

Tensions sur les antennes filaires sans ou avec charge

Introduction

Tout d'abord une précision, le mot tensions utilisé dans le titre sous entend des tensions mécaniques et non électriques. De même, par charge, il faut entendre une charge mécanique, c'est-à-dire une masse.

Ce problème de tensions sur les antennes filaires me « turlupinait » depuis longtemps. En effet, aux environs de 1994, lorsque j'ai commencé à réfléchir à la mise en place d'une FD4 et que l'espace disponible était trop juste, j'aurais bien aimé pouvoir calculer la force de traction nécessaire pour obtenir une certaine flèche et/ou un certain écartement entre les points d'ancrages. Je me souviens avoir cherché un peu partout, mais sans résultat concret. J'ai donc fini par acheter une antenne, par faire quelques essais et ai fini par ajouter un bras de déport dans le sens de la longueur de l'antenne pour augmenter d'environ un mètre cinquante l'écartement entre les points d'accrochage.

Bien que n'ayant pas d'autre antenne à suspendre, ce problème m'est resté dans la tête, car intéressant d'un point de vue mathématique. Aussi, il y a quelques mois, je me suis à nouveau intéressé à ce sujet.

Problème de la chaînette

Le problème d'une antenne filaire suspendue est celui connu sous le nom de « chaînette » ou parfois « cordelette ». Il s'agit de l'étude *d'un fil flexible pesant, ne résistant qu'à la traction et suspendu en deux points*.

A l'équilibre statique, sous l'action de son propre poids, la forme géométrique de la courbe d'une telle chaînette est de la forme $y(x) = a \cdot \text{CosH} \frac{x}{a}$ où CosH est la fonction mathématique cosinus hyperbolique qui vaut elle-même $\text{CosH}(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$, e^x étant la fonction exponentielle de x , et a est un coefficient qui caractérise la chaînette.

La longueur d'une telle chaînette entre les points d'abscisses 0 et x vaut :

$L(x) = a \cdot \text{SinH} \frac{x}{a}$ et, pour une masse linéique (masse par unité de longueur) constante k , sa

masse vaut : $M(x) = k \cdot L(x) = k \cdot a \cdot \text{SinH} \frac{x}{a}$

Attention, j'en vois déjà qui sont sur le point de jeter la revue au panier. Pas d'affolement ! Pour ceux qui commencent à avoir des boutons partout parce qu'ils sont allergiques aux mathématiques, nul besoin de retenir ni même de comprendre ces aspects pour voir la suite qui est pratique. Ces informations sont données pour les curieux, ceux qui aiment toujours apprendre quelque chose (ce qui est excellent contre le vieillissement) et ceux qui sont tombés dans la marmite des mathématiques lorsqu'ils étaient petits.

Utilisation du programme Galva

Vous l'aviez deviné, pour effectuer tous les calculs nécessaires, il y a un programme ou plus exactement une nouvelle commande¹ dans mon programme **Galva** (voir encadré).

¹ Cette nouvelle commande est disponible dans la version 1.87 de Galva sortie le 02 décembre 2011. Cette nouvelle version comporte également une autre nouvelle commande qui est Plot, et qui permet de tracer facilement et rapidement des courbes à partir de fichiers de données.

Une fois le programme **Galva** installé (voir le fichier A_Lire-Read_Me.pdf), il faut le démarrer et, selon ce que l'on souhaite faire, ouvrir un des fichiers suivants : GalvChain_L, GalvChain_AD ou GalvChain_A. La fin du nom en « _L » indique qu'il faut préciser la longueur de l'antenne, « _AD » indique qu'il faut donner l'angle de départ et « _A » indique qu'il faut donner le coefficient « a » de l'équation, qui n'est autre que la valeur de la tension horizontale pour une masse linéique unitaire du fil de l'antenne.

Simulations en indiquant la longueur de l'antenne

Voyons par exemple ce que donne le fichier GalvChain_L(.dat) tel qu'il est fourni avec le programme. Pour l'ouvrir, il faut aller dans le menu « Fichier », cliquer sur « Ouvrir » puis sélectionner le fichier dans la liste.

La figure 1 montre la partie graphique qui s'affiche et la figure 2 la partie résultats des calculs qui s'affiche juste au dessus. Le début du programme, sur la partie droite de l'écran, montrant les paramètres à modifier en fonction des besoins de chacun, sera vu plus loin.

Sur la figure 1, on voit un réticule (repère quadrillé) gradué de 0 à 50 horizontalement et de 50 à 0 verticalement. Aucune unité n'est précisée, et chacun peut choisir celle qui lui convient. Vu le sujet qui nous intéresse, les antennes filaires, nous allons considérer qu'il s'agit de mètres, mais cela pourrait aussi bien être des cm ou des km. Le point de coordonnées 0,0, en haut à gauche correspond à l'un des point d'ancrage de l'antenne et nous l'appellerons le point 1. L'autre point d'accrochage se trouve aux coordonnées 40, 30 dans cet exemple, et nous l'appellerons le point 2. Ce deuxième point est donc distant horizontalement de 40 (m) et verticalement de 30 (m).

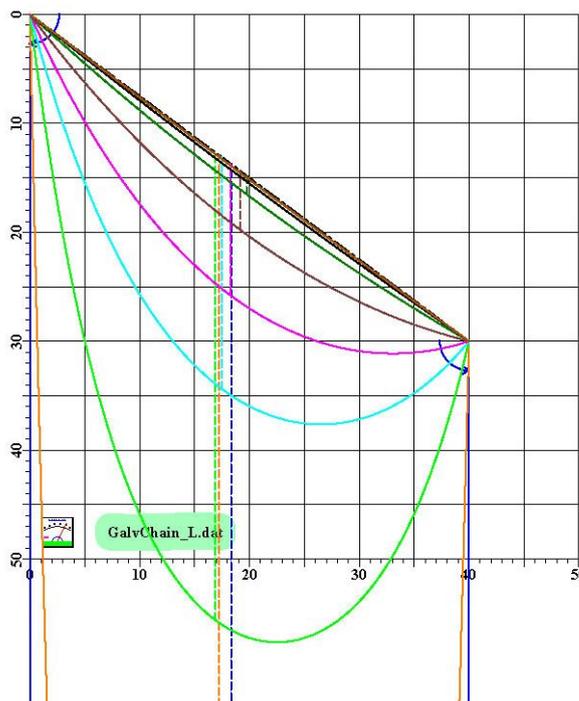


Figure 1

Ensuite, on voit un certain nombre de courbes de différentes couleurs. Chacune correspond à une longueur donnée d'antenne accrochée entre les deux points précités. Comme on le voit, deux antennes sont tellement longues, que leurs courbes, la bleue et la jaune (orange sur certains écrans), sortent du cadre. La courbe verte descend en dessous de l'ordonnée 50, alors que le minimum de la bleue claire est à environ 37,5 (m) en dessous du point 1. Etc.

X0 =	20,0	20,3	22,5	26,5	33,1	51,4	121,1	339,3	1023,9
Flèche V =	4998,24	196,55	42,94	21,27	12,09	5,41	1,71	0,54	0,17
XF =	18,3	17,3	16,9	17,5	18,3	19,2	19,7	19,9	20,0
TV2(θ) =	498,50	18,50	3,48	1,60	0,70	-1,15	-8,53	-32,08	-106,13
TV1(θ) =	501,50	21,50	6,52	4,90	4,80	6,25	13,54	37,08	111,13
TH(θ) =	0,24	0,44	0,81	1,30	2,14	4,65	14,62	46,08	144,84
T2(θ) =	498,50	18,50	3,57	2,07	2,25	4,79	16,92	56,15	179,56
T1(θ) =	501,50	21,50	6,57	5,07	5,25	7,79	19,92	59,15	182,56
Teta_2 =	90,0°	88,6°	76,9°	50,9°	18,2°	-13,9°	-30,3°	-34,8°	-36,2°
Teta_1 =	90,0°	88,8°	82,9°	75,1°	66,0°	53,3°	42,8°	38,8°	37,5°
a =	2,40	4,45	8,08	13,03	21,37	46,53	146,2	460,8	1448,4
Long =	10000,00	400,00	100,00	65,00	55,00	51,00	50,10	50,010	50,001
X2 = 40,00 DH2 = 30 D = 50,00 k = ,1 kg/m Long = 10000, 400,100, 65, 55, 51,50,1, 50,01,50,001									

Figure 2

Voyons maintenant un peu la figure 2 qui donne des informations numériques. Tout d'abord, la ligne inférieure indique que X2, l'abscisse du point 2, donc la distance horizontale entre les points 1 et 2, vaut 40 (m), que DH2, la différence de hauteur vaut 30 (m), et que la distance D entre les deux points d'accrochage est de 50 (m). k vaut 0,1 kg/(m) (1 (m) de fil pèse

100 g, si l'on considère que l'unité de distance est le mètre, mais en toute rigueur il faudrait dire $k=0,1$ kg/unité de distance). Enfin, plusieurs longueurs d'antennes ont été données en paramètre et elles sont de 10000, 400, 100, 65, 55, 51, 50.1, 50.01 et 50.001 (m). C'est pourquoi on voit 9 courbes tracées, chacune correspondant à une longueur d'antenne. Le tableau au dessus donne les informations à raison d'une colonne par longueur d'antenne. La colonne de gauche donne les mnémoniques des grandeurs du tableau.

- Long. : longueur totale de l'antenne (en unités de distances ou longueurs),
a : coefficient « a » de l'équation, proportionnel à la tension horizontale,
Teta_1 : angle de départ du fil par rapport à l'horizontale,
Teta_2 : angle d'arrivé du fil par rapport à l'horizontale,
T1(k) : tension sur le fil au point 1 (exprimée en kg si les distances sont exprimées en mètres et k en kg/m),
T2(k) : tension sur le fil au point 2,
TH(k) : tension horizontale qui est la même, au signe près, aux points 1 et 2,
TV1(k) : tension verticale au point 1,
TV2(k) : tension verticale au point 2 (une valeur négative indique que la tension est vers le haut),
XF : abscisse (valeur de X) pour laquelle la flèche verticale est maximale,
Flèche V : valeur de la flèche. Les flèches sont dessinées en pointillés sur le graphique. La flèche est définie comme la distance verticale maximale entre le fil de l'antenne et la droite joignant les points de fixations,
X0 : valeur de ce coefficient dans l'équation effectivement utilisée pour tracer les courbes :

$$y(x) = a \cdot \text{CosH} \frac{(x - X0)}{a} - Y00 \quad \text{avec} \quad Y00 = a \cdot \text{CosH} \frac{X0}{a}$$

Ainsi, la valeur de 19,92 de la ligne T1(k) indique que pour un fil de longueur 50,1 m et pesant 100 g/m, la tension sur le fil au point 1 est de 19,92 kg.

Pour des points d'accrochage donnés, ce tableau permet de bien visualiser les relations entre longueur d'un fil, sa tension et la flèche qui en résulte. Plus généralement, il montre que la tension horizontale sur un fil est d'autant plus faible que le fil est long, alors que les tensions verticales et longitudinales aux points d'accrochages passent par un minimum pour une certaine longueur du fil.

Personnalisation des données

Voyons maintenant comment personnaliser les caractéristiques de l'antenne. Pour cela, regardons le début du code du programme qui se trouve dans la fenêtre de droite de l'écran et reproduit en partie ci-dessous.

```
'Test Chain en entrant la ou les valeurs de L
'1 point de départ (X1=0, Y1=0)
'X2 abscisse du deuxième point (d'arrivée)
'DH2 distance verticale entre les points d'ancrage 1 et 2
'D distance en ligne droite entre les points d'ancrage/d'attache
'L longueur de la chainette
'a coefficient de l'équation de la chainette
'aD angle de départ noté aussi Teta_1
' T : tension sur le fil (TV=composante verticale, H= horizontale)
' k : poids du fil par unité de longueur
' Cu nu 1mm2: 8.9g/m; Cu 2.5mm2: 22g/m; glace 1cm2: 100g/m
' Exemple: T/k = 206, la tension pour du fil Cu de 2.5 mm2 sera de
' 206*22 = 4532g ~4.5daN
```

Dans **Galva**, les lignes qui commencent par une apostrophe (') sont considérées comme des commentaires et ne sont pas prise en compte par le programme. Celles ci-dessus donnent quelques indications « aide mémoire » pour l'utilisation du programme.

Remarques :

- attention, comme il n'y a pas de fonction « annuler », plutôt que de modifier directement une ligne, avec le risque de ne pas pouvoir revenir en arrière, dupliquez cette ligne par Ctrl-C, Ctrl-V, puis placez une apostrophe devant l'une d'elle et modifiez l'autre.

- si vous souhaitez sauvegarder des modifications utilisez le menu « Enregistrer sous » et modifiez le nom du fichier afin de pouvoir revenir facilement au programme d'origine. N'effectuez donc pas de Ctrl-S avant d'avoir changé le nom du fichier et ne faites pas de sauvegarde en quittant le programme.

ZoomIni = 1

La commande ZoomIni permet de définir le niveau de zoom par défaut au démarrage du programme. Ne pas la modifier dans un premier temps, et lire le mode d'emploi avant de modifier cette ligne.

%reticule = 1 ' 0 ou 1

Dans Galva, les mots commençant par le signe % sont considérés comme des variables et sont utilisables tout au long du programme. Ici, la variable %reticule est utilisée pour indiquer au programme si le réticule doit être tracé ou non : si elle vaut 1, le réticule avec les graduations est tracé, si elle vaut 0, le réticule n'est pas tracé.

' Entrer 2 valeurs, la 3e sera calculée

%X2 = 40

%D =

%DH2 =30

Après une ligne de commentaires, trois variables permettent de définir les caractéristiques géométriques de votre antenne : %X2 définit la distance horizontale entre les deux points, %D la distance entre les deux points et %DH2 la différence de hauteur. Il faut renseigner deux valeurs sur les trois, la troisième étant calculée à partir des deux entrées (oui, oui, il y a du Pythagore la dessous, pour les connaisseurs). Dans cet exemple, le deuxième point d'ancrage se trouve à 40 m et le dénivelé entre les deux points est de 30 m. Pour modifier le dénivelé entre les deux points, il suffit de modifier la valeur 30 de la dernière ligne ci-dessus et mettre par exemple : %DH2 = 5.

Remarque : Vous avez un problème : vous avez modifié la valeur et le graphique n'a pas changé ! C'est normal. Pour mettre à jour l'affichage et prendre en compte votre (vos) modification(s), il faut cliquer sur le menu « Visualiser » ou appuyer sur la touche F4.

'%ADL = valeur ou liste de valeurs pour L

%ADL = 10000, 400,100, 65, 55, 51,50.1, 50.01, 50.001

'%ADL = 51

Ici on définit la ou les valeurs de longueurs d'antennes à utiliser. Pour utiliser une valeur personnelle, il suffit d'enlever l'apostrophe se trouvant au début de la dernière ligne et de remplacer la valeur 51 qui s'y trouve. Par exemple : %ADL = 43.5. Attention, il faut utiliser le point comme séparateur décimal. Et on n'oublie pas d'appuyer sur F4 ! (si, si je suis sûr qu'il y en a qui avaient oublié). Attention aussi, il faut que la longueur de l'antenne soit au moins égale à la distance (%D) entre les deux points d'accrochage (et même un petit peu plus longue, sinon la tension est infinie) !

Il est ainsi, par exemple, possible d'entrer des valeurs successives pour déterminer, par essais-erreurs, pour quelle longueur de fil la tension sur celui-ci sera minimum (Cas en général peu intéressant pour une antenne, car la flèche est alors relativement importante).

%k = .025

%k est la variable qui contient la masse linéique (attention, toujours utiliser le point comme séparateur décimal). Cette constante ne modifie en rien la forme des courbes. Elle n'est en effet utilisée que pour le calcul des tensions et les unités n'apparaissent que dans le texte. Dans l'exemple : mètres et kilogrammes.

Avec ces quelques explications, vous devriez pouvoir simuler votre situation. Pour le reste, comme la modification du réticule et/ou des graduations, je vous laisse essayer, deviner ou apprendre à vous servir du programme **Galva**. Ne modifiez qu'une ligne à la fois, et uniquement après l'avoir copiée par Ctrl-C pour pouvoir la remettre par Ctrl-V à la place de la ligne modifiée.

Simulations en indiquant l'angle de départ ou le coefficient a

Les principes sont les mêmes, il suffit d'ouvrir l'un des fichiers GalvChain_AD ou GalvChain_A à la place de GalvChain_L.

Gestion d'une charge

Une antenne étant en général alimentée électriquement en un point particulier de sa longueur, ce point est soumis à la charge (la masse) du balun et du câble d'alimentation (feeder). Ceci modifie l'équilibre de l'antenne, la forme de sa courbe, les tensions exercées sur le fil et la flèche. Aussi, pour gérer ce genre de situation, la commande Chain, utilisée pour tracer et calculer les paramètres d'une chaînette, permet également de gérer une charge. C'est le fichier GalvChain_LC qui démontre cette possibilité. Il faut indiquer la masse de la charge et la distance de celle-ci depuis le point 1. Cette distance pouvant être indiquée en absolu ou en relatif par un pourcentage de la longueur totale de l'antenne.

Si vous êtes curieux de voir ce que cela donne, ouvrez ce fichier, et vous trouverez une grande ressemblance avec le premier. La partie graphique est montrée sur la figure 3. Les courbes de six antennes de longueurs différentes sont affichées et on voit bien la « déformation » des courbes liée à la masse. En fait, chaque courbe d'antenne est formée par deux portions de chaînette. C'est la raison pour laquelle dans les informations numériques on trouve cette fois, X0C1 et X0C2, qui sont les deux coefficients X0 pour la courbe d'une part entre le point 1 et la charge, et d'autre part entre la charge et le point 2. « a » est le même pour les deux courbes, puisque la tension horizontale est la même partout.

Autrement, on trouve également XC et YC qui sont les coordonnées du point d'accrochage de la charge (à l'équilibre) indiquée par un point rond sur la courbe. Par ailleurs, sur le graphique, un signe « plus » indique la position où se trouverait ce point si la masse de la charge était nulle, et une « croix » le point où elle se trouverait pour une charge infinie.

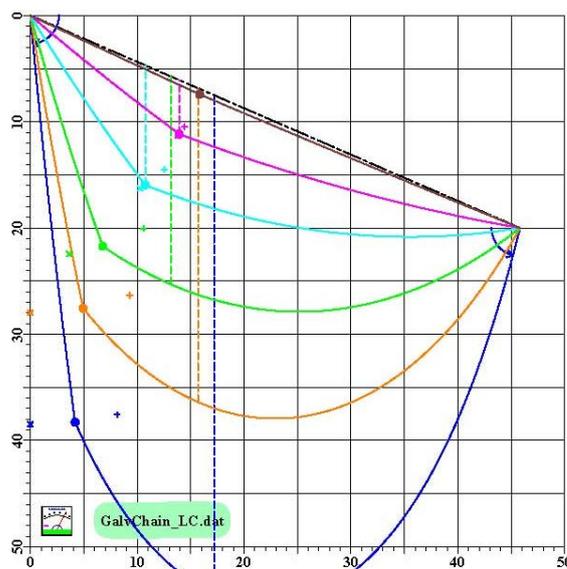


Figure 3

Pour la personnalisation, il y a simplement deux variables supplémentaires à renseigner. « %LC1 » spécifie la distance entre le point 1 et la charge. En absolu, cette distance doit être exprimée dans la même unité que %X2. Sinon, elle peut aussi être relative à la longueur totale de l'antenne et suivie du signe « % ». La variable « %M » spécifie la masse de la charge en utilisant la même unité de masse que pour le paramètre « k ». Exemples : %LC1= 35% ou %LC1= 12 ; %M = 1.5. Pour voir la différence, enlevez le signe « % » de « 35% », appuyez sur F4 (eh oui !) et voyez l'effet produit.

Compléments

1) En pratique, n'oubliez pas qu'un fil d'antenne recouvert de givre ou de glace pèse vraiment beaucoup plus lourd que le fil seul. Le vent aussi a une incidence sur les tensions aux points d'accrochages.

2) Pour la longueur d'une antenne il faudra bien sûr tenir compte de la longueur des isolateurs et de leur accrochage.

3) Comme indiqué précédemment, c'est l'exécution de la commande « Chain » qui effectue l'ensemble des calculs et le tracé d'une courbe. Les exemples de programmes présentés précédemment sont assez complexes, mais les paramètres peuvent être modifiés facilement. Pour cela, les programmes utilisent des variables pour calculer les paramètres nécessaires à cette commande et bouclent pour permettre l'affichage de plusieurs courbes.

Il est toutefois tout à fait possible (et le programme est alors beaucoup plus simple) d'utiliser directement cette commande « Chain » comme le montre le fichier GalvChain_L1. La première commande de tracé de chaîne (qui génère la courbe bleue sur la figure 4) se résume à :

Chain = 120,30,200

Dans cette commande, 120 est la valeur de X2, 30 la valeur de DH2 et 200 la longueur de l'antenne ou de la chaînette. Au niveau de l'affichage, ces valeurs représentent des millimètres à l'impression et à l'écran (si le niveau de zoom est de 1 et si Galva a été configuré pour cela : voir « mm à l'écran » dans l'index de l'aide). Le tracé du réticule, non obligatoire mais utile, demande lui 13 lignes de code pour avoir autant de détails !

Plus loin dans le programme, après le traçage du réticule, il y a une autre commande Chain :

Chain = 120,30,128,,,,,%T

Cette commande trace une courbe en vert (à cause de la commande Couleur juste avant) et permet d'afficher les tensions T1 et T2 pour une masse linéique de 1 du fil (attention au nombre de virgules devant %T, car l'ordre des paramètres doit être respecté). Pour obtenir les vraies tensions, il suffit de multiplier par la masse linéique k du fil, comme cela est fait dans les codes précédents.

Remarques :

- supprimez l'apostrophe qui se trouve devant la deuxième remarque « 'Stop » et appuyez sur F4. Vous remarquerez que la deuxième courbe n'est plus tracée car l'exécution du programme s'arrête à la commande Stop. En enlevant l'apostrophe on transforme la remarque en commande. Supprimez l'apostrophe qui se trouve devant la première remarque « 'Stop » et appuyez sur F4 (et oui !). Cette fois seule la courbe bleue est encore affichée. Pour continuer, remplacez en début de lignes les apostrophes supprimées.

- cliquez avec la souris sur le mot Chain (ou toute autre commande du programme), puis enfoncez la touche F2. Tant que cette touche restera enfoncée, la syntaxe de cette commande, avec l'ordre des paramètres s'affiche. Sinon, F1 donne accès à l'aide, et pour commencer à utiliser le programme Galva, il vaut sans doute mieux commencer par une commande plus simple que la commande Chain.



Figure 4

Conclusion

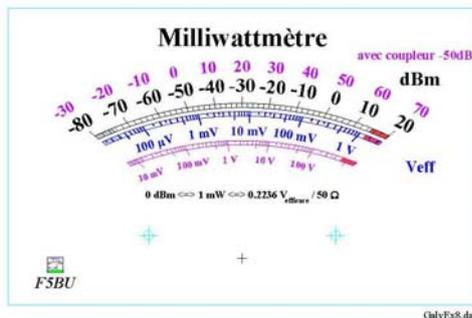
Bon amusement à ceux qui sont tentés par l'aventure du calcul des paramètres d'une antenne filaire, ou tout simplement par la découverte des innombrables possibilités de dessin et de calcul de **Galva**.

Jean-Paul, F5BU (f5bu[at]orange.fr)

Le programme Galva

Le programme **Galva** a été conçu au départ pour réaliser des cadrans de galvanomètres, et c'est seulement par la suite qu'il a été adapté pour les potentiomètres, CV, commutateurs et beaucoup d'autres possibilités, telles que l'incrustation d'images, le tracé de courbes de données d'un fichier, de plans de perçage, de face avant, de feuilles de log, etc.

La réalisation d'échelles de toutes sortes est possible. Les formes peuvent être courbes ou droites, et les graduations linéaires, fonctions d'une puissance, logarithmiques, spécifiques, etc.



Il s'agit d'un programme avec de très nombreuses possibilités, aussi un minimum d'apprentissage est bien sûr nécessaire. Pour cela il y a une aide en ligne, une aide contextuelle et de très nombreux fichiers exemples sont fournis.

Galva est un interpréteur de commandes incluant des commandes graphiques, c'est-à-dire que vous devez écrire une sorte de programme qui décrit votre graphique.

Pour cela vous disposez de différentes commandes ou instructions.

Par exemple : "Cercle = 20, 30, 10" va tracer un cercle dont le centre a les coordonnées 20, 30 (le centre est 20mm à droite et 30mm au-dessus du point de référence, qui par défaut est le coin inférieur gauche) et de rayon 10 mm. "Texte = 20, 40, bleu, GC, Mon Texte" va écrire "Mon Texte" en bleu Gras et Centré en 20, 40.

Avoir déjà programmé, quel que soit le langage qui a été utilisé, est évidemment un avantage, mais commencer avec **Galva** peut aussi être une manière de se mettre "en douceur" à la programmation. Il s'agit d'une programmation séquentielle, c'est-à-dire que les commandes sont exécutées dans l'ordre où elles apparaissent dans le code (programme). Si une instruction trace un grand rectangle blanc, tout ce qui a été tracé auparavant à cet endroit sera caché par lui. Les commandes "Stop" et "ListeVar" permettent de déceler facilement ce genre d'erreur.

Conditions d'utilisation : En résumé, le programme **Galva** est libre d'utilisation pour des applications non commerciales à condition d'envoyer une carte postale à l'auteur (voir plus en détails les conditions d'utilisation dans l'aide) et il peut être téléchargé sur <http://www.radioamateur.org/download/>.

Le fichier d'aide et de nombreux fichiers pdf d'exemples peuvent être consultés sans installer le programme.