

Un abrégé de l'Histoire des pentodes de sortie à haute sensibilité

Claude Frantz

Résumé—Les pentodes se sortie à haute sensibilité constituent un tournant important dans le développement des tubes électroniques et de la technologie des récepteurs de radiodiffusion. Leur influence se fera sentir jusqu'à la fin de l'ère des tubes.

I. INTRODUCTION

Au printemps de l'année 1936, furent introduits sur le marché, à peu près en même temps, les tubes AL4 et EL3 par Philips ainsi que l'EL11 par Telefunken, environ un an plus tard. Électriquement, ces tubes sont pratiquement identiques et nous allons nous servir de ces caractéristiques électriques-là comme première référence. Voici donc cette première référence à laquelle nous reviendrons.

Point de fonctionnement typique: $V_a = V_{g2} = 250 \text{ V}$; $V_{g1} = -6 \text{ V}$; $I_a = 36 \text{ mA}$; $I_{g2} = 4 \text{ mA}$; $Z_a = 7 \text{ k}\Omega$; $W_o = 4,4 \text{ W}$; $S = 9,5 \text{ mS}$; $R_i \approx 50 \text{ k}\Omega$; $V_{in} = 3,9 \text{ V}_{eff}$, $V_{in} = 0,33 \text{ V}_{eff}$ pour $W_o = 50 \text{ mW}$.
Limites: $W_a \leq 9 \text{ W}$; $W_{g2} \leq 2,5 \text{ W}$ à $W_o \text{ max}$; $W_{g2} \leq 1,2 \text{ W}$ à $V_{in} = 0$; $I_k \leq 55 \text{ mA}$.

Notons que Philips n'indique pas très exactement ces valeurs-là dans tous les documents. Cela change un peu selon la langue et le temps.

II. MOTIVATIONS

L'AL4 était destinée à continuer la ligne des tubes chauffés sous 4 V, comme ils étaient courants à cette époque-là (alimentation par deux cellules d'accumulateur au plomb), tandis que l'EL3 était destinée à compléter la série émergente des tubes chauffés par trois cellules d'accumulateur au plomb, alimentation courante des automobiles de cette époque-là. Cette tension de chauffage-là deviendra, par la suite, la plus courante car elle se prête aussi bien à l'alimentation par les batteries d'automobiles que par le secteur. La cathode à chauffage indirect remplacera désormais la cathode à chauffage direct, dans presque toutes les applications. Telefunken ne jugea pas nécessaire de continuer la ligne du chauffage sous 4 V. Bien entendu, chacun des deux constructeurs dota ses tubes de son support préféré de l'époque, Telefunken dédaignant, comme d'habitude, le support transcontinental cher à Philips. La nouveauté de ces tubes fut leur pente élevée, plus du triple de la pente rencontrée habituellement sur des tubes de ce genre. L'EL3 fut assez vite remplacée par l'EL3N, ayant une ampoule différente, plus classique pour son époque, un courant de filament de

0,9 A au lieu de 1,2 A et une cathode de section elliptique à la place de la cathode de forme cylindrique de l'EL3. Il n'est pas connu, si la cathode de l'AL4 exista aussi avec ces deux sections différentes.

III. PREMIÈRES CONSÉQUENCES

La publicité de l'époque, destinée aux gens du métier, a mis en lumière deux avantages de ces tubes. Le premier était l'augmentation de la sensibilité en raison du gain de l'étage qui fut pratiquement triplé. À cette époque-là, cet argument importait beaucoup. Pour ceux qui n'y étaient pas sensibles, on se réserva le second argument: La possibilité d'utiliser la contre-réaction pour augmenter la « musicalité ». On se garda pourtant de mettre trop en lumière un grand inconvénient: La tendance à l'instabilité. Par la suite, on a appris à vivre avec. Dans le camp du gros concurrent d'outre-atlantique, RCA, où l'on arrivait toujours pas encore à digérer le brevet de Philips sur la pentode, on s'apprêtait à frapper un grand coup peu de mois plus tard, en introduisant sur le marché la 6L6: Grilles alignées, plaques de déflection, espace écran-plaque spécialement conçu, enveloppe acier, support octal. Le mérite en revient bien moins aux techniciens de RCA, qu'à leurs filous, qui sont allés glaner les brevets pour en acquérir les droits à bon compte. L'alignement des grilles, qui permettait une réduction du courant d'écran, fixait par contre la pente que l'on pouvait atteindre. Et celle-ci était plus faible, que celle des nouvelles pentodes. Pour se mettre au niveau classique du récepteur de radiodiffusion, il a fallu introduire une sorte de demie 6L6, qui sera alors la 6V6. Notons aussi, que le tube EL11 fut fabriqué de différentes manières par Telefunken même et par d'autres constructeurs aussi. La première version est la véritable pentode, une seconde version est une tétrode à faisceaux et la troisième version est quelque chose entre les deux: Une grille de freinage qui comportait seulement le support de la grille, mais sans la grille enroulée en spirale. En somme, une structure semblable à celle utilisée sur la 6A7 pour l'anode de la partie oscillatrice. Il est certain, que ces trois structures différentes ne pouvaient conduire à des tubes ayant exactement les mêmes caractéristiques électriques. Pourtant, les feuilles techniques ne mentionnent pas de différences. Qu'on ne s'étonne donc pas d'apprendre, que les tubes ont des tolérances fort larges.

IV. NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS

Environ un an après l'introduction sur le marché des nouvelles pentodes, Philips y a introduit le tube EBL1. Les caractéristiques électriques de la pentode restent les mêmes que celles de notre premier tube de référence, mais deux diodes, du genre de celles bien connues des tubes « EBC », viennent s'y ajouter. Certes, ce ne sont pas des diodes à hautes performances, comme sur la 6H6, mais bien suffisantes pour la détection et les circuits de CAV des récepteurs de radiodiffusion. Cette nouveauté est un

* Le présent document n'inclut délibérément aucune reproduction de feuilles techniques de constructeurs, afin d'éviter d'avoir à demander leur autorisation, qui n'est généralement accordée que contre rémunération, souvent importante. Cela serait déplacé pour ce document n'ayant aucun but lucratif.

peu la conséquence logique des arguments invoqués environ un an plus tôt. Si on ne désire pas profiter du gain supplémentaire que permettent les nouvelles pentodes, on peut alors envisager de supprimer le tube pré-amplificateur BF, quitte à renforcer le gain de l'étage amplificateur FI ou quitte à accepter une réduction de la sensibilité du récepteur en contre-partie d'une réduction du nombre de tubes, ce qui conduit alors à une réduction du prix de revient et de l'encombrement. Rappelons aussi, que certains pays taxaient spécialement les tubes. Mais comme de nouveaux tubes changeurs de fréquence et amplificateurs FI, plus performants, furent attendus, on pouvait aussi s'attendre à une certaine compensation due à la suppression de l'étage pré-amplificateur BF. L'adjonction des diodes au tube de sortie BF n'était pas sans inconvénient et les appels aux précautions se trouvaient dans les feuilles techniques et dans d'autres documents. Mais il faudra encore attendre quelque peu avant de voir sérieusement apparaître les tubes amplificateurs FI avec diodes, qui seront préférés plus tard. La suppression de l'étage pré-amplificateur BF n'était d'ailleurs pas du tout une méthode généralisée. Ainsi, le tube ECF1 apporta-t-il à nouveau la triode manquante. Le tube ECH4, qui n'a pas de connection interne de la grille de la triode avec la grille de l'heptode, offre une autre possibilité de trouver une triode pré-amplificatrice, en connectant l'heptode en pentode pour l'amplification FI. Notons que la 6F7 a aussi été employée parfois.

V. NOUVELLE MODE DE SUPPORTS

Venant des USA, le support octal a aussi eu sa part de succès en Europe en raison de sa robustesse et de sa facilité d'utilisation. La seule exception notable est l'Allemagne, où le quasi monopole de Telefunken s'y opposa, tout au moins jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale. C'est ainsi qu'un bon nombre de tubes courants se retrouvèrent aussi dans une version avec support octal. L'EL33, surtout populaire en Grande-Bretagne, était simplement l'EL3 en octal. Et comme la « série américaine française » était alors à l'ordre du jour, on introduisit la 6M6, qui était simplement une EL33. Une version octal de l'EBL1 exista aussi sous la dénomination d'EBL31.

Les préparatifs à la guerre de l'Allemagne se déroulèrent d'abord de façon plus ou moins cachée, en raison du traité de Versailles toujours encore en vigueur. Bientôt, le sinistre dictateur bien connu de l'époque, s'en moqua. Mais nous n'en étions pas encore là. Un dicton allemand bien connu dit, que la guerre est le père de toute chose. Il est bien connu, que bien des innovations techniques à usage non militaire, doivent leur existence aux recherches militaires. Entre temps, les allemands trouvèrent bien pratique de déguiser les développements militaires sous des prétextes bien civils, quitte à les utiliser de façon militaire plus tard, inversant donc le dicton. Ces développements allèrent aussi avoir leur importance pour les tubes électroniques, vu que l'Allemagne était bien décidée à accorder à l'électronique une place capitale dans l'armement de la guerre qui allait suivre. Dans bien d'autres pays, on n'avait pas su ou pas voulu comprendre cela à temps, se cantonnant douillettement dans « la radio qui fait de la musique » et derrière la Ligne Maginot. Les conséquences catastrophiques qui en découlèrent peuvent être trouvées dans les livres d'Histoire. De ces développements résultèrent d'abord des tubes capables de fonctionner à des fréquences élevées. Ce que l'on appellera

couramment « radar » plus tard, était en cours de développement et les allemands étaient bien décidés à lui accorder une place d'importance dans l'armement. Jusque là, les tubes électroniques étaient tout juste une continuation de la lampe à incandescence et ils étaient construits d'une façon semblable: Tout était assemblé sur un piédestal de verre. Si cela est pratique pour une lampe à incandescence, cela conduit pourtant à des connections parallèles assez longues, donc à de l'inductance et à de la capacité, choses redoutées pour un tube destiné à travailler à des fréquences élevées. Chez le choucho du dictateur pour les choses électroniques, Telefunken, on se mit au travail avec beaucoup d'enthousiasme, car on espérait gagner beaucoup d'argent avec cela, après la « victoire finale », mais aussi sur la voie jusque là. D'ailleurs, à cette époque-là, chaque allemand voulait faire quelque chose pour son « Führer ». Une chose était certaine, il fallait se passer du piédestal de verre pour pouvoir faire travailler les tubes à des fréquences élevées. Les américains avaient déjà montré la voie avec les tubes glands. Chez Telefunken on changea un tout petit peu la disposition des sorties, qui se feront par le bas plutôt que par le côté. C'est ainsi que le tube avec base de verre pressé se mit en route pour le futur, se mettant en premier au service de l'armée, comme d'habitude. Une première conséquence, qui aura aussi son importance dans le domaine civil, fut le support locktal. Encore durant la guerre, sortit alors l'EBL1 à support locktal, sous la dénomination d'EBL21. Les caractéristiques électriques resteront les mêmes à l'exception d'une certaine augmentation des limites admissibles: W_a max passe à 11 watts et I_k max passe à 60 mA. Un autre développement de l'époque aura aussi son importance: La sortie du tube ECH21, car la combinaison de deux ECH21 avec une EBL21 deviendra fort populaire durant cette période de pénurie, offrant une bonne solution technique avec des moyens réduits. Certes, l'ECH21 n'était d'ailleurs rien d'autre que l'ECH4 avec une base locktal. Dans le même ordre d'idées, une version pour alimentation des filaments en série vit le jour sous la forme de l'UCH21 et de l'UBL21. Après l'EBL21 et l'UBL21, la disposition des diodes accompagnant le tube de sortie BF sera abandonnée. On préférera alors désormais soit des diodes accompagnant le tube amplificateur FI, soit le tube pré-amplificateur BF, qui reviendra à l'ordre du jour, reprenant son importance d'antant.

VI. L'APRÈS-GUERRE ET LA MINIATURISATION

Après la guerre, l'ingratitude frappa les tubes à support locktal, qui avaient pourtant rendu de grands services durant cette période très pénible, aussi bien dans le domaine civil que militaire. On les considéra désormais comme trop encombrants. Le développement américain des tubes à 7 broches, comme la 6AK5, déterminera un souhait de miniaturisation, même sans nécessité. En Europe, le support rimlock deviendra d'abord le préféré, à cette époque-là, suivi à son tour par le support noval, qui n'est rien d'autre que la version à 9 broches du support miniature américain à 7 broches, qui n'aura qu'une popularité limitée en Europe. Les pentodes de sortie à haute sensibilité, qui nous intéressent ici, auront à suivre le mouvement. Dans toutes les péripéties précédentes, le système intérieur n'avait guère changé. Mais avec la miniaturisation, ce système devra réduire ses dimensions, ce qui ne pourra se faire sans changer quelque peu les caractéristiques électriques, qui s'écarteront maintenant un peu de notre référence. Avec l'EL41, à support rimlock, la

dissipation de la grille écran est augmentée et passe à 3,3 watts au lieu de 2,5 watts. La polarisation, nécessaire pour atteindre le point de fonctionnement usuel, passe de -6 volts à -7 volts. Le courant d'écran passe de 4 à 5,2 mA, ce qui explique probablement l'augmentation de la dissipation maximale admissible. La pente passe à 10 mA/V (ou mS, comme on doit dire maintenant). En fait, ce sont des différences de détail, qui ne surprendront certainement pas quand on pense à la différence de structure. Mais ce sera probablement la sortie de l'EL84, avec support noval, qui aura le plus de répercussions ultérieures. Une nouvelle fois, les caractéristiques électriques changent quelque peu. Nous prendrons celles-ci comme notre seconde référence.

Point de fonctionnement typique ayant le plus de ressemblance avec notre première référence: $V_a = V_{g2} = 250$ V; $V_{g1} = -8,4$ V; $I_a = 36$ mA; $I_{g2} = 4,1$ mA; $S = 10$ mS; $R_i \approx 40$ k Ω ; $Z_a = 7$ k Ω ; $W_o = 4,2$ W (pour $dtot = 10\%$ correspondant à $V_{in} = 3,5$ Veff); $V_{in} = 0,3$ Veff pour $W_o = 50$ mW. Limites: $W_a \leq 12$ W; $W_{g2} \leq 4$ W; $I_k \leq 65$ mA.

On remarquera, que ce sont surtout les limites qui se trouvent repoussées malgré la miniaturisation. Il semble que l'on acceptera désormais un échauffement plus important que dans le passé, les raisons n'en sont pas très claires et permettent bien des hypothèses. En examinant les feuilles techniques de l'EL84, on remarquera, que dorénavant des charges plus faibles que la très classique 7000 Ω semblent avoir la préférence des constructeurs. Ainsi trouve-t-on des charges de 5200 et même de 4500 Ω pour $V_a = V_{g2} = 250$ V. En examinant outre, on trouvera le point de fonctionnement suivant: $V_a = 250$ V; $V_{g2} = 210$ V; $V_{g1} = -6,4$ V; $I_a = 36$ mA; $I_{g2} = 3,9$ mA; $Z_a = 7$ k Ω ; $S = 10,4$ mS; $R_i \approx 40$ k Ω ; $W_o = 4,3$ W; $V_i = 3,4$ V. Ainsi, en réduisant la tension d'écran à 210 V, on retrouvera un point de fonctionnement ressemblant beaucoup à notre première référence, l'EL3. Certes, la pente est quelque peu plus élevée, ce qui entraîne une tension d'entrée plus faible pour arriver à peu près à la même puissance de sortie, mais sinon, le reste est assez semblable. Un autre tube miniaturisé, dans la ligne de l'EL3, est le tube anglais N78 de Marconi, qui est certainement le mieux réussi pour faire suite à l'EL3, en gardant les mêmes caractéristiques. Certains ouvrages indiquent, que la 6BJ5 est équivalente à la N78, mais personne ne connaît ce tube-là. La 6BM5 ou 6P9, une sorte de retardataire de la série américaine française, deviendra une sorte d'EL3 « light », utilisée aussi bien comme tube final BF, que comme amplificateur final vidéo. Du point de vue des dimensions, la N78 ne diffère que bien peu de la 6BM5. La puissance de sortie de la 6BM5 n'est que bien peu plus faible que celle de la N78, mais sa pente est inférieure à celle de notre première référence alors que la pente de la N78 est quelque peu supérieure à elle. À côté de l'EL84, surtout destinée à l'application comme tube final BF, sortit aussi l'EL83, surtout destinée à être utilisée comme tube final vidéo. Les feuilles techniques mentionnent surtout des points de fonctionnement avec des tensions d'anode et d'écran inférieures à 250 V, mais les limites indiquées montrent bien qu'un fonctionnement sous 250 V est tout à fait possible. Si l'on se prend la peine de comparer les courbes des EL3, EL84 et EL83, on s'apercevra, que l'EL83 ressemble bien plus à l'EL3 que l'EL84 ne lui ressemble. Ce sera pourtant l'EL84 qui sera préférée comme tube final BF, contrairement à l'EL83. Tout cela n'est pas vraiment tout à fait logique et

conséquent. Voyons cela d'un peu plus près et examinons le courant plaque pour $V_a = 100$ V et $V_{g1} = 0$. Notre EL3 de référence aura alors un courant plaque de 98 mA, l'EL83 100 mA et l'EL84 145 mA. Notons bien que ces courants-là se trouvent en dehors des limites admissibles. Examinons maintenant le courant plaque à $V_a = 250$ V et $V_{g1} = -6$ V. Pour l'EL3 nous trouvons 35 mA, pour l'EL83 28 mA et pour l'EL84 65 mA. Examinons encore le courant plaque à $V_a = 250$ V et $V_{g1} = -4$ V. Nous trouvons 55 mA pour l'EL3, 57 mA pour l'EL83 et 92 mA pour l'EL84. Toutes ces valeurs sont considérées avec $V_{g2} = 250$ V. Pourtant, en changeant V_{g2} à 210 V dans le cas de l'EL84, nous trouverons $I_a = 42$ mA pour $V_a = 250$ V et $V_{g1} = -6$ V; $I_a = 65$ mA pour $V_a = 250$ V et $V_{g1} = -4$ V. Cela confirme les propos précédents, que l'EL83 est la plus proche de l'EL3 des deux tubes considérés mais aussi, que l'EL84 avec une tension d'écran de 210 V au lieu de 250 V en est très proche aussi alors.

En son temps, l'ECL86 avait été prise comme une sorte d'EL84 avec une triode d'ECC83 dans la même ampoule. En l'examinant de plus près, on remarquera qu'en raison de sa polarisation moindre, la pentode de l'ECL86 se rapproche davantage de l'EL3, que de l'EL84. Une sorte d'EL84 pour HF sera aussi introduite sur le marché sous la forme de la 5763. Malgré de sensibles différences, les deux tubes se ressemblent quand-même beaucoup. Les caractéristiques statiques au point de fonctionnement typique et le chauffage sont pratiquement identiques, mais les caractéristiques dynamiques diffèrent quelque peu.

VII. LA GLOIRE ET LES COPIES

La grande popularité de l'EL84 conduira à la copie de différentes façons. Sous la forme de la 6GK6, le tube verra ses limites encore repoussées, la dissipation maximale d'anode passera à 13,2 W. En outre, la grille de freinage sera sortie séparément et ne sera plus connectée intérieurement à la cathode. La 7189, autre copie de l'EL84, conservera la dissipation maximale d'anode de 13,2 W, en outre le courant maximum de la cathode passera à 72 mA. La 6DZ7 sera une double 7189. En raison de leurs nouvelles limites, ces copies d'EL84 seront capables de fournir une puissance de sortie supérieure en utilisant des points de fonctionnement qui ne seraient plus admissibles avec l'EL84. La dissipation d'anode accrue est surtout due à l'emploi d'une tôle multi-couches pour l'anode, comportant des couches superposées de métaux différents. Cette technique, introduite par Texas Instruments, a aussi été utilisées pour d'autres tubes, comme l'EL300, par exemple.

Toutes ces copisteries et développements nous montrent une image assez chaotique de la scène. Essayons d'y trouver une certaine logique à défaut d'une logique certaine. Nous basant sur les valeurs limites, nous trouverons un premier groupe de tubes ayant comme limites $W_a \leq 9$ W, $W_{g2} \leq 2,5$ W et $I_k \leq 55$ mA, en gros. Dans ce groupe, nous trouvons les tubes EBL1, EL3, AL4, EL11, EL33, EL83, 6M6, ECL86 et N78. Dans un second groupe, ayant $W_a \leq 12$ W et $I_k \leq 65$ mA, nous trouvons les tubes EL84 et 5763. Dans un troisième groupe, ayant $W_a \leq 13,2$ W et $I_k \leq 65$ mA (au moins), nous trouvons les tubes 6GK6, 7189 et 6DZ7.