

T.P. sur le tracé automatique des caractéristiques de la diode et du transistor

par Yvon ERHEL
Écoles de Coëtquidan, 56381 Guer Cedex

1. BUT DU T.P.

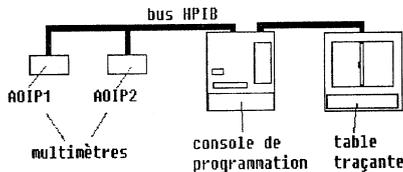
On se propose de faire étudier les caractéristiques statiques de la diode et du transistor pour en déduire leurs caractéristiques dynamiques.

Le nombre de courbes étant important, on utilise des tables traçantes numériques qui permettent de tracer les caractéristiques des composants rapidement.

2. MATÉRIEL UTILISÉ

- 1 microordinateur HP 9825 (ou tout PC/AT muni d'une interface IEEE 488) ;
- 2 multimètres AOIP munis de l'interface GPIB (A.O.I.P. MN 5121) ;
- 1 table traçante numérique standard IEEE ;
- 1 générateur BF fournissant un balayage « suffisamment lent » de la tension dans le domaine utile du composant étudié.

3. PRINCIPE ET DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ACQUISITION



Le système est composé de 2 multimètres, d'une console de programmation et d'une table traçante.

Il peut être considéré comme 2 multimètres automatiques commandant directement une table traçante. En branchant les 2 multimètres dans un montage électronique comme 2 appareils de mesure classiques, on va pouvoir tracer une courbe dont les points auront pour coordonnées les valeurs mesurées par chacun des 2 appareils.

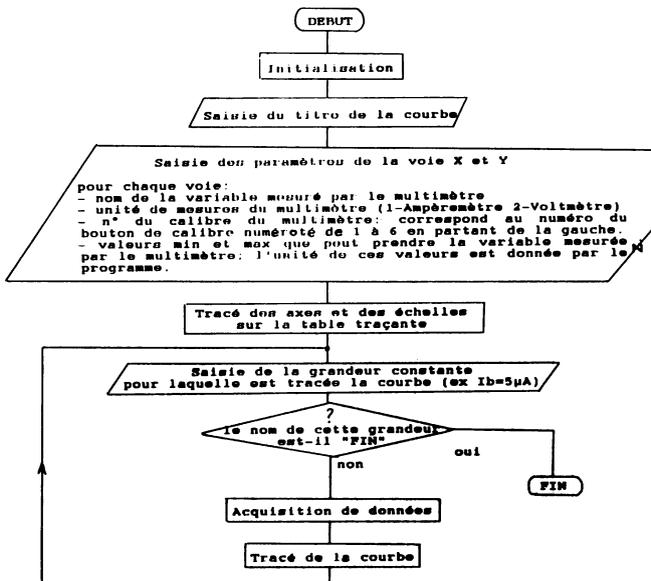
La console de programmation réalise la saisie des mesures provenant des 2 multimètres, les mémorise et les envoie vers la table traçante pour obtenir la courbe

Chaque multimètre correspond à une voie de mesure : voie 1 ou voie X (V_x) et voie 2 ou voie Y (V_y), qui commanderont respectivement l'axe X et l'axe Y de la table traçante. Chaque multimètre possède une adresse configurable grâce à des interrupteurs situés sur leur face arrière :

- adresse 03 pour le multimètre de la voie 1
- adresse 07 pour le multimètre de la voie 2

3.1. Description du programme

Le programme réalise la saisie des paramètres de la courbe et des calibres, l'acquisition des données et la sortie des résultats sur la table traçante. L'organigramme ci-dessous présente le fonctionnement général du programme et présente les paramètres saisis :



Le lancement du programme s'effectue en actionnant la touche «RUN». La saisie des informations est validée par la touche «CONTINUE».

3.2. Fonctionnement de l'acquisition de données

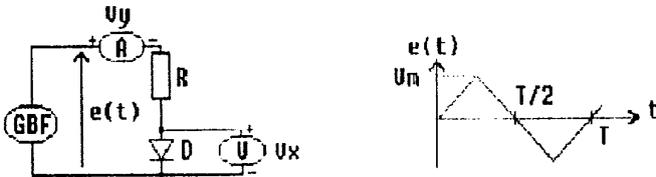
L'acquisition de données débute lorsqu'un des multimètres mesure une valeur inférieure à la valeur min. définie par l'utilisateur lors de la saisie des paramètres de chaque voie.

Elle se termine lorsqu'un des multimètres mesure une valeur supérieure à la valeur max définie lors de la saisie des paramètres de chaque voie.

Tant que l'acquisition de données n'est pas commencée, le programme affiche les mesures effectuées par les 2 multimètres.

4. ÉTUDE DE LA DIODE

On étudie la caractéristique de la diode $I_d = f(V_d)$ grâce au montage suivant :



D : diode de détection 1N 4148 ($I_{MAX} = 150 \text{ mA}$)

R : boîte AOIP 10 x 100 Ω

F : fréquence du GBF < 0,02 Hz

V_m : valeur crête de la tension du GBF = 10 V

- Calculer les valeurs limites de I_d et V_d lorsque :
 - la diode est passante : $I_{dmax} = ?$ $V_{dmax} = ?$,
 - la diode est bloquée : $I_{dmin} = ?$ $V_{dmin} = ?$.
- En fonction des valeurs précédentes, déterminer les calibres des 2 multimètres.
- Réaliser le montage, régler le GBF puis relever les mesures en lançant le programme.

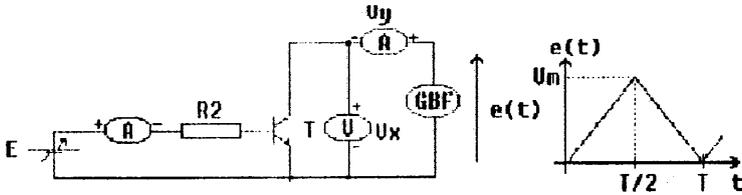
- Déterminer la tension de seuil de cette diode.
- Pour $I_d = 5 \text{ mA}$, déterminer la tension V_d , la résistance dynamique R_d . A partir de ces résultats, on retrouve les paramètres de $I_d = f(V_d)$:

$$I_d = I_s(\exp(e \cdot V_d / (m \cdot k \cdot T)) - 1)$$

5. ÉTUDE DU TRANSISTOR

5.1. Caractéristique $I_c = f(V_{ce})$ à $I_b = Cte$

Pour tracer cette caractéristique, on propose le montage suivant :



R_2 : boîte AOIP 5 x 100 000 Ω

E : source continue avec $0 \text{ V} < E < 15 \text{ V}$

T : transistor 2N 1711 ($P_{MAX} = 0,8 \text{ W}$; $I_{C_{MAX}} = 600 \text{ mA}$)

U_m : valeur crête de la tension en sortie du GBF de 10 V

F : fréquence du GBF $< 0,02 \text{ Hz}$

- Les valeurs limites des grandeurs électriques sont les suivantes :

$$0 \text{ mA} < I_c < 3 \text{ mA}$$

$$0 \text{ }\mu\text{A} < I_b < 20 \text{ }\mu\text{A}$$

$$0 \text{ V} < V_{ce} < 10 \text{ V}$$

En fonction des valeurs précédentes, on détermine les calibres des 2 multimètres.

- Réaliser le montage, régler le GBF puis relever les mesures $I_c = f(V_{ce})$ pour $I_b = 0 \text{ }\mu\text{A}$, $5 \text{ }\mu\text{A}$, $10 \text{ }\mu\text{A}$, $15 \text{ }\mu\text{A}$ et $20 \text{ }\mu\text{A}$.

5.2. Caractéristique $V_{be} = f(V_{ce})$ à $I_b = Cte$

Pour tracer cette caractéristique, reprendre le schéma précédent, en changeant le branchement de la voie Y de sorte que $V_y = V_{be}$.

- Les valeurs limites des grandeurs électriques sont les suivantes :

$$0 \text{ mA} < V_{be} < 0,7 \text{ V}$$

$$0 \text{ } \mu\text{A} < I_b < 20 \text{ } \mu\text{A}$$

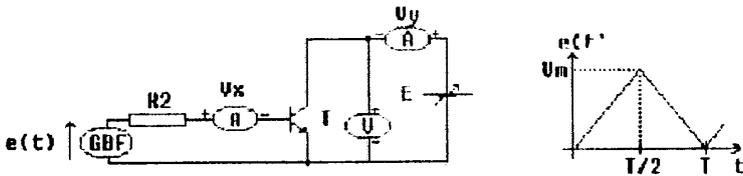
$$0 \text{ V} < V_{ce} < 10 \text{ V}$$

En fonction des valeurs précédentes, déterminer le nouveau calibre du multimètre Y.

- Réaliser le montage, régler le GBF puis relever les mesures $V_{be} = f(V_{ce})$ pour $I_b = 0 \text{ } \mu\text{A}$, $10 \text{ } \mu\text{A}$ et $20 \text{ } \mu\text{A}$. en lançant le programme.

5.3. Caractéristique $I_c = f(I_b)$ à $V_{ce} = \text{Cte}$

Pour tracer cette caractéristique, on propose le montage suivant :



R_2 : boîte AOIP $5 \times 100\,000 \text{ } \Omega$

U_m : tension crête fournie par le GBF de 10 V

F : fréquence du GBF $< 0,02 \text{ Hz}$

E = source continue qui permettra la réglage de V_{ce} , $0 < E < 10 \text{ V}$

- Les valeurs limites des grandeurs électriques sont les suivantes :

$$0 \text{ mA} < I_c < 3 \text{ mA}$$

$$0 \text{ } \mu\text{A} < I_b < 20 \text{ } \mu\text{A}$$

$$0 \text{ V} < V_{ce} < 10 \text{ V}$$

En fonction des valeurs précédentes, on détermine les calibres des 2 multimètres.

- Réaliser le montage, régler le GBF puis relever les mesures $I_c = f(I_b)$ pour $V_{ce} = 5 \text{ V}$ en lançant le programme.

- Quelle est l'influence de V_{ce} sur la caractéristique $I_c = f(I_b)$?

5.4. Caractéristique $V_{be} = f(I_b)$ à $V_{ce} = \text{Cte}$

Pour tracer cette caractéristique, reprendre le schéma précédent en changeant le branchement de la voie Y de sorte que $V_y = V_{be}$.

- Les valeurs limites des grandeurs électriques sont les suivantes :

$$0 \text{ mA} < V_{be} < 0,7 \text{ V}$$

$$0 \text{ } \mu\text{A} < I_b < 20 \text{ } \mu\text{A}$$

$$0 \text{ V} < V_{ce} < 10 \text{ V}$$

En fonction des valeurs précédentes, on détermine le nouveau calibre du multimètre Y.

- Réaliser le montage, régler le GBF puis relever les mesures $V_{be} = f(I_b)$ pour $V_{ce} = 5 \text{ V}$ en lançant le programme.
- V_{ce} a-t-il une grande influence sur la caractéristique $V_{be} = f(I_b)$?

6. EXPLOITATION DES CARACTÉRISTIQUES

On souhaite polariser notre transistor avec $V_{ce} = 5 \text{ V}$ et $I_c = 1 \text{ mA}$.

- Déterminer I_b et V_{be} .
- Déterminer les paramètres hybrides h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} du transistor pour le point de polarisation défini ci-dessus.
- Donner un schéma équivalent du transistor en régime dynamique (alternatif).
- Conclure.

Listing du programme d'acquisition des mesures

★ Sous-programme : «INITIALISATION»

But : Déclaration des tableaux utilisés dans le programme.

0: "INITIALISATI ON":	
1: 2+N	→ Utilisation de 2 multimètres.
2: dim T\$(1+N, 30)	} Réservation de tableaux.
3: dim C[N]	
4: dim L[2*N]	
5: dim U\$(12,2)	
6: dim Q[N]	
7: dim B\$(6)	
8: dim F[6]	
9: dim M\$(N*100, 10)	
10: dim P[N,100]	
11: dim O[4]	
12: dim O[2]	} Nombre de décimales utilisées pour chaque calibre de multimètre (6 calibres possibles).
13: dim E[2]	
14: dim W[2]	
15: 2+F[1]	
16: 4+F[2]	
17: 3+F[3]	
18: 2+F[4]	} Unité de la tension lue pour un calibre donné du multimètre.
19: 1+F[5]	
20: 3+F[6]	
21: "mV"→U\$(1)	
22: "V"→U\$(2)	
23: "V"→U\$(3)	
24: "V"→U\$(4)	} Idem pour l'intensité.
25: "V"→U\$(5)	
26: "V"→U\$(6)	
27: "mA"→U\$(7)	
28: "mA"→U\$(8)	
29: "mA"→U\$(9)	
30: "mA"→U\$(10)	
31: "mA"→U\$(11)	
32: "A"→U\$(12)	

Programme principal

Il fait appel aux sous-programmes : SAISIE

VALEURS LIMITES → CHAÎNE LIMITE
TRACE AXES
MESURES
CALCULS
COURBE

```

33: "DEBUT":
34: ent "Titre:" → Saisie du titre de la courbe.
    ,T#[1]
35: 1→V;#sb "SAI → Saisie des paramètres voie 1
    SIE" → (nom, unité, calibre 1 à 6).
36: 2→V;#sb "SAI → Saisie des paramètres voie 2
    SIE" → (nom, unité, calibre 1 à 6).
37: #sb "VALEURS → Programmation des valeurs limites sur les multimè-
    LIMITES" → tres.
38: 1→W[1];2→W[2 → Table traçante.
    ];#sb "TRACE
    AXES"
39: ent "nom de
    la courbe:";
    T#[1]
40: if T#[1]="FI → Si le nom du tracé est «FIN», le programme princi-
    N" or T#[1]="fi → pal s'arrête.
    n";ato "FIN"
41: #sb "MESURES → Acquisitions des mesures.
    "
42: #sb "CALCULS → Transformation des chaînes de caractères envoyées
    " → par les multimètres en nombres réels.
43: #sb "COURBE" → Tracé courbe.
44: jmp -5
45: "FIN":
46: end
  
```

★ Sous-programme : «SAISIE»

Paramètres d'entrée : V : entier Contient la voie sur laquelle va porter la saisie.

Paramètres de sortie : TS[V+1] → Titre de la voie (non variable).
 C[V] → Calibre du multimètre.
 L[2*V-1] → Limite basse voie V.
 L[2*V] → Limite haute voie V.

Paramètre interne : —

```

47: "SAISIE":
48: fxd 0 → Fixe le format d'affichage en entier.
49: dsp "paramet → Impression sur l'écran de la voie dont les paramètres
    re de la voie:" → vont être saisis.
    ,V
50: wait 2000 → Attente de 2 s.
51: ent "nom de → Nom de la variable mesurée par le multimètre.
    la variable:";
    T#[V+1]
52: ent "unite → Choix du type d'appareil.
    1→V 2→A :";Q[V]
  
```

```

53: if Q[V]<1
    or Q[V]>2;jmp -
    1
54: ent "calibre
    (1a6):",C[V]
55: if C[V]<1
    or C[V]>6;jmp -
    1
56: dsp "unite
    de mesure: ",
    U#[6*Q[V]-6+
    C[V]]
57: wait 1000
58: ent "valeur
    min:",L[2*V-1]
59: if abs(L[2*
    V-1]*10↑F[C[V]]
    )>20000;jmp -1
60: ent "valeur
    max:",L[2*V]
61: if abs(L[2*
    V]*10↑F[C[V]])>
    20000;jmp -1
62: if L[2*V-
    1]>L[2*V];jmp
    -4
63: ret

```

→ Vérification de la saisie du type d'appareil
 $1 \leq \text{type d'appareil} \leq 2$.
 → Choix du calibre de l'appareil.
 → Vérification du calibre de l'appareil choisi
 $1 \leq \text{calibre} \leq 6$.
 → Affichage à l'écran de l'unité qui va être utilisée
 pour entrer les valeurs min et max du paramètre mesuré par l'appareil.
 → Attente de 1 s.
 → Saisie de la valeur min.
 → Vérification de la valeur min par rapport au choix du calibre de l'appareil.
 → Saisie de la valeur max.
 → Vérification de la valeur max par rapport au choix du calibre de l'appareil.
 → Vérification que la valeur max est supérieure à la valeur min.
 → Fin du sous-programme. Retour au programme principal.

★ Sous-programme : «CHAÎNE LIMITE»

Paramètres d'entrée : V : entier Contient la voie.
 C[V] Calibre de la voie V.
 R Valeurs à transcrire en chaîne.

Paramètres de sortie : B[6] Chaîne de caractères.

Paramètre interne : Z,k

But : Transformer un nombre réel R en un chaîne de caractère qui puisse être envoyée vers le multimètre IEEE.

```

64: "CHAINE LIMITE":

```

```

65: R*10↑F[C[V]]
    →R
66: "+"→B#[1,1]
67: if sgn(R)<0:
    "-"→B#[1,1]
68: abs(R)→R
69: 10000→K
70: 2→I
71: int(R/K)→Z
72: char(48+Z)→B
    #[I,1]
73: R-K*Z→R
74: K/10→K
75: I+1→I
76: if I<=6;jmp
    -5
77: ret

```

→ On élimine autant de chiffres après la virgule qu'en possède l'affichage du multimètre.
 } Test du signe de R et affectation du caractère «+» ou «-» en fonction du signe dans B[1].
 } On ne prend que la valeur absolue de R
 K = 10 000 et I = 2.
 } Décomposition de chaque chiffre du nombre R et affectation de la chaîne B[1].
 → Fin de sous-programme.

★ Sous-programme : «VALEURS LIMITES»

Paramètres d'entrée : L[4]

→ Valeurs limites des paramètres mesurés.

Paramètres de sortie : —

Paramètre interne : R

But : Permet l'envoi des valeurs limites saisies dans le sous-programme «SAISIE» vers les multimètres respectifs.

78: "VALEURS LIMITES":	
79: wrt 703,"MFD "	} Utilisation du mode triggé, c'est-à-dire que la courbe de programmation génère un ordre «TRIG» de saisie d'une mesure.
80: wrt 707,"MFD "	
81: wrt 703,"MLC "	
82: 1→V:L[1]→R; asb "CHAINE LIMITE"	} Programmation du 1 ^{er} multimètre en mode limite avec définition de la limite basse et haute.
83: wrt 703,"L1B "&B\$	
84: 1→V:L[2]→R; asb "CHAINE LIMITE"	
85: wrt 703,"L2H "&B\$	
86: wrt 707,"MLC "	} Idem pour le 2 ^e multimètre.
87: 2→V:L[3]→R; asb "CHAINE LIMITE"	
88: wrt 707,"L1B "&B\$	
89: 2→V:L[4]→R; asb "CHAINE LIMITE"	
90: wrt 707,"L2H "&B\$	
91: ret	→ Retour au programme principal.

★ Sous-programme : «TRACE AXES»

Paramètres d'entrée :	w[2]	→ Voies affichées sur l'axe X (w[1]) et l'axe Y (w[2]).
	T\$[3]	→ Titre de la courbe et des voies.
	U\$[12]	→ Unités sur chaque voie.
	L[4]	→ Valeurs limites des paramètres mesurés.
Paramètres de sortie :	E[2]	→ Échelle ou pas de l'axe X et Y.
	D[2]	→ Coordonnée de l'origine du repère X_0 , Y_0 .
	D[4]	→ Nouvelles valeurs limites de la courbe fonction de l'échelle choisie.

Paramètre interne : R

But : Tracé automatique des axes, des échelles, et des titres des axes et de la courbe.

92: "TRACE AXES"	
:	
93: drnd(L[2* W[1]]-L[2*W[1]- 1],1)/10+E[1]	} Détermination de l'échelle de l'axe X et Y.
94: drnd(L[2* W[2]]-L[2*W[2]- 1],1)/10+E[2]	
95: E[1]*int(L[2 *W[1]-1]/E[1])→ D[1]	
96: E[1]*int(L[2 *W[1]]/E[1]+ .99999)→D[2]	
97: E[2]*int(L[2 *W[2]-1]/E[2])→ D[3]	} Détermination des nouvelles valeurs limites en fonction des échelles calculées auparavant.
98: E[2]*int(L[2 *W[2]]/E[2]+ .99999)→D[4]	
99: D[1]+D[1]	
100: if sgn(D[1])=-sgn(D[2]); 0→D[1]	} Détermination des coordonnées de l'origine des repères.
101: D[3]+D[2]	
102: if sgn(D[3])=-sgn(D[4]); 0→D[2]	
103: scl D[1]- E[1],D[2]+E[1], D[3]-E[2],D[4]+ E[2]	
104: axe 0[1], 0[2],E[1],E[2]	} Envoi vers la table traçante de la dimension de la fenêtre de travail.
105: csiz 1,2, .7,0	} Dessin des axes sur la table traçante.
	→ Définition d'une taille de caractère petite.

```

106: fxd
107: O[1]+R
108: plt R,O[2]-
    E[2]/2,1
109: lbl R
110: E[1]+R+R
111: if R<=O[2];
    jmp -3
112: O[3]+R
113: plt O[1]-
    E[1]/2,R,1
114: lbl R
115: E[2]+R+R
116: if R<=O[4];
    jmp -3
117: csiz 2,2, -
    .7,0
118: if O[2]-
    O[1]>=O[1]-O[1]
    ;plt (O[2]+O[1]
    )/2,O[4],1
119: if O[2]-
    O[1]<O[1]-O[1];
    plt (O[1]+O[1]
    )/2,O[4],1
120: lbl T#[1]
121: plt O[1]+
    .1*E[1],O[4]+
    E[2]/2,1
122: lbl T#[1+
    W[2]]
123: plt O[2],
    O[2]+E[2]/2,1
124: lbl T#[1+
    W[1]]
125: csiz 1,2,
    .7,0
126: plt O[1]+
    .1*E[1],O[4],1
127: lbl ("%U$[
    6*Q[W[2]]-6+
    C[W[2]]]&")
128: plt O[2],
    O[2]+.1*E[2],1
129: lbl ("%U$[
    6*Q[W[1]]-6+
    C[W[1]]]&")
130: ret

```

Dessin des valeurs numériques selon l'échelle sur l'axe X.

Idem axe Y.

→ Choix d'une taille de caractère plus grande.

Impression du titre de la courbe centré par rapport à la feuille et ne coupant pas les axes.

Impression du titre de l'axe Y.

Impression du titre de l'axe X.

→ Changement de taille caractère (petite).

Impression de l'unité de l'axe Y.

Impression de l'unité de l'axe X.

→ Retour au programme principal.

★ Sous-programme : «MESURES»

Paramètres d'entrée : —

Paramètres de sortie : I entier → Nombre de relevés effectués.
 M\$[2×100] → Chaînes de caractères contenant l'ensemble des relevés effectués.

But : Lecture des mesures provenant de 2 multimètres lorsque l'un d'eux a détecté une valeur limite basse jusqu'à ce que l'un deux détecte une valeur limite haute (ou au bout de 100 relevés maximum).

```

131: "MESURES":
132: tr9 703;
   tr9 707
133: red 703,
   M#[1]
134: red 707,
   M#[101]
135: dsp M#[1],
   M#[101]
136: if M#[1,1,
   1]#"B" and M#[1
   01,1,1]#"B";
   jmp -4
137: dsp "depart
   mesures"
138: I+I
139: tr9 703;
   tr9 707
140: red 703,
   M#[I]
141: red 707,
   M#[100+I]
142: if M#[I,2,
   2]="H" or M#[10
   0+I,2,2]="H";
   jmp 3
143: if (I+1+I)<
   =100;jmp -4
144: I-1+I
145: dsp "fin
   mesures"
146: ret
  
```

Attente de la détection d'une valeur limite basse renvoyée par l'un des deux multimètres, et affichage à l'écran des valeurs mesurées.

Départ des mesures et mémorisation des relevés jusqu'à ce que l'un des 2 multimètres indique une valeur limite haute ou lorsque 100 relevés ont été effectués.

→ Retour au programme principal.

★ **Sous-programme : «CALCULS»**

Paramètres d'entrée : I Nombre de mesures.
 M\$[2 × 100] Contient toutes les lectures des appareils.
 C[2] Calibres des appareils.

Paramètres de sortie : P[Z,100] Coordonnées X et Y correspondant aux lectures effectuées par les appareils.
 Z Nombre de mesures ou coordonnées valides.

But : Transformer l'ensemble des mesures chaînes de caractères contenues dans le tableau M\$ en nombre réels pour former les coordonnées des points à tracer.

```

147: "CALCULS":
148: 0+Z
149: 1+J
150: dsp J
151: if M#[J,1,
152:   ]="B" or M#[J,
153:   2,2]="H";jmp 5
154: if M#[100+
155:   J,1,1]="B" or
156:   M#[100+J,2,2]="
157:   H";jmp 4
158: Z+1+Z
159: 10↑(-F[C[1]
160:   ]) * val(M#[J,3,
161:   8]) → P[1,Z]
162: 10↑(-F[C[2]
163:   ]) * val(M#[100+
164:   J,3,8]) → P[2,Z]
165: if (J+1+J) <
166:   =1; jmp -6
167: ret
  
```

Transforme les chaînes de caractères en nombre réel, élimine les valeurs qui ne sont pas comprises entre les valeurs min et max, et un pour chaque couple de mesure effectuée.

Fin de sous-programme.

★ **Sous-programme : «COURBE»**

```

158: "COURBE":
159: dsp "depart
160:   courbe"
161: plt P[1,1],
162:   P[2,1],1
163: 1+J
164: plt P[1,J],
165:   P[2,J],2
166: if (J+1+J) <
167:   =Z; jmp -1
168: lbl T#[1]
169: ret
*2945
  
```

Paramètres d'entrée :

Z → Nombre de mesures valides.
 P[Z,100] → Limite des coordonnées X et Y des mesures effectuées.
 T\$[1] → Titre de la courbe ou nom du tracé.

But :

Tracer la courbe et le nom du tracé de la courbe.