

DEPOUILLEMENT DES DONNEES DE TERRAIN DE SIMULATION DE PLUIE
PROGRAMMES POUR CASIO FX-702P
Richard ESCADAFAL - GABES

S.T.O.M. Fonds Documentaire
 N° : 21512, ex 1
 Cote : B

L'utilisation de l'infiltromètre à aspersion a déjà fait l'objet de nombreuses publications auxquelles nous renvoyons le lecteur pour un exposé des objectifs scientifiques et de la méthodologie (cf. bibliographie). Nous développons actuellement cette technique en Tunisie, dans le cadre d'un programme de recherche mené au sein de la Direction des Sois.

Le but de cette note est simplement de présenter la méthode de calcul mise au point sur un ordinateur de poche ; ce type d'appareil étant de plus en plus répandu, les logiciels développés ici seront utiles à tous ceux qui utilisent la simulation de pluie sans pouvoir disposer de matériel informatique, en particulier les chercheurs isolés ou les équipes sur le terrain.

1. - CALCUL DU RUISSELLEMENT ET DES DONNEES CONNEXES

1. 1. - Conception générale

Comme pour les méthodes de calcul mises au point sur les ordinateurs de bureau ou "mini ordinateurs" (IRIS, 1983 ; POSS, 1984), le principe adopté est celui d'un dépouillement du limnigramme par relevé systématique des hauteurs de la courbe enregistrée, suivant un pas de temps régulier à choisir (cf. fig.1) Cependant le matériel utilisé étant pourvu d'une capacité mémoire beaucoup plus faible, les données sont introduites au fur et à mesure du calcul au lieu d'être stockées au préalable sur disquette.

Ce dépouillement se fait à partir du début du ruissellement en mesurant les hauteurs (y) par rapport à la base de la feuille (ou toute autre droite parallèle). Le ruissellement et le cumul de la lame ruisselée sont calculés entre chaque point en prenant la pente du segment sur l'intervalle de temps qui les sépare ; en effet ce dernier n'est pas toujours égal à un pas de temps entier, notamment au début du ruissellement ou à la fin de la pluie. Pour chaque point les valeurs de ruissellement calculées sont imprimées après l'introduction de y au clavier.

Par ailleurs au cours de l'enregistrement à chaque prélèvement d'échantillons d'eau, la hauteur d'eau enregistrée a diminué d'une valeur proportionnelle au volume prélevé. Ceci est pris en compte au moment du dépouillement en faisant précéder du signe (-) la hauteur mesurée au pas de temps suivant immédiatement un prélèvement. Ce codage permet de prévoir dans le programme d'ajouter un volume d'eau correspondant à celui du flacon à échantillon au moment du calcul du ruissellement.

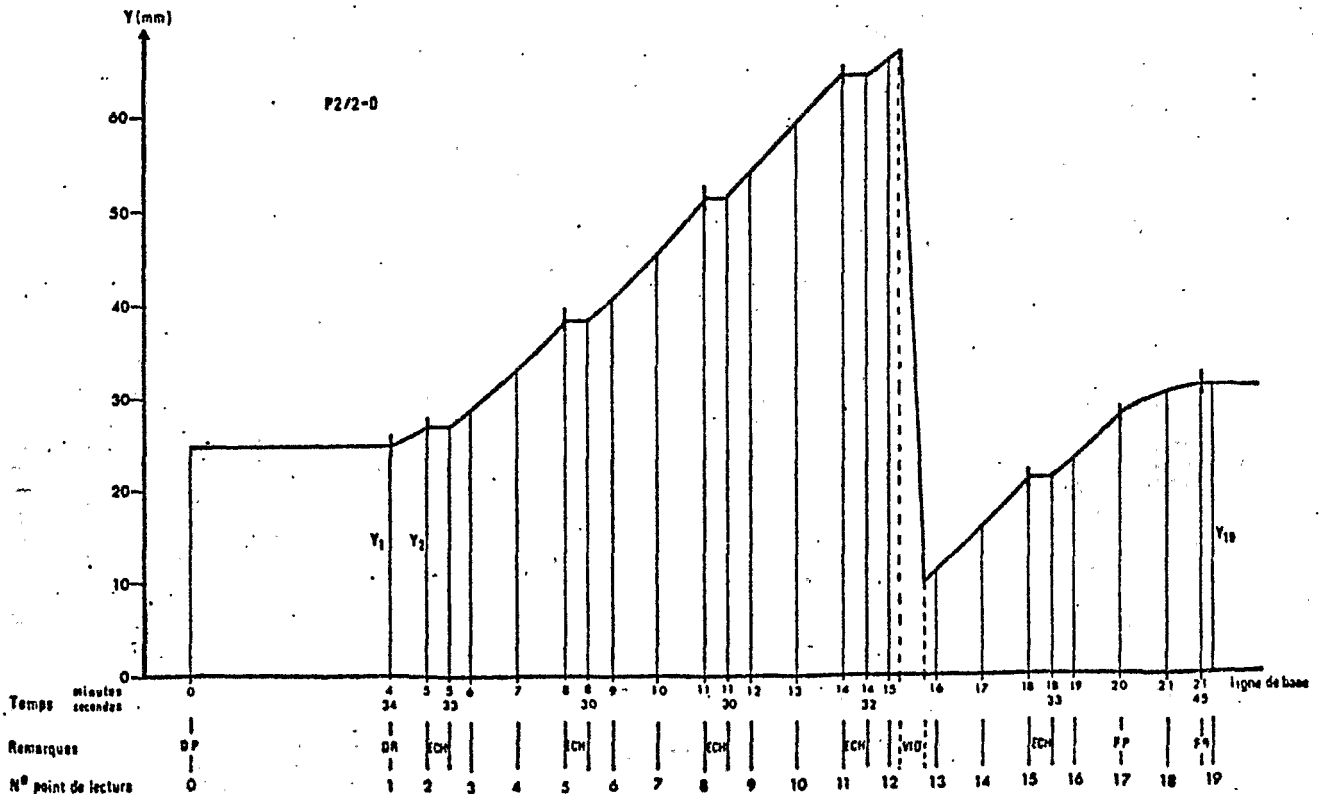


Fig. 1- Exemple de limnigramme et méthode de dépouillement (voir bordereau fig.2)

De la même façon un autre "accident" peut apparaître sur le limnigramme lorsqu'il a été affecté par une vidange. Cet accident est détecté dans le programme par le fait que le ruissellement calculé entre le point précédent et le point suivant cette vidange est négatif. Dans ce cas, après introduction d'un nouveau point, le ruissellement moyen pendant la vidange est interpolé entre les valeurs précédentes et suivantes.

Le programme se déroule automatiquement en incrémen- tant d'un pas pour chaque introduction de données jusqu'à attein- dre le temps de la fin du ruissellement, où il procède au calcul et à l'édition des valeurs suivantes :

- pluie utile
- pluie efficace
- lame ruisselée
- lame infiltrée
- détention récupérable

1. 2. - Programme

Le programme INFILTR 1 écrit en Basic comprend 1492 pas ou octets. Il est composé d'un programme principal (lignes 0 à 500), d'un sous-programme pour le calcul pas à pas (lignes 600 à 750) et de quatre petits sous-programmes d'introduction et d'édition des données.

```

P0: 1492 STEPS
20 WAIT 40:INP "DR
TE",B4
35 IF B4="E" THEN
85
40 INP "REF.",4:"H
.DEBUT(MIN.SEC)
",D,"DUREE(MIN.
SEC)",E
50 INP "I (MM/H)",
F,"PAS (MIN.)",
P
60 E=INT E+FRAC E/
.6
70 INP "Y DEB.P.(M
K)",6:"T DEB.R.
(MIN.SEC)",H,"T
FIN R.",Q
75 IF FRAC (Q/P)+0
:INP "ARRONDI S
.V.P.",Q
80 H=INT H+FRAC H/
.6
85 I=(INT (H/F)+1)
*P:H=2:T=0:H4="
":A0=0:A1=0:A2
=0
90 GSB 850
95 L=6:A=H:GSB 550
100 GSB 950
110 MODE 7:PRT "###
) ":4:PRT "LE
":B4:" A ":##.#
4:D:" H"
115 GSB 950
    
```

```

120 MODE 7:PRT "NO
* Y(MM) *R(MM/
H)"
130 GSB 900
140 M=3:L=Y:A0=A2
145 FOR I=I+P TO IN
T E STEP P
150 GSB 600
160 NEXT I
165 IF I-P+E THEN I
80
170 IF I-P+Q:X=L:FR
T M-1:">R":I-P
:" MIN:F.P.":60
TO 230
175 PRT "FIN SEQ.":
GOTO 300
180 PRT M:">Y DE F
.P.":INP X
190 IF X=X THEN 499
200 Y=X:A2=(Y-L)/(E
-I+P)*6:I=T+(Y-
L)/10
210 GSB 900
220 H=M+1:C=L:L=Y
230 GSB 850
235 IF Y=X THEN 499
240 A=E:GSB 550
250 GSB 900
260 M=M+1:C=L:L=Y
270 IF I=Q THEN 300
300 FOR I=I+P TO Q
STEP P
310 GSB 600
320 NEXT I
380 U=(L-X)/10:S=F*
E/60:V=F+H/60:G
SB 950
    
```

```

390 MODE 7
400 PRT ###.#:"P.UT
ILE = ":S:" MM
P.IMBIB.= ":Y:
" MM "
410 PRT ###.#:"P.EF
FIC.= ":S-V:" M
M LAM.RUIS=":
T:" MM"
420 PRT ###.#:"LAM.
INF.= ":S-T:" M
M DET.RES.= ":
U:" MM"
450 GSB 950
490 GOTO 20
499 PRT "CORR. INFOS
STBLE":GOTO 85
500 END
550 A2=(Y-L)/(I-A)*
6:T=T+(Y-L)/10:
RET
600 GSB 850
601 IF Y=X THEN 610
602 IF M=3:I=I-P:60
TO 85
603 IF I>E THEN 499
604 IF R=1 THEN 499
605 I=I-2*P:H=H-1:T
=T-A1*P/60:L=C:
GOTO 750
610 R=P:IF Y=0:A2=(
Y-L)/P*6:GOTO 6
30
620 W3="E":Y=ABS Y:
A2=(Y-L+2.54)/P
*6
    
```

```

630 IF A2>F:INP "R)
P! (OK=0)",J:IF
J=0:I=I-P:GOTO
750
640 IF A2=0 THEN 67
0
650 INP "VIDANGE (O
K=0)",J:IF J=0:
I=I-P:GOTO 750
660 Z=1:GOTO 740
670 IF Z=1 THEN 700
680 T=T+A2*P/60:GSB
900
690 GOTO 740
700 A1=(A0+A2)/2:T=
T+(A1+A2)*P/60
710 MODE 7:PRT ##:H
-1:" * VIDANGE*
":##.#:A1
720 GSB 900
730 Z=0:R=1
740 C=L:L=Y:M=M+1:A
0=A1:A1=A2
750 RET
850 PRT M:">Y A":I
:" MIN":INP Y:
RET
900 MODE 7:PRT ##:M
I:" * ":##.#:Y:
" ":M4:" * ":A2
910 MODE 8:W4=" ":R
ET
950 MODE 7:PRT "---
-":MODE 8:RET
    
```

n° de ligne	commentaire
20 à 70	introduction des données de référence
75	test si FR arrondi à un pas entier
60 et 80	conversion en minutes centésimales
85	calcul du 1er pas après DR (pt 2)
90 à 130	calcul du ruissellement entre pt 1 et 2
145	boucle d'incrément P jusqu'à la fin de pluie
150	appel du sous programme 1
601	test si code de demande de correction
602 à 604	test si demande de correction possible
605	correction : calcul un pas en arrière et demande réintroduction donnée précédente
610	calcul du ruissellement R (variable A2) après test si y négatif
620	y négatif : calcul du ruissellement avec volume flacon et message "E" (variable W3)

630	message si R > P, répondre y si OK, si réponse ≠ Ø, retour à l'introduction de y
640	test si R < 0
650	R < 0 : message "VIDANGE", répondre Ø si OK, si réponse ≠ Ø retour à l'introduction de y
660	variable Z : indicateur de vidange
670	test si vidange au pas précédent
680	calcul lame cumulée T
700	calcul de R(-1) et R après vidange
740	retour
165	test si FP tombe sur un pas entier ; ce n'est pas toujours le cas (incidents)
170	test si FP = FR - si oui message "fin de séquence" ligne 175 - si non message : fin de pluie à E min
180	introduction y en fin de pluie
300	boucle de calcul du ruissellement après fin de pluie (celui-ci peut se poursuivre sur plusieurs pas, surtout pour les pas de temps courts)
380 à 450	calcul et édition des résultats complémentaires

1. 3. - Utilisation

Pour utiliser ce programme au mieux, nous avons mis au point un bordereau de dépouillement qui reprend toutes les données utilisées (cf. fig. 2). Après le choix du pas de temps (en minute et fraction de minute), le dépouillement consiste à noter dans les colonnes prévues à cet effet la hauteur (y) de chaque point (en mm et 1/10 de mm). Dans la colonne de gauche, on porte les observations (échantillons, FP, FR....) dans les colonnes centrales les données concernant les échantillons (cf. infra), les deux colonnes de droite sont réservées aux listing des résultats.

Une fois le bordereau prêt, en répondant au fur et à mesure aux questions affichées, le calcul se déroule normalement imprimant les résultats après chaque y introduit. Plusieurs tests et messages permettent d'éviter certaines incohérences (*), mais il reste toujours possible d'introduire des données erronées.

Une possibilité de correction est prévue lorsque, après introduction d'une donnée erronée, exécution du programme et impression du résultat, on s'aperçoit à la relecture du texte imprimé qu'une erreur s'est glissée (en effet ce texte rappelle la donnée introduite). Dans ce cas, il faut taper le chiffre "R" et le programme refait le calcul en arrière puis demande de ré-introduire la donnée précédente. Cependant cette correction n'est pas toujours possible après une vidange ou en fin de pluie ; dans ce cas le message "CORRECTION IMPOSSIBLE" apparaît et le programme retourne au début pour recommencer l'introduction des données.

1. 4. - Limitations

Ce problème des corrections qui ne sont pas toujours possibles constitue une première limitation. D'autre liées au principe du dépouillement sont moins importantes : ainsi il faut que les prélèvements et les vidanges se déroulent à l'intérieur d'un pas de temps et donc bien choisir ces temps au moment de l'expérimentation (minutes entières ou paires p. ex.) et adapter le pas de temps au moment du dépouillement.

Cependant d'autres contraintes limitent l'utilisation du programme : lors des pluies complexes chaque séquence doit être traitée séparément et d'autre part il n'est pas possible de procéder à un lissage des résultats pour atténuer les fluctuations liées aux erreurs de lecture.

2. - CALCUL DES TRANSPORTS SOLIDES

2. 1. - Conception

Par mesure de la turbidité des échantillons d'eau prélevées à intervalles réguliers il est possible de calculer, connaissant le ruissellement, le débit solide au moment de chaque prélèvement. La somme entre DR et FR de tous les débits solides ponctuels donne la quantité totale de terre exportée en dehors de la parcelle d'essai au cours de la pluie ("érosion").

Il n'est cependant pas possible de faire des prélèvements très rapprochés sous peine de ne pouvoir obtenir aucun enregistrement du ruissellement. Le calcul de l'érosion se fait donc à partir d'interpolation entre des mesures plus ou moins rapprochées suivant le débit à l'exutoire de la parcelle d'essai.

(*) cf. supra, en particulier lignes 630 et 170

Direction des Sols ORSTOM

INFILTROMETRE

BORDEREAU DE DEPOUILLEMENT DES LIMNIGRAMMES PAR MICRO-ORDINATEUR

DATE : 22/03/84 REFERENCES EXEMPLE P2/2/10

HEURE DEBUT PLUIE : 11 h 36' DUREE : 20' 00"

INTENSITE REELLE : 5.8 MM/H PAS DE TEMPS : 1' 00"

OBSERV.	NO	TEMPS(N.S)	Y (MM)	EPELEVEMENTS	
				ORIGEE	CARRÉE (G/L)
DEB. P.	0	0100			
DEB. R.	1	0114	2.417		
ECH.	2	0100	2.619	33"	2.60
	3	0100	-2.910		
	4	0100	2.215		
ECH.	5	0100	3.513	30"	1.13
	6	0100	-4.015		
	7	0100	2.516		
ECH	8	0100	5.112	30"	1.13
	9	0100	-5.412		
	10	0100	5.917		
ECH	11	0100	6.412	32"	1.10
	12	0100	-6.617		
VIDANGE	13	0100	1.019		
	14	0100	1.515		
ECH	15	0100	2.110	33"	1.02
	16	0100	-2.310		
FP	17	0100	2.510		
	18	0100	3.016		
FR	19	0100	3.214		
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
	27				
	28				
	29				
	30				
	31				
	32				
	33				
	34				
	35				
	36				
	37				
	38				
	39				
	40				
	41				
	42				
	43				
	44				
	45				
	46				
	47				
	48				
	49				
	50				
	51				
	52				
	53				
	54				
	55				
	56				
	57				
	58				
	59				
	60				
	61				
	62				

***) EXEMPLE P2-2/0
LE 220384 A 11.36 H

NO *	Y(MM)	*R(MM/H)
2 *	26.9	* 17.2
3 *	29.0	E* 27.8
4 *	32.8	* 22.8
5 *	38.3	* 33.8
6 *	40.3	E* 27.2
7 *	45.6	* 31.8
8 *	51.2	* 33.6
9 *	54.2	E* 33.2
10 *	59.1	* 29.4
11 *	64.3	* 31.2
12 *	66.1	E* 26.8
13 *	VIDANGE*	26.8
14 *	15.5	* 27.6
15 *	21.0	* 33.0
16 *	23.0	E* 27.2
17 *	28.0	* 30.0
18 *	30.6	* 15.6
19 *	31.4	* 4.8

P. UTILE = 19.3 MM
P. INDEB. = 4.1 MM
P. EFFIC. = 15.2 MM
LIM. RUIS = 7.9 MM
LIM. INF. = 11.4 MM
DET. RES. = 0.3 MM

**REF : EXEMPLE P2/2

1 DE 4.2 A 5.0 MIN
RUISSELT = 27.7 MM/H
DEB. SOL. = 1.23 GR/MH
EROSION = 0.47 GR/M2

2 DE 5.0 A 8.0 MIN
RUISSELT = 30.5 MM/H
DEB. SOL. = 0.57 GR/MH
EROSION = 2.70 GR/M2

3 DE 8.0 A 11.0 MIN
RUISSELT = 30.5 MM/H
DEB. SOL. = 0.57 GR/MH
EROSION = 1.72 GR/M2

4 DE 11.0 A 14.0 MIN
RUISSELT = 26.6 MM/H
DEB. SOL. = 0.52 GR/MH
EROSION = 1.65 GR/M2

5 DE 14.0 A 18.0 MIN
RUISSELT = 27.7 MM/H
DEB. SOL. = 0.46 GR/MH
EROSION = 1.97 GR/M2

6 DE 18.0 A 20.0 MIN
RUISSELT = 27.7 MM/H
DEB. SOL. = 0.46 GR/MH
EROSION = 0.92 GR/M2

ER. TOT. : 9.4 GR/M2

Fig.2 - Utilisation du bordereau de dépouillement

Les contraintes liées au matériel utilisé évoquées au chapitre précédent ne nous permettent pas de stocker en mémoire les valeurs de ruissellement calculées par le programme INFILTRO 1.

Le programme de calcul des débits solides et érosion SOLIDO 1 est donc conçu pour fonctionner indépendamment. Les données de ruissellement sont obtenues en utilisant la durée du prélèvement c.à.d. le temps de remplissage du flacon (1). Cette mesure du ruissellement est précise et simultanée à celle de la turbidité ; il est ainsi possible de faire des calculs d'érosion sans passer par le limnigramme.

Le calcul est basé sur une double approximation : la turbidité et le ruissellement varient linéairement entre chaque point de mesure ; en d'autres termes, le calcul de l'érosion se fait par interpolation linéaire entre les débits solides (cf. fig. 3), ce qui permet de construire un programme assez simple.

2. 2. - Programme

De point en point le programme SOLIDO 1 calcule l'aire des trapèzes constituant la courbe des débits solides puis le total cumulé ; le débit solide au moment de la fin de pluie étant estimé égal à celui de la dernière mesure, et celui suivant la fin de la pluie est négligé.

```

LIST
10 WRIT 30:VAC :IN
  P "REF",S
20 INP "NBRE ECH."
  ,N,"T DES R.(MI
  N.SEC)",R
30 INP "FIN PLUIE(
  MIN.SEC)",F
40 R=INT R*FRAC R/
  .6:F=INT F*FRAC
  F/.6:Z=R
50 GSB 600

60 MODE 7:PRT "**R
  EF I":S:GSB 600
70 FOR I=1 TO N
80 PRT "MIN. PRELE
  VT NO":I:INP N
90 PRT "DUREE(SEC.
  ) PRLVT":I:INP
  D
100 PRT "CH.(GR/L)
  PRLVT":I:INP C
110 S=15.24*C/D:GSB
  500
125 GSB 600

130 P=S:Z=H
140 NEXT I
150 W=F:S=P:GSB 500
155 GSB 600
160 MODE 7:PRT "ER.
  TOT.":S:Z:T:
  " GR/M2"
170 GSB 600
180 GOTO 10:END
500 E=(S+F)*(H-Z)/2
  :T=I+E
505 MODE 7
507 PRT I:" DE":S:
  S:Z:" R "H:" M
  IN"

510 PRT "RUISSLET="
  :S:Z:914.4/D:
  " MM/H"
520 PRT "DEB.SOL.="
  :S:Z:91:" GR/M
  H"
530 PRT "EROSION ="
  :S:Z:91:" GR/M
  2"
550 MODE 8:RET
600 MODE 7:PRT "
  ---":MODE 8:RET
  
```

n° de ligne	commentaires
10 à 30	introduction des temps et nombre éch. (n)
40	conversion en min centésimales
70	début de boucle (n tours)
80 à 100	introduction du temps, de la durée et de la charge du prélèvement
100	calcul débit solide, appel du sous programme d'édition (ligne 500)
150	après fin de boucle calcul de l'aire entre le dernier échantillon et la fin de pluie
160	édition érosion totale
500 à 600	sous programmes d'édition

Compte tenu de la précision recherchée dans ce type de mesure, on peut considérer que les approximations utilisées sont acceptables et que ce petit programme est satisfaisant. Cependant avec une machine plus performante, il sera possible de coupler les deux programmes et d'utiliser les données de ruissellement calculées pas à pas par INFILTRO 1 au lieu de données interpolées, ce qui serait plus rigoureux et d'une utilisation plus simple.

(1) les flacons de prélèvement utilisés sont de type 250 cc à bouchon vissant (volume exact : 254 ± 2 cm³)

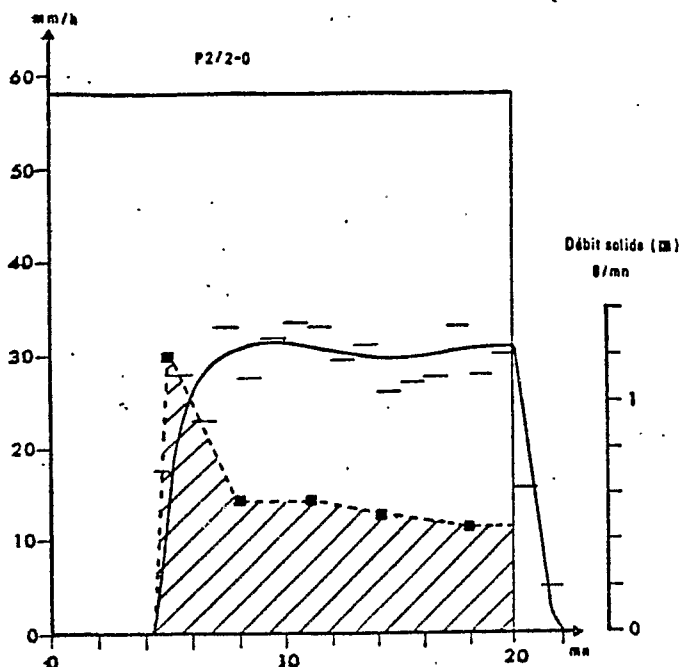


Fig. 3 - Résultats du dépouillement : ruissellement et débit solide

Abréviations utilisées

- DP début de la pluie
- DR début de ruissellement
- ECH échantillon
- FP fin de la pluie
- FR fin du ruissellement
- VID vidange

PROGRAMMES DE DEPOUILLEMENT DE LIMNIGRAMMES DISPONIBLES:

POUR HP 9845

Jean-Marc IRIS (Adiopodoumè)

POUR HP 45

Roland POSS (Lomé)

POUR GOUPIL

Olivier PLANCHON (Adiopodoumè)

POUR CASIO FX-702P

Richard ESCADAFAL (GABES)