

A la mémoire de Victor OPDEBECK

Dégazage des éléments du tube.

L'élimination des gaz occlus dans les parties métalliques peut être obtenue de diverses manières durant la phase finale de pompage/fermeture du tube:

Passage direct de courant, ceci étant a priori réservé au filament dont l'élévation (progressive) en température sera facile à obtenir.

La grille peut également être dégazée en la traitant comme un filament, a condition de relier ses deux extrémités a l'extérieur de l'ampoule ; cela était déjà utilisé sur un type de triode TM spéciale (filament plus fragile).

-Bombardement électronique: l'énergie cinétique des électrons percutant la plaque donne une élévation de température dans des conditions assez voisines de l'emploi futur du tube.

Simple et efficaceles premières triodes TM étaient dégazées par application d'une tension alternative de 400 volts entre plaque et filament. Il faut toutefois que le vide soit déjà acceptable pour éviter une ionisation dommageable pour le tube.

-Enfin le dégazage par induction a haute fréquence: Dans cette technique le tube est entouré par une bobine parcourue par un fort courant a haute fréquence (en général 100 a 500 kHz): le champ magnétique induit des courants de Foucault chauffant directement le métal des électrodes. Si le principe est, en apparence, simple, son application l'est beaucoup moins et ne fait pas l'objet de descriptions détaillées dans la littérature technique courante. On trouve bien quelques pages consacrées au sujet dans le numéro spécial Radio-Radar-Télévision de SCIENCE ET VIE en 1948. La même revue avait déjà abordé la question, en décembre 1945, mais en restant dans les généralités. Dans Engineering Electronics de RYDER, l'auteur se cantonne au coté théorique du sujet (fonctions de Bessel Bei/ber) sans aborder réellement le coté pratique. Par contre une dizaine de (bonnes) pages dans le 'Manuel de l'électronique Industrielle' de la Bibliothèque Technique PHILIPS (1957). Très bon exposé, à notre portée.

Néanmoins ceci conduit à l'inévitable recherche de documentation complémentaire...

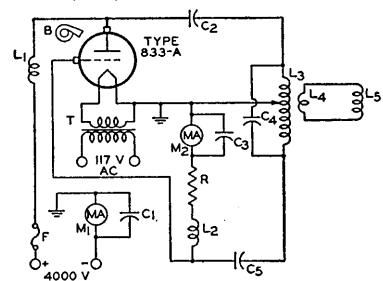
Résultat de ces recherches: deux livres qui décrivent avec minutie le sujet, depuis le projet initial jusqu'à la réalisation du générateur. Bien que datant de pas mal d'années (1950/55) ils ont le mérite de rappeler les principes de base qui sont souvent ignorés des ouvrages plus récents, plus 'pointus' sur le sujet :

Pratique du chauffage électronique par S.DUPERRIER (1952) Générateurs électroniques de chauffage haute fréquence par H. SOBOTKA (Dunod) Plusieurs exemples de chauffage par induction donnés par ces auteurs font appel a des générateurs très puissants (2 a 10 kilowatts) ce qui conduit à des 'monstres' hors de notre portée. Toutefois, a y regarder de plus près, tout espoir n'est pas perdu. Les puissances citées sont nécessaires pour plusieurs raisons: -volumes, donc masses, relativement importants a amener à haute température, alors que, dans notre cas, il s'agit seulement de quelques grammes. -rapidité de la montée en température pour divers motifs dont deux sont classiques :

(4-15)

OSCILLATOR FOR INDUCTION HEATING

Frequency 450 Kc (Approx.)



C₁, C₂=0.01 μ F, mica, 600 v.,

0.005 amp rms, min.

C₃, C₄=0.1 μ F, paper, 5000 v.,

0.005 amp rms, min.

C₅=0.005 μ F, mica, 8000 volts

min., 15 amp rms

F=Fuse, 1 amp

L₁=8mh, rf choke, 1 amp rms,

insulated for 10000 peak

volt, single-layer solenoid,

300 turns No. 18 Enam., 12

inches long on 4-inch

diameter

L₂=0.5 mh, rf choke, 250 ma

L₃=63 μ F, choke, 15 amp rms,

insulated for 5000 peak volts,

40 turns No. 8 Enam., 8 inches

on 4-inch diameter form,

L₄=Single-turn secondary,

shunt copper

L₅=Work coil

M₁=Milliammeter, 0-1000 ma, dc

M₂=Milliammeter, 0-150 ma, dc

R=2500 ohms, 50 watts

T=Filament transformer, 10

volts rms, 10 amp

B=Blower, designed to supply

an air flow of 40 cfm from a

24-inch vertical duct

directed vertically on bulb

between grid and plate seals.

NOTE: Adequate shielding should be used to assure compliance with FCC requirements regarding spurious radiation.

dans le cas de la trempe superficielle des aciers il convient d'aller très vite pour chauffer fortement la surface sans que cette chaleur n'atteigne le cœur de la pièce ; enfin, et cela est commun à de nombreuses pièces industrielles souhait d'aller vite pour des raisons de productivitérentabilité oblige....(Nous ne nous sentons pas concernés....)

Dans notre cas, au contraire, il ne faut pas aller (trop) vite, un dégazage rapide ne pouvant pas forcément être absorbé par la pompe. Et puis nous sommes patients - Par ailleurs un autre auteur indique qu'une puissance entre quelques centaines de watts et deux ou trois kilowatts est suffisante pour dégazer des pièces petites à moyennes... la situation devient moins sombre. L'espoir revient encore plus à la lecture du manuel R.C.A TT4 donnant un exemple d'emploi d'une grosse triode 833 dans un montage plus à notre portée (Fig 4.15 Le schéma est celui d'un très classique Hartley dans la version alimentée via une self de choc, le circuit d'auto-polarisation permettant la mesure du courant grille. On notera dès à présent la taille respectable des selfs. Après quelques calculs préliminaires (forcément optimistes) il est décidé de se lancer dans l'aventure, celle-ci débutant par la chasse aux composants dont certains sont à des années lumière de la TTL ou autres microprocesseurs. Une fois les composants réunis, d'origine 'surplus' le plus souvent, le plus ingrat reste à faire...la phase "tolerie-chassis" dont la réalisation est pour le moins peu motivante, le résultat final apparaissant plus loin. La carcasse d'un générateur BF FERISOL défunt sert de base à la tolerie. ou l'art d'accomoder les restes en récupérant au passage certains composants. Le schéma retenu étant celui du manuel RCA avec des modifications minimales. Toutefois la 833 du schéma originel, longtemps espérée, est remplacée au dernier moment par une TB3/1000 Phillips présentant certaines similitudes, une E1200- SFR/CSF pouvant également être utilisée.

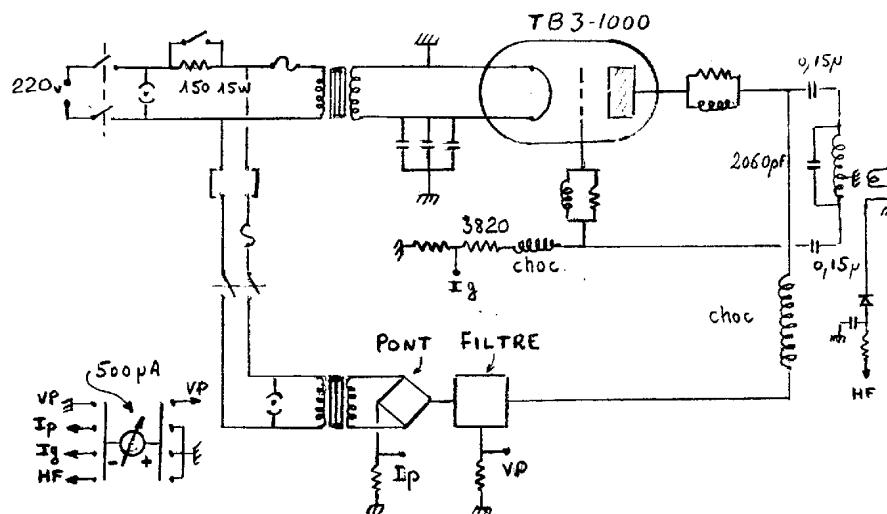


Schéma général

Les principales caractéristiques de la TB3/1000 sont les suivantes:
filament 12 volts sous 9 ampères, Tension plaque maxi. 3000 volts, pente 8ma/V gain 31. Utilisable jusqu'à 20 Mhz, elle est munie d'un support très spécial. Avant d'aller plus loin il nous faut insister sur le grand danger présenté par un montage utilisant une tension de plus de 2500 Volts.... Porter une paire d'épais gants de caoutchouc est une protection indispensable durant la période des essais, avant la mise sous capot métallique de TOUT l'appareil. mieux vaut prévenir que guérir.....Si guérison il y a.

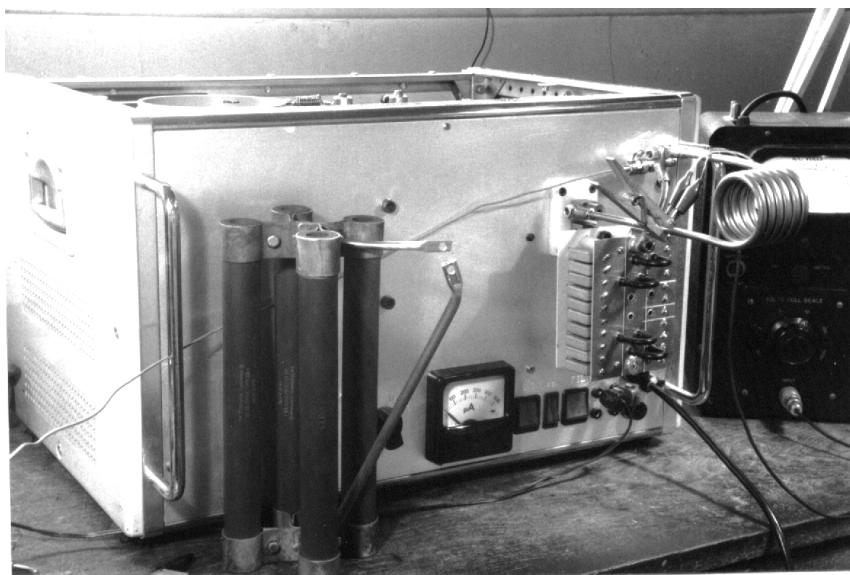
Ayant subi pareille mésaventure, il y a de nombreuses années, nous savons que le principe voulant que l'on garde 'une main dans la poche' durant les interventions sur les montages utilisant une tension élevée ne protège nullement au moment où ladite main se précipite pour rattraper au vol quelque chose.... qui est forcément sous tension. Enfonçons encore le clou: le

fait de porter des gants de protection ne doit pas être une incitation à travailler sous tension.

Au contraire, il faut les assimiler à des gants de métal, interdisant de fait tout contact volontaire ou non avec des éléments sous tension, simple effort de volonté. Opérer avec réflexion, sans précipitation, la mise au point doit être faite suivant une séquence établie à l'avance, par écrit, et dont on ne s'écartera pas.

On objectera peut-être que toutes ces précautions auraient été superflues avec un générateur transistorisé, donc avec des tensions plus raisonnables. Certes...mais les problèmes auraient été différents: alimentation délivrant un très fort courant, mise en parallèle de nombreux transistors pour obtenir la puissance désirée, précautions contre les court-circuits en sortie.....Les deux possibilités, tube ou transistors, avaient des arguments à faire valoir...

En fait, avouons le, nous avions envie de retrouver les joies procurées par la réalisation de divers "linéaires" il y a trente ans. Ceux qui n'ont pas connu l'émotion de voir s'allumer le filament d'un tube de puissance respectable ne peuvent pas savoir..... Continuons donc



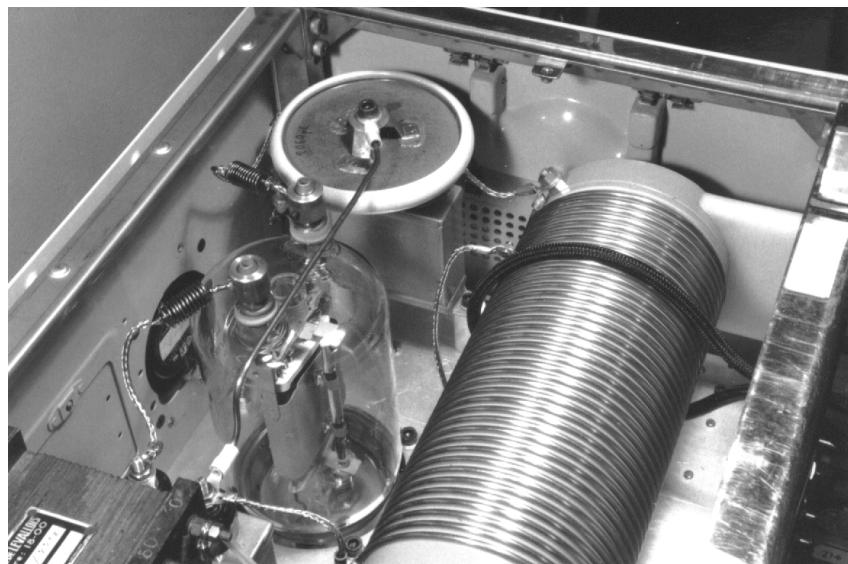
A gauche la charge fictive, a droite un inducteur en cours de mise au point

Avant de passer à la réalisation de l'inducteur il faut vérifier la puissance disponible en sortie du générateur, sur une charge correspondant à la résistance interne dudit générateur. Toutefois l'instrumentation habituelle basée sur un système 50 ohms est de peu d'utilité ici où nous serons confrontés à l'emploi de charges de quelques ohms au maximum. De même les connecteurs habituels des familles "N" "UHF" ou encore "BNC" sont tout à fait inadaptés au passage d'un fort courant HF, leurs dimensions, en particulier la BNC, ou encore leur résistance de contact amenant des pertes excessives. Force sera donc de réaliser les connexions au moyen de cosses soudées, de taille respectable, avec un serrage énergique par vis et écrou. Quant à la charge en elle-même les résistances de quelques ohms capables de dissiper des centaines de watts ne courront pas les rues. Donc une construction 'maison' est inévitable. Deux approches sont possibles: groupement en parallèle d'un grand nombre de résistances dissipant un watt, comme cela se pratique parfois en émission d'amateur. Avec 500 (bigre!) résistances de 2500 ohms on obtient une charge de 5 ohms, peu coûteuse, très acceptable moyennant quelques précautions dans une réalisation qui n'est pas évidente au départ. La deuxième solution, plus aléatoire quant à sa disponibilité, réside dans l'emploi de résistances SILOHM de la Société Le Carbone Lorraine... (retour 30 ans en arrière où nous utilisions ce type de résistance, en 50 ohms, comme charge fictive en émission ondes courtes. Nous avons donc utilisé à nouveau des résistances, type RS1 de 13 ohms qui, avec un diamètre de 25 mm sur 250 mm de long, sont capables de dissiper un nombre respectable de calories, surtout si on les ventile. Par mise en parallèle de quatre résistances nous obtenons

environ 3,25 ohms valeur convenant bien aux essais envisagés. Toutefois les résistances parasites (serrage des connexions, section des câbles de liaison...) étant susceptibles de fausser les résultats, compte tenu de la très faible valeur de la charge en elle-même, il convient de vérifier cela en haute fréquence : ampèremètre à thermo-couple, voltmètre digne de foi et bien sur oscilloscope pour vérifier que le signal est raisonnablement sinusoïdal. Toutes vérifications faites nous trouvons 3,75 ohms et, ainsi équipés, pouvons ajuster les divers paramètres de l'oscillateur pour en obtenir la puissance maximale: position de la prise sur la self, valeur de la résistance de polarisation grille....

La mise au point sera grandement facilitée par l'emploi d'un auto-transformateur, genre VARIAC ou FERRIX, permettant de doser la puissance sur le primaire du transformateur haute tension. Ceci évite d'appliquer d'emblée la tension maximale à un montage en cours de réglage, au fonctionnement peu sûr. Sous 2700 volts et 440 mA. nous obtenons 805 watts soit un rendement de 68%, la prise sur le circuit accorde étant à 8 tours de l'extrême grille; la résistance de polarisation grille valant 3820 ohms.

Avant d'aborder la réalisation de l'inducteur un retour en arrière s'impose pour préciser ce qui, en principe, aurait du être calculé au départ: la valeur du courant traversant l'inducteur, lui même découlant de l'échauffement désiré..... Voyons cela de plus près:



l'intérieur....La self fait quelques 10 centimètres de diamètre....

La puissance demandée pour échauffer une masse métallique est donnée par:

$$P \text{ watts} = 4,18 \times \text{Masse} \times \text{Chaleur spécifique} \times \text{Température / Temps}$$

Dans notre cas il s'agit de porter aux alentours de 1000 degrés le tube en nickel (diamètre 10 mm, longueur 15 mm, épaisseur 0,3mm, poids environ 1,2g) constituant la plaque de notre future triode La chaleur spécifique du nickel sera prise égale à 0,12 à la température moyenne de 500 degrés. Comme, à ce stade, nous sommes dans le flou le plus complet nous envisageons le cas (très pessimiste) où il faudrait 60 secondes pour arriver à nos fins.

Un rapide calcul donne un peu plus de 10 watts ce qui est des plus modestes. Même en accélérant un peu les choses en passant à 6 secondes il suffirait de guère plus de 100 watts donc, a priori, parfaitement dans nos possibilités. Maintenant il faut ajouter les pertes par rayonnement puisque tout corps chauffé tend à perdre une partie de sa chaleur dans l'espace environnant. La formule ci-dessous donne la puissance rayonnée en watts-centimètres carrés $P \text{ watts-cm}^2 = 0,572 \times \text{pouvoir émissif} \times (T_1 - T_2)^{10-11}$ avec $T_1 = \text{température finale}$ et $T_2 = \text{température de départ}$. L'ennui c'est que ces deux températures font référence au -273 degrés cher à Messieurs BOLTZMANN et KELVIN et que, de plus, il convient de les porter à

la puissance quatre, chose que nous avons volontairement omise dans la formule. Avec une surface de près de 5 centimètres carrés nous devons ajouter environ 35 watts à notre précédente estimation. Au passage nous avons pris, tout à fait arbitrairement, 0,5 pour le pouvoir émissif du nickel, donc à mi-chemin entre un corps noir (1) et quelque chose offrant un aspect lisse et poli tel que l'aluminium qui descendrait à 0,1. En pratique, le pouvoir émissif du nickel passe de 0,15 pour du métal brillant et lisse, à 0,8 après recouvrement par du carbure de nickel... hors de nos possibilités et pas forcément souhaitable dans le cas du montage actuel. Il convient d'ailleurs de méditer sur l'hypothèse de 35 watts de pertes par rayonnement vis à vis des 10 watts du calcul initial.... Mais l'affaire va encore se gâter avec la puissance spécifique établissant le rapport entre la puissance à fournir et le volume du corps chauffé. Au passage nous avons fait l'impasse sur les pertes par conduction, dues aux liaisons entre le cylindre de plaque et la verrerie par les petites tiges de fixation, pertes au demeurant très limitées puisque le verre est déjà bien réchauffé. Également les pertes par convection ne nous concernent pas, l'ampoule de verre étant dépourvue de l'air pouvant véhiculer des calories.

La puissance spécifique (ρ_s) est obtenue en divisant la puissance totale définie précédemment par le volume du cylindre de nickel supposé plein; soit, dans le cas le plus optimiste: $(10+35)/1,18=38$ watts par centimètre cube.

Partant de là on obtient le champ magnétique H_0 de la bobine :

$H_0 = V / (7940 \cdot P \cdot R) / (V \cdot R_s \cdot F)$

Formule qui reprend les éléments déjà définis avec R =rayon du cylindre, F =fréquence et R_s la résistivité du matériau à la température moyenne. On trouve un champ de quelques 200 Oersteds et ensuite, en principe, aisément le courant dans la bobine dont les dimensions (diamètre longueur, nombre de tours) sont bien sur prépondérantes.... A nous MAXWELL, OERSTED, sans oublier un zeste de NAGAOKA.



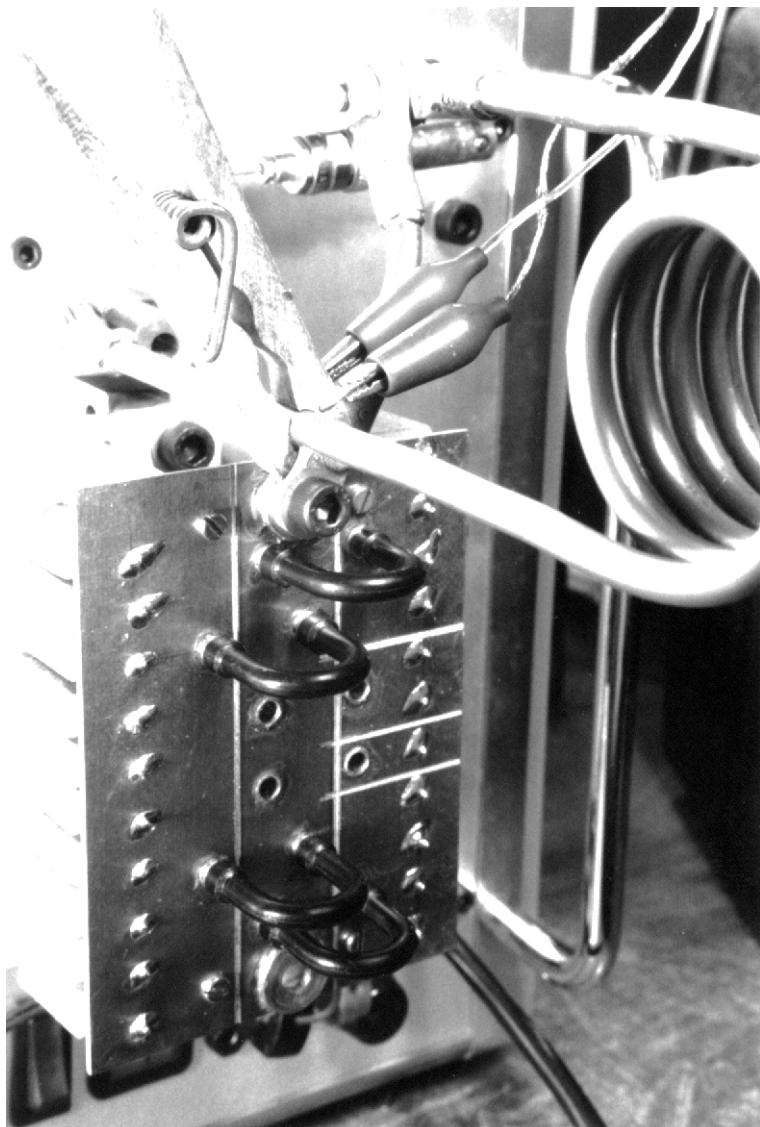
Tête à tête.....Les adversaires n'en démordent pas.

Oui mais... nous avons déjà accumulé pas mal de différences vis à vis des modèles relevant habituellement du chauffage par induction, dont, par exemple: Décalage notable entre le cas général où l'épaisseur du métal est très supérieure à 'l'épaisseur de peau', alors que dans notre cas elles sont comparables. En effet on assimile les corps creux à des corps pleins dès que l'épaisseur du métal dépasse 1,4 de la profondeur de pénétration ce qui n'est pas le cas.

Il convient également de tenir compte de l'entrefer entre le diamètre intérieur de la bobine et l'élément à chauffer; entrefer qui est tenu le plus faible possible en pratique industrielle (quelques millimètres). Dans notre cas il y aura un bon centimètre entre l'inducteur et le métal

a chauffer. Pour couronner le tout l'orientation a 90 degrés dans le champ n'est pas vraiment favorable puisqu'on admet que la charge est assimilable à une spire en court-circuit au secondaire d'un transformateur dont l'inducteur représente le primaire. Notons toutefois que l'orientation a 90 degrés de l'axe concerne seulement des tubes du genre triode TM qui n'utilisaient pas le chauffage par induction. Les tubes plus récents avec positionnement dans l'axe de la verrerie sont plus aisément traités. Un exemple pour illustrer ce qui précède: un anneau diamètre 20 mm en fil de nickel de 0,5 mm est placé au centre d'un inducteur au cours d'un essai à puissance réduite. Orienté parallèlement au plan des spires de l'inducteur il passe au rouge cerise deux secondes après la mise en marche de l'oscillateur, alors qu'il s'échauffe, certes fortement, mais sans rougir en le faisant tourner de 90 degrés, et ce même après 20 secondes de chauffage. Donc le calcul du courant dans l'inducteur, pour avoir le champ défini plus avant, est forcément laborieux et doit être repris pour les diverses configurations de l'inducteur. En définitive il n'est pas rare d'aboutir à des courants de 200 ampères, ou plus, ce qui constitue un début de justification pour les fortes puissances évoquées en préambule. Et ce n'est pas fini. Ce fort courant circulant dans la mince bande de métal réduite à l'épaisseur de peau du cuivre de l'inducteur, provoque des pertes complémentaires par effet Joule, et qui grimpent suivant le carré de l'intensité... Histoire d'en rajouter un peu l'élévation de température due à l'effet Joule augmentera la résistivité du métal de la bobine qui voit sa température monter allégement à 70 degrés (ou plus..) d'où nouvelles pertes. Nous vous ferons grâce du calcul, mais cela explique pourquoi certains inducteurs perdent plusieurs kilowatts par effet Joule dont les calories doivent être évacuées par circulation d'eau. Ayant ainsi noirci le tableau (la situation est grave mais pas désespérée) nous abandonnerons là les calculs purement théoriques pour revenir à la pratique.....

(retour du fer à souder)



Monsieur Victor reste seul en lice.....

Le problème est simple: transformer nos 800 watts en courant maximum dans la bobine de quelques tours, donc sous impédance la plus faible possible. Plusieurs choix sont possibles:
-Transformateur abaissant les 3,75 ohms des premiers essais sur charge ohmique en une impédance encore plus basse: peu réalisable en pratique vu les difficultés de réalisation (circuit magnétique-bobinage délicat-pertes inévitables)

-Circuits classiques d'adaptation d'impédances dont deux exemples sont donnés ci-dessous: partant d'inducteurs présentant une charge évoluant dans la gamme 0,5+J 0,5 ohm à 10+J 20 ohms ces réseaux sont particulièrement utilisés pour l'adaptation directe au circuit de l'oscillateur (impédance 1000 à 5000 ohms). Finalement nous utilisons un simple circuit self-condensateur en série où ce dernier compensera la réactance de la bobine de l'inducteur pour obtenir une impédance faible, limitée en principe uniquement à la résistance ohmique de la bobine.... Donc revoilà l'inévitable effet Joule.

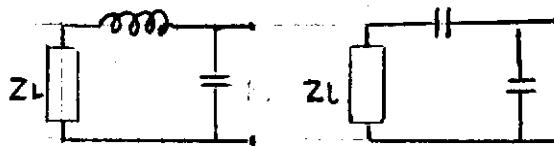
Divers inducteurs réalisés suivant ce principe seront essayés en notant le temps mis à porter au rouge vif un tube en nickel servant d'étalon. Le courant dans la bobine étant évalué avec une sonde de courant dont

une photographie à donné deux exemples: dans le premier cas la mesure s'effectue sur un shunt en dérivation, soudé sur le tube de cuivre de la bobine. L'utilisation (luxueuse dans le cas présent) d'une sonde de courant Tektronix 6016 munie de son amplificateur peut être évitée vu l'importance du courant. Une petite boucle de couplage introduite dans une branche d'une simple pince à linge (!) fait tout aussi bien l'affaire une fois étalonnée par comparaison avec un thermo-couple. avantage décisif: il est très facile de déplacer le point de mesure.... Revenons au condensateur en série avec la self: devant résister au fort courant le traversant cela prohibe l'emploi des condensateurs habituels. Des condensateurs isolés au mica de petite valeur (ici 5 nF.) sont utilisés, un groupement en parallèle permettant d'ajuster la valeur finale. Pour la circonstance un bloc muni de fiches donne toute valeur de 5 nF. à 100 nF. par pas de 5 nF. Le nombre élevé de condensateurs diminue d'autant le courant qui traverse chacun d'eux et provoque un échauffement préjudiciable à sa survie. Deux inducteurs réalisés sur ce principe sont présentés ci-dessous le premier comporte 5,5 tours diamètre intérieur 40 m/m₁ en tube de cuivre de 6 m/m, le condensateur série est obtenu par un groupe de 20 éléments. Le second, avec seulement 3,5 tours, a un diamètre intérieur de 67 m/m. Le nombre de condensateurs en parallèle est déterminé en relevant le courant dans la bobine, sans toutefois prétendre à une précision illusoire vu la diversité des objets susceptibles d'être placés au centre de l'inducteur, donc plus ou moins perturbateurs d'un accord théoriquement parfait.

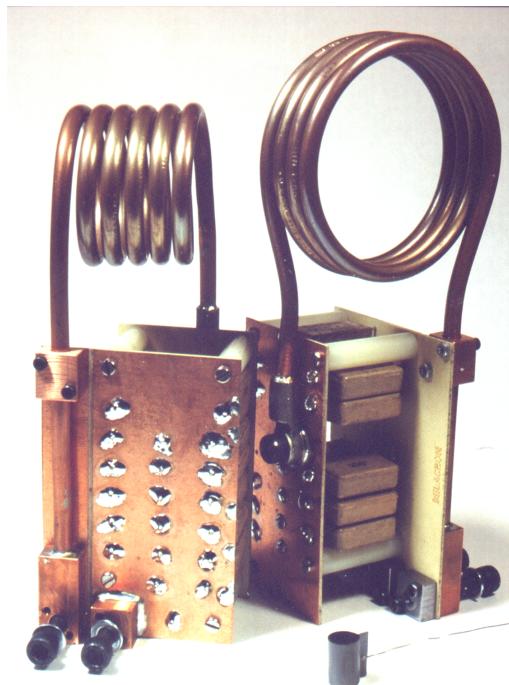
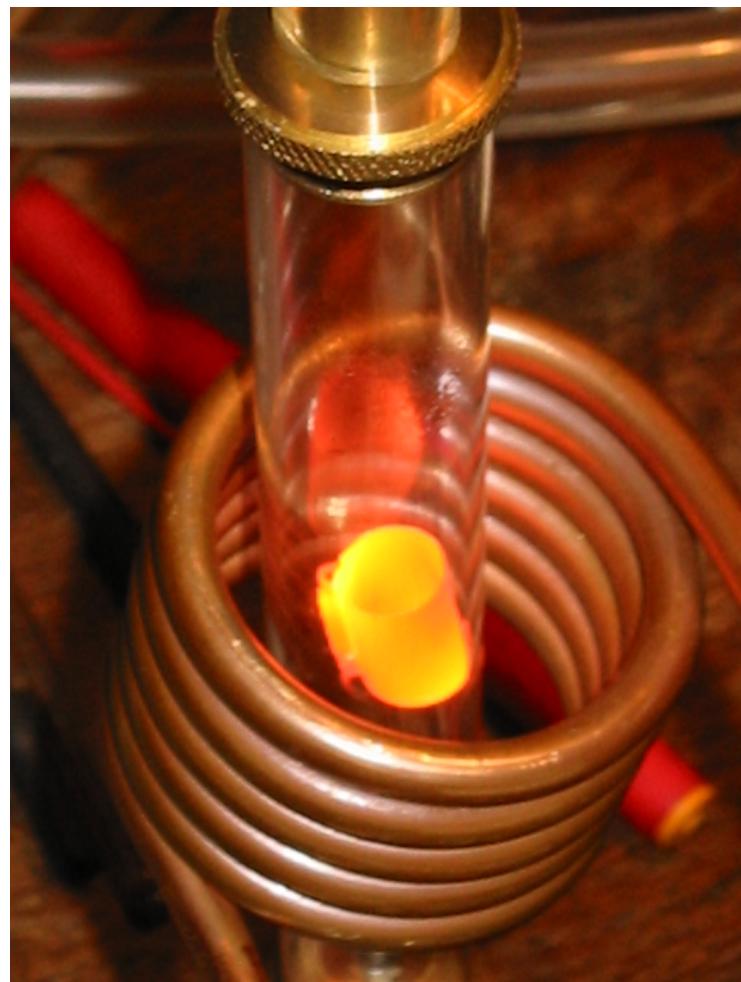
avec l'un ou l'autre de ces inducteurs on porte aisément au rouge vif le tube témoin évoqué plus avant; toutefois le temps nécessaire est plus que doublé en utilisant le plus gros des deux. ceci est la conséquence directe de l'augmentation sensible de l'entrefer entre bobine et tube de nickel, le couplage magnétique étant très diminué (le tube de nickel a seulement 15m/m de long).

Ce qui précède peut paraître bien compliqué pour obtenir le dégazage de plaques ou grilles qu'il est possible de traiter par le simple 'bombardement' électronique, plus aisé à mettre en œuvre....En fait les deux méthodes sont complémentaires et il est habituel de dégazer par haute fréquence, sous vide, les métaux avant de les assembler pour réaliser un tube radio.

Dans ces conditions il est possible de conserver les pièces ainsi traitées pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours, sans que l'air ne diffuse dans l'épaisseur du métal. Un simple dépôt en surface, aisément éliminé par la suite des opérations, se produisant dès la remise à l'air libre. Dans la pratique industrielle il est classique de dégazer sous haute fréquence avec une atmosphère d'hydrogène....ce qui nous dépasse quand même quelque peu....



Dégazage sous vide, par haute fréquence, d'une anode 10x15



Un aperçu des deux inducteurs évoqués ci-dessus...

Le plus grand autorise le passage d'ampoules de verre de grand diamètre.....au cas ou....

ETUVAGE.....

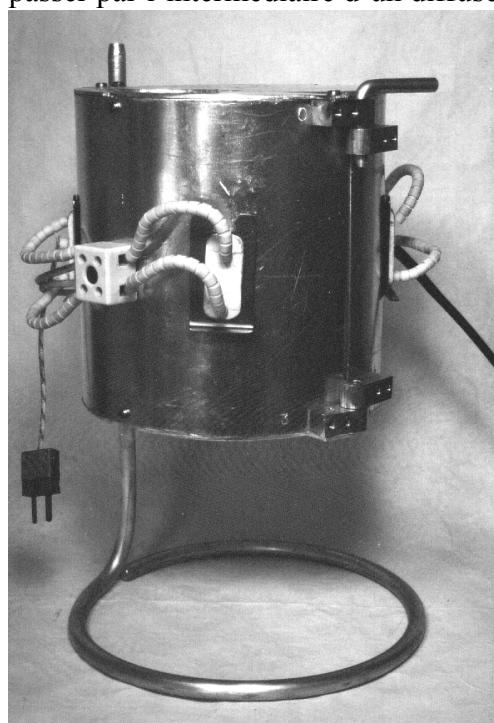
Tous les livres sur le soufflage du verre insistent sur la nécessité de contrôler le refroidissement du verre qui vient d'être porté à la température très élevée imposée par le façonnage de l'objet....D'où le passage à la 'flamme molle', ou 'éclairante', avec production d'une couche de noir de fumée, ceci étant censé protéger le verre d'un trop gros choc thermique. Sous cet aspect le 'Propane' dépose nettement plus de résidus que le gaz naturel qui a remplacé l'ancien 'Gaz de Ville' dans les canalisations citadines...Le succès de cette opération dépend beaucoup de l'expérience de celui qui la réalise....position dans la flamme...durée... Malgré cela il risque de subsister des zones avec des tensions internes qui vont, tôt ou tard, se rappeler à notre bon souvenir....de préférence au cours du chauffage demandé par l'opération suivante...clic..!..Ceci étant plus a redouter dans notre cas où l'emploi du verre sodo-calcique (au plomb, ou cristal si vous préférez...) ne facilite pas les choses. Le verre borosilicate ou autre 'Pyrex' ne nous concernant pas....

Pour éliminer ces tensions résiduelles le remède est connu : placer l'objet dans un four et amener la température au point dit de 'recuisson' pour ensuite revenir lentement à la température ambiante....Dans notre cas, les objets a recuire étant toujours d'épaisseur faible, une montée à 450 degrés en 20 minutes, suivie d'un retour à la normale en une heure donne de bons résultats. A ce stade de notre projet il est évident que le chauffage par des résistances électriques sera la solution logique, en particulier sous l'angle de la régulation de température, ceci n'étant pas très évident avec une flamme quel qu'en soit le mode d'action.

Un autre emploi, très important, de ce four se trouve dans l'élimination des gaz occlus dans le verre de l'ampoule, au moment du pompage du tube avant sa fermeture.

Dans la multitude des résistances chauffantes il en existe qui sont spécialement prévues pour générer des infra-rouges longs (3 a 10 microns) ceci correspondant bien à notre cas.

Elles sont réalisées sous forme de plaquettes rayonnant directement les calories, sans passer par l'intermédiaire d'un diffuseur massif chargé de répartir lesdites calories.



Un réflecteur incorporé améliore le rendement en limitant le rayonnement indésirable de la face arrière de la plaquette. De plus elles existent en version plate ou courbe, ce dernier type conduisant logiquement au groupement de plusieurs éléments en un cercle au centre duquel sera placé l'objet a traiter. Dernier perfectionnement elles peuvent s'obtenir avec un thermo-couple incorporé (type J ou K) bien pratique pour suivre l'évolution de la température....

Ce qui précède, suivi d'un peu de travail de tôle, nous donne l'étuve montrée ci-contre.

Réalisé en feuille d'aluminium 15/10^e le boîtier fait 140 mm. de haut pour un diamètre de 130 mm. et comporte quatre résistances de 125 watts, dont une munie d'un thermo-couple.

La sonde d'un thermomètre digital placée au centre de l'enceinte, et remplaçant le temps des essais les objets a recuire, met en évidence un point assez intéressant :la température obtenue au foyer des quatre résistances est sensiblement plus élevée que celle mesurée au sein même de la résistance munie d'une sonde ; et ce d'environ 11% dans la zone qui nous intéresse, a savoir 350 a 500 degrés. Cette dernière température étant déjà

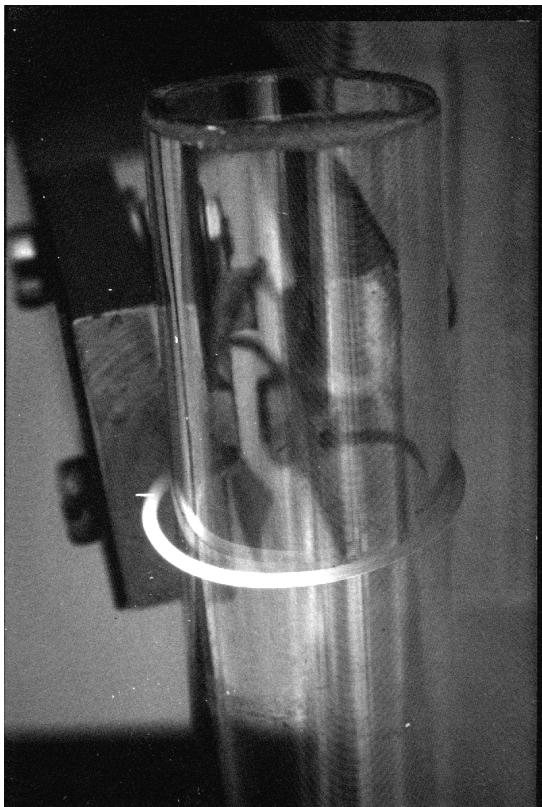
susceptible de voir le verre se déformer sous son propre poids, nous évitons ce désagrément au moyen d'un régulateur pilotant le bloc des résistances par l'intermédiaire d'un 'triac'.

A l'usage cette étuve remplit parfaitement sa fonction, une fois la température de recuit atteinte, il suffit de couper l'alimentation pour revenir à l'ambiance en une heure, l'inertie thermique du boîtier procurant une diminution régulière de la température.



COUPURE DU VERRE.....

Au chapitre des accessoires qui simplifient notre travail ont trouve le 'fil a couper...le verre'

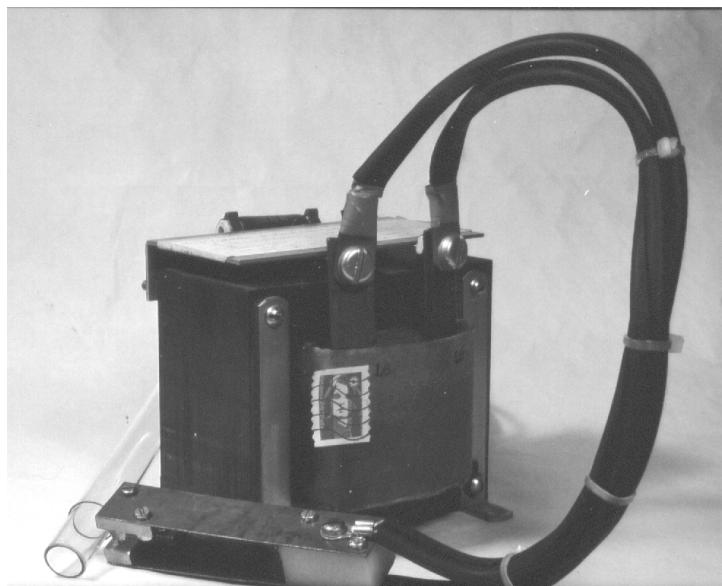


Couper un long tube de verre pour en obtenir de petits morceaux est une opération de base du travail du verre, une entaille à la périphérie du tube provoque une amorce de rupture, suivie d'un effort bien contrôlé qui provoque la séparation des deux parties....Néanmoins, nous avons subi quelques déboires avec des tubes de 3 mètres de long, diamètre 25 mm. dont la manipulation n'est pas sans risques au moment de la cassure.....

La solution consiste à obtenir cette rupture suite à la dilatation locale du verre, chauffé par un fil de nickel parcouru par un fort courant : Après avoir, comme habituellement, légèrement entaillé le verre sur son diamètre, le fil est positionné sur l'entaille, chauffé quelques instants avant d'entendre le petit 'clic' annonçant le succès de l'opération.

Le matériel à mettre en œuvre est on ne peut plus simple : premièrement une pince portant le fil qui entoure et serre (modérément) le tube, cette pince doit être isolante pour recevoir les arrivées du courant.....nos premiers essais utilisaient une

pince à linge.....Enfin le transformateur qui délivrera un ou deux volts avec une intensité pouvant porter au rouge un fil de nickel diamètre 0,7 mm. En fait, dans la réalité, le fil ne doit pas être amené au rouge car, à ce moment il devient trop malléable, s'allonge, et ne peut être serré contre le tube. Au contraire, un interrupteur sur le primaire du transformateur permettra de doser le courant par petites impulsions, ceci en fonction du diamètre, pour obtenir la coupure du tube.



CULOT

Bien que cet accessoire amène des pertes ou capacités parasites, il est indispensable en cas d'utilisation de la lampe sur les anciens postes....La réalisation de son moule a été une récréation après plus de quarante ans passés à concevoir, réaliser, utiliser, plusieurs milliers d'outillages pour le moulage des matières plastiques les plus diverses...L'affaire fut faite en quarante huit heures...chrono...

On trouvera ci-contre quelques échantillons des deux tailles obtenues, la plus grande étant destinée au remplacement des culots de lampes anciennes.

Ultime coquetterie (?) les broches fendues réalisant les connexions sont maintenues par un filetage au pas de 0,60 mm...l'ancien standard SI, ceci pour rester dans l'air du temps.



AMELIORATION DE LA RIGIDITE DES ELEMENTS INTERNES

Si le filament est, par obligation ,maintenu à ses deux extrémités, il n'en va pas de même pour la grille qui peut être fixée en un seul point. Dans ce cas le tire bouchon ainsi réalisé a toutes chances de se déplacer sous l'effet des vibrations (effet microphonique) ou pire encore de venir toucher le filament...ceci sans parler des déformations dues à la proximité du filament et de la plaque qui dégagent de nombreuses calories. Donc la fixation aux deux extrémités s'impose...Nous avons déjà évoqué le cas où la grille servait d'émetteur d'électrons au cours du dégazage d'un tube à filament trop fin pour supporter une surcharge importante. Dans notre cas, divers essais avec le tube démontable montrent qu'il suffit de bombarder la grille avec 50 mA. sous 350 volts pour la dégazer.

Pour rigidifier la grille elle est raccordée au montant du haut du filament, ceci à travers une perle isolante munie de deux fils de liaison. De cette manière la paire filament/grille sera rendue solidaire, les deux électrodes conservant leur position relative, même en cas de déplacement de la tige alimentant le filament, au demeurant assez solide vu son diamètre

La réalisation de cette perle (en fait un tube un peu allongé) est des plus simples : un capillaire diamètre extérieur un à deux millimètres sera étiré à partir d'un tube de petit diamètre (les queusots de lampes d'éclairage hors service sont parfaits dans l'emploi). Un petit tronçon d'environ 5 mm. sera muni de deux fils de nickel diamètre 0,5 mm. et chauffé pour se rétreindre et emprisonner les deux tiges....Quelques remarques : les extrémités des tiges seront aplatis ou mieux obtenues avec une boucle miniature pour conserver un maximum de rigidité. Les fils seront protégés de la flamme par des tubes de cuivre venant au ras du tube de verre avant rétreint. Enfin le mélange air/gaz sera bien réglé afin de ne pas noircir le verre qui doit rester transparent.....Quelques mesures sur diverses perles ont montré qu'elles supportent une tension de 500 volts, la capacité entre fils étant de 0,3 pF à 5 MHz.

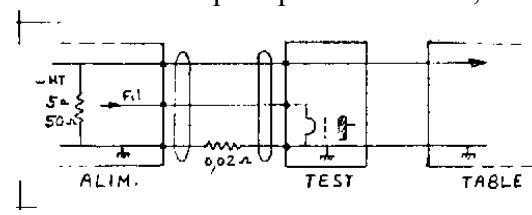


DE LA MESURE.....

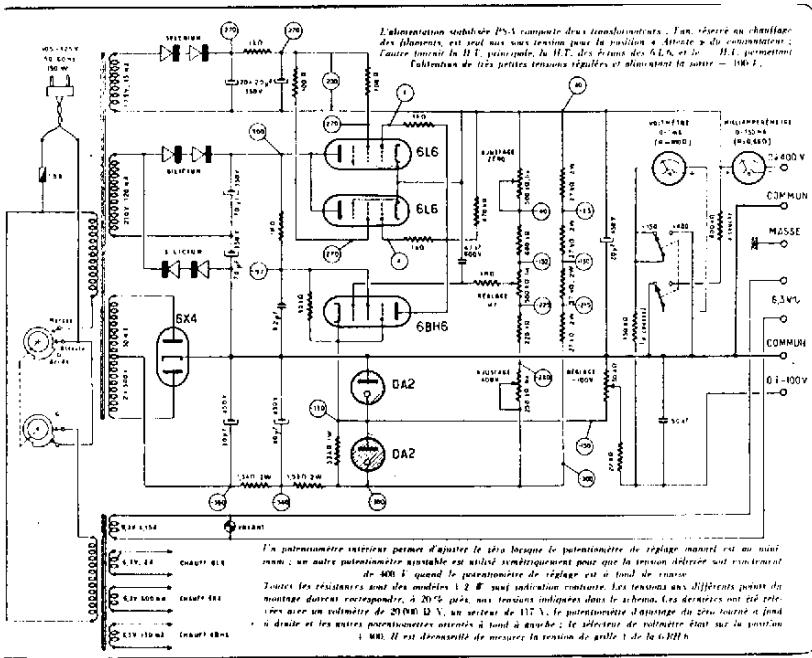
Après tous ces efforts pour obtenir des triodes, encore faut-il vérifier le résultat en réalisant des mesures; en plus de celle du degré de vide déjà vue. Nous avons un penchant certain pour le relevé des caractéristiques sur une table traçante, qui a le mérite de laisser un document directement exploitable pour l'utilisation future du tube. Des deux réseaux de base, I_p/V_g ou I_p/V_p , nous préférons le second sur lequel il est plus habituel de tracer la droite de charge du tube. On peut également y relever les paramètres classiques: S-Ra-K.

En ce qui concerne la table traçante en elle même, rien de bien critique ici, le format A4 suffit amplement, de même une sensibilité élevée sera inutile puisque les tensions ou courants à mesurer sont déjà relativement importants. Nous utilisons une table HP7035B, récupérée dans les "surplus", qui s'est montrée parfaite dans l'emploi; bien que dans le catalogue HEWLETT-PACKARD elle soit dans la gamme "Low-cost". . .ce qui est très relatif pour HP... Par contre quelques remarques sont à faire en ce qui concerne l'alimentation du tube en essai: tout d'abord la tension filament doit être bien stabilisée pour ne pas voir varier considérablement le courant électronique avec la tension de chauffage, cette dernière étant mesurée aux bornes du support du tube. De même la tension plaque ne devra pas varier dans le cas du relevé des courbes I_p/V_g . Un dernier point important: il faut prendre garde aux éventuelles résistances parasites présentées par les connecteurs et fils de liaison entre l'alimentation et le tube en essai. Précisons cela à partir de notre montage: En général le courant plaque est déduit de la tension aux bornes d'une résistance dans le retour à la masse du circuit produisant la haute tension. La valeur de cette résistance est, à priori, sans réelle importance, la sensibilité des tables traçantes courantes se chiffrant en millivolts/cm, ce qui laisse une grande latitude dans son choix. Par ailleurs les voies X/Y sont généralement flottantes vis à vis de la masse ceci évitant les conflits entre des points de mesure pour lesquels la référence "zéro" n'est pas la même. Le fil reliant les masses entre l'alimentation et le montage d'essai est la source d'une tension parasite due au courant filament, qui est généralement assez important. Avec une résistance de 0,02 ohm pour l'ensemble câble et deux connecteurs, ce qui n'a rien d'excessif, un courant filament d'un ampère produit 20 mV; ceci sans autre tension sur le tube en cours d'essai.....

Pour peu que la table travaille avec une sensibilité élevée (5 à 10 mV/cm) en raison de la faible valeur de la résistance de mesure du courant (quelques ohms), les 20 mV "parasites" vont déplacer inutilement la ligne de référence de plusieurs centimètres. Il est bien sûr possible de compenser cet "offset" par la commande de centrage de la table, mais ce n'est ni logique ni élégant. Plusieurs solutions: utiliser des fils séparés pour les divers retours à la masse, ce qui complique sérieusement les commutations entre les deux types de relevé. Placer la résistance de mesure du courant directement entre la haute tension et la plaque. Mais ceci applique une tension élevée sur les entrées de la table qui peut ne pas supporter plusieurs centaines de volts... Dernière possibilité (que nous utilisons) augmenter sensiblement la valeur de la résistance de mesure qui passe à 50 ohms. Ceci, découpant la tension donnée par cette résistance, diminue d'autant la sensibilité demandée à la table. Par suite la tension parasite, inchangée, devient négligeable vis à vis de la tension utile et occasionne un décalage minime, maintenant tolérable. Une contrainte du relevé I_p/V_p se trouve dans l'obligation de faire varier la haute tension de zéro à plusieurs centaines de volts,



et ce en une seule gamme. Les alimentations stabilisées largement diffusées au beau temps des montages à lampes étaient le plus souvent variables sur une plage restreinte, par exemple 200 à 300 volts. Pour avoir une plus grande variation on fait généralement appel à la commutation de gammes. Enfin la réduction à zéro de la tension de sortie n'était pas chose courante, car de peu d'intérêt avec les montages à lampes. Dans 'Circuits Electroniques' J.P. OEHMICHELEN analyse très bien ce problème et montre qu'il n'est pas forcément facile à résoudre. Dans la multitude de schémas voici l'alimentation PS4 de HEATHKIT (1959) qui répond aux critères ci-dessus.



volts, ce n'est pas aussi robuste vis à vis des court-circuits que son homologue à lampes, imperturbable dans ce genre de malheur.....

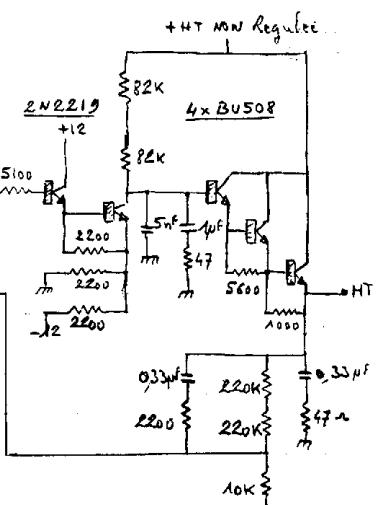
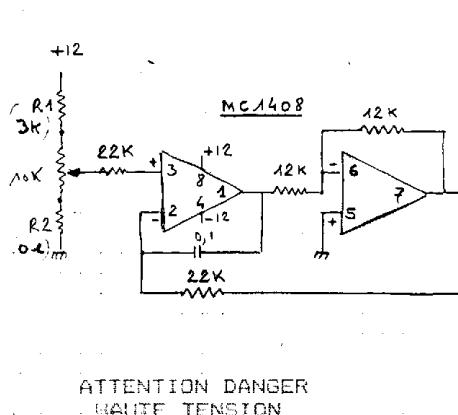
La dissipation collecteur du transistor régulateur sera à surveiller (radiateur). Même en consommant seulement 50 mA, l'écart entre tension non régulée et la sortie peut amener une vingtaine de watts sur ce collecteur.

Nous arrivons au relevé des courbes, suivant les schémas Ip/Vg ou Ip/Vp.

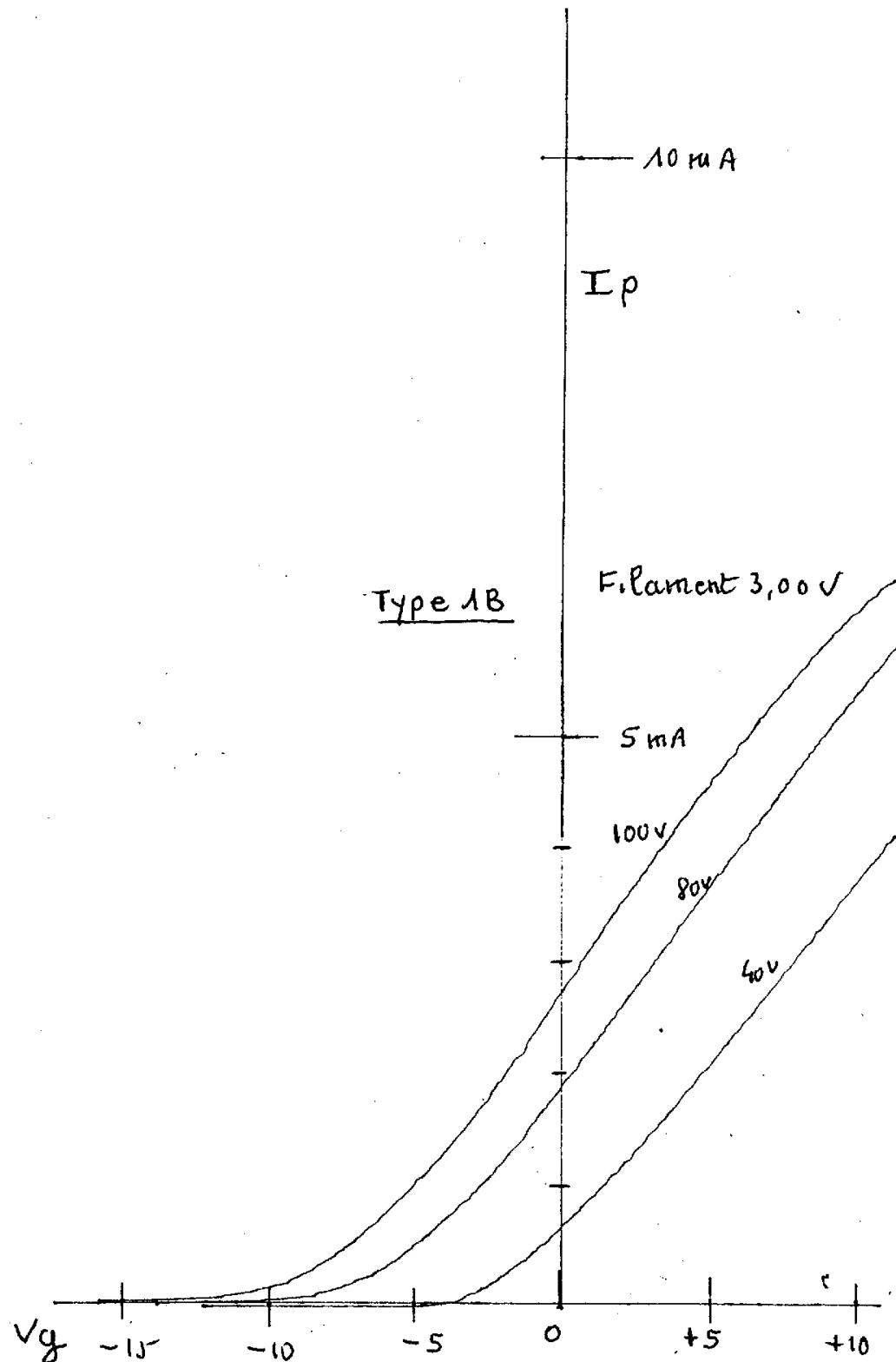
Le calibrage des axes X et Y de la table, avant toute mesure, est d'une extrême simplicité.

Prenons le cas du relevé Ip/Vp: en variant de zéro à Vp maxi la haute tension on ajuste la déviation horizontale pour avoir la dimension souhaitée de la trace, par exemple 20 cm pour 400 volts. Coté courant plaque, c'est presque aussi facile: avec une résistance bobinée entre

Un examen attentif retiendra l'alimentation par un circuit séparé des écrans des tubes régulateurs; ceci étant la clé du succès pour l'emploi de tétraodes ou pentodes devant réguler sur une large gamme de tensions. Reculant devant l'encombrement et le poids de cette (excellente) solution nous utilisons un montage plus actuel: transistors haute tension et amplificateur Darlington compensant le gain médiocre de ce type de composants. Si cela couvre bien la gamme 0 à 400

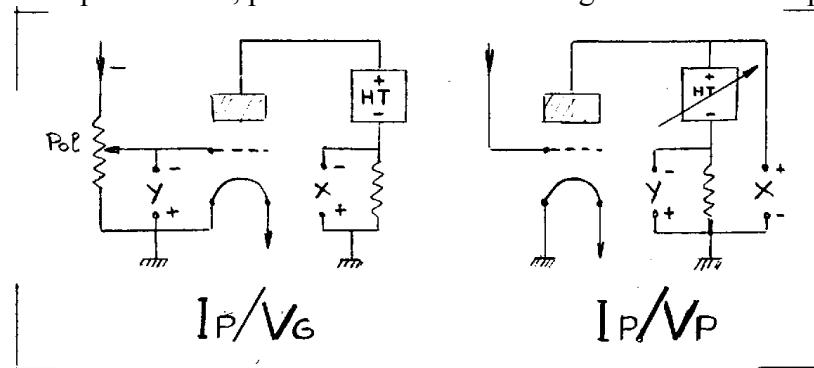


masse et tension plaque, régler celle-ci pour consommer le courant correspondant au maximum prévu, par exemple 20 mA. ; ajuster la déviation verticale au déplacement voulu.... C'est prêt.



Ensuite, avec le tube en place, il suffit de tourner le bouton réglant la haute tension pour obtenir la trace correspondant à la tension grille choisie.

On répète autant que souhaité, pour diverses tensions de grille.....un vrai plaisir....



Pour peu que le montage d'essai soit muni d'un commutateur passant du relevé I_p/V_g à I_p/V_p , et que la résistance de calibrage soit placée dans un culot de lampe mis temporairement à la place du tube à tester, les relevés seront réalisés rapidement et avec un minimum de risque d'erreur ou fausse manoeuvre. Un des avantages de la méthode est de faciliter la comparaison entre tubes, soit par superposition des feuilles des tracés vus en transparence, soit par traces multiples des divers tubes sur une même feuille....Avis aux passionnés de HI-FI à lampes qui veulent apprécier leurs chères (oh combien.....) triodes.



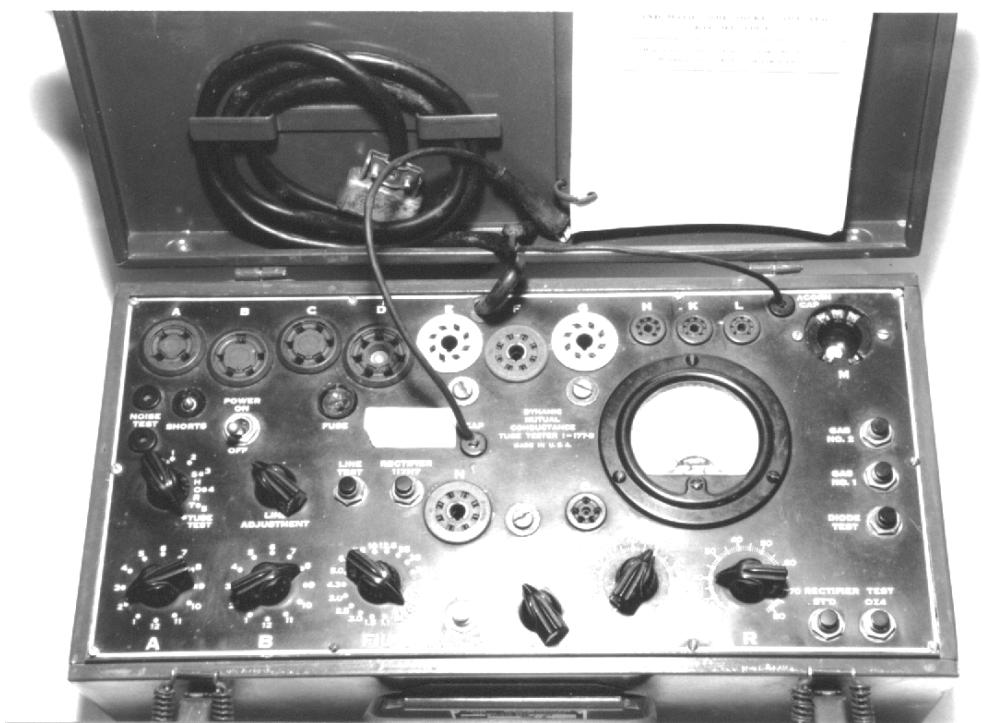
Alimentation + montage d'essai + table traçante

Nous venons de voir l'utilisation d'une table traçante pour relever les courbes caractéristiques d'une triode, méthode qui donne une trace aussi complète que désiré du tube en essai, mais en respectant certaines règles. La principale limite réside dans l'exploration de régions où le tube serait mis en danger par des tensions excessives ou, plus sûrement, une dissipation abusive pour peu que l'on s'attarde un peu. Ce dernier problème est résolu en traçant les courbes sur un écran d'oscilloscope, avec l'inconvénient de ne pas garder de trace, à moins de les recopier manuellement sur un papier calque.. ou de les photographier. Il est également parfaitement possible de digitaliser les résultats obtenus pour les restituer ultérieurement sur un support

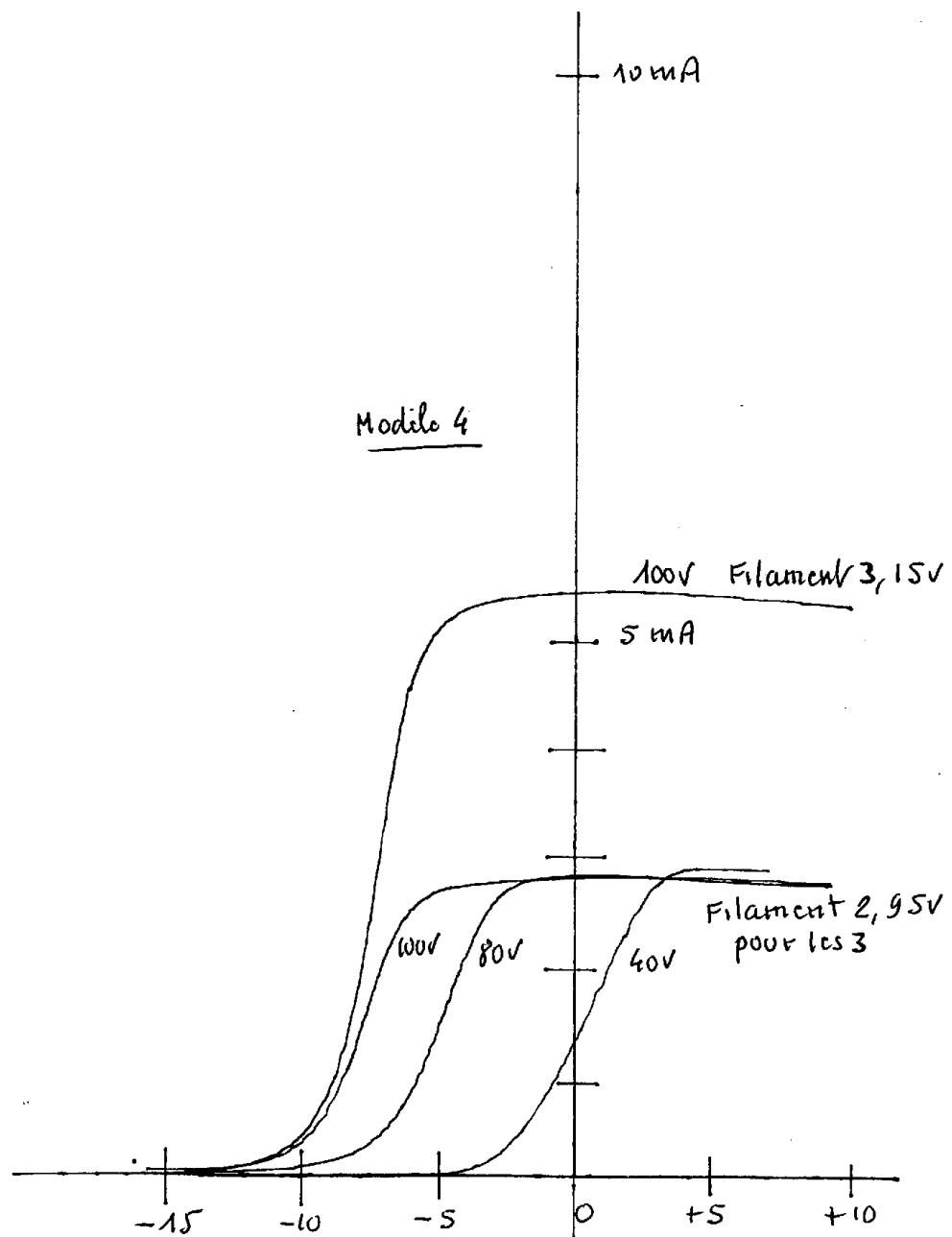
papier ou, à nouveau, un écran.....l'informatique est une belle chose. Des montages parfois très complexes sont mis en œuvre pour visualiser les courbes d'un tube; d'autant que le souhait de rendre vraiment "dynamique" un tel appareil amène la complication supplémentaire de l'introduction d'une impédance de charge et impose le blindage du câblage.

Dans sa revue "The Oscillographer", en juillet 1952, la Sté DUMONT évoque les problèmes rencontrés pour obtenir une représentation fidèle des courbes. Entr'autres le calibrage des déviations X et Y de l'oscilloscope, car c'est justement cette dernière remarque qui rend peu exploitables les diverses courbes figurant dans les livres traitant du sujet (par exemple "l'oscillographe au travail" et "mesures électroniques" de A. HAAS): aucune indication des valeurs de tension ou courant ne figurent sur ces courbes. Il est vrai que, dans la deuxième édition de son ouvrage sur l'utilisation de l'oscilloscope, A. HAAS émet de sérieuses réserves sur l'utilité réelle du relevé des courbes via un oscilloscope.....

Voyons une autre approche: Dans son ouvrage "le tube à rayons cathodiques" Lucien CHRETIEN consacre plusieurs pages au sujet et, s'il donne quelques schémas permettant la lecture directe des courants et tensions, il faut observer qu'il s'agit d'un montage 'électro-mécanique' où moteur électrique et commutateurs sont chargés de résoudre le problème, sur une idée due à la Sté PHILIPS en 1938... Ceci amène à conclure que le traceur de courbes sur oscilloscope sera forcément un appareil très complexe pour être vraiment précis et, de ce fait, réservé à un usage professionnel. Un exemple d'un tel appareil se trouve dans le traceur 570 de TEKTRONIX.



Par contre, dans "mesures électroniques", A. HAAS donne les grandes lignes pour la construction d'un lampemètre suivant l'emploi projeté. A ce stade on peut s'interroger sur la possibilité de réalisation d'un lampemètre classique par un amateur. En premier lieu les composants en sont peu courants: transformateur avec de nombreux enroulements, tant pour les électrodes que pour les multiples prises requises pour le chauffage du filament (une fois encore Marthe DOURIAU offre une solution de rechange), commutateurs avec de nombreuses

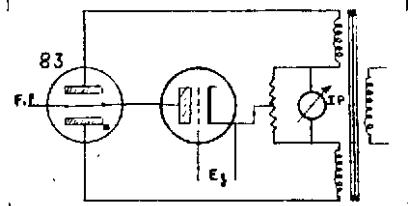


galettes offrant une infinité de combinaisons. Divers montages ont été proposés aux amateurs par le passé; nous n'en citerons qu'un dans le "Haut Parleur" en juillet 1947 où l'on attire l'attention sur le problème de la régulation des tensions alimentant les électrodes (difficulté contournée par METRIX dans la famille 310). L'utilisation très épisodique d'un lampemètre sera sans doute le critère éliminant définitivement la solution 'maison'.

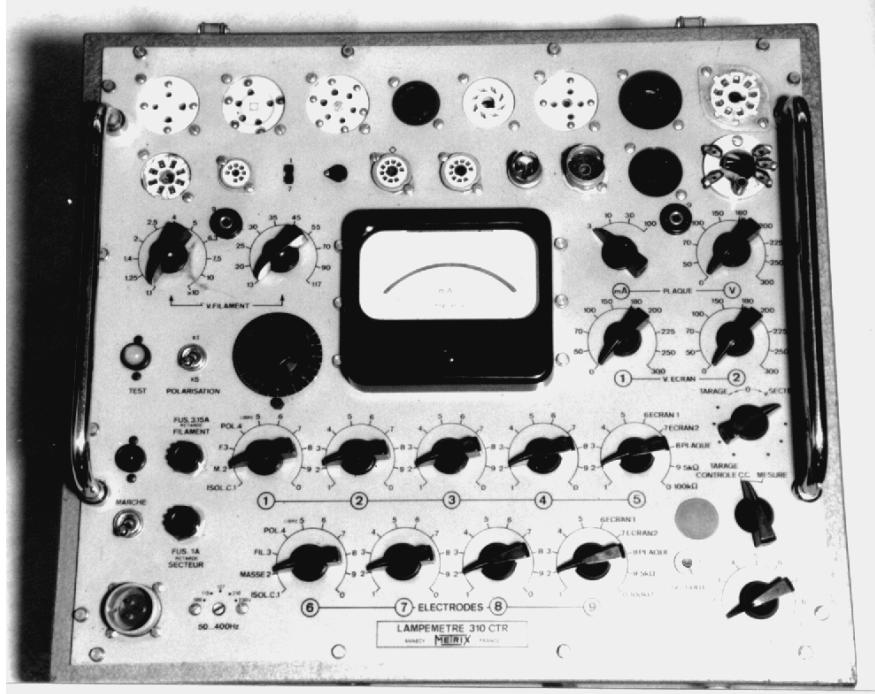
On trouve toutefois, de temps en temps, des montages proposés en "kit" aux amateurs: par exemple en juin 1958 dans le Haut Parleur où PERLOR RADIO offre un montage évolutif.

Bien que se limitant aux supports des tubes courants à cette époque, le cablage est déjà assez touffu, avec des risques d'erreurs... Donc il reste à voir ce qu'il est possible de trouver de nos jours où il est certain que les lampemètres deviennent plus rares suite à l'arrêt de leur fabrication, consécutif au passage généralisé aux semi-conducteurs.

On rencontre parfois des appareils réalisés par des marques plus ou moins confidentielles avec du matériel de bas de gamme: supports de lampes en carton bakélisé avec des douilles aux contacts incertains.....contacteurs également affligés de contacts erratiques... imprécision dans les tensions fournies (chauffage en particulier). Mieux vaut éviter ces épaves, si ce n'est pour l'amusement de dérouler les tambours où sont imprimés les divers réglages propres à chaque tube; en espérant ne pas voir se déchirer ce vieux grimoire. Par contre il apparaît de temps à autre des lampemètres 'surplus U.S' plus utilisables car construits avec des composants robustes pour emploi par des militaires pas forcément toujours très délicats avec le matériel... Ils sont généralement très complets, tout au moins en ce qui concerne le côté 'électrique' des choses, car ils ignorent superbement les tubes européens (4 broches genre TM, ancien 5 broches, transcontinental 5 et 8 contacts ou encore rimlock....un adaptateur réglera ce petit problème. De même leur alimentation est généralement prévue pour du 110 volts ce qui constitue un petit handicap. Les deux modèles de base sont les I177A ou B ou leur successeur TV7U.....Il existe bien sûr d'autres lampemètres dans le vaste matériel utilisé par le "Signal Corps" US, mais ils sont beaucoup moins répandus, par exemple le "tube tester ESPEY model 105" partie du Test-Set AN/GPM1 plus spécialement affecté à la maintenance des radars et I.F.F., ou bien encore, plus spécialisé, TV13A/U pour essai des tubes UHF (klystrons, tubes crayons ou phares). Revenons aux I177 et TV7/U pratiquement identiques sur le plan électrique: deux valves, dont une 83 à vapeur de mercure, donnent les tensions continues requises par les diverses électrodes. Le tube en essai est en série avec un redresseur double alternance dont les diodes sont les deux moitiés de la 83. Ici on met à profit la constance de la chute de tension anode/cathode d'une valve à mercure pour limiter les écarts de tension consécutifs aux fluctuations du courant demandé par le tube en essai. Dans la configuration simplifiée du schéma, le courant prélevé sur les deux moitiés du transformateur est égal mais de sens alterné ce qui laisse indifférent l'instrument de mesure qui ne peut suivre ces fluctuations à 50Hz. (ou plus, le lampemètre pouvant être alimenté jusqu'à 1000Hz.). Par contre avec une tension alternative superposée sur la grille du tube on tire plus sur un côté (alternance positive) et moins sur l'autre (alternance négative). Le déséquilibre qui s'ensuit sera une image du gain et traduit par une déviation de l'instrument qui intègre ces variations. Mis à part le positionnement des commutateurs qui relient les divers circuits, les deux principaux réglages sont la polarisation grille (point de fonctionnement) et un potentiomètre double de 2x150 Ohms agissant comme un shunt variable aux bornes de l'instrument de mesure...simple et efficace.....En fait, bien que l'appareil soit assez évolué, on se borne, dans la majorité des cas, à observer la position de l'aiguille vis à vis des secteurs "BON-?-MAUVAINS", une mesure de la pente réelle n'étant pas



le souci de l'utilisateur moyen chargé de la maintenance de divers récepteurs ou émetteurs. Toujours dans le matériel des surplus militaires, mais Français cette fois, on trouve fréquemment les lampemètres METRIX U61 et 310. En fait ces appareils n'étaient pas obligatoirement destinés à l'Armée Française, mais celle-ci en a fait un large usage dans les années 1950/1970 avant de les réformer au milieu des années 90...suite logique de l'envahissement des semi-conducteurs. Le lampemètre analyseur U61, très complet, est d'une mise en oeuvre assez lourde pour qui veut simplement vérifier un tube: destiné aux laboratoires plutôt qu'aux dépanneurs il dispose, non pas d'un, mais de cinq instruments pour mesurer les divers courants ou tensions. Ici pas de rangées de supports de tubes remplacés par une galette amovible recevant ledit support, ce qui simplifie le cablage interne, et, par principe, assure l'adaptation à tout type de support. Plutôt lourd et encombrant le U61 est néanmoins recherché par certains amateurs désirant sélectionner ou apprécier des tubes (HIFI). D'emploi plus facile, le METRIX 310 est également différent quant au principe de fonctionnement. En plus du modèle de base 310 on trouve également 310B-310E et 310CTR qui sont pratiquement identiques à quelques détails près. Dans le dernier cité les lettres TR indiquent qu'il s'agit d'un appareil tropicalisé, avec des composants en rapport. Coté externe on remarquera le potentiomètre de polarisation grille doté d'un disque gravé au lieu du simple bouton à flèche habituel; de même la prise secteur est plus 'Pro..'. Conséquence de ceci le prix montait en flèche: Si en juin 1954 le 310 était vendu 46500 francs de l'époque (465 actuels...), le catalogue METRIX 1978 proposait le 310E à 3500,00 francs et le 310CTR à 7500,00 soit plus du double. Puisque nous avons fait un détours par le prix des lampemètres, donnons au passage quelques indications sur la "cote" de certains, relevée au cours de diverses annonces ou ventes aux enchères: 310TR=1800,00 - 310--600,00 - I177=320,00-ESPEYIO5=300,00 - et enfin des appareils moins recherchés Eurelec, E.N.B.,etc...entre 100,00 et 200,00 francs...tout dépend de l'état général. Mais revenons à notre famille 310: le nombre et la disposition des supports différent également



suivant les modèles et leurs utilisateurs (militaires ou civils). Sur le 310E on trouve en plus de certains supports courants un adaptateur en galette similaire à celui du U61. Pour des familles de tubes particulières il existe des adaptateurs (fabriqués par HICKOK) par exemple pour 2C39-832/829 ou subminiatures ronds à force d'insertion nulle (poussoir). Avant d'examiner le coté interne des 310 il faut rappeler que le "recueil de combinaisons" est

indispensable, ainsi que ses mises à jour, faute de quoi l'appareil perd beaucoup de son intérêt (il est néanmoins possible de créer la "combinaison" propre à n'importe quel tube avec un lexique de lampes...).

L'originalité du 310 réside dans l'alimentation en alternatif brut de ses diverses électrodes, principe déjà appliqué il y a de nombreuses années.....lampemètre DA et DUTILH (entr'autres) en.....1937. Partant du fait que tout tube électronique redresse les tensions alternatives appliquées il reçoit des tensions de valeurs efficaces égales aux tensions continues souhaitées. Puisque le tube fonctionne sur une seule alternance, donc la moitié du temps, on double la sensibilité de l'instrument de mesure. Également une correction de +10% est appliquée pour approcher la valeur définie par l'équation du courant anodique car les tubes ne réagissent pas linéairement pour la totalité de la demi-sinusoidale. Finalement la valeur 2,22 est retenue comme différence entre le courant d'un tube essayé avec des tensions continues vis à vis de l'essai avec le 310. De toutes façons les erreurs dues à la méthode de mesure retenue sont très acceptables si l'on prend en compte les remarques du préambule de la notice accompagnant le 310: les caractéristiques d'un tube sont des moyennes autour desquelles un fonctionnement correct sera possible. A ce propos on peut relire les remarques faites par J.-P. OEHMICHELEN 1957 dans "Pratique Electronique" au sujet des variations entre divers tubes d'une même référence: la norme J.A.N tolère des dispersions très larges le courant plaque de certaines triodes pouvant varier presque du simple au double, de même il rappelle qu'un tube usagé dont la pente aura sensiblement faibli ne verra pas pour autant chuter son coefficient d'amplification, donc l'emploi réel du tube ne sera pas forcément remis en cause malgré son âge. En guise de conclusion: Si un lampemètre rend de précieux services pour essayer ou comparer divers tubes, il ne remplacera jamais, pour certains, l'essai "in-situ" (tubes compteurs-oscilloscopes-tubes de puissance-U.H.F.). Un lexique de lampes (Brans-Babani-Gaudillat. ...) sera un auxiliaire précieux dans les cas difficiles, bien que ces 'bibles' soient parfois entachées d'erreurs...dans l'édition 1942 du lexique Gaudillat on donne (faute de mieux) le culot du tube miniature 3S4 comme étant du type octal... il est vrai qu'en ce temps-là, les échanges d'informations techniques entre Europe et U.S.A n'étaient pas forcément à l'ordre du jour....

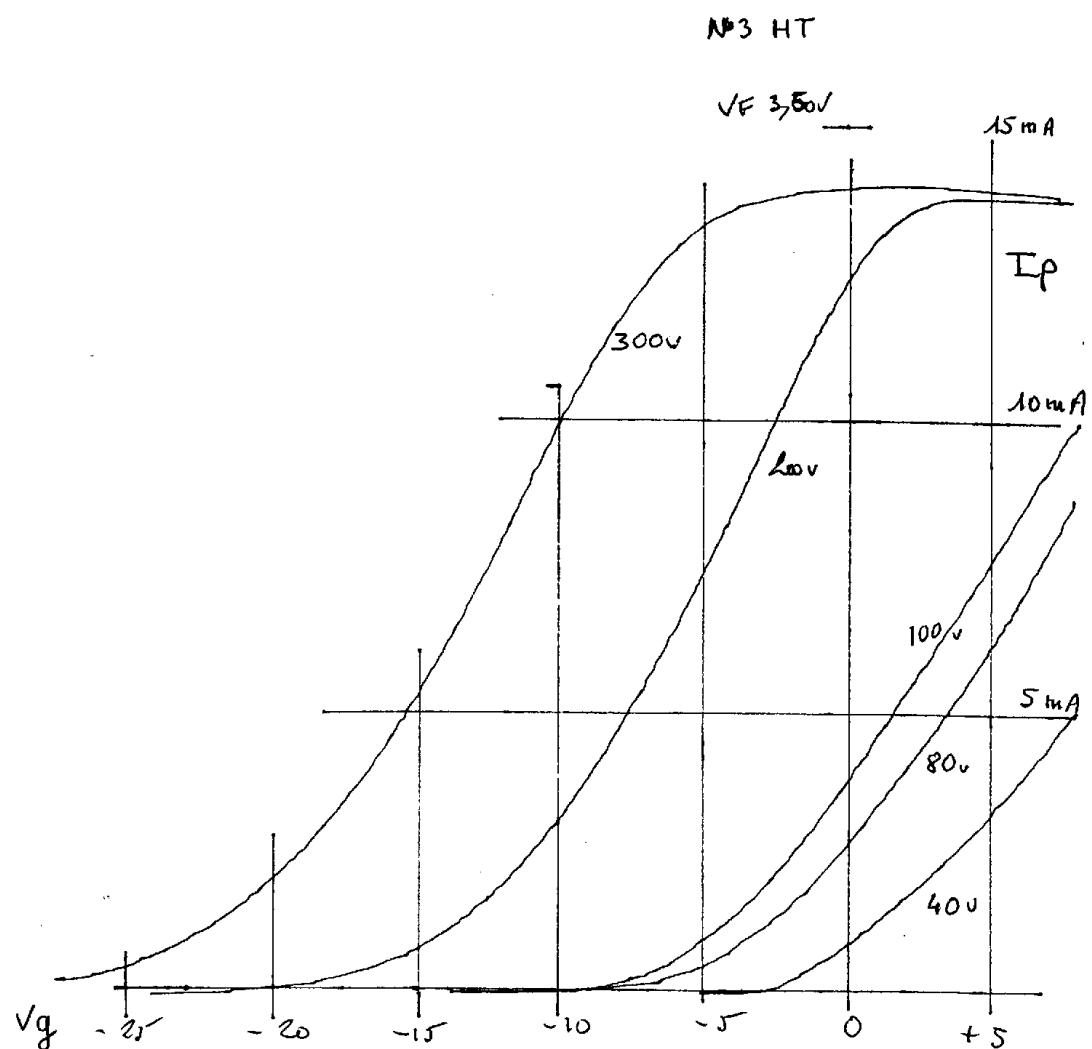
Revenons à nos triodes....les caractéristiques constatées sur la table traçante et présentées plus avant demandent quelques précisions. Sur le premier relevé les courbes I_p/V_g ont été obtenues avec une tension filament limitée au strict nécessaire pour obtenir un courant comparable à celui de la TM. Ces courbes sont très proches de celles présentées dans le livre de M. VEAUX déjà cité, ce qui est assez logique puisque les dimensions des éléments internes sont identiques. On voit également l'arrondi du sommet de la courbe 100v annonciateur de la zone où le tube est saturé.

De nouveau il faut rappeler que la tension filament a une énorme influence sur le courant de saturation; une variation d'un dixième de volt produisant un effet sensible...au moment des opérations de dégazage le courant plaque passe à 75 mA avec seulement 4,5 volts au filament, soit un écart de 1,5 volt pour une multiplication par 6 du courant disponible.....

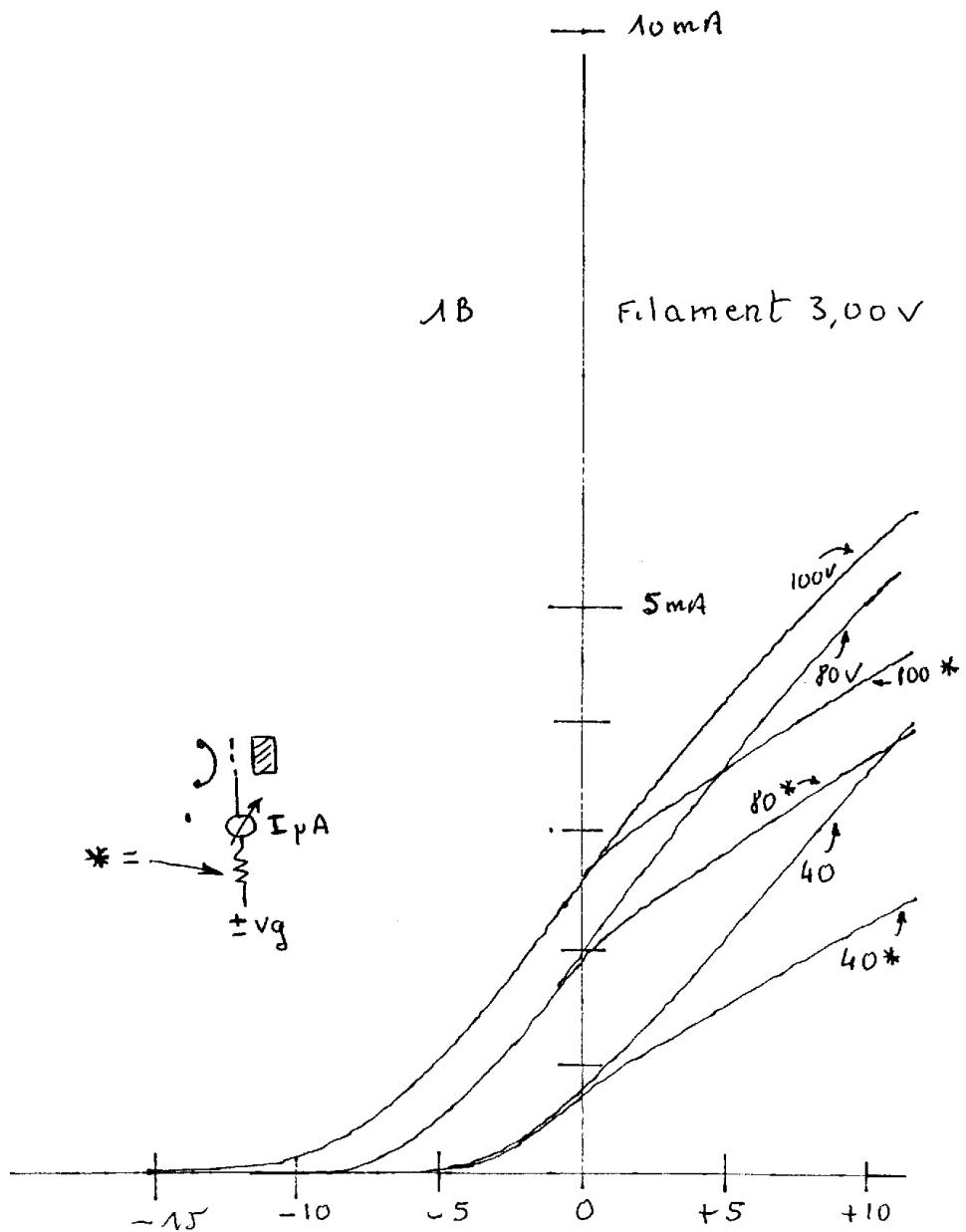
Ceci est confirmé par le second relevé, concernant un autre tube, où le courant de saturation est doublé en passant le chauffage de 2,95 volts à 3,14 volts....deux dixièmes de volt....

Ensuite une petite incursion du côté des tensions plus élevées, en conservant néanmoins un courant maximum analogue à celui de la TM. Délivrer un courant plus élevé ne pose pas de problème...si ce n'est celui de la longévité du tube....Pour en finir avec le sujet 'courbes' un exemple...de ce qu'il ne faut pas faire. Nous avons évoqué plus avant le problème posé par la résistances des câbles ou connecteurs dans le cas des fortes intensités. Cette fois, du côté des microampères, la résistance interne d'un instrument traversé par le très faible courant issu d'une grille négative (vers -2 volts) fausse la mesure dès que la grille devient positive et draine un courant non négligeable...d'où polarisation complémentaire et courbes qui

déraillent sur les aiguillages qui partant de 0 volt infléchissent les courbes vers le bas du tracé....



De 40 à 300 volts.....



Perturbations apportées par la résistance interne d'un microampèremètre (*)

Conclusion.....

Nous voici arrivés au terme de ce tour d'horizon des éléments permettant de réaliser un tube....De la mise en pratique nous n'en dirons rien, ou presque, pour deux raisons :

Tout d'abord en hommage respectueux pour ceux qui ont déjà fait, et parfaitement décrit, cela.....Enfin notre expérience n'est pas forcément reproductible en l'état, soit pour des raisons matérielles....plus ou moins d'habileté manuelle pour aborder le travail du verre, assez déroutant de prime abord; ou encore accès à un parc de machines outils évoluées.....(et encore faut-il savoir s'en servir...). Par contre, plus que jamais, nous pensons qu'un travail en équipe est à même de vaincre les multiples problèmes évoqués plus avant, chacun apportant ses compétences....

Des photographies montrant diverses étapes de la réalisation d'une triode nous paraissent plus éloquentes qu'un long exposé sur le sujet....

A ceux qui veulent en savoir plus sur le travail du verre voici quelques bonnes lectures, certaines ayant été dénichées au fond d'une caisse de vieux livres, dans une 'brocante'....

LE SOUFFLAGE DU VERRE par H. VIGREUX qui est la référence en la matière.

Édité plusieurs fois depuis le début du siècle, le dernier tirage semble être de 1930 (Dunod). A cette véritable Bible on peut ajouter, plus proche de nous

LE SOUFFLAGE DU VERRE AU LABORATOIRE par M. GILLOIS (Dunod 1960).

Ou encore, une brochure polycopiée décrivant le cours dispensé dans les classes de soufflage du verre dans le nord de la France :

LE TRAVAIL DU VERRE AU LABORATOIRE par J. CAILLEUX.

Rappelons qu'à Paris le Lycée Dorian enseigne également le travail du verre.

Nous y avons, plusieurs fois, reçu un excellent accueil auprès des Professeurs auxquels nous avions demandé conseil.....

La technique du vide est bien documentée par L. DUNOYER... R. CHAMPEIX... dans plusieurs livres dont le titre indique clairement le sujet. De même la revue 'Le vide', publiée depuis 1946, est entièrement consacrée à l'obtention et l'utilisation des basses pressions.

D'origine Russe 'Le vide poussé au laboratoire et dans l'industrie' (édité par Masson) est digne d'intérêt... et, pour rester neutre, il faut également citer le côté Américain de la chose : S. DUSHMAN, collaborateur d'Irving LANGMUIR, est l'auteur de 'Scientific Foundations of Vacuum Technique' considéré par certains comme la 'bible' depuis les années 1920....

A défaut de vouloir réaliser un tube on peut souhaiter mieux connaître son fonctionnement interne ainsi que ses diverses applications, voire son histoire. Nous pensons que le meilleur guide sera Paul BERCHE avec son 'Pratique et Théorie de la T.S.F' qui est incontournable.

Préférer une édition post 1945 qui couvre les tubes 'modernes' et se trouve aisément.

Pour l'emploi en émission, nous avons un faible pour 'Emetteurs de petite puissance sur ondes courtes', par E. CLIQUET, en deux volumes, et si possible la seconde édition (1948).

Pour le côté 'historique' il faut mettre la main (et cela ne sera pas facile) sur 'Saga of the Vacuum Tube' du à l'Américain F. J. TYNE...(ISBN 0-672-21470-9)....Enfoncé sous une

pile de bouquins sans intérêt, la couleur jaune de sa couverture avait, un jour de chance, attirée notre attention.....D'autres sont encore à dénicher, par exemple J. GROSZKOWSKI et son livre sur 'les lampes à plusieurs électrodes et leurs applications'....

Nous arrêterons, à regret, cette ébauche de bibliothèque sur les tubes radio...Des dizaines d'autres livres, tous dignes d'intérêt, dorment dans nos nombreux cartons où ils s'ennuent...

Une pensée pour la première édition du livre de Paul BERCHE dédicacé à Madame ETIENNE, femme de l'éditeur....même chose pour Marthe DOURIAU qui avait utilisé son avis d'imposition en guise de marque page dans son livre sur les transformateurs.....Certains livres renferment d'émouvantes surprises....annotations techniques ou 'hors sujet'....

Revenons au temps présent.... ce qui précède a été passionnant et nous a beaucoup appris.

De plus, n'étant pas soumis à une quelconque notion de rentabilité, ces nombreuses heures n'ont jamais été de 'travail' mais, nous l'avons déjà dit, un véritable plaisir.

Il nous reste à espérer que d'autres seront tentés par l'aventure....il reste beaucoup à faire.

Allons étonnez-nous.... qui, entre cocotte minute et four à micro ondes, va faire revivre la Zincite et réalisera un émetteur QRP sur 137 kHz.....?