tubes oscillent : avec 7 volts sur G' et P, oscillation sur 300 kHz, 20 μ A pour P, 170 μ A pour G'...un ajustage de la polarisation de G affine les choses, ici -2,2 volts...un autre tube oscille encore à 3,8 volts

La structure coaxiale s'imposera, utilisant les électrons émis par le filament sur les 360°...en l'état la forme 'plane' n'est pas viable, et il est heureux que les ingénieurs de la 'Western Electric' ou 'Général Electric', se soient penchés sur le nouveau né

Qui peut le plus...ne peut pas forcément le moins....ou difficilement

Si raccorder un tube à la pompe par un ‘tuyau’ de 25 mm, donne rapidement un vide décent, il en va tout autrement avec le queusot.

Au départ une pompe turbo-moléculaire Alcatel ATS100 a un débit de 105 litres seconde, dans sa version avec bride diamètre 63 mm

La suite est moins glorieuse avec le queusot, diamètre 4 mm intérieur sur 40 mm de long reliant la pompe et l’ampoule à vider...difficile de faire plus gros et plus court.

Résultat, une ‘conduction’ de 0,18 litre seconde, presque 600 fois inférieure au potentiel de la pompe...littéralement assassinée.



Pour confirmation...en plaçant la jauge directement en sortie de pompe, on obtient un vide de $4,73 \cdot 10^{-6}$ torr après 15 minutes, $2,66 \cdot 10^{-6}$ torr à 30 minutes.



En intercalant un tube simulant le queusot on arrive péniblement à $1,5 \cdot 10^{-4}$ torr après 15 minutes, et $5,95 \cdot 10^{-5}$ torr au bout d'une demi-heure.

Même si la précision de la jauge Balzers est sujette à caution, de l'ordre de 30% pour ce type de matériel, utilisée pour les deux mesures la comparaison est valable, et sans appel, le queusot dégrade la vitesse de pompage par un facteur de plus de dix fois

Au premier abord, on peut supposer que la pompe, avec 180 centimètres cubes par seconde, va rapidement venir à bout de moins d'une centaine dans l'ampoule.

En fait, dans l'ampoule, le mouvement aléatoire des molécules ressemble à celui des boules d'un billard...pour l'essentiel, elles rebondissent contre les bords et ont très peu de chances de trouver l'échappatoire d'un trou...d'autant que personne n'est là pour les propulser dans la bonne direction...circonstance aggravante, l'ampoule est un volume au lieu de la simple surface plane du billard...

On peut se demander comment les vénérables TM ont pu rendre le service attendu...leur queusot étant plus proche d'un diamètre de 3 mm que de 4 mm...les pompes étant moins performantes qu'une 'turbo'...sans oublier la longue 'tuyauterie'...

Heureusement, les tubes recevaient le 'petit traitement' de Henri Abraham.

.....les Aiguilles....

La réalisation d'une ampoule en verre, munie de diverses électrodes et vidée de son air, pose inévitablement le problème des liaisons étanches vers le monde extérieur...les traversées, souvent dénommées 'aiguilles'.

Pour le verre 'dur', plus connu comme 'Pyrex', borosilicate...le tungstène règle la question, du moins en ce qui concerne la compatibilité

En ce qui concerne le verre 'tendre', cristal, sodocalcique...il faut utiliser un alliage Fer-Nickel-Cuivre (Fernico) ou Dumet de même coefficient de dilatation.

Il y a une vingtaine d'années, on trouvait encore ces traversées, prêtes à l'emploi, auprès des entreprises réalisant les 'enseignes au néon'...Aupem Sefli...Le Néon...depuis elles sont toutes passées à l'utilisation exclusive du verre 'dur', tarissant définitivement la source d'aiguilles.

Habituellement, une 'traversée' se composait d'une tige de nickel, soudée à une petite longueur de Dumet, à son tour soudée au fil de cuivre pour la liaison externe.

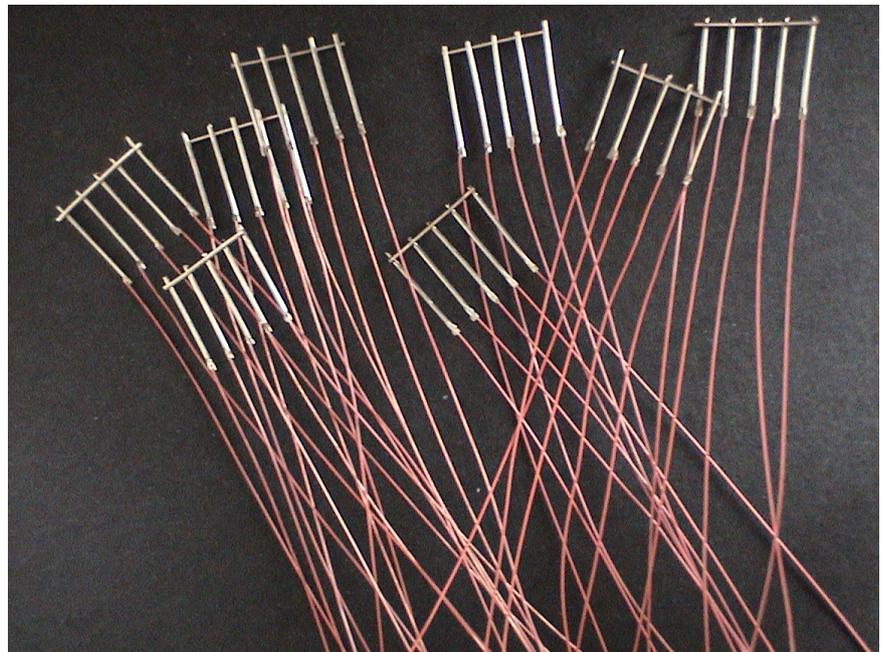
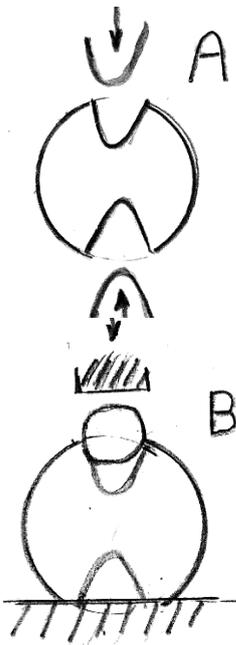
En réalité, compte tenu de la disponibilité, à un coût raisonnable, du Dumet, il est possible de remplacer le fil de cuivre par quelques centimètres de Dumet, ce qui ramène à une seule soudure le réel problème.

Pas évidente cette soudure...si électrique, dite 'en bout', analogue à la soudure 'par points'...mais difficile à réaliser sans détériorer la fine couche en cuivre du Dumet en le serrant avant soudure.

Guère mieux la décharge d'un condensateur au point de jonction des deux éléments...il y a plus risque d'un 'brûlage' que d'une soudure saine,...de plus si la résistance à la traction est acceptable, la résistance à la flexion est médiocre

Reste la soudure par point, après retouche de l'extrémité du fil de nickel.

Suivant le croquis A, une pince coupante réalise deux encoches en V sur un a deux millimètres de long...ensuite, croquis B, le fil de Dumet vient se poser sur une des encoches avant d'être 'poussé-soudé' rapidement (20 millisecondes)....



Le résultat est excellent, les légères déformations de la zone soudée étant sans conséquence sur les opérations de réalisation du 'pied'

.....*Le marteau, la mouche, la plaque...*

Si, pour dégazer la plaque, l'utilisation de l'induction haute fréquence est idéale, une précédente réalisation avait toutefois donné lieu, a posteriori, à quelques interrogations.

Avec 800 watts disponibles, en utiliser néanmoins 200 pour amener l'anode au rouge, alors que 40 font l'affaire dans le cas du 'bombardement' électronique...la comparaison évoquait l'histoire du marteau et de la mouche...

En fait, une chaîne d'éléments peu adaptés à la fonction....

- en premier la boucle de couplage au circuit plaque...mal dimensionnée.
- la charge 3,5 ohms des essais, au moins dix fois trop élevée
- le diamètre intérieur de l'inducteur bien trop grand par rapport à celui de l'anode
- la géométrie même de l'inducteur, nombre de tours, forme...a revoir...
- pour couronner le tout la fréquence du générateur différant de celle de l'inducteur.

Donc, copie à revoir,....en commençant par la fin, à savoir l'inducteur :

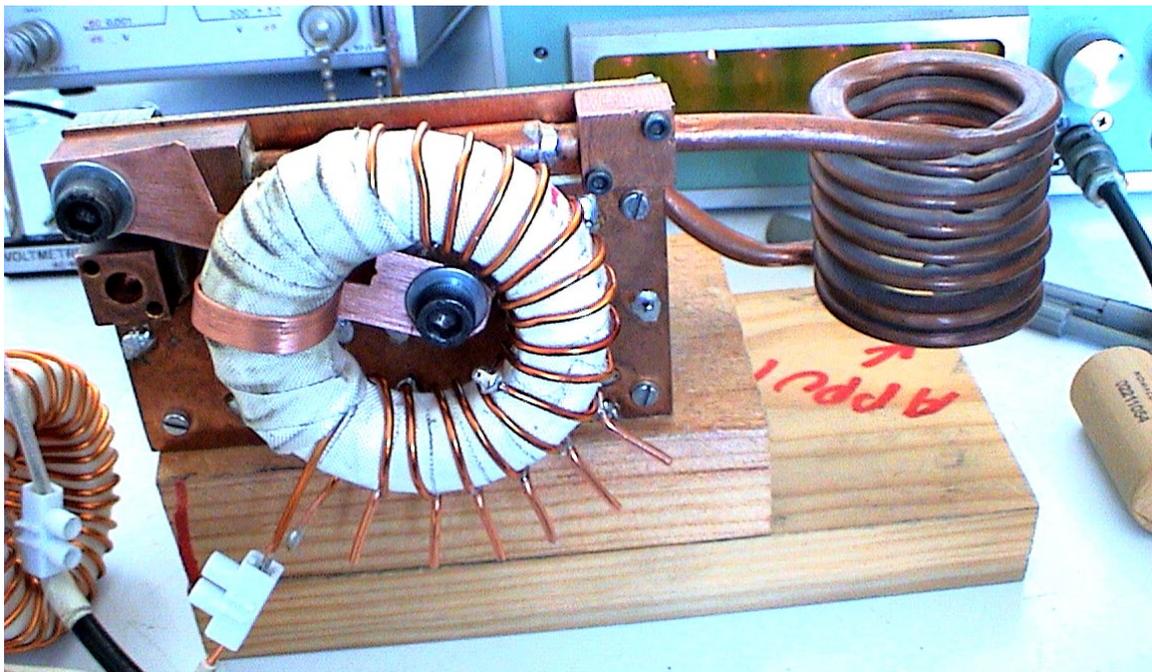
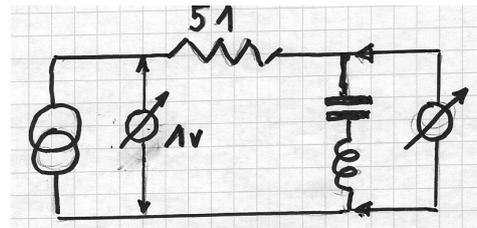
Réalisation de différentes configurations, nombre de tours, diamètre intérieur, pour choisir celui amenait une anode au rouge pour un minimum de puissance du générateur.

Celui retenu présente la particularité d'être bobiné avec un tube en cuivre de 6 mm, aplati pour arriver à 3,5 mm d'épaisseur, 7,5 tours sur un diamètre intérieur de 30 mm.

Placé en série avec un condensateur de 90 nF (18 x 5 nF en parallèle) le total présente une impédance minimale à 488 kHz avec 1,3 mV à ses bornes, remontant de 3 dB à 483,6 et 492,4 kHz..

L'introduction d'un tube diamètre 10 x15 dans la self fait remonter le niveau du 488kHz à 2,7 mV...on retrouve l'accord à 494 kHz pour 1,8 millivolt.

Le générateur. ?...on abandonne la grosse triode et ses 2700 volts plaque. Avec cent fois moins de tension, un trio de circuits '14 pattes', deux transistors, on obtient de robustes signaux 'carrés' qu'il reste à filtrer pour avoir de jolies sinusoïdes, sous les sacro-saints 50 ohms



Reste à adapter cette impédance à celle de l'inducteur.....

Un tore en ferrite, une vingtaine de tours au primaire, un au secondaire...l'affaire est faite, avec possibilité d'ajuster le nombre de tours du primaire.

En effet, dans l'utilisation réelle, les choses se compliquent un peu...la montée en température de la plaque en cours de dégazage ne doit pas être trop rapide, ceci afin de ménager les zones fragiles de la verrerie, en particulier les scellements étanches des fils de traversée.

Cette élévation de température s'accompagne de la variation des propriétés du métal, ici du nickel...en particulier vers 360 degrés, au passage par le point de curie

A ce moment la charge présentée par la plaque, en fait une spire en court circuit, varie non seulement coté puissance, mais impose également un ajustement de la fréquence.

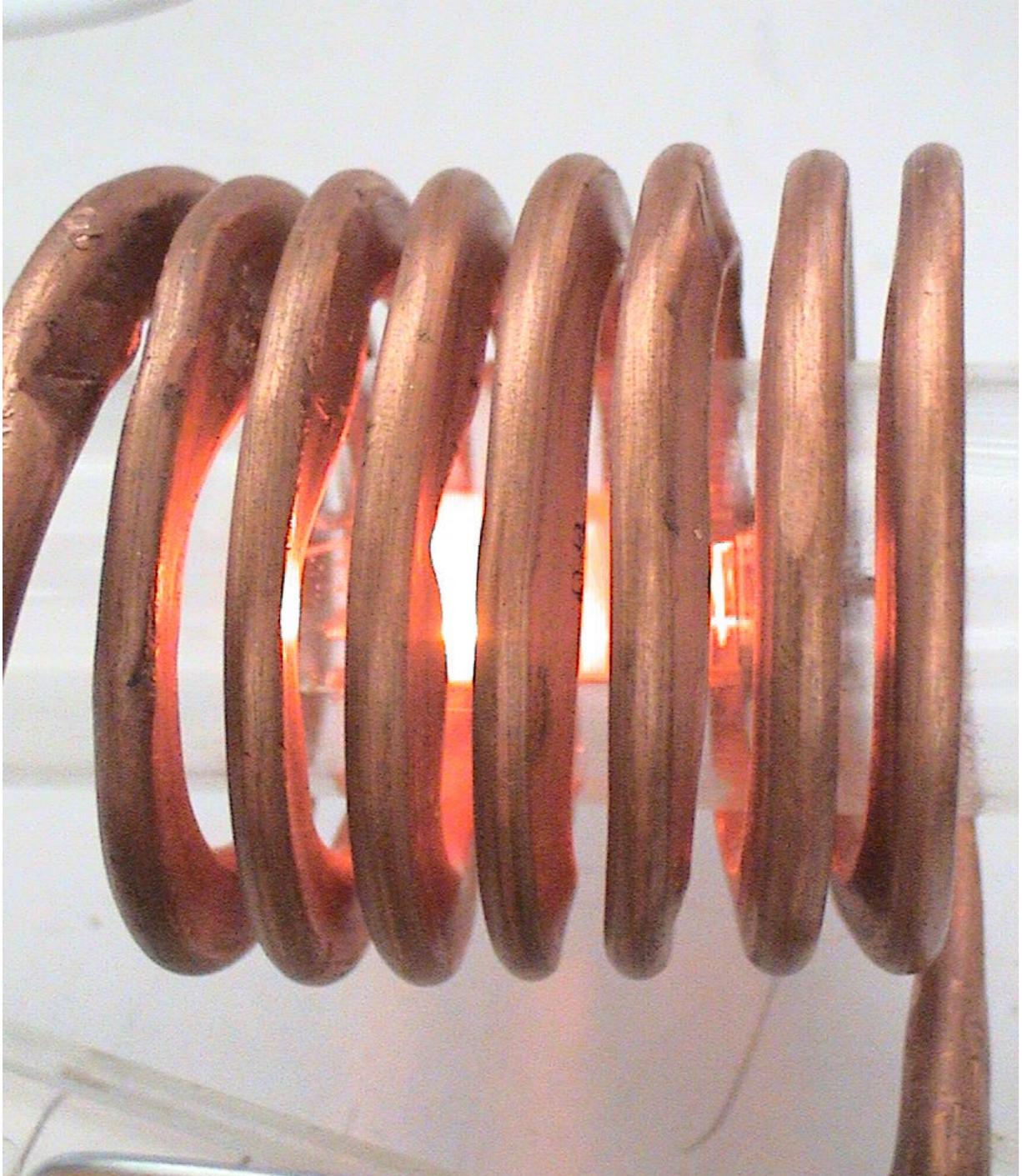
Une 'sonde de courant', couplée à la self de l'inducteur, permet de suivre, et corriger, la montée en puissance ou adapter la fréquence du pilote.'

Finalement, l'ensemble amène l'anode au rouge, alimenté par moins de vingt volts sous trois ampères...



Un grand merci à Victor Opdebeck inventeur de la pince à linge.....

Les frères Jacques



Chauffe Marcel...chauffe

Jacques Brel



Lorsque l'enfant parait, le cercle de famille.....

Victor Hugo

