

N° 01 / ENT.76
du 17.02.1976

N° 6.096 / Doc.Tech.OCCGE

EVALUATION D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE DES LARVES D'A.GAMBIAE
DANS LES PREMIERS GITES EN EAUX: LES TROUS D'IRRIGATION EN BORDURE
DES RIVIERES

L.-O.BRUN⁺ et A.DYEMKOUMA⁺⁺

RÉSUMÉ

Au cours de la saison des pluies de 1975, les auteurs ont effectué une série d'expérimentations dans les trous situés en bordure de rivière, qui servent d'alimentation en eau pour les villageois et leurs jardins potagers.

Des larves sauvages de stade IV, sont introduites dans chacun des gîtes étudiés dont la taille varie de 10 à 320 dm².

Les densités larvaires retenues pour les expérimentations sont de 0,5 à 16 l. par dm². Au cours de chaque essai, 30 coups de louche ou de filet sont successivement donnés et les larves capturées, dénombrées pour chacun des trente prélèvements.

L'analyse statistique faite par le Dr. LAFAYE, fait ressortir les limites d'une telle méthode d'échantillonnage.

Pour les densités semblables, la surface du gîte influence de façon importante sur les résultats, de même le brassage initial qui a pour but de briser les agrégats semble être d'autant moins efficace que le gîte est grand.

Malgré les conditions optimum d'échantillonnage, la variation du nombre de larves par coup de louche ou coup de filet est importante et la portée pratique de cette méthode d'évaluation des populations préimaginales demeure faible.

- 7 MAI 1976
O.R.S.T.O.M.

+ : Entomologiste médical de l'O.R.S.T.O.M.

++ : Infirmier spécialiste d'Entomologie médicale OCCGE.

Collection de Référence

n° 8176 Ent. Red. B

I. INTRODUCTION

Au cours de la précédente saison des pluies, nous avons pu mettre en évidence les principales difficultés soulevées par la mise au point de techniques d'échantillonnages adaptées aux stades larvaires d'anophèles (BRUN et DYEMKOUMA, 1974). Ces difficultés étaient dues à la grande diversité des gîtes dans leurs formes, tailles, profondeurs, aspects de leur contour, présence ou absence de végétation, et, enfin, à la variation de l'ensemble de ces paramètres au cours d'une même période brève. De même, les difficultés pour trouver une technique adaptée à certains types de gîte (mares très peu profondes situées en bordure de route) avaient été évoquées.

A la suite de nouvelles observations sur le terrain (BRUN et DYEMKOUMA, 1975), nous avons décidé de tester une seule méthode d'échantillonnage dans un seul type de gîte, à partir de densités anophélienne connues.

Les gîtes que nous avons testés, appartiennent à la première catégorie de gîtes colonisés par A.gambiae. Ce sont des trous de taille variable, allant de 30-40 cm de diamètre à plus de 2 mètres. Les plus petits gîtes, se situent dans le lit de la rivière et les plus grands se rencontrent sur les berges. Ces gîtes servent à alimenter en eau les villageois et leurs jardins potagers.

Ce sont les premiers gîtes en eaux au début de la saison des pluies et ils constituent donc le lieu principal de reproduction des populations adultes de saison sèche.

L'étude particulière de ces gîtes présentait donc une grande importance sur le plan de la dynamique des populations d'A.gambiae en zone de savane soudanienne.

Etant donné leurs formes (bords généralement abruptes), ces gîtes permettent d'utiliser aussi bien la louche que le filet comme moyen de capture. D'autre part, leur faible surface permet un prélèvement en tous les points si nécessaire.

Par une série d'expérimentations, nous avons cherché à déterminer laquelle des deux techniques précédentes semblait le mieux convenir à ce type de gîte et quels renseignements on pouvait espérer d'un tel échantillonnage. Etant donné la répartition très agrégative des larves dans ces gîtes (observation personnelle), il nous a semblé souhaitable de modifier volontairement cette répartition, pour tendre vers une répartition plus homogène.

Lors d'une première série d'observations, nous avons cherché à mélanger les larves dans le volume d'eau du gîte. Pour cela, un brassage à la louche précédait chaque prélèvement qui avait également lieu au moyen de la louche. Cette technique a été appliquée pour les expérimentations I et 2.

+ : La plupart des gîtes ont 60 à 90 cm de diamètre, ceux qui dépassent cette taille sont généralement d'anciens puits dont les bords se sont effondrés.

Lors d'une nouvelle série d'échantillonnage, (expérimentations 5,6,7, 8,9,10,11,12,13), la technique de capture utilisée fut un petit filet plat à fines mailles de nylon. Un seul brassage précède alors l'ensemble des trente prélèvements au filet. Ce brassage unique a pour but de briser les agrégats du gîte et d'approcher d'une répartition des larves aussi homogène que possible sur la surface du gîte. Les prélèvements au filet se font ^{par} remontée verticale du filet qui prélève alors une portion donnée de la surface.

D'après nos observations dans des gîtes semblables, colonisés naturellement, les fortes densités oscillent entre 5 et 10 larves par décimètre carré. Après avoir systématiquement vérifié l'absence de larves dans les gîtes à échantillonner, nous avons introduit un nombre croissant de larves, correspondant à des densités de 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 larves/dm².

Les captures résultant des expérimentations 3 et 4 ont porté sur des populations naturelles inconnues au départ et les résultats n'ont pas été analysés.

II. DETAILS DU PROTOCOLE ET DES TECHNIQUES UTILISEES

II.1. Expérimentations I et 2:

Des prospections sont effectuées dans divers gîtes de même type que ceux servant aux expériences d'échantillonnage. Les stades IV sont récoltés et groupés au hasard par lots de 5-10-20-40-80 et 160 larves. Ces lots correspondent, pour les gîtes étudiés (surface = 1000 cm²) à des densités allant de 0,5 larve à 16 larves/dm².

Les larves sont placées dans le gîte (au centre) puis, après environ une heure de repos, l'échantillonnage est pratiqué comme suit:

Deux premiers brassages vigoureux sont effectués, la louche plongeant totalement dans l'eau et faisant une rotation complète le long des bords, vers la droite puis vers la gauche.

Ensuite 30 prélèvements "semblables" sont effectués, précédés à chaque fois par une même technique de brassage: une rotation complète de la louche, sens de rotation des aiguilles d'une montre, puis un retour sur une demi circonférence et un prélèvement au centre. La louche restant toujours immergée.

30 plateaux sont préalablement disposés sur une table afin de permettre de compter indépendamment chaque coup de louche, numéroté alors de I à 30.

L'expérience I a été effectuée des densités les plus faibles aux densités les plus fortes; l'expérimentation 2 a porté d'abord sur les fortes densités, ensuite sur les faibles.

II-2. Expérimentation n°5

Des gîtes de 10 dm² ont de nouveau été utilisés avec des densités larvaires de 0,5 à 16 larves/dm².

Les densités les plus fortes ont été testées en premier. La technique de capture a été différente de celle utilisée pour les échantillonnages précédents.

Après deux rotations vigoureuses de la louche à droite puis à gauche, pour homogénéiser le milieu et d'obtenir la répartition des larves la plus aléatoire possible, un petit filet à maille nylon de 14 x 19 mailles par cm, est utilisé. Son diamètre est de 10cm, et sa profondeur de 2cm. Il a donc plus la configuration d'une passoire très peu creuse que d'un filet à lépidoptères miniature.

Le filet est introduit obliquement de façon à ce qu'aucune larve ne soit prise lors de sa pénétration dans l'eau, ensuite le filet est remonté en un point quelconque vers la surface où il capture toutes les larves stades III ou IV présentes.

II.3. Expérimentation n°6

80 larves stade IV capturées lors de l'expérimentation n°4 ont été remises dans leur gîte.

Après environ une heure de repos, deux rotations de la louche sont effectuées à droite puis à gauche pour obtenir une répartition au hasard des larves présentes. Ensuite, de la même manière que pour l'expérimentation n°5, les larves sont recapturées par des coups de filets plongés dans l'eau obliquement puis relevés verticalement en un point quelconque du gîte.

30 coups de filet ont ainsi été donnés successivement.

II.4. Expérimentation n°7

Le protocole utilisé a été semblable à celui de l'expérimentation n°5, seul l'ordre de passage des densités a été inversé, cette expérimentation ayant débuté avec les faibles densités.

II.5. Expérimentation n°8

Le même gîte que celui utilisé pour l'expérimentation n°6 fut retenu pour cette expérimentation.

Les densités de larves employées étaient toujours de 0,5 l. à 16 larves/dm² ce qui donne (pour ce gîte d'environ 80dm²) 40 larves à 1280 larves.

Etant donné la grande surface du gîte, le fait que l'expérimentation dans son ensemble doit être effectuée dans des conditions semblables et que le grand nombre de larves utilisées était important, les essais furent effectués des densités les plus faibles aux densités les plus fortes. Seules étaient remplacées, à l'issue de chaque série de prélèvements, les larves capturées. Les prélèvements ont été effectués comme pour les expérimentations 5-6-7 après une seule agitation préalable et un repos du gîte d'environ 2 minutes. Les captures sont effectuées au petit filet nylon.

II.6. Expérimentations 9-10-11-12-13

Toutes ces expérimentations ont porté sur des gîtes naturels de taille variable. Les densités larvaires ont été les mêmes que précédemment, de même que le protocole de capture.

III. RESULTATS

Tous les résultats bruts sont regroupés dans les tableaux I à 5, ci-après.

Nous constatons que, pour des gîtes de même surface (10dm²) et de densité larvaire semblable (0,5 à 16 larves par dm²), la première technique utilisée (brassage avant chaque prélèvement à la louche) pour homogénéiser les larves dans le volume d'eau du gîte, donne de moins bons résultats qualitatifs (rapport du nombre de larves par unité de surface au nombre moyen de larves par prélèvement capturées) et quantitatifs (nombre de larves capturées à l'issue de 30 prélèvements) que la deuxième technique adoptée pour l'ensemble des expérimentations 5 à 13 (brassage initial puis prélèvement au filet).

Nous constatons également que, bien que l'échelle des densités anophéliennes retenues soit la même pour les petits gîtes (10dm²) que pour les grands (320dm²), nous avons une amplitude croissante du nombre de larves au coup de filet quand on passe des petits gîtes aux grands gîtes. Pour une densité de 8 larves/dm², l'amplitude constatée pour des gîtes de 10dm² (expérimentations 5 et 7) est de 0 à 4 ou ^{de} 0 à 9 alors que dans un gîte de 320 dm², nous pouvons attraper, pour cette même densité, 0 à 62 larves en un seul coup de filet.

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'analyse statistique n°171.Doc-Stat/⁶² du Dr. A.LAFAYE, ci-jointe, permet de faire ressortir les limites d'utilisation d'une telle méthode d'échantillonnage.

La précision obtenue reste très faible, les variations les plus importantes étant notées pour des gîtes d'une même surface pour les densités faibles. De même, il apparaît que la taille du gîte ne doit pas être trop importante, sinon le brassage initial des larves est pratiquement impossible à effectuer correctement et nous ne pouvons obtenir, de ce fait, une répartition homogène des larves en surface.

Il est regrettable de constater que, bien que nous ayons opéré dans les meilleures conditions de travail/^{possibles} (facilité de capture en tous les points du gîte du fait de leur petite taille et de la forme abrupte de leurs bords), et en partant d'effectifs de larves connus, l'analyse statistique des résultats ne permet d'arriver qu'à une évaluation très approximative des densités réelles de larves dans le gîte.

En tout état de cause, le prélèvement et le décompte individuel des effectifs capturés demeure peu pratique sur le terrain.

TABLEAU I.- Expérimentations portant sur des gîtes de 10 dm²

Expérimentation n°1 (capture à la louche)

Expérimentation n°2 (capture à la louche)

N° du prélèvement	Nombre de larves par dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
1	4	5				
2	3	1	1		1	
3	4	1			1	
4	2	2	2			
5			1			
6	1	1		1		
7	2				1	
8	1	1				
9						
10		1				
11		1				
12						
13						
14	1					
15		1			1	
16	2	2				
17		1				
18			1			
19	2					
20	2		1			
21		1				1
22	3	1				
23	1	1	1	1		
24	1					1
25						
26		2	1	1		
27		1				
28						
29	1					
30	1	1				
T.L. capturées	31	24	8	3	4	2
T.L. du gîte	160	80	40	20	10	5

N° du prélèvement	Nombre de larves par dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
1			2			
2	1	1	1			
3	1	1				
4						
5						
6						1
7		1				
8		1				
9						
10			1			
11				1		
12						
13						
14	1					
15					1	
16						1
17						
18	1					
19						
20	1					
21	1					
22	1					
23						
24	1	1				
25						
26			1			
27	1					
28	1	1	1			
29						
30						
T.L. capturées	19	6	6	2	0	2
T.L. du gîte	160	80	40	20	10	5

T.L. := Total Larves.

TABLEAU II.- Expérimentations portant sur des gîtes de 10 dm²

Expérimentation n°5 (Capture au filet)

Expérimentation n°7 (Capture au filet)

N° du prélèvement	Nombre de larves au dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
1	3	2	4	1	1	
2	2	3		1	1	
3	7	3			1	0
4	6	3	2			
5	3	4	3			
6	5	4	1			
7	2	2			1	
8	4			2		1
9	6	2				
10	7	2	1			
11	1		2	1		
12	4	3		1	1	
13	3	1	1			0
14	1	2	1			
15	0	1	2		1	
16	3	1	1			
17	2	1			1	
18	3	1				0
19	1					
20	3		1			
21	2					
22	3	1				
23	1			1		
24	4	1				
25	2	1				1
26	1			1		
27	1					
28	1					0
29			1			
30	1			1	1	
T.L. capturées	82	38	20	9	8	2
T.L. du gîte	160	80	40	20	10	5

	Nombre de larves au dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
5		3			1	
13		9	1		1	
3		1	1	1	1	
6		4	3			
4		3	2	1		
1		1	1			
5		0	1		1	1
6		3	2			
3		2	0			
3		2	1			
5		0				
2		1				
3		3	2			
3		0		2		
2		1				
1		1	0	1	1	1
1		1				
5		0	1			
2		3	1			1
0		2		1	1	
1		1				
1		1				
0		0				
0		0				1
0		0				
2		0		1		
2		1				
2		1		1		
0		0				
0		2				
81	44	16	8	5	4	
160	80	40	20	10	5	

TABLEAU III.- Expérimentations portant sur des gîtes de 40 dm²

Expérimentation n9 (Capture au filet)

Expérimentation n°10 (Capture au filet)

N° du prélèvement	Nombre de larves au dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
I	8	5			I	I
2	6	2	2	2	I	
3	4	3	I	3		
4	9	3		I	I	
5	6	I	3		I	
6	4	I	I	I		
7	3	2		2	I	2
8	2		2	4		
9	I	5	I			I
10	10	7	I	2		
11	10		I			
12	6	I	I			
13	3	7		2		
14	11	4	I	2	I	
15	2	2				
16	14	4				
17	5	I	I	I		
18	4				3	
19	2	I	I	I		
20		7			2	
21	8	I				
22	3	3	2		I	
23	5	I	4	I	I	I
24	I	8	I	I		
25		I	2	I		
26	2	6	I	3		
27				I		
28	2				I	
29	I	I				
30	3					
T.L. capturées	135	77	26	28	14	5
T.L. du gîte	640	320	160	80	40	20

Nombre de larves au dm ²					
16	8	4	2	1	0,5
4	5	2			I
10			I	I	
4	7		I		
	2	4			I
15	8		I		
6					
5	5	4	I		
6		3			I
I	10	4		I	
4	3				
			I		
2	I		I		
	2	I		I	I
I	4			I	
9	I				
8	2				
3					
2					
7	I				
I		I			
18	4	I			
			2	2	
		4	I		
5					
I		I			
2					
4	I		I		
				2	
3					
121	56	25	10	8	4
640	320	160	80	40	20

TABLEAU IIIbis.-Expérimentations portant sur les gîtes de 40 dm²

Expérimentation n°12 (Capture au filet)						
N° du prélèvement	Nombre de larves au dm ²					
	16	8	4	2	1	0,5
1	7	7		2		
2	2	4	4	1	1	
3	9	4	2	5	1	
4	16	4	1			
5	6	5	3			
6	3	2	3		2	1
7	1	7	8		1	
8	2	2		2	1	
9	19	4	1	1		
10	14	2	4	3		1
11		1	3	1	2	
12	11	1	3			
13	2		5	1		
14	1			1		
15	16	3		1		
16	14		2			
17	11	1	3			
18	3	3		1		
19		1	1			
20	6		1	1	1	1
21	13	2	4	1		
22	1	1		1		
23	4	3				
24	18	1				1
25	2					
26	7	2		2		
27	2	1				
28	5	5	1		1	
29		9	3			
30	1					1
T.L.capturées	196	75	52	24	10	5
T.L.du gîte	640	320	160	80	40	20

Expériment.n°6
(capture au filet)

TABLEAU IV.- Expérimentations portant sur des gîtes de 80 dm² (nombre de larves récoltées)

Expérimentation n°8 (capture au filet)

Expérimentation n°11 (capture au filet)

N° de prélèvement	Nombre de larves par dm ²
	I
I	I
2	2
3	0
4	2
5	0
6	I
7	0
8	2
9	I
10	I
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	I
21	
22	I
23	
24	
25	I
26	I
27	
28	
29	I
30	
T.L.capturées	I5
T.L.du gîte	80

Nombre de larves par dm ²					
I6	8	4	2	I	0,5
8	5	4	I		
7	8	I	I		2
8	0	I	2		
4	2				
4	2				
5	I		I		
12	2				
3	2	I	2		
7	5		I		
5	I			I	
3	0	I			I
3	0		I		
8	0	I			
5	9		I		
20	3	3			
I	0	2			
2	I	2			
12	4	2			
8	4	2			
2	3	2	2		
2	3		I	I	
0	10	3	I		I
4	I	2		I	I
2	4	4	I		
5	3	I			
2	2				
2	2	3	I	I	
2	I		I	I	
9	2	I			I
3	I	2			
I58	8I	38	I7	5	6
I280	640	320	I60	80	40

Nombre de larves par dm ²					
I6	8	4	2	I	0,5
22	5	4		2	
5	II		3	I	
14	I8	I	4		I
59	9	8	I	I	
4	5	I			
6		I	2		
7	3	II	I	I	I
16	5	2			
8	8	4	I	2	I
20		I	I		I
14	3	I		I	I
16	6	I			
5	5		4		
38		3	I	2	
	3	5	I		
5	9	2	I		
2	2	3			I
3	3	5	2		
I	2		I	2	
5		7	I		I
44	4		3	I	
3	2I	4	I		
18	4		3	I	
30	6	3			
10	2	2	2		
38	2			3	
6	8			2	
3	8	4	4		
402	I52	77	37	I9	7
I280	640	320	I60	80	40

TABLEAU V.- Expérimentations portant sur un gîte de 320 dm²
 Expérimentation n°13 (capture au filet)

N° du prélèvement	Nombre de larves au dm ²				
	0,5	I	2	4	8
I	I	I	8	2	3
2	I		2	9	4
3		I	I	4	2
4		I	5	I	7
5	I	2		I	5
6					62
7		2	2		I
8		2	I	10	27
9			3	17	5
10	I		I	22	23
11	I	I	8	19	20
12				3	6
13		4	4	15	6
14		I	I	22	21
15	I	I	6	2	2
16		5	3	6	27
17				9	8
18	I		5		4
19	I			6	11
20		2		2	5
21		2		I	6
22		3		I	11
23	I			5	4
24		I	I		3
25			5		12
26			3	I	10
27				3	
28		3	I	I	19
29					I
30			I		2
T.L.capturées	9	30	63	162	317
T.L.mises	160	320	640	1280	2560

CENTRE DE DOCUMENTATION
ET DE STATISTIQUE

N° 6.014 /Doc. Techn. OCCGE

B.P 153 BOBO-DIOULASSO

N° 171 -/DOC-STAT.62

Analyse des expérimentations N° 5 à 13 de M. BRUN
sur l'échantillonnage larvaire de *A. gambiae*
Estimations à l'aide de modèles hyperboliques
Méthodologie d'échantillonnage

par Dr A. LAFAYE

Les difficultés de l'échantillonnage larvaire sont bien connues (des entomologistes). Elles ont fait l'objet d'un article de M.W. SERVICE que nous avons analysé dans le STAT.59, en insistant sur la nécessité d'homogénéiser la dispersion spatiale des larves pour rapprocher les distributions observées à l'état naturel (fortement aggrégatives) du modèle de Poisson ; sans grand espoir, néanmoins, pour les gîtes de trop grande surface.

Les expérimentations 5 à 13 de M. BRUN ont eu lieu sur des gîtes de petite taille (10 à 320 dm²) contenant un nombre connu de larves introduites au préalable en respectant une série croissante de 6 densités au dm² (cf. tableaux 1, 2 et 3). Après un brassage vigoureux à l'aide d'une louche M. BRUN capture les larves à l'aide d'un filet de sa conception : les produits de 30 coups de filets successifs sont dénombrés individuellement.

Il reste maintenant à faire l'analyse statistique des captures pour essayer de préciser les possibilités et les limites d'une méthodologie éventuellement utilisable en échantillonnage larvaire.

1. Analyse statistique des larves capturées

1.1 Fonction de répartition = fréquences cumulées des captures

Les 30 coups de filets ont été regroupés en 6 séquences égales de 5 coups. Le tableau 1 donne, pour chaque expérimentation et chaque densité, les 6 pourcentages cumulés correspondants, dont le dernier est le pourcentage total de captures par rapport au nombre de larves introduites.

1.1.1 Effet de la densité larvaire sur le pourcentage de captures

Le χ^2 d'homogénéité à 5 ddl donne les résultats suivants :

Exp. N°	χ^2_5	α	T ² de Tschuprow (x 10 ⁶)	N
5	4,285	460 % N.S	1521	315
7	5,000	450 % N.S	1775	315
8	3,490	470 % N.S	619	2520
9	15,606	41 % S	5539	1260
10	2,808	480 % N.S	997	1260
11	20,293	# 1/1000 S	3601	2520
12	7,807	420 % N.S	2771	1260
13	11,800	45 % S	1064	4960

- Pour les expériences 5, 7, 8, 10 et 12 aucun problème • elles ne montrent pas de relation entre le pourcentage de captures et la densité larvaire.

- Les 3 autres ont un χ^2 significatif qui appelle les remarques suivantes :

i) La puissance du test croit avec l'effectif N, nombre de larves mises en jeu, qui, pour une même gamme de densités, croit avec la surface du gîte. Les χ^2 peuvent être comparés entre eux à effectif égal, par le coefficient de Tschuprow qui varie de 0 (liaison nulle) à 1 (liaison totale). Ainsi traité le χ^2 apparaît moins significatif dans l'expérience 13, et, guère plus dans les N°s 9 et 11, que celui des expériences 5 et 7 ; le plus fort des T² de Tschuprow (0,005) restant très éloigné du maximum 1.

ii) On sait d'ailleurs qu'en répétant un même test on accroît le niveau réel de la valeur nominale du risque α de 1ère espèce.

iii) Aux 3 χ^2 nominalement significatifs, ne correspond aucune variation systématique, avec la densité, du sens des écarts entre effectifs théoriques et effectifs observés :

Exp.	16	8	4	2	1	0,5
9	-	+	-	+	+	+
11	+	-	-	-	-	-
13		+	+	-	-	-

Pour autant que ces 3 χ^2 traduiraient une hétérogénéité significative il est clair qu'elle ne pourrait être attribuée au gradient de densité, mais relèverait plutôt de causes accidentelles liées à l'environnement expérimental.

Il est donc légitime d'admettre que le pourcentage de captures n'est pas systématiquement influencé par la densité larvaire et de considérer, à cet égard, toutes les expériences effectuées à surface égale par M. BRUN au filet comme de simples répétitions.

On note également que le pourcentage de larves capturées, à densité larvaire égale, décroît à mesure que la surface du gîte augmente.

1.1.2 Etude de la fonction de répartition

Les larves capturées n'étant pas immédiatement remises à l'eau et le filet, contrairement à la louche, ne modifiant pas le volume d'eau, il est clair que le risque r de capture en 5 coups de filets doit décroître de la 1ère séquence à la dernière puisque la densité larvaire est progressivement appauvrie ; la fréquence relative p des captures dans chaque séquence étant liée à rQ , produit du risque de capture par le pourcentage Q de larves encore libres. Le pourcentage cumulé P des captures suit donc une loi de croissance asymptotique de 0 à 100 % dont le prototype est la fonction catalytique $P = 1 - e^{-rt}$. On sait que cette fonction est l'intégrale d'une fonction de densité de probabilité exponentielle et que $\log Q$ est alors fonction linéaire du temps. Nous avons montré par le signe de la dérivée seconde (recherches personnelles non encore publiées) que le modèle catalytique à risque constant pouvait être considéré comme un cas particulier charnière entre des modèles exponentiels complexes à risque croissant ou décroissant ; et qu'une simple étude graphique de $\log Q$ permettait de classer rapidement le type de croissance (constant, ralenti ou accéléré) : de linéaire pour un risque constant (P catalytique) $\log Q$ devient en effet concave vers le bas quand le risque croît (P suit une courbe plus fermée que la catalytique) ou concave vers le haut quand le risque décroît (la courbe de P s'aplatit progressivement jusqu'à devenir linéaire pour $p = f(t)$ uniforme, et prend ensuite une allure logistique plus ou moins décentrée).

Le tableau 3 montre l'évolution du risque de capture étudiée par cette méthode graphique. Contrairement à ce que l'on pourrait attendre de la technique au filet, on voit que le risque de capture apparaît constant dans plus de la moitié des expérimentations, de préférence aux faibles densités. Selon que son paramètre est plus ou moins éloigné de l'unité, ≈ 1 , on sait que la loi de Poisson est une distribution en L (comme la distribution exponentielle dont l'intégrale est catalytique) ou une distribution en cloche à dissymétrie gauche (comme les distributions agrégatives) de moins en moins marquée à mesure que l'on se rapproche de la loi normale (dont l'intégrale est logistique). D'où le 1er mécanisme susceptible de maintenir constant le

risque de capture : quand la densité larvaire est assez faible le brassage initial du gite rapproche effectivement la distribution d'une loi de Poisson de paramètre ≤ 1 . Les moyennes de captures par coup de filet $\bar{x} \leq 1$ ont été signalées sur le tableau 3 par le signe x. En fait, lorsque le risque est trouvé constant, la moyenne est plus souvent ≤ 1 (59%) que > 1 (41%); mais cette différence n'est pas significative ($\chi^2_{1} = 0,584$), avec un test il est vrai peu puissant ($N = 48$).

Il existe donc au moins un autre mécanisme, sans doute lié au comportement actif des larves (qui ne sont pas les particules inertes aléatoires que suppose le modèle de Poisson), à la surface des gites et à l'environnement expérimental. Tout se passe alors comme si le retour d'un certain nombre de larves, inaccessibles aux premiers coups de filet, maintenait dans certaines conditions la probabilité de capture à un niveau constant (densité larvaire par surface de filet).

Le problème est donc vraisemblablement trop complexe pour que l'étude de la fonction de répartition et du risque de capture puisse raisonnablement nous mener beaucoup plus loin sans expérimentations complémentaires.

1.2 Distribution de probabilité = fréquences relatives des captures

Le tableau 2 donne, pour chaque expérimentation et chaque densité, le nombre moyen \bar{x} de larves capturées par coup de filet, et sa variance = $(\text{Var } x)/30$; ainsi que l'amplitude entre 0 (filet vide) et le nombre maximum de captures par coup de filet.

Il n'est nul besoin de test statistique pour observer que la moyenne augmente, comme prévu, avec la densité larvaire et, à densité égale, de façon inattendue, avec la surface du gite. Il en est de même pour la variance, d'autant plus que l'on s'éloigne de la loi de Poisson.

L'ajustement à la loi de Poisson a été contrôlé par le test de dispersion $\chi^2_{N-1} = \text{SCE}/\bar{x}$, en unilatéral puisque les distributions agrégatives sont surdispersées par rapport à l'homogénéité aléatoire de la loi de Poisson. Les probabilités indiquées sont assez exactes, puisque $N = 30$ est assez grand, même lorsque la moyenne est inférieure à 1. Nous l'avons vérifié en appliquant la méthode de Fisher à $(k-2)$ ddl (différence logarithmique des vraisemblances cumulée sur les k classes) à l'expérience N°9 pour $d = 0,5$ et $\bar{x} = 0,17$: On trouve en effet $\chi^2 = 0,26$ en bilatéral, soit $\neq 0,13$ en unilatéral contre 0,10. L'ajustement est évidemment d'autant meilleur que la densité est plus faible, mais il semble également dépendre de la surface (et non de la profondeur, contrairement à ce que nous pensions a priori).

On note enfin que l'indice d/\bar{x} est approximativement constant, à surface égale, quelle que soit la densité larvaire ; mais qu'il décroît rapidement à mesure que la surface, et la moyenne \bar{x} , augmentent.

2. Applications à l'échantillonnage larvaire

2.1 Estimation de l'indice-filet

Le nombre moyen \bar{x} de larves par coup de filet, ou indice-filet, dépend de la densité larvaire du gîte considéré : il devrait donc permettre de suivre l'évolution de la population larvaire dans un même gîte (mais sans possibilité de comparaison immédiate entre gîtes distincts, puisque cet indice est également lié à la surface).

$N = 30$ est assez grand pour que \bar{x} suive approximativement la loi normale, même si la distribution est fortement aggrégative. On a donc l'estimation classique $m = \bar{x} \pm 2 S_{\bar{x}}$ avec 95 % de confiance. Il est intéressant de calculer l'erreur relative $2 S_{\bar{x}}/\bar{x}$ commise sur l'indice-filet, comme nous l'avons déjà fait pour l'indice-louche sur les données de M.W. SERVICE (STAT. 59). On trouve, par expérimentation et densité, les erreurs relatives suivantes :

Exp	16	8	4	2	1	0,5
5	25,5 %	36 %	35 %	64 %	60 %	136 %
6					31 %	—
7	28 %	35 %	59 %	77 %	73 %	93 %
8	28 %	34 %	35 %	43 %	81 %	87 %
9	29 %	35 %	42 %	43 %	56 %	99 %
10	39 %	52 %	62 %	73 %	78 %	93 %
11	40 %	35 %	37 %	39 %	50 %	66 %
12	32 %	34 %	37 %	53 %	65 %	81 %
13	—	42 %	46 %	41 %	48 %	56 %

Dans une même expérimentation l'erreur relative sur l'indice-filet diminue lorsque la densité larvaire augmente, mais cette tendance semble s'estomper lorsque la surface du gîte augmente.

Dans le STAT 59 nous avons établi, à partir des variances observées par M.W. SERVICE sur 200 coups de louche, qu'avec 30 coups seulement l'erreur relative sur \bar{x} variait de 24% à 66% pour des moyennes comprises entre 0,44 et 2,37. Il apparaît donc que l'erreur relative sur la moyenne est du même ordre de grandeur, à moyenne égale, avec le filet ou avec la louche.

2.2 Régression hyperbolique de d/\bar{x} sur la surface

Les expérimentations de M. BRUN ont été conduites sur 4 surfaces de gites larvaires : 10, 40, 80 et 320 dm². En reportant en échelle arithmétique les valeurs de d/\bar{x} observées à surface égale, on constate qu'elles ont une répartition d'allure hyperbolique (graphique 1). D'où la transformation bilog qui permet d'estimer (par les moindres carrés, ou graphiquement sur les moyennes géométriques) une loi de Pareto du type $y = Ax^{-\alpha}$. On trouve :

$$d/\bar{x} \approx 19,6 S^{-0,5}$$

d'où l'analyse de variance en régression (sur unités logarithmiques) :

Source	SCE	ddl	CM	test
Régression linéaire	2,39380	1	2,3938	$F_{44}^1 = 114,5$ S ^{xxx}
"- non linéaire	0,03720	2	0,0186	$F_{44}^2 = 0,89$ N.S.
résiduelle	0,92034	44	0,0209	_____
totale	3,35144	47	_____	_____

Donc la 1ère loi de Pareto est un excellent modèle pour représenter d/\bar{x} en fonction de la surface. Pour une surface S donnée d/\bar{x} est estimé avec 95% de confiance par la formule $K = 19,6 S^{-0,5} \pm 0,28$.

2.3 Régression hyperbolique de arc $\sin\sqrt{P}$ sur la surface

En reportant en échelle arithmétique les pourcentages de capture P à surface égale, on constate que leur répartition a une allure hyperbolique (graphique 2). D'où l'essai d'une transformation bilog qui ne réussit pas à linéariser les observations. Mais puisque les pourcentages ont tous été calculés sur le même effectif N = 30 il est possible d'utiliser sans pondération la transformation angulaire $P' = \arcsin\sqrt{P}$. En reportant les valeurs de P' en échelle bilog on constate alors que la linéarisation est très convenable. D'où l'estimation suivante de la 1ère loi de Pareto :

$$P' \approx 1,4 S^{-0,27}$$

et l'analyse de variance en régression (sur unités logarithmiques) :

Régression linéaire	0,69805	1	0,69805	$F_{44}^1 = 122,5$ S ^{xxx}
"- non linéaire	0,03023	2	0,01511	$F_{44}^2 = 2,641$ N.S. à 5%
SCE résiduelle	0,25184	44	0,0057	_____
SCE totale	0,98012	47	_____	_____

La 1ère loi de Pareto est donc un modèle convenable pour représenter $P' = \arcsin \sqrt{P}$ en fonction de la surface. Pour une surface S donnée P' est estimé à 95% de confiance par $1,4 S^{-0,27} \pm 0,15$.

2.4 Choix de la méthodologie

2.4.1. Avec l'indice-filet \bar{x} un gîte ne peut être comparé qu'à lui-même ou à un gîte de même surface. Il peut être calculé sur la somme totale des captures. Mais l'estimation de la précision nécessite le calcul de la variance qui implique le dénombrement individuel des captures après chacun des 30 coups de filets. L'erreur relative varie entre 25% et plus de 100%. Elle dépend de la valeur de \bar{x} , elle-même liée à la densité larvaire qui reste inconnue avec cette méthode. Pour comparer 2 gîtes de surface différente ou pour évaluer la population totale d'un gîte il faut utiliser l'une des 2 régressions hyperboliques.

2.4.2. Avec la formule $d/\bar{x} = K = 19,6 S^{-0,5} \pm 0,28$ il est possible d'estimer la densité larvaire au dm^2 d'après $d = K \bar{x}$ dont la variance est approximativement égale à $\bar{x}^2 \text{Var } K + K^2 \text{Var } \bar{x}$ puisque la covariance entre K et \bar{x} est pratiquement nulle (à surface égale K est indépendant de \bar{x}). Il est donc non seulement nécessaire de calculer \bar{x} , mais aussi sa variance, ce qui implique encore le dénombrement individuel des captures.

La variance de K est égale à 0,021 (variance liée à 46 ddl combinant résiduelle et non-linéaire).

La variance de \bar{x} en 30 coups varie de 0,002 à 1,60 dans les expérimentations N° 5 à 13 de M. BRUN (en éliminant 2 résultats exagérément surdispersés).

Dans ces limites la variance de $d = K\bar{x}$, pour un gîte $S = 100 dm^2$ ($K \neq 1,81$) varie donc approximativement de 0,0066 (si $\bar{x} = 0,07$ et $S^2_{\bar{x}} = 0,002$) à 5,805 (si $\bar{x} = 5,40$ et $S^2_{\bar{x}} = 1,585$). L'intervalle de confiance à 95% de d varie donc de $\pm 0,16$ (précision très satisfaisante) à $\pm 4,6$ (précision inacceptable). Plus le gîte est petit moins l'estimation de la densité larvaire est bonne puisque la variance dépend surtout du carré de d/\bar{x} .

Une estimation aussi précise que possible de la surface S du gîte est également nécessaire, non seulement pour le calcul de la population larvaire totale dS , mais encore, bien entendu, pour fixer la valeur de la variable explicative dans la régression hyperbolique. Une erreur importante sur S entraîne inévitablement une sous ou surestimation considérable de K .

Or, pour ses premières expérimentations, M. BRUN a choisi des gites circulaires dont la surface est aisée à mesurer. Pour les gites naturels aux contours plus tourmentés une technique de mesure à la fois pratique et précise serait absolument indispensable.

Qui plus est, des contours irréguliers gêneraient vraisemblablement l'action désagrégante du brassage initial. Il n'est donc pas certain que l'équation hyperbolique que nous avons établie soit valable pour toutes les formes de gites. Il serait alors peut-être préférable, à partir d'une certaine dimension, de remplacer le brassage par un ratissage en douceur de la surface, comme nous l'avons suggéré dans le STAT 59.

2.4.3. Avec la formule $\text{arc sin } \sqrt{P} = P' = 1,4 S^{-0,27} \pm 0,15$

Il est possible d'estimer la population larvaire totale $*N*$ par N/P où $P = \sin^2 P'$ et $N =$ nombre de larves capturées en 30 coups de filet. P et N étant deux variables aléatoires indépendantes, la variance totale de N/P est approximativement $(\text{Var } N + \frac{N^2 \text{Var } P}{P^2})/P^2$.

- Il est donc encore nécessaire de dénombrer individuellement les captures pour calculer la variance puisque $\text{Var } N = 30 \text{ Var } x$.

- La variance binomiale de P vaut $PQ / *N*$ que l'on ne peut estimer que par $P^2 Q / N$ puisque on ignore la valeur exacte de $*N*$.

Dans ces conditions la variance de l'estimation de N vaut $\neq (30 S_x^2 + NQ) / P^2$.

- Mais on sait également, avec une confiance de 95%, que la précision sur P , constante en échelle arc sinus, est égale à $\pm 0,15$. D'où une autre estimation approximative possible de la variance de P à partir de l'amplitude $\text{Var } P \neq (\text{amplitude}/4)^2$, qui dépend évidemment de la gamme considérée et, par conséquent, indirectement de la surface du gite. Par exemple :

S	P'	P	intervalle P'	intervalle P	\neq variance P
100	0,404	15 %	0,550 à 0,250	6 à 28 %	0,003025
40	0,517	24 %	0,367 à 0,667	13 à 38 %	0,003906
10	0,750	46 %	0,600 à 0,900	32 à 62 %	0,005625

- En appliquant ces notions à l'expérimentation N°12 ($d=2$) dans laquelle $N=23$ et $S_x^2 = 1,2885$ on peut vérifier que l'estimation "hyperbolique" de la variance de P devient rapidement très supérieure à son estimation "binomiale" lorsque la surface du gite augmente. Dans l'exemple considéré la surface du gite était de 40 dm² et le nombre exact de larves introduites, 80. La population larvaire totale est alors estimée par $N = \frac{23}{0,24} \neq 96$ et son intervalle de confiance à 95% est compris entre 47 et 145 avec la variance "hyperbolique"

contre 61 à 130 avec la variance "binomiale". Le nombre 80, effectif réel de la population, est bien compris dans les 2 intervalles. Mais il nous paraît pour l'instant difficile de trancher entre les 2 méthodes que nous venons de proposer pour estimer la variance du pourcentage "théorique" de captures qui correspond à la surface du gîte considéré.

En définitive les 2 régressions hyperboliques utilisent mieux l'information recueillie sur le terrain qu'une simple estimation de l'indice-filet et de sa variance. Mais l'estimation du pourcentage "théorique" de captures nous paraît préférable à l'estimation du rapport d/\bar{x} dont la variance est beaucoup plus sensible à la surface du gîte et à la précision de sa mesure. De toute façon, avec les trois méthodes, il est nécessaire de dénombrer les captures individuellement pour chacun des 30 coups de filet.

Tableau 1 : fréquences cumulées des captures

Exp	Séquence de 5 coups de filets	densité d. =					
		0,5	1	2	4	8	16
5	1	0 %	30 %	10 %	22 %	19 %	13 %
	2	20 %	40 %	20 %	27 %	31 %	28 %
	3	20 %	60 %	30 %	42 %	40 %	34 %
	4	20 %	70 %	30 %	47 %	44 %	41 %
	5	40 %	70 %	35 %	47 %	47 %	48 %
	6	40 %	80 %	45 %	50 %	48 %	51 %
6	d = 1	1 = 6%	2 = 12%	3 = 12%	4 = 14%	5 = 16%	6 = 19%
7	1	0 %	20 %	10 %	17 %	25 %	19 %
	2	20 %	30 %	10 %	30 %	35 %	31 %
	3	20 %	30 %	20 %	35 %	41 %	40 %
	4	60 %	50 %	30 %	40 %	49 %	46 %
	5	80 %	50 %	30 %	40 %	50 %	47 %
	6	80 %	60 %	40 %	40 %	52 %	52 %
8	1	5 %	0 %	2 %	2 %	3 %	2 %
	2	5 %	1 %	5 %	2 %	4 %	5 %
	3	7 %	1 %	6 %	4 %	6 %	8 %
	4	7 %	1 %	7 %	7 %	8 %	10 %
	5	12 %	3,5 %	9 %	10 %	11 %	11 %
	6	15 %	6 %	11 %	12 %	13 %	12 %
9	1	5 %	10 %	7 %	4 %	4 %	5 %
	2	20 %	12 %	19 %	7 %	9 %	8 %
	3	20 %	15 %	24 %	9 %	13 %	13 %
	4	20 %	27 %	26 %	10 %	17 %	17 %
	5	25 %	32 %	30 %	16 %	22 %	20 %
	6	25 %	35 %	35 %	16 %	24 %	21 %
10	1	10 %	2 %	4 %	4 %	7 %	5 %
	2	15 %	5 %	5 %	11 %	12 %	8 %
	3	20 %	10 %	7 %	11 %	15 %	9 %
	4	20 %	10 %	7 %	11 %	16 %	14 %
	5	20 %	15 %	11 %	15 %	17 %	17 %
	6	20 %	20 %	12 %	16 %	17 %	19 %
11	1	2 %	5 %	5 %	4 %	7 %	8 %
	2	10 %	9 %	8 %	10 %	10 %	13 %
	3	12 %	12 %	11 %	13 %	12 %	18 %
	4	15 %	15 %	14 %	17 %	15 %	19 %
	5	17 %	17 %	19 %	22 %	21 %	27 %
	6	17 %	24 %	23 %	24 %	24 %	31 %
12	1	0 %	5 %	10 %	6 %	7 %	6 %
	2	10 %	15 %	17 %	16 %	13 %	12 %
	3	10 %	20 %	22 %	23 %	14 %	17 %
	4	15 %	22 %	24 %	27 %	16 %	22 %
	5	20 %	22 %	26 %	30 %	18 %	28 %
	6	25 %	25 %	29 %	32 %	23 %	30 %
13	1	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	
	2	3 %	3 %	4 %	5 %	5 %	
	3	4 %	5 %	7 %	10 %	8 %	
	4	5 %	7 %	8 %	12 %	10 %	
	5	6 %	8 %	9 %	12 %	11 %	
	6	6 %	9 %	10 %	13 %	12 %	

Tableau 2 : Distribution du nombre x de larves capturées par coup de filet

Exp	distributions en 30 coups de filets	densité larvaire d						S dm ²	H dm	V dm ³
		16	8	4	2	1	0,5			
5	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	2,73 0,1263 0,05 5,86 7	1,27 0,0550 0,10 6,31 4	0,73 0,0343 0,05 5,46 4	0,30 0,0005 0,30 6,67 2	0,27 0,0067 0,45 3,75 4	0,07 0,0021 0,25 7,50 1	10	4	40
6	d = 1 \bar{x} = 0,50 Var de \bar{x} = 0,0155 Poisson = 0,30 d/ \bar{x} = 2,00 amplitude = 2						80	5	400	
7	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	2,77 0,2361 40,001 5,78 13	1,40 0,1186 40,001 5,71 9	0,47 0,0201 0,10 8,57 3	0,23 0,0085 0,20 8,57 2	0,20 0,0055 0,40 5,00 2	0,13 0,0040 0,35 3,75 1	10	5	50
8	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	5,27 0,5792 40,001 3,04 20	2,70 0,2233 40,001 2,96 10	1,27 0,0527 0,10 3,16 4	0,67 0,0215 0,30 3,00 3	0,17 0,0048 0,35 6,00 1	0,20 0,0078 0,15 2,5 2	80	5,5	400
9	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	4,50 0,4408 40,001 3,55 14	2,57 0,2062 40,001 3,12 8	0,87 0,0339 0,15 4,61 4	0,93 0,0412 0,10 2,14 4	0,47 0,0178 0,15 2,15 3	0,17 0,0071 0,10 3,00 2	40	8	320
10	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	4,03 0,6609 40,001 3,97 18	1,87 0,2477 40,001 4,29 10	0,83 0,0692 40,001 4,80 4	0,33 0,0100 0,15 6,00 2	0,27 0,0113 0,10 3,75 2	0,13 0,0040 0,35 3,25 1	40	2,2	88
11	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	13,40 7,3140 40,001 1,19 59	5,07 0,8343 40,001 1,58 21	2,57 0,2361 40,001 1,56 11	1,23 0,0690 0,05 1,62 4	0,63 0,0264 0,10 1,58 3	0,23 0,0062 0,40 2,14 1	80	7	560
12	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude	6,53 1,1557 40,001 2,45 19	2,50 0,1833 40,001 3,20 9	1,73 0,1102 0,002 2,31 8	0,77 0,0123 0,01 2,61 5	0,33 0,0123 0,20 3,00 2	0,17 0,0048 0,35 3,00 1	40	9	360
13	\bar{x} Variance de \bar{x} Poisson d/ \bar{x} Amplitude		10,57 5,2246 40,001 0,76 62	5,40 1,5853 40,001 0,74 22	2,10 0,1939 40,001 0,95 8	1,00 0,0598 0,005 1,00 5	0,30 0,0072 0,45 1,67 1	320	10	3200

POISSON = probabilité d'ajustement à la loi de Poisson $\chi^2_{29} = SCE/\bar{x}$

AMPLITUDE = nombre de larves par coup de filet compris entre 0 et le nombre indiqué.

Tableau 3 : évolution du risque de capture. (en 6 séquences de 5 coups de filets)

x quand $\bar{x} < 1$

Exp	16	8	4	2	1	0,5	S
5	→ 5 ↓	↓	x ↓	→ 4 →	→	→	10
6					↓ x 3 →		80
7	↓	↓	x ↓	→	→	↓ x 2 →	10
8	→	→	→	x →	x →	x →	80
9	→ 5 ↓	→	x →	→ x 3 →	→	→	40
10	→	↓	x ↓	x →	x →	↓ x	40
11	→	→	→	→	x →	→ x 5 ↓	80
12	→	→	→ 4 →	x ↓	x ↓	x →	40
13		↓	↓	→ 4 ↓	→	x →	320

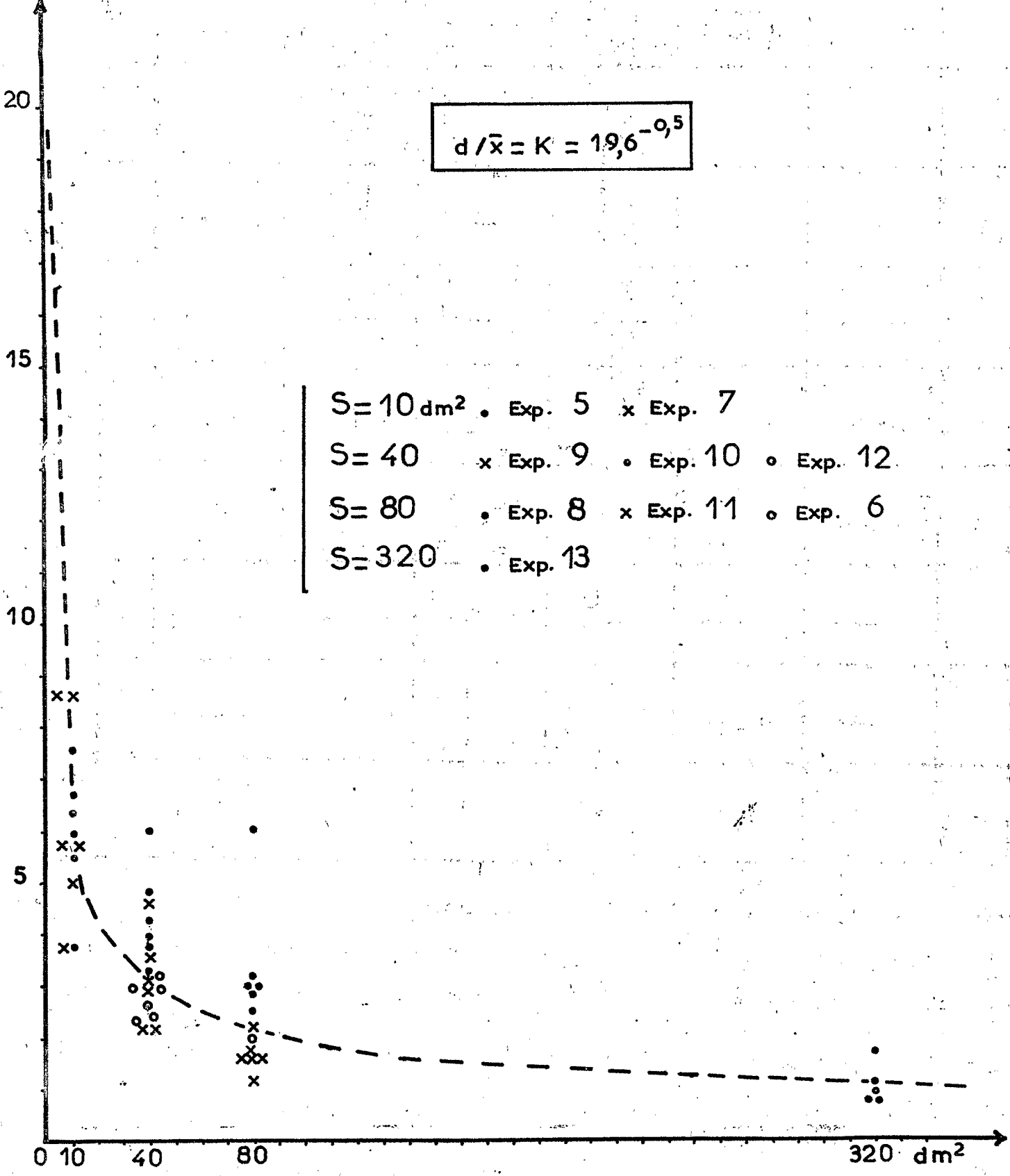
- risque constant (P cumulés = courbe catalytique ; log Q = droite)
- ↓ risque décroissant (P cumulés = courbe fermée ; log Q concave vers le haut)
- ↑ risque croissant (P cumulés = courbe ouverte ou droite ; log Q concave vers le bas)
- 4 → risque constant jusqu'à la 4ème séquence, puis constant à niveau plus faible.
- 2 → risque décroissant jusqu'à la 2ème séquence, puis constant jusqu'à la dernière.
- 4 ↓ risque constant jusqu'à la 4ème séquence, puis décroissant jusqu'à la dernière.

Graphique 1

d/\bar{x}

$$d/\bar{x} = K = 19,6^{-0,5}$$

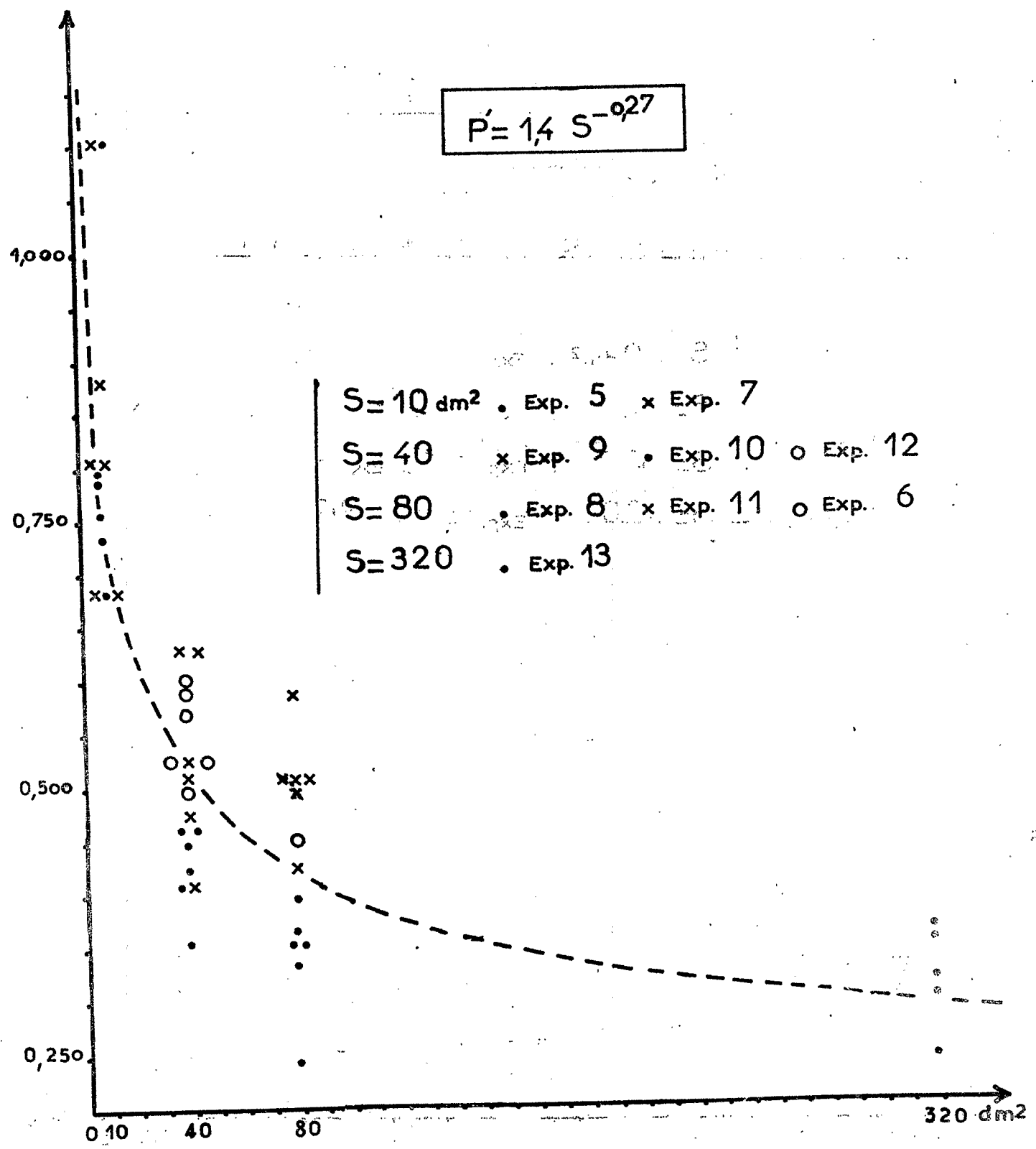
- S = 10 dm² • Exp. 5 x Exp. 7
- S = 40 x Exp. 9 • Exp. 10 o Exp. 12
- S = 80 • Exp. 8 x Exp. 11 o Exp. 6
- S = 320 • Exp. 13



Graphique 2

$P' = \arcsin \sqrt{P}$ (radians)

$$P' = 1,4 S^{-0,27}$$



CENTRE DE DOCUMENTATION
ET DE STATISTIQUE

B.P 153 BOBO-DIOULASSO

N° 209 /DOC-STAT.

E R R A T U M

encadré sur graphique 1 in STAT.62 N° 6014/Doc.Techn.OCCGE

Lire ----- $d/\bar{x} = K = 19,6 s^{-0,5}$

au lieu de ----- $d/\bar{x} = K = 19,6^{-0,5}$