

Numérisation des courbes

1 Introduction

Quand on s'intéresse aux montages faisant intervenir des tubes à vide, on est rapidement confronté au problème concernant la disponibilité des caractéristiques de ces composants. Que ce soit pour faire tourner une simulation ou pour exploiter un programme, il nous faut des données numérisées.

Inutile de préciser que la plupart des données disponibles aujourd'hui sont des scans de documents d'époque et qu'ils ne sont pas directement exploitables.

Les chapitres qui suivent proposent une méthode pour extraire et numériser ces données. Il ne s'agit pas d'une méthode automatique et nous aurons à saisir à nouveau les courbes en utilisant des outils actuels.

Je travaille sous Linux (fedora) et je fais appel à des outils généralement disponible sur les distributions ainsi qu'à un programme écrit en C.

2 Numérisation avec Qcad

Qcad est un logiciel de CAO 2D simple et performant. On y retrouve les fonctions essentielles à tout logiciel de CAO. Dans la suite du document, on suppose que l'utilisation de Qcad est suffisamment maîtrisée.

Voici la liste des étapes à suivre pour numériser une série de courbes.

Obtenir une image du réseau de courbes

Il y a plein de méthodes possibles. Celle qui vient immédiatement à l'esprit: le snapshot. Ca marche à condition que l'image capturée soit grande.

Comme la majorité des documents est au format pdf, il est possible de les « désassembler » avec des outils facilement disponibles. Pour ma part, j'utilise la commande en ligne suivante:

```
pdftoppm fichier.pdf image
```

Cette commande va créer autant de fichiers que de pages du document. Le nom de ces fichiers aura pour base image suivit d'un numéro qui s'incrémente. L'extension est .ppm. C'est un fichier directement lisible par Qcad. On peut également le lire avec l'excellent Gimp pour le convertir en ce que l'on souhaite.

Sous Qcad

Ouvrir un nouveau document. Ce document contient d'office le layer « 0 »

Créer deux « layers » supplémentaires, l'un nommé « cadre », l'autre « reseau ». Il est important de noter que je me sert de ce mot comme balise de recherche. Tout autre nom fera échouer le programme d'extraction des données.

Dans le layer « 0 », importer l'image du graphique à numériser.

Dans le layer « cadre », tracer le cadre correspondant aux 4 coins du graphique.

Rectifier si nécessaire l'horizontalité du graphique. Noter sur un bout de papier les points xmin, xmax, ymin, ymax du cadre. Noter Vamin, Vamax, Iamin, Iamax auxquels correspondent les point précédents . Noter également la valeur Vg des courbes à numériser.

Dans le layer « reseau », avec l'outil courbe réglé sur degrés 3, non coché « fermé »:

Numériser chaque courbes (voir conseils de numérisation plus bas)

Une fois terminé, enregistrer le travail sous le nom « tubexx_base.dxf » puis sélectionner les courbes numérisées et dissocier ces courbes. A partir de là, les courbes sont transformées en segments. Sauver le travail sous le nom « tubexx.dxf ». Le fichier « tubexx_base.dxf » permet de conserver la trace du travail sous forme de splines pour d'éventuelles modifications.

S'en est terminé avec Qcad.

Remarque: tout autre logiciel de CAO capable de sauvegarder ou d'exporter en dxf devrait faire l'affaire, mais ce n'est pas garanti et ça reste à tester.

3 Organisation d'un fichier DXF

Le fichier *.dxf généré par Qcad est un fichier au format texte.

Les données sont stockées sous forme de sections, chaque section étant déclarée par un mot clef.

Je ne donne pas ici de dictionnaire des mots clefs pour tout un tas de bonnes raisons:

Je ne connais pas le dictionnaire.

Il y a une multitude de mots clefs (c'est un standard d'échange CAO). Cela va du point à la définition de la police de caractères en passant par les objets complexes comme les nurbs par exemple.

Chaque section à sa propre organisation, plus ou moins complexe suivant l'objet représenté.

En revanche, j'ai constaté que les points sont stockés sous un format facilement identifiable.

Extrait d'un fichier *.dxf de Qcad	identification
...	
...	
...	

100	
AcDbEntity	
100	
AcDbLine	Déclaration d'un segment
8	?
reseau	nom du calque
62	?
256	?
370	?
-1	?
6	?
ByLayer	balise
10	10=coordonnée x début segment
365.9431023821684903	valeur de x début
20	20=coordonnée y début segment
285.2719916695599522	valeur de y début
30	30=coordonnée z (0 car Qcad = 2D)
0.0	
11	11=coordonnée x fin segment
394.7313154716871964	valeur de x fin
21	20=coordonnée y fin segment
281.0723306698565693	valeur de y fin
31	
0.0	
100	
...	
...	
...	

4 *Extraction des courbes*

Il est donc « facile » d'extraire de ce fichier les segments appartenant au calque nommé reseau. Mais, on a perdu la notion de courbe puisque les segments d'une même courbe ne sont pas forcément écrits à la suite les uns des autres. De même, on n'a aucune idée du nombre de courbes contenues dans le fichier ni du nombre de segments par courbe.

Tout le travail consiste maintenant à mettre de l'ordre dans les segments récupérés.

Etape 1: extraire les segments d'intérêt et les stocker en mémoire

Etape 2: mettre à l'échelle électrique (V_a, I_a) les coordonnées des segments

Etape 3: orienter les segments suivant les x croissants

Etape 4: assembler en courbes les segments jointifs

Etape 5: attribuer à chaque courbe sa tension de grille

Etape 6: stocker l'ensemble dans un fichier

5 Contraintes lors de la création des courbes

On l'a vu, il y a deux difficultés que l'on contourne assez facilement.

Chaque courbe doit être à x strictement croissant. C'est la condition pour pouvoir « recoudre » les segments entre eux. Comme, à priori, on ne sait pas comment Qcad range ses segments ni dans quel sens, il faut impérativement les ré-orienter. La contrepartie est qu'il est impossible d'extraire une courbe qui fait un looping. Dans la pratique, cela ne gêne pas car cela n'arrive pas avec les caractéristiques mutuelles d'un tube.

Cette condition sur les x n'interdit en rien de calquer chaque courbe en commençant par les Vamax. Le programme réorganise tout cela dans le sens Vamin vers Vamax.

Il y a plus gênant: Les courbes ne sont pas forcément stockées dans l'ordre de leur création Il nous faut cependant attribuer une tension de grille par courbe, ce qui signifie qu'il faut pouvoir identifier qui est qui. La convention retenue consiste à imposer que la courbe à $V_g=0$ (ou V_g la moins négative) commence avec un x plus petit que celui de la courbe à $V_g=-1$ et ainsi de suite. C'est de cette façon que le programme identifie et ordonne les courbes. L'astuce est de faire commencer la courbe par un point franchement en V_a négative Le programme « clippe » de toute manière les segments d'une courbe lorsqu'au moins un des points est en $V_a < V_{amin}$ ou $I_a < I_{amin}$. Il est ainsi plus facile de hiérarchiser les courbes.

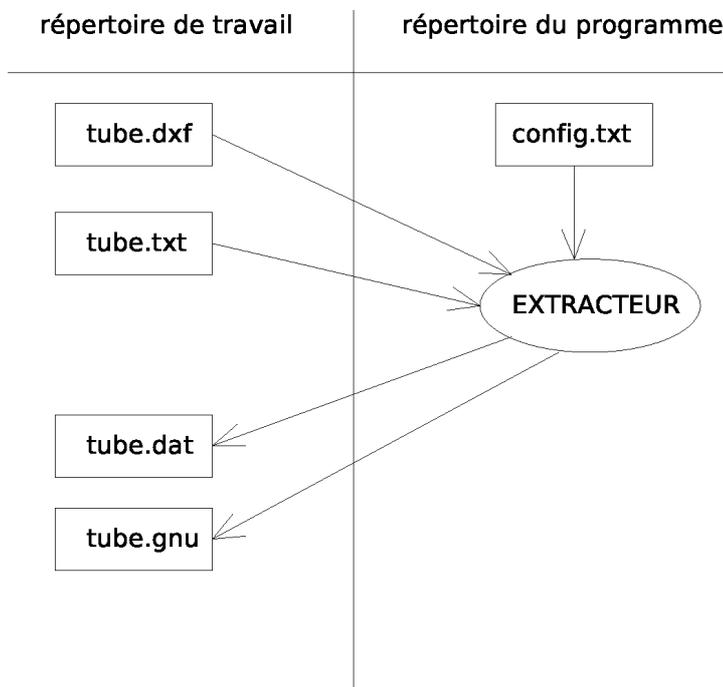
Cette manière de faire n'impose pas mais suggère fortement de commencer la numérisation par les Vamax et de s'attaquer à la courbe V_{gmin} en premier. Ce n'est pas obligatoire, mais ça facilite la vie.

A part cela, tout est permis (ou presque). Les courbes peuvent se croiser, on peut numériser une courbe de Vamax à Vamin puis l'autre dans le sens inverse. Après, c'est affaire d'habitude.

6 Fichiers nécessaires

Le programme extracteur nécessite bien entendu le fichier dxf relatif aux courbes scannées. Mais ce n'est pas tout, il faut fournir un certain nombre de données supplémentaires qui seront contenues dans un fichier texte qui porte le même nom que le fichier dxf mais avec l'extension .txt. Enfin, l'extracteur étant dans son propre répertoire, il va falloir lui indiquer sur quel fichier travailler et dans quel répertoire. La encore, un fichier nommé config.txt, présent dans le répertoire de l'extracteur permettra cela.

Résumons nous:



Fichier « tube.dxf »

Inutile de préciser davantage, c'est l'objet des paragraphes précédents.

Fichier « tube.txt »

Voilà à quoi doit ressembler ce fichier:

```
donner la tension d'origine (en volt) puis le nombre de pixels en x correspondants
#ori_V
0
0

donner la tension d'extrémité (en volt) puis le nombre de pixels en x correspondants
```

```
#ext_V  
420  
292.119
```

donner le courant d'origine (en mA) puis le nombre de pixels en y correspondants

```
#ori_I  
0  
0
```

donner le courant d'extrémité (en mA) puis le nombre de pixels en y correspondants

```
#ext_I  
270  
350.941
```

donner les tensions de grilles (en Volt) du reseau

```
#v_grille  
0  
-15  
-30  
-45  
-60  
-75  
-90
```

tension de plaque max (en volt)

```
#v_max  
300
```

puissance de plaque max (en watt)

```
#p_max  
15
```

Fichier « config.txt »

Voila à quoi doit ressembler ce fichier:

racine du répertoire ou sont stockés les fichiers DXF

```
#chemin  
/home/phil/CNA4/
```

nom des fichiers DXF et TXT à traiter (sans extension)

une fois traité les fichiers porteront l'extension DAT et GNU

```
#tube  
2A3
```

On notera que dans les fichiers textes, les mots clefs sont précédés d'un # et que la ou les données correspondantes suivent immédiatement à partir de la ligne d'après. Tout autre texte sera considéré comme commentaire.

7 Fichiers créés

Les fichiers créés sont au format texte, bien pratiques car facilement lisibles.

Fichier « tube.gnu »

C'est un fichier minimaliste qui comprend les différentes courbes extraites. Chaque point mentionne Vg la tension de grille en volts, la tension de plaque en volts et le courant de plaque en mA. Le séparateur est un espace. Chaque courbe est séparée de la précédente par une ligne vide.

Tel quel, ce fichier peut directement être affiché par Gnuplot grâce à la commande suivante:

```
plot « tube.gnu » using 2:3 with line
```

Extrait du fichier obtenu pour une pentode EF184 (Vg2=170V)

```
0 0.415985 0.650881
0 1.49437 1.13287
0 2.83357 1.74483
0 4.47597 2.50385
0 6.45044 3.42111
0 8.71956 4.47887
0 11.2257 5.65052
0 13.9112 6.90949
...
...
...
0 131.786 60.5306
0 132.774 60.6567
0 133.824 60.7928
0 134.938 60.9405
0 136.117 61.1015

-0.5 0.159722 0.979835
-0.5 1.25091 1.48975
-0.5 2.57314 2.11845
-0.5 4.10704 2.85636
-0.5 5.81115 3.68514
-0.5 7.64392 4.58645
...
...
...
```

```

-0.5 277.815 47.3416
-0.5 280.244 47.3611
-0.5 282.865 47.3803
-0.5 285.729 47.3989
-0.5 288.882 47.4167
-0.5 292.375 47.4337
-0.5 296.257 47.4495
...
...
...

```

Fichier « tube.dat »

Ce fichier comporte les mêmes courbes que le précédent mais il est plus explicite:
Le séparateur employé est l'espace.

(A l'origine, ce fichier servait d'entrée à une autre application dans laquelle j'avais besoin de Vamax et Pmax, ce qui explique la présence de ces deux valeurs)

EF184_170	Nom du tube
300	tension plaque max (V)
2.5	puissance max anode (V)
7	nombre de courbes
0	tension de grille (V) pour la courbe 1
-0.5	idem courbe 2
-1	idem courbe 3
-1.5	idem courbe 4
-2	idem courbe 5
-2.5	idem courbe 6
-3	idem courbe 7
127	nombre de points de la courbe 1
0.415985 0.650881	tension plaque (V) courant plaque (mA)
1.49437 1.13287	...
2.83357 1.74483	...
4.47597 2.50385	...
6.45044 3.42111	...
8.71956 4.47887	...
11.2257 5.65052	...
...	...
...	...
...	...
130.859 60.4128	...
131.786 60.5306	...
132.774 60.6567	...
133.824 60.7928	...
134.938 60.9405	...
136.117 61.1015	...
174	nombre de points de la courbe 2

0.159722 0.979835	tension plaque (V) courant plaque (mA)
1.25091 1.48975	...
2.57314 2.11845	...
4.10704 2.85636	...
5.81115 3.68514	...
7.64392 4.58645	...
...	...
...	...
...	...
9.56381 5.54192	...
11.5292 6.53319	...
13.4987 7.5419	...
15.4306 8.5497	...
17.2834 9.53822	...
285.729 47.3989	...
288.882 47.4167	...
292.375 47.4337	...
296.257 47.4495	...
163	nombre de points de la courbe 2
0.0471556 0.682495	tension plaque (V) courant plaque (mA)
0.294936 0.823638	...
0.531409 0.959876	...
...	...
...	...
...	...

8 Exemple

Rien ne vaut un bon exemple. Traitons le cas du tube archi connu 12AX7.

Les données proviennent de la doc General Electric.

Je créer un répertoire nommé tube.

Je copie le doc pdf dedans.

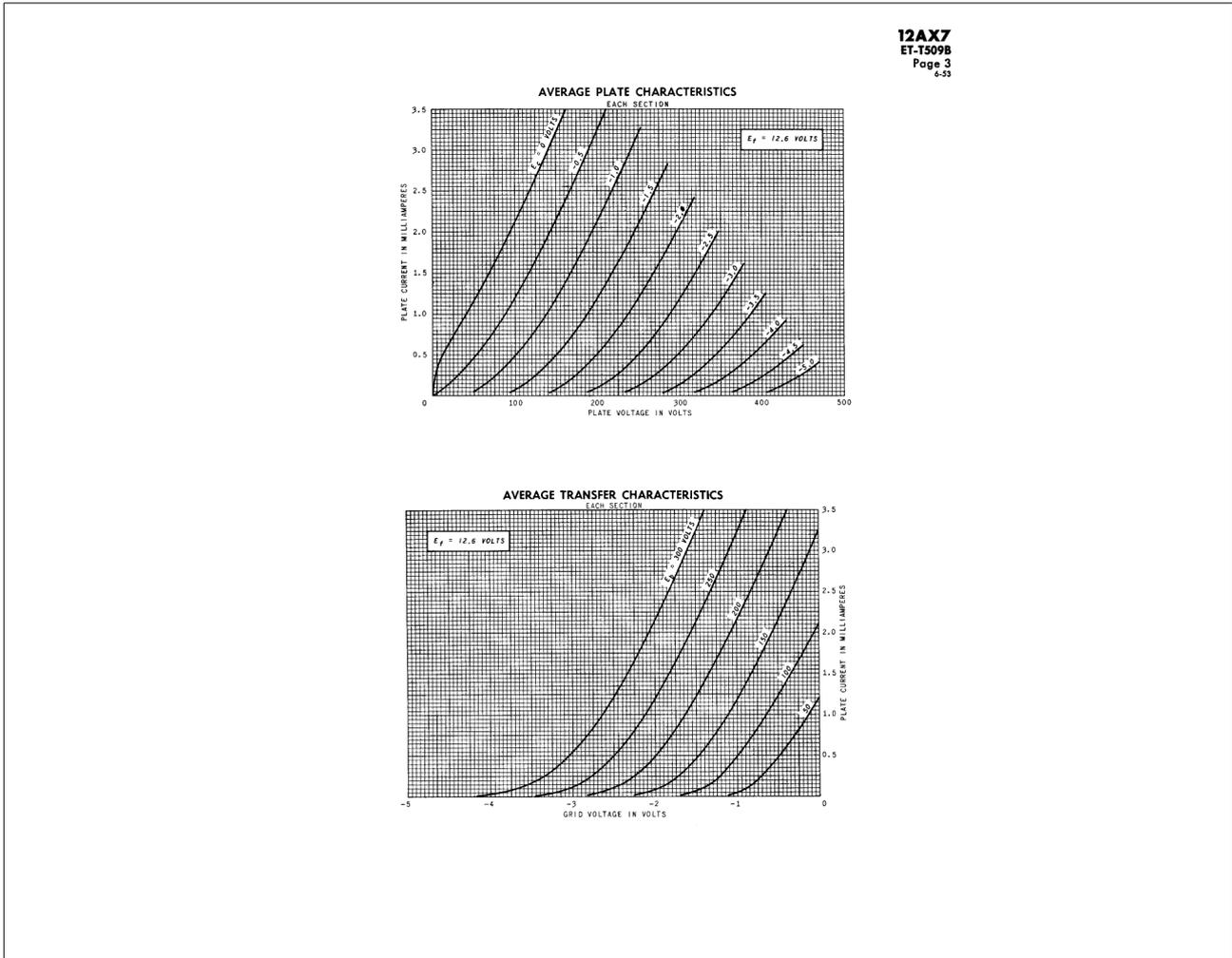
J'éclate le pdf en images.

```
[phil@localhost tube]$ pdftoppm 12AX7.pdf feuille
```

A la suite de cela j'obtiens 4 images:

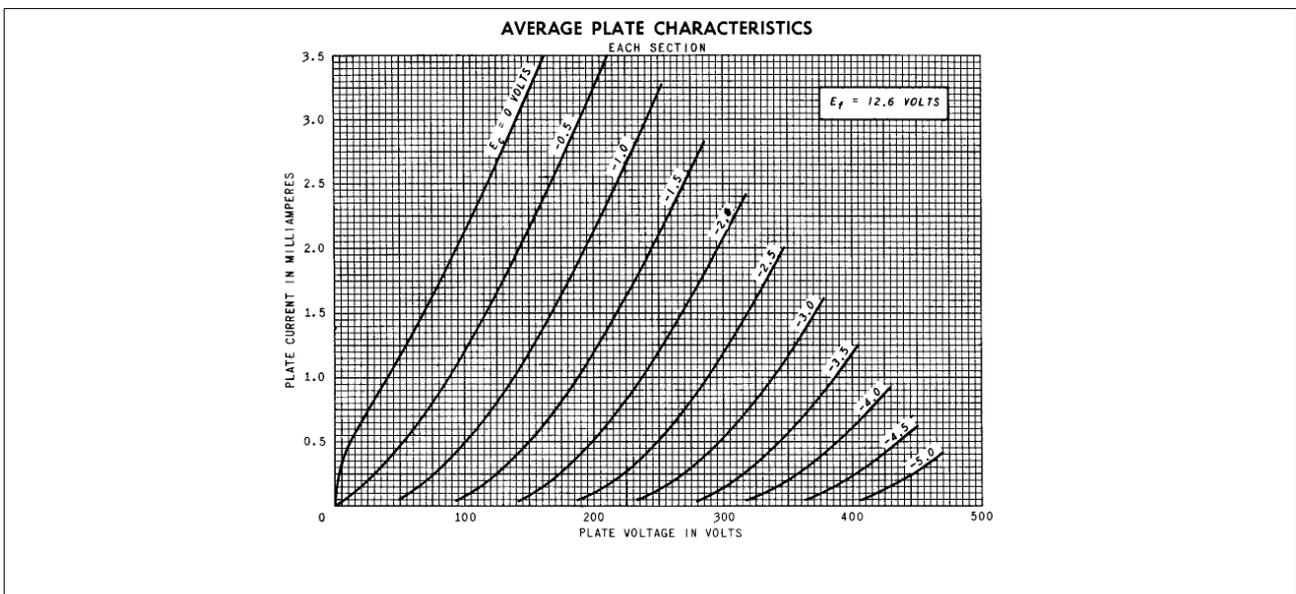
```
[phil@localhost tube]$ ll
total 19908
-rwxrwxrwx. 1 phil phil 298923 1 nov. 2010 12AX7.pdf
-rw-rw-r--. 1 phil phil 5021369 7 nov. 23:03 feuille-1.ppm
-rw-rw-r--. 1 phil phil 5021369 7 nov. 23:03 feuille-2.ppm
-rw-rw-r--. 1 phil phil 5021369 7 nov. 23:03 feuille-3.ppm
-rw-rw-r--. 1 phil phil 5021369 7 nov. 23:03 feuille-4.ppm
[phil@localhost tube]$
```

C'est la feuille 3 qui m'intéresse



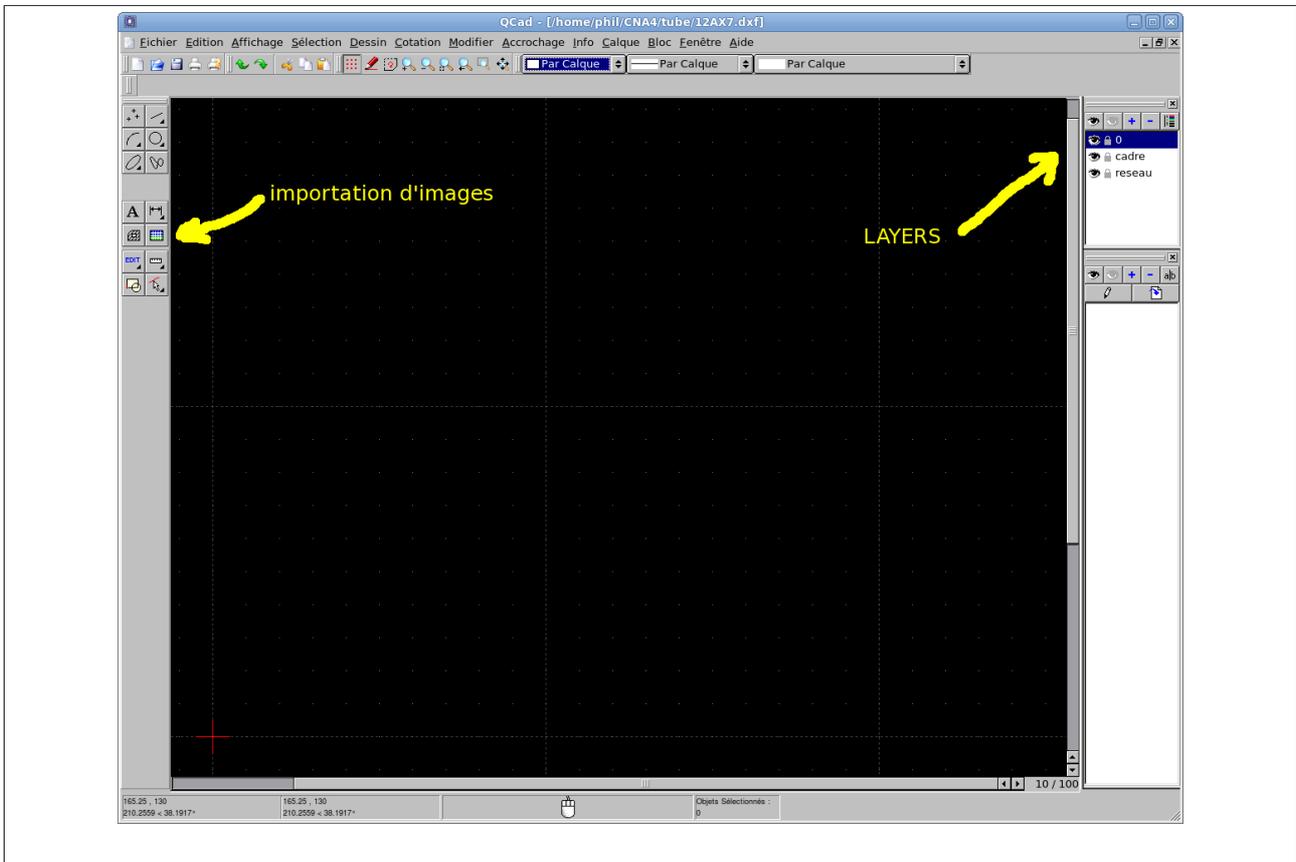
Comme cette feuille contient deux graphiques, j'isole celui du haut à l'aide de Gimp. Tout autre logiciel de retouche d'image convient pour faire cela.

Voilà l'image récupérée. Je la sauve au format png sous le nom 12AX7.png

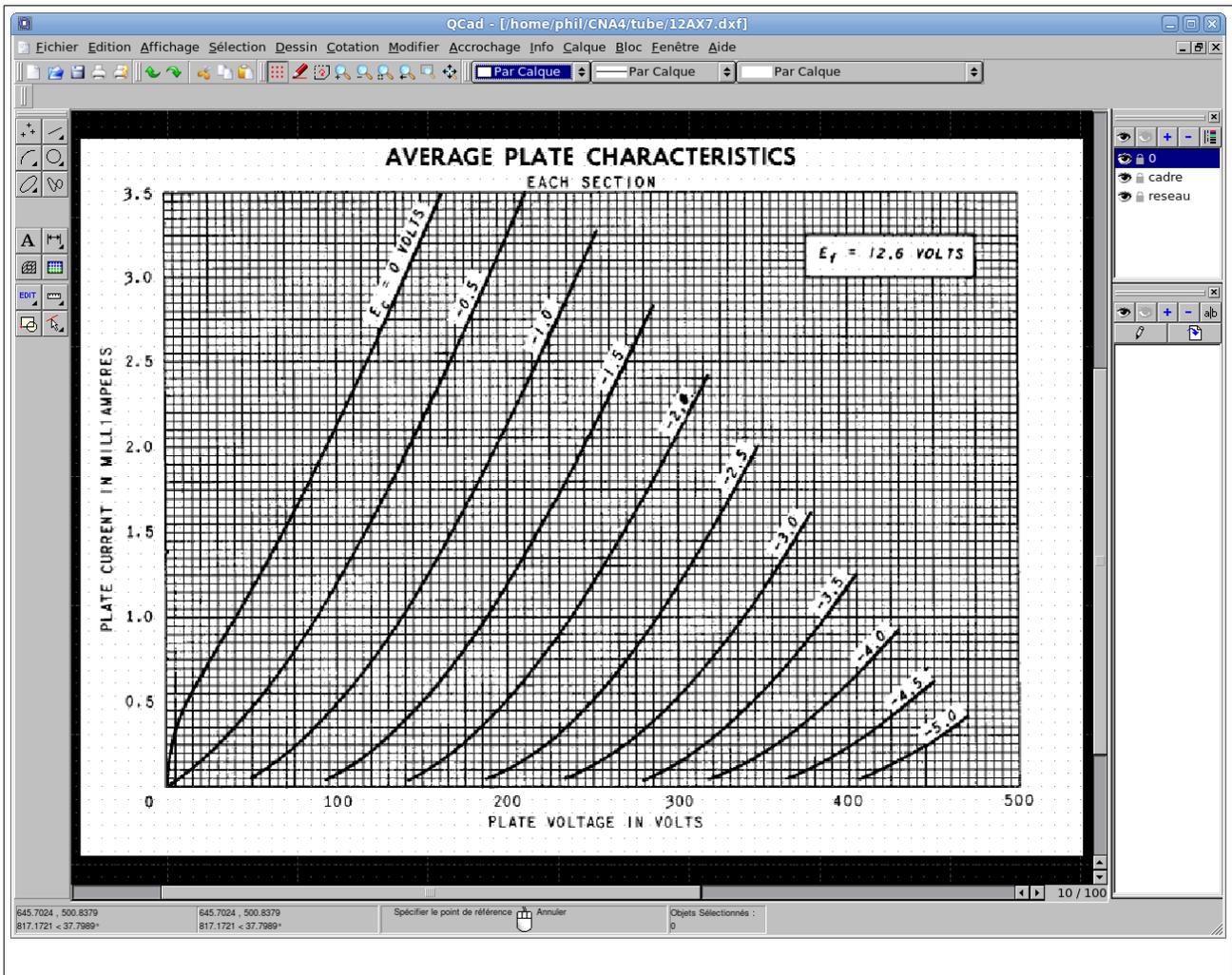


J'ouvre Qcad et créer un nouveau fichier nommé 12AX7.dxf dans le répertoire tube.

Je créer deux layers supplémentaires, l'un « cadre », l'autre « reseau » (à noter que le mot reseau ne prend pas d'accent).



Dans le layer 0, j'importe l'image 12AX7.png



Dans le layer cadre, je trace le cadre du graphique: une horizontale et une verticale au point Vamin, Iamin ainsi qu'une horizontale et une verticale au point Vamax, Iamax.

Je rectifie en tant que de besoin l'orientation de l'image pour que l'axe des Va soit horizontal.

Je relève les coordonnées des points d'intérêt:

Vamin	=	0V	---	199,0366 mm
Vamax	=	500V	---	851,1058 mm
Iamin	=	0mA	---	159,916 mm
Iamax	=	3,5mA	---	619,2462 mm

Je note les 11 tensions de grille: 0 -0,5 -1 -1,5 -2 -2,5 -3 -3,5 -4 -4,5 -5

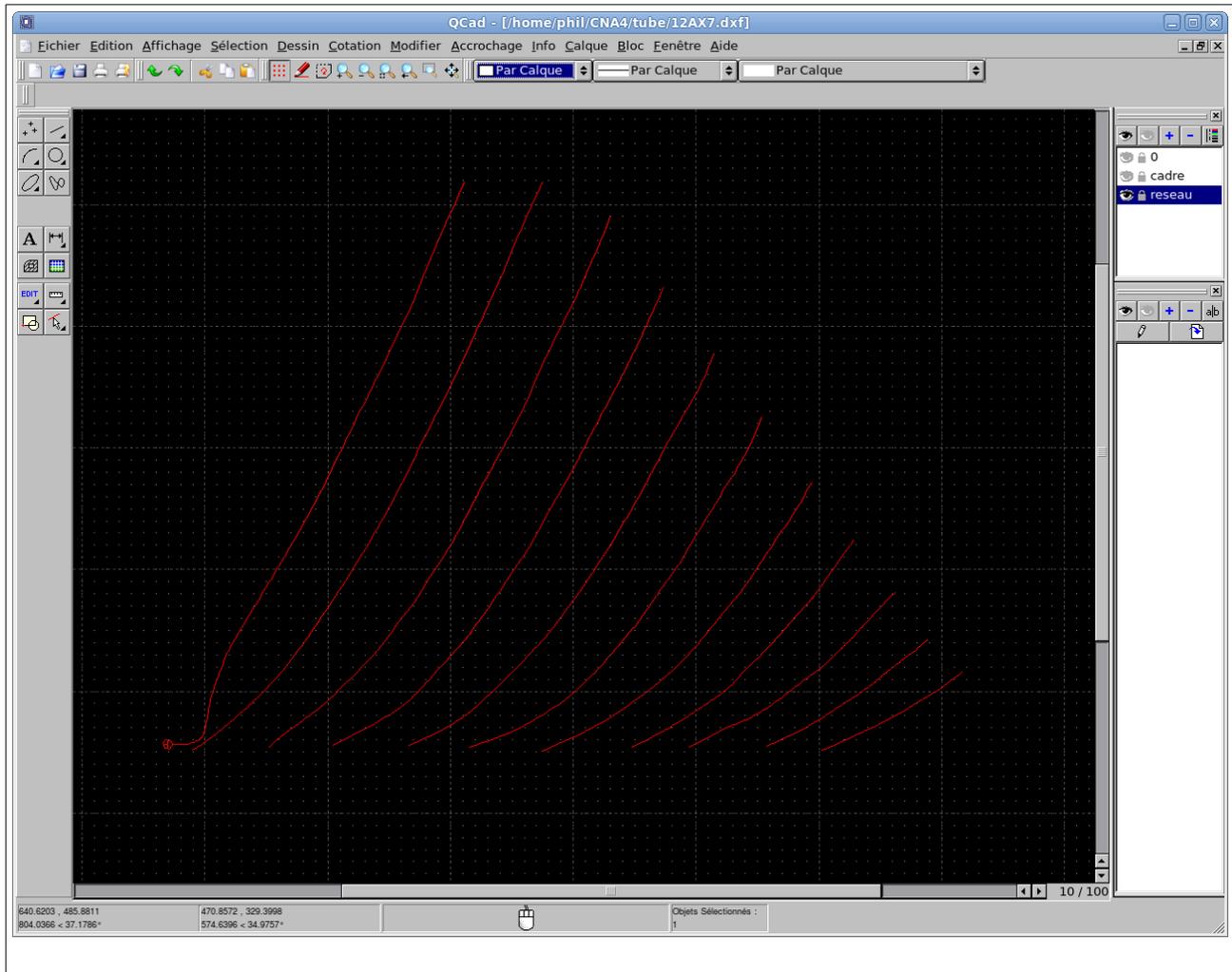
Dans le pdf je relève Vamax=300V Pmax=1W.

Vient le moment de numériser: Je me place dans le layer reseau et je commence. C'est un travail assez minutieux. Pour chaque courbe, je commence par le Vamax de la courbe et je pointe de proche en proche en suivant la courbe. Plus le rayon de courbure est faible, plus je rapproche mes points. Je contrôle visuellement que le cintre de mon spline suit bien la courbe avant de cliquer. Arrivé en bas

de la courbe, je clos le spline et je passe à la courbe suivante. J'effectue ce travail de fournis en respectant les contraintes exposées au §5.

A la fin, je sauvegarde le travail dans un fichier nommé 12AX7_base.dxf.

Vue du tracé quand je n'affiche que le layer reseau



Je recharge le fichier 12AX7.dxf, je n'affiche que le layer reseau, je sélectionne les courbes et je les dissocie (menu modifier).

Je sauve 12AX7.dxf et c'est fini pour la partie CAO!

On passe maintenant à l'extraction des segments de courbes. Pour cela, on renseigne deux fichiers: 12AX7.txt et config.txt.

Fichier 12AX7.txt

donner la tension d'origine (en volt) puis le nombre de pixels en x correspondants

#ori_V

0

199.0366

donner la tension d'extrémité (en volt) puis le nombre de pixels en x correspondants

```
#ext_V  
500  
851.1058
```

donner le courant d'origine (en mA) puis le nombre de pixels en y correspondants

```
#ori_I  
0  
159.916
```

donner le courant d'extrémité (en mA) puis le nombre de pixels en y correspondants

```
#ext_I  
3.5  
619.2462
```

donner les tensions de grilles (en Volt) du reseau

```
#v_grille  
0  
-0.5  
-1  
-1.5  
-2  
-2.5  
-3  
-3.5  
-4  
-4.5  
-5
```

tension de plaque max (en volt)

```
#v_max  
300
```

puissance de plaque max (en watt)

```
#p_max  
1
```

Et voici le fichier config.txt

config.txt

racine du répertoire ou sont stockés les fichiers DXF

```
#chemin  
/home/phil/CNA4/tube/
```

nom des fichiers DXF et TXT à traiter (sans extension)

une fois traité le fichier portera l'extension DAT

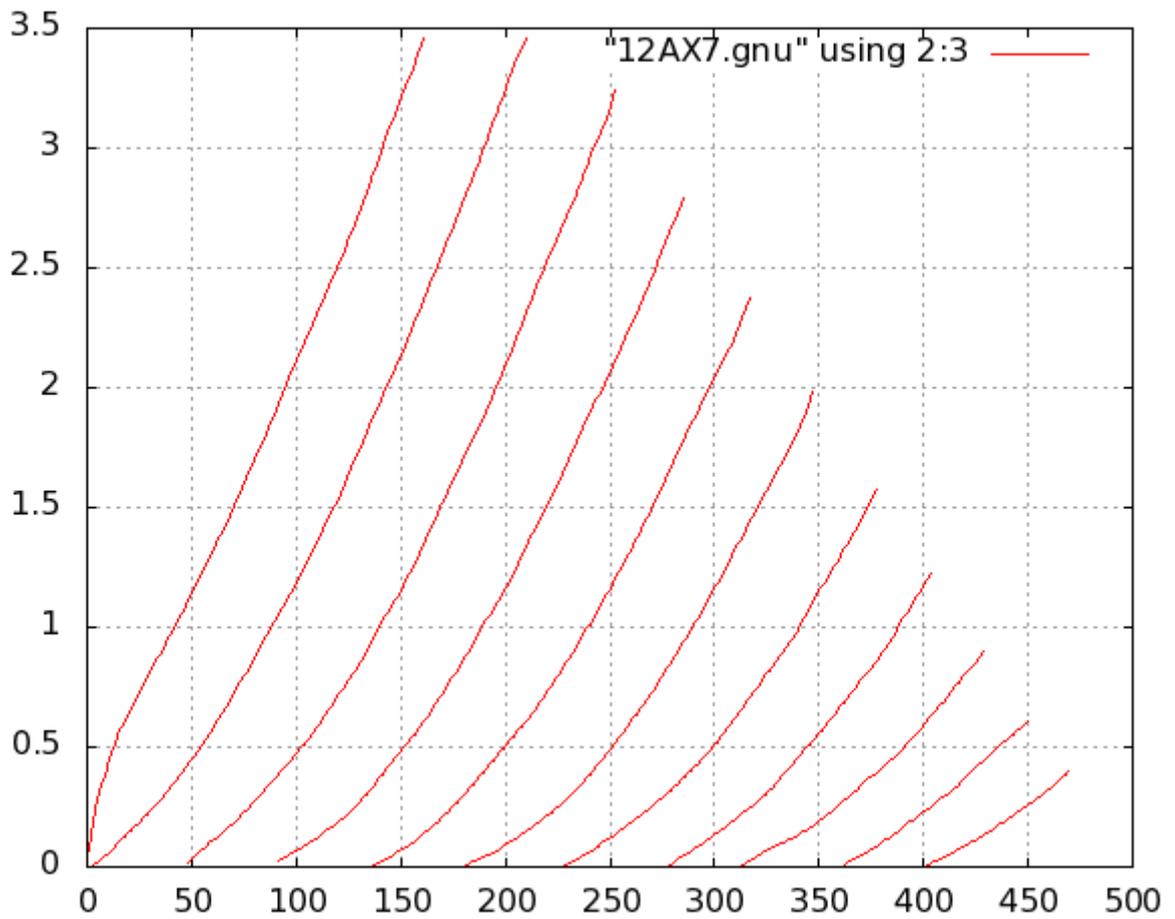
```
#tube  
12AX7
```

Cela étant fait, on lance le programme d'extraction a la ligne de commande:

```
./main
```

C'est tout!

Et pour voir ce que l'on obtient, on trace à l'aide de Gnuplot le fichier 12AX7.gnu



9 Précision des courbes

La précision dépend de deux étapes:

La numérisation sous Qcad: Là c'est à nous d'être habile.

La précision du scan: Un scanner distord toujours en x et y l'image de départ. Cette distorsion n'est généralement pas constante sur toute la feuille. On y peut rien. Par ailleurs, il est probable que le document scanné provienne d'une photocopie, elle même source de déformations.

De toute façon, il faut garder à l'esprit que les documents d'origine ont été établis sur la base d'un grand nombre de mesures. C'est une sorte de moyenne fondée sur le tube d'un fabricant. Compte tenu de la dispersion des caractéristiques des tubes issus d'un lot et des légères disparités d'un fabricant à l'autre, il ne faut pas accorder plus de confiance que nécessaire aux informations extraites des documents.