

Analyse des groupes d'âge physiologique des femelles de glossines

Calcul de la courbe de survie, du taux de mortalité, des âges maximal et moyen ⁽¹⁾

(Programmes réalisables sur H.P. 41 et H.P. 67/97)

Jean-Paul GOUTEUX ⁽²⁾

Résumé

L'auteur présente une méthode permettant d'estimer la courbe de survie des femelles de glossines à partir de la composition par groupes d'âge physiologique et propose un programme de calcul sous deux versions, l'une réalisable sur Hewlett-Packard 41 et l'autre sur H.P. 67/97. Sous réserve d'un échantillonnage représentatif de la population totale, ce programme permet d'en calculer les différents paramètres caractéristiques : taux de mortalité et de survie, âge maximal et moyen. Dans le cas contraire, l'âge moyen peut être pris comme un bon paramètre synthétique de la structure par âge de l'échantillon. En standardisant les échantillons, ce programme permet de comparer rapidement les variations de tous ces paramètres dans le temps et dans l'espace.

Mots-clés : Glossines — Age physiologique — Courbe de survie — Méthode de calcul — Programme de calcul.

Summary

ANALYSIS OF PHYSIOLOGICAL AGE GROUPS OF GLOSSINA FEMALES. CALCULATION OF LONGEVITY CURVE, MORTALITY RATE, MAXIMUM AND MEAN AGES

The author presents a method which enables to estimate the longevity curve of glossina females from the composition by groups of physiological ages and proposes a calculation program in two versions, one available on Hewlett-Packard 41 and the other on H.P. 67/97.

If one has a representative sample of the entire population, this program will allow to calculate the different characteristic parameters : mortality and survival rates, maximum and average ages.

If a representative sample cannot be obtained average age can be taken as a good synthetic parameter of the structure by age of the sample.

With a standardization of the sample, this program allows to quickly compare the variations of all these parameters in time and space.

Key words : Glossina — Physiological age — Longevity curve — Calculation methods — Calculation program.

(1) Ce travail a été réalisé dans le cadre des accords passés entre l'O.R.S.T.O.M. et l'O.C.C.G.E.

(2) Entomologiste médical O.R.S.T.O.M. Institut de Recherches sur la Trypanosomiase et l'Onchocercose, B.P. 1500, Bouaké, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

Cet article propose un programme permettant d'établir la courbe de survie à partir des groupes d'âge physiologique des femelles de glossines et d'obtenir les différents paramètres caractéristiques de la population échantillonnée.

Le programme proposé est réalisable sur calculatrices programmables Hewlett-Packard 41 et H.P. 67/97, calculatrices dont disposent actuellement la plupart des laboratoires.

Ce programme reprend des méthodes de calcul originales, mises au point en collaboration avec C. Bachmann et décrites dans les annexes 1 et 2 d'une publication récente (Gouteux, 1982). Un rappel de ces méthodes est donné brièvement.

La réalisation d'un tel programme a été motivée par l'étude bio-écologique des glossines effectuée dans le foyer de trypanosomiase humaine de Vavoua (Côte d'Ivoire). Il permet de supprimer des calculs fastidieux dans l'étude de la dynamique des populations. Sous réserve d'un échantillonnage aussi peu biaisé que possible, il permet de calculer les paramètres caractéristiques des populations, tels que les taux de mortalité et de survie, l'âge maximal et moyen. En standardisant les échantillons, rapportés tous à 1 000 glossines, il permet de comparer rapidement les variations dans le temps et dans l'espace de ces paramètres.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES PRÉCONISÉS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE

2.1. Matériel

L'emploi du piège biconique (Challier et Laveissière, 1973) à cône inférieur bleu roi (Challier *et al.*, 1977) original ou modifié (Gouteux *et al.*, 1981) permet d'obtenir des échantillons de populations de glossines plus représentatifs que ceux obtenus par la capture au filet.

Par ailleurs, son emploi selon des normes strictement définies permet des expériences de captures renouvelables et comparables dans le temps et dans l'espace. De telles expériences sont difficiles, voire impossibles à réaliser rigoureusement avec des équipes capturant au filet.

Pour ces raisons, l'emploi du piège biconique est préconisé pour réaliser les captures.

2.2. Méthodes

Il importe de tenir compte de l'écologie particulière de l'espèce étudiée.

Dans le cas de *Glossina palpalis s.l.*, il a été mis en évidence à Vavoua (Gouteux, 1982), une variation des préférences écologiques des femelles au cours de leur existence. Très schématiquement, les très jeunes femelles (nullipares) se trouvent, comme les mâles, en milieu ombragé, sous couvert forestier, alors que les femelles pares dominent dans les écotones et les milieux plus ouverts. Il est donc nécessaire d'équilibrer l'échantillonnage si l'on veut obtenir une représentation de l'ensemble de la population (au sens génétique du terme) et non d'une fraction représentative d'un biotope particulier.

Comme le mode d'action du piège est fondé sur son attractivité visuelle, il s'ensuit qu'en milieu découvert où le piège est bien visible, les rendements à la capture sont particulièrement élevés. La première règle à respecter est donc de piéger dans tous les biotopes et non seulement dans les milieux où les glossines sont capturées en plus grand nombre.

Il est évident que seule l'appréhension de l'ensemble de la population peut permettre d'en établir les paramètres caractéristiques.

3. RAPPEL SUR L'ÂGE PHYSIOLOGIQUE : LA MÉTHODE DE CHALLIER (1965)

L'appareil reproducteur des glossines femelles comporte quatre ovarioles, dont Challier (1965) a montré le fonctionnement régulier et alternatif. Le premier follicule se développe dans l'ovariole droit supérieur, le second dans l'ovariole gauche supérieur, le troisième dans l'ovariole droit inférieur, le quatrième dans l'ovariole gauche inférieur. La position de l'ovule le plus avancé dans les ovarioles permet donc de déterminer quatre groupes d'âge physiologique : O, I, II et III. Les ovulations reprennent ensuite dans le même ordre. Après chaque ovulation il ne reste dans l'ovariole que le vestige de l'ovulation précédente. C'est-à-dire qu'à partir du deuxième cycle d'ovulation, il n'est plus possible de les dénombrer à un cycle près. Les quatre groupes d'âge physiologique suivants doivent donc s'écrire : $IV + 4n$, $V + 4n$, $VI + 4n$ et $VII + 4n$.

Les études déjà réalisées, tant sur le terrain (Laveissière et Kiéno, 1982) qu'au laboratoire (Itard, 1966), permettent d'attribuer approxima-

tivement une durée de 10 jours à chaque groupe d'âge et donc 40 jours environ à un cycle ovarien : les nullipares (groupe O) et les jeunes paires (groupe I, II, III) ont donc respectivement : 0 à 10 j, 10 à 20 j, 20 à 30 j, 30 à 40 j. Les vieilles paires (groupes IV + 4n à VII + 4n) quant à elles, ont respectivement : 40 à 50 j + 40n, 50 à 60 j + 40n, 60 à 70 j + 40n, 70 à 80 j + 40 n. n est égal à 0 pour le second cycle d'ovulation et augmente de 1 à chaque cycle ovarien.

4 MÉTHODES DE CALCUL

4.1. Courbe de distribution des âges

A partir des quatre données observées correspondant aux groupes IV + 4n à VII + 4n, il est possible de déterminer la courbe correspondant aux groupes IV et plus. En effet des considérations théoriques comme les résultats observés font admettre que ces données s'ajustent sur une exponentielle négative simple.

Si $f(t) = a e^{-bt}$ est la courbe estimée de décroissance (groupe IV et plus)

$F(t) = a e^{-bt} + a e^{-b(t+T)} + a e^{-b(t+2T)} + \dots$ est la courbe observée (groupe IV + 4n à VII + 4n) où T représente un cycle de 4 ovulations, soit environ 40 jours.

On a donc $F(t) = a e^{-bt} (1 + e^{-bT} + e^{-2bT} + e^{-3bT} + \dots)$

L'expression entre parenthèses est une progression géométrique de raison e^{-bT}

$$\text{d'où : } F(t) = a e^{-bt} \cdot \frac{1}{1 - e^{-bT}}$$

On voit que seul le coefficient est modifié, le paramètre de l'exposant restant inchangé.

La courbe ajustée (par la méthode des moindres carrés) aux quatre points observés permet de définir les paramètres de l'équation :

$$F(t) = A e^{-bt}$$

$$\text{où } A = \frac{a}{1 - e^{-bT}} \text{ d'où } a = A (1 - e^{-bT})$$

$f(t) = A (1 - e^{-bT}) e^{-bt}$ est la courbe estimée de distribution des âges (courbe 1).

Cette courbe permet de définir les quatre points correspondant aux groupes IV à VII.

4.2. Courbe de survie

Le calcul de la courbe de survie (courbe 2) se fait alors en recherchant la courbe ajustée par la méthode des moindres carrés à ces quatre nouveaux points et aux quatre points donnés par les quatre premiers groupes d'âge.

Pour avoir la même échelle des ordonnées ($N = f(t)$, t étant porté en abscisse), le nombre total de femelles disséquées est ramené à 1 000 glossines. Il s'agit d'une variation d'échelle qui ne change en rien l'allure de la courbe de survie et ne modifie donc pas les taux de survie et de mortalité. Cela permet par contre de comparer les âges maximaux et moyens d'échantillons de tailles différentes.

4.3. Test de validité des courbes estimées

Les coefficients de détermination « r » des courbes 1 et 2 sont calculés afin de tester l'adéquation des données à une distribution exponentielle (2 et 6 ddl respectivement, soit pour $p \leq 0,05$, $R1 \geq 0,95$ et $R2 \geq 0,71$ respectivement). En cas de données ne vérifiant pas l'hypothèse d'une distribution exponentielle (au seuil choisi), on ne peut effectuer les calculs suivants, qui reposent sur cette hypothèse. La pratique montre que c'est souvent le cas lorsque les effectifs sont très faibles (inférieurs à 50), mais aussi lorsque l'échantillonnage est biaisé (non représentatif de l'ensemble de la population).

Lorsque la population est déséquilibrée par un événement de type catastrophique (épidémie brutale, épandage d'insecticide etc...) l'étude de ces deux coefficients permet de localiser et de quantifier l'anomalie, au niveau des nullipares et jeunes paires (coefficient R2) ou au niveau des vieilles paires (coefficient R1).

4.4. Taux de mortalité et de survie

Si l'on considère que l'échantillon est bien représentatif de la population totale et si cette population est en équilibre (sans fluctuations trop importantes), on peut alors considérer que cet échantillon est statistiquement représentatif de l'évolution dans le temps d'une population théorique.

Si l'on assimile la courbe de distribution des âges à une exponentielle décroissante, le coefficient de régression b correspond à un taux de mortalité constant. Ce taux est défini comme la proportion de glossines mourant par jour dans une population donnée.

En réalité le taux de mortalité varie avec l'âge des glossines, mais ce qui précède est généralement une assez bonne approximation, comme cela a été montré (annexe 2, Gouteux, 1982).

Le taux de survie journalier, défini comme le rapport du nombre de glossines du jour J au nombre de glossines du jour $J + 1$ est : e^{-b} .

4.5. Age maximal et âge moyen

A partir de la courbe de survie des glossines $N = a e^{-bt}$, il est facile de calculer l'âge maximal « m » qui correspond à la valeur de t pour $N = 1$.

$$\text{On a : } m = \frac{\log 1/a}{-b}$$

L'âge moyen « x » est calculé par intégration :

$$\int_{t=1}^t = x a e^{-bt} = \int_{t=1}^m a e^{-bt}/2$$

soit :

$$e^{-bx} - e^{-b} = \frac{e^{-bm} - e^{-b}}{2} \text{ et } x = \text{Log} \frac{(e^{-bm} + e^{-b})}{2} \cdot \frac{1}{-b}$$

5. COMPARAISON AVEC LA MÉTHODE DE SAUNDERS (1967)

Saunders (1967) a donné une méthode de calcul

MODE OPÉRATOIRE

- Appel du programme
- Introduction du nombre total de glossines disséquées
- Introduction successive du nombre de glossines trouvés pour les différents groupes d'âge physiologique (0 à III, IV + 4n à VII + 4n).

En appuyant successivement sur la touche R/S, la calculatrice affiche les résultats suivants :

- Premier coefficient de détermination (courbe de distribution des âges pour les vieilles paires)
- Second coefficient de détermination (courbe de survie, Les coefficients de la courbe ajustée (a et b), b est une estimation du taux de mortalité journalier
- L'estimation du taux de survie journalier
- Les estimations des âges maximal et moyen

Touche	Affichage
XEQ « AGE »	« TOTAL = ? »
R/S	0 = ?
R/S	I = ?
R/S	II = ?
R/S	III = ?
R/S	IV = ?
R/S	V = ?
R/S	VI = ?
R/S	VII = ?

R/S	R1 = ...
R/S	R2 = ...
R/S	a = ...
R/S	b TAUX = ...
R/S	SURVIE =
R/S	AGE MAX =
R/S	AGE MOY. =

de la « structure probable par groupe d'âge » faisant intervenir l'ensemble des groupes d'âge. La méthode proposée ici pour calculer les groupes d'âge théoriques IV et plus, ne fait intervenir que les quatre groupes d'âge observés : IV + 4n à VII + 4n. Elle présente donc l'avantage de ne pas préjuger du taux de mortalité des glossines âgées de moins de 40 jours, qui, comme le montrent certains exemples (Gouteux, 1982) peut présenter une variation non logarithmique.

La méthode de Saunders fait appel à la même hypothèse (ajustement sur une exponentielle négative) ; cependant en cas d'irrégularité de la distribution des nullipares et jeunes paires, elle est inapplicable, alors que la méthode proposée donne des résultats acceptables.

D'autre part, même avec une distribution régulière des glossines âgées de moins de 40 jours, l'utilisation de cette méthode donne des résultats plus vraisemblables. On trouve ainsi dans l'exemple donné par Challier (1973) pour un échantillon de 157 glossines une durée maximale de survie de 123 jours contre 155 jours avec la méthode de Saunders (0,94 glossine). Notons qu'en extrapolant pour une population de 1 000 glossines (standard utilisé par le programme), l'âge maximal est de 184 jours.

6. PROGRAMME DE CALCUL

6.1. Pour H.P. 41

Le listage de ce programme est donné dans l'annexe 1.

ANALYSE DE L'ÂGE PHYSIOLOGIQUE DES GLOSSINES

— Calcul des points de la courbe de survie (sous-programme « XX »)
 Introduction d'une valeur de X en jours
 Affichage du nombre de glossines correspondant
 Introduction d'une nouvelle valeur de X etc...

R/S X = ?
 R/S Y = ...
 R/S X = ?

6.2. Pour H.P. 67/97

Le listage de ce programme est donné dans l'annexe 2.

MODE OPÉRATOIRE

— Appel du programme : appuyer sur la touche A.
 — Même ordre d'introduction des données que précédemment.
 — Même ordre de sortie des résultats que précédemment.
 — Calcul des points de la courbe de survie : appuyer sur la touche C, introduction de X, appuyer sur la touche R/S, la calculatrice affiche la valeur de Y correspondant.
 Introduction d'une nouvelle valeur de X et ainsi de suite.

6.3. Exemple de contrôle

ENTRÉE DES DONNÉES

TOTAL = 398
 0 = 142
 I = 62
 II = 48
 III = 26
 IV + 4n = 41
 V + 4n = 36
 VI + 4n = 23
 VII + 4n = 20

SORTIE DES RÉSULTATS

R1 = 0,972
 R2 = 0,960
 a = 284,117
 b TAUX = 0,031
 SURVIE = 0,969
 AGE MAX = 182
 AGE MOY = 23

CONCLUSION

Une étude de l'écodistribution, réalisée sur

un cycle annuel, a montré l'intérêt de cette méthode de calcul en tant que moyen d'approche des caractéristiques biologiques des populations de glossines. Elle a permis de montrer que le taux de survie des deux principales espèces du foyer de Vavoua : *G. palpalis* et *G. pallicera* est étroitement lié aux conditions climatiques et en particulier à la tension de vapeur d'eau à 16 heures (moment où elle est minimale). La liaison est maximale pendant la saison sèche et la saison des pluies. Pendant les inter-saisons, les facteurs biotiques peuvent intervenir de manière plus visible (Gouteux et Laveissière, 1982).

Au cas où l'échantillonnage n'est pas représentatif de la population totale, ce programme a été utilisé avec profit pour comparer entre eux des échantillons prélevés simultanément dans différents biotopes et pour suivre les variations dans le temps d'échantillons prélevés identiquement dans un même endroit (Gouteux et Laveissière, *op. cit.*). Dans ce cas, il faut choisir l'un des paramètres calculé comme paramètre représentatif de la structure par âge de l'échantillon, sans autre signification biologique. L'utilisation de « l'âge moyen » comme paramètre synthétique est particulièrement approprié, étant donné sa sensibilité aux petites fluctuations. Dans ce sens, ce programme peut être utilisé par exemple pour mettre en évidence des variations circadiennes ou saisonnières ou encore pour estimer l'impact d'une lutte anti-tsétsé.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
 le 18 juin 1982.

BIBLIOGRAPHIE

- CHALLIER (A.), 1965. — Amélioration de la méthode de détermination de l'âge physiologique des glossines. Études faites sur *Glossina palpalis gambiensis* Vanderplanck, 1949. *Bull. Soc. Path. exot.*, 57 : 985-991.
- CHALLIER (A.), 1973. — Écologie de *Glossina palpalis gambiensis* Vanderplanck, 1949 en savane d'Afrique Occidentale. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 64, Paris, 274 p.
- CHALLIER (A.), EYRAUD (M.), LAFAYE (A.) et LAVEISSIÈRE (C.), 1977. — Amélioration du rendement du piège biconique pour glossines (*Diptera : Glossinidae*), par l'emploi d'un cône inférieur bleu. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XV, n° 3 : 283-286.
- CHALLIER (A.) et LAVEISSIÈRE (C.), 1973. — Un nouveau piège pour la capture des glossines (*Glossina*, Diptera, Muscidae) : Description et essai sur le terrain. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XI, n° 4 : 251-262.
- GOUTEUX (J.-P.), 1982. — Observations sur les glossines d'un foyer forestier de trypanosomiase humaine en Côte d'Ivoire. 5. Peuplement de quelques biotopes caractéristiques : plantations, forêts et galerie forestière, en saison des pluies. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XX, n° 1 : 41-62.
- GOUTEUX (J.-P.), CHALLIER (A.) et LAVEISSIÈRE (C.),

1981. — Modification et essais du piège à glossines « Challier-Laveissière ». *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XIX, n° 2 : 87-99.
- GOUTEUX (J.-P.) et LAVEISSIÈRE (C.), 1982. — Écologie des glossines en secteur pré-forestier de Côte d'Ivoire. 4. Dynamique de l'écodistribution en terroir villageois. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XX, n° 3 : 199-229.
- ITARD (J.), 1966. — Cycle de l'oogénèse chez les femelles de *Glossina tachinoides* West. et détermination de l'âge physiologique. *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays. trop.*, 19 : 331-350.
- LAVEISSIÈRE (C.) et KIÉNOU (J.-P.), 1982. — Écologie de *Glossina tachinoides* Westwood, 1850, en savane humide d'Afrique de l'Ouest. IX. Relation entre l'âge physiologique et l'âge chronologique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. et Parasitol.*, vol. XX, n° 1 : 19-28.
- SAUNDERS (D. S.), 1967. — Survival and reproduction in a natural population of the tsetse fly *Glossina palpalis* (Robineau-Desvoidy). *Proc. R. ent. Soc. Lond.*, (A), 42 : 129-137.

ANNEXE 1

Listage du programme pour H.P. 41

<u>N°</u>	<u>Affichage</u>	<u>Commentaires</u>	<u>N°</u>	<u>Affichage</u>	<u>Commentaires</u>
01	LBL "AGE"		58	RCL 18	coefficient de détermination R1
02	XEQ "INIT	Initialisation du programme	59	40	-----
03	TONE 3		60	ST- 08	Initiatialisation du compteur
04	"TOTAL=?"		61	RCL 19	"temps", calcul et stockage du
05	PROMPT	Mise en mémoire du nombre	62	*	nouveau coefficient.
06	1000	total de femelles disséquées	63	ETX	$a = A (1 - e^{-bT})$
07	/	multiplié par 10 ⁻³	64	RCL 18	
08	STO 09	-----	65	*	
09	TONE 0	Mise en mémoire des quatre	66	-	
10	"3=?"	premières valeurs observées	67	STO 18	-----
11	PROMPT	(groupes 0 à III) rapportées	68	4,00701	
12	XEQ 03	à 1000 glossines	69	STO 09	Calcul et mise en mémoire des
13	STO 08				valeurs estimées des groupes
14	TONE 1				IV à VII
15	"I=?"		70	LBL 06	
16	PROMPT		71	RCL 08	
17	XEQ 03		72	INT	
18	STO 01		73	XEQ "KK"	
19	TONE 2		74	STO IND 09	
20	"II=?"		75	ISG 09	
21	PROMPT		76	INT	
22	XEQ 03		77	ISG 05	
23	STO 02		78	GTO 06	-----
24	TONE 3		79	0	
25	"III=?"		80	ST- 09	Initialisation des compteurs
26	PROMPT		81	00	(temps et registre) et des
27	XEQ 03		82	ST- 09	registres statistiques
28	STO 03		83	CLE	-----
29	45,07510				
30	STO 08		84	LBL 07	
31	XEQ 08		85	XEQ 00	
32	TONE 4		86	RCL IND 09	Chargement des valeurs obser-
33	"IV=?"		87	XEQ 01	vées (groupes 0 à III) et es-
34	PROMPT	Chargement des quatre valeurs	88	ISG 09	timées (groupes IV à VII)
35	XEQ 03	observées suivantes dans les	89	GTO 07	dans les registres statistiques
36	XEQ 01	registres statistiques (groupes	90	XEQ 02	-----
37	XEQ 08	IV + 4n à VII + 4n)	91	BEEP	Calcul et affichage des résul-
38	TONE 5		92	"R2"	tats :
39	"V=?"		93	XEQ "II"	- coefficient de détermination R2
40	PROMPT		94	RCL 18	- coefficient a
41	XEQ 03		95	"a"	
42	XEQ 01		96	XEQ "II"	- coefficient b (taux de morta-
43	XEQ 08		97	RCL 19	lité)
44	TONE 6		98	"b TAUX"	
45	"VI=?"		99	CHS	
46	PROMPT		100	XEQ "II"	
47	XEQ 03		101	CHS	
48	XEQ 01		102	ETX	
49	XEQ 08		103	"SURVIE"	- taux de survie
50	TONE 7		104	XEQ "II"	
51	"VII=?"		105	RCL 18	
52	PROMPT		106	1/X	
53	XEQ 03		107	LN	
54	XEQ 01	Calcul des coefficients A et b	108	RCL 19	
55	XEQ 02	de la courbe ajustée $y = A$	109	/	
56	"R1"	e^{-bx} , calcul et affichage du	110	STO 16	
57	XEQ "II"				

N°	Affichage	Commentaires	N°	Affichage	Commentaires
111	"AGE MAX"	- âge maximal			
112	FIX 0				
113	XEQ "II"				
114	RCL 19				
115	E+X				
116	RCL 19		170	RCL 14	Calcul et stockage de b(R19)
117	RCL 16		171	RCL 10	
118	*		172	RCL 12	
119	E+X		173	XEQ 04	$b = \frac{n \sum x \log y - (\sum x) \cdot (\sum \log y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$
120	+		174	RCL 16	
121	2		175	/	
122	/		176	STO 19	
123	iN		177	RCL 17	
124	RCL 19		178	RCL 12	
125	/		179	*	Calcul du coefficient de détermination R
126	"AGE MOY"	- âge moyen	180	RCL 19	
127	XEQ "II"		181	RCL 14	
128	LBL "YA"		182	*	
129	TONE 9		183	+	
130	"X=?"	Calcul des points de la courbe ajustée	184	RCL 12	
131	PROMPT		185	X↑2	
132	XEQ "KK"	$y = a e^{-bx}$	186	RCL 15	
133	"Y"		187	/	$R^2 = \frac{(n \sum x \log y - \sum x \cdot \sum \log y)^2}{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum (\log y)^2 - (\sum \log y)^2]}$
134	XEQ "II"		188	STO 26	
135	GTO "XX"		189	-	
136	LBL 03		190	RCL 13	
137	RCL 09	Standardisation des données	191	RCL 20	
138	/		192	-	
139	RTN		193	/	
140	LBL 00		194	STO 20	
141	RCL 08		195	SQRT	Sous-programme utilisé pour le calcul de a et b
142	INT		196	RTN	
143	ENTER↑	Introduction de x et incrémentation du compteur "temps"	197	LBL 04	
144	ISG 00		198	*	
145	RTN		199	STO 20	
146	RTN		200	RDN	
147	LBL 01		201	*	
148	LX		202	RCL 20	
149	X<Y	Transformation de y et chargement de x et logy dans les registres statistiques	203	-	
150	Σ+		204	RTN	
151	RTN		205	LBL "KK"	Calcul de y en fonction de x
152	LBL 02		206	RCL 19	$y = a e^{-b \cdot x}$
153	RCL 15		207	*	
154	RCL 11	Calcul de a et stockage (R18)	208	E+X	
155	RCL 10		209	RCL 18	
156	RCL 10		210	*	
157	XEQ 04	$a = \exp \left[\frac{\log y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x \cdot \log y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \right]$	211	RTN	
158	STO 16		212	LBL "II"	Affichage des résultats
159	RCL 12		213	"I="	
160	RCL 11		214	ARCL X	
161	RCL 10		215	AVIEW	
162	RCL 14		216	STOP	
163	XEQ 04		217	RTN	
164	RCL 16		218	LBL "INIT"	Initialisation du programme
165	/		219	CLE	
166	STO 17		220	ΣREG 10	
167	E+X		221	FIX 3	
168	STO 18		222	END	
169	RCL 15				

ANNEXE 2

Listage du programme pour H.P. 67/97

001	*BLB	21 11	064	GSBB	23 12	128	RCL0	36 02
002	DSP3	-63 03	065	ST07	35 07	129	=	-24
003	CLRG	16-53	065	GSB5	23 05	130	RTN	24
004	F2S	16-51	067	GSBB	23 12	131	*LBLB	21 12
005	CLRG	16-53	068	ST08	35 06	132	RCLP	36 12
006	F2S	16-51	069	7	07	133	x	-35
007	R/S	51	070	0	00	134	e*	33
008	3	03	071	ST-9	35-45 05	135	RCLA	36 11
009	10*	16 33	072	*LBL6	21 06	136	x	-35
010	=	-24	073	ISZI	16 26 46	137	RTN	24
011	ST00	35 00	074	RCL9	36 09	138	*LBL2	21 02
012	R/S	51	075	RCL1	36 45	139	F2S	16-51
013	GSBB	23 06	076	GSB1	23 01	140	SPC	16-11
014	ST01	35 01	077	GSB5	23 05	141	RCL8	36 06
015	R/S	51	078	RCL1	36 46	142	RCL4	36 04
016	GSBB	23 06	079	0	08	143	RCL6	36 06
017	ST02	35 02	080	X#Y?	16-32	144	x	-35
018	R/S	51	081	GT06	22 06	145	PCL9	36 09
019	GSBB	23 08	082	GSB2	23 02	146	=	-24
020	ST03	35 03	083	RCLA	36 11	147	-	-45
021	R/S	51	084	PRTX	-14	148	ENT↑	-21
022	GSBB	23 08	085	RCLB	36 12	149	ENT↑	-21
023	ST04	35 04	086	CH5	-22	150	RCL4	36 04
024	4	04	087	PRTX	-14	151	X#	53
025	5	05	088	SPC	16-11	152	RCL9	36 09
026	ENT↑	-21	089	CHS	-22	153	=	-24
027	ST09	35 09	090	e*	33	154	RCL5	36 05
028	R/S	51	091	PRTX	-14	155	X#Y	-41
029	GSB4	23 04	092	RCLA	36 11	156	-	-45
030	GSB4	23 04	093	1/X	52	157	=	-24
031	GSB4	23 04	094	LN	32	158	ST08	35 12
032	GSBB	23 09	095	RCLB	36 12	159	x	-35
033	GSB1	23 01	096	=	-24	160	RCL6	36 06
034	GSB2	23 02	097	ST00	35 00	161	X#	53
035	F2S	16-51	098	DSP0	-63 00	162	RCL9	36 09
036	0	00	099	PRTX	-14	163	=	-24
037	ST04	35 04	100	RCLB	36 12	164	CHS	-22
038	ST05	35 05	101	e*	33	165	RCL7	36 07
039	ST06	35 06	102	RCLB	36 12	166	+	-55
040	ST07	35 07	103	RCL0	36 00	167	=	-24
041	ST08	35 08	104	x	-35	168	JX	54
042	ST09	35 09	105	e*	33	169	PRTX	-14
043	F2S	16-51	106	+	-55	170	RCL6	36 06
044	3	03	107	2	02	171	RCL4	36 04
045	0	00	108	=	-24	172	RCLB	36 12
046	ST-9	35-45 05	109	LN	32	173	x	-35
047	RCLA	36 11	110	RCLB	36 12	174	-	-45
048	4	04	111	=	-24	175	RCL9	36 09
049	0	00	112	PRTX	-14	176	=	-24
050	RCLB	36 12	113	RTN	24	177	e*	33
051	x	-35	114	*LBL4	21 04	178	ST0A	35 11
052	e*	33	115	GSBB	23 08	179	F2S	16-51
053	RCLA	36 11	116	GSB1	23 01	180	PTN	24
054	x	-35	117	GSB5	23 05	181	*LBL1	21 01
055	-	-45	118	R/S	51	182	LN	32
056	ST0A	35 11	119	RTN	24	183	X#Y	-41
057	RCL9	36 09	120	*LBL5	21 05	184	Σ+	56
058	GSBB	23 12	121	1	01	185	RTN	24
059	ST05	35 05	122	0	00	186	*LBLC	21 13
060	GSB5	23 05	123	ST+9	35-55 09	187	R/S	51
061	GSBB	23 12	124	RCL9	36 05	188	PRTX	-14
062	ST06	35 06	125	ENT↑	-21	189	GSBB	23 12
063	GSB5	23 05	126	RTN	24	190	PRTX	-14
			127	*LBL8	21 06	191	GT0C	22 13
						192	RTN	24
						193	R/S	51