

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES

CIEH

CONVENTION FAC
223/C/DPL/86/160

URBANISATION

ET

OCCUPATION DES SOLS

EN AFRIQUE DE L'OUEST

C. BOUVIER

B. THEBE



INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

UR F 4 UR B 2

UNIVERSITE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES DU LANGUEDOC

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
MATHÉMATIQUE

OCTOBRE 1988

SOMMAIRE

	Page
AVANT PROPOS	
INTRODUCTION	1
1. Classification des surfaces agissant sur la production ou le transfert de l'écoulement en milieu urbain	2
1.1 Classification des surfaces imperméables	2
1.2 Classification des surfaces naturelles	3
2. Méthodologie de calcul des coefficients d'occupation du sol	6
2.1 Généralités concernant le choix des catégories d'occupation du sol à déterminer	6
2.1.1 Problèmes d'identification de catégories d'occupation du sol	6
2.1.2 Choix des catégories d'occupation du sol en fonction de l'application envisagée	8
2.1.3 Problèmes de dépouillement des coefficient d'occupation du sol	9
2.2 Proposition d'une méthode de dépouillement des coefficients d'occupation du sol par sondage statistique	11
2.2.1 Analyse théorique du problème	11
2.2.2 Elaboration des grilles de points	14
2.2.3 Commentaires sur la mise en oeuvre de la méthode	16
3. Détermination des coefficients d'occupation du sol sur les bassins expérimentaux étudiés en milieu urbain africain	18
3.1 Description de l'urbanisation de chaque bassin	18
3.2 Détermination des coefficients d'occupation du sol	33
3.3 Analyse des résultats	41
CONCLUSION	46
BIBLIOGRAPHIE	49
ANNEXE : Jeux de grilles de points	

AVANT PROPOS

La présente étude rentre dans le cadre de travaux portant sur la modélisation de la relation pluie-débit en milieu urbain africain, à partir de données recueillies sur un ensemble de bassins versants expérimentaux situés à Niamey (Niger), Ouagadougou (Burkina Faso), Bamako (Mali), Lomé (Togo), Cotonou (Bénin), et Yopougon (Côte d'ivoire).

Ces travaux font l'objet d'une convention signée par :

- **le Comité Interafricain d'Etude Hydrauliques (CIEH)**
- **l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)**
- **le Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de l'Université de Montpellier (LHM)**

dans le cadre du contrat FAC n°223/C/DPL/86/160.

INTRODUCTION

La connaissance des divers états de surface représentés sur un bassin versant est une condition nécessaire à la détermination des volumes ruisselés ou des débits de pointe de crue susceptibles de survenir sur ce bassin.

En milieu urbain, l'éventail des états de surface s'enrichit d'une catégorie supplémentaire constituée par les surfaces bâties, le plus souvent imperméables. L'apparition de cette nouvelle catégorie s'accompagne de modifications profondes du cycle de l'eau, variables en fonction du site considéré, du type d'urbanisation rencontré, ou encore des pratiques sociales en usage.

Le chapitre 1 décrit précisément ces modifications et propose une classification générale des surfaces susceptibles d'agir sur la production et le transfert de l'écoulement en milieu urbain.

Afin de déterminer les valeurs numériques des coefficients d'occupation des sols correspondant à ces surfaces, nous avons ensuite analysé dans le chapitre 2 les performances des méthodes de calcul les plus couramment utilisées : ce tour d'horizon fait apparaître les difficultés de mise en oeuvre de la plupart de ces méthodes et ce constat nous a conduit à mettre au point une méthode adaptée à nos besoins.

Le chapitre 3 contient, pour tous les bassins étudiés dans le cadre de la convention, les résultats numériques concernant les différents types d'occupation du sol, destinés par la suite à l'étude de la relation pluie-débit. Ces résultats sont ensuite synthétisés dans l'objectif de faire apparaître des situations-types en matière d'urbanisation en milieu africain.

1. CLASSIFICATION DES SURFACES AGISSANT SUR LA PRODUCTION ET LE TRANSFERT DE L'ÉCOULEMENT

1.1. Classification des surfaces imperméables en milieu urbain

L'urbanisation, action d'aménager un site en vue de développer ou de créer une agglomération urbaine, s'accompagne de modifications du cycle de l'eau dont les conséquences ne peuvent être négligées.

Parmi celles-ci, certaines ont pour effet d'augmenter le volume ruisselé et/ou le débit de pointe de crue : c'est le cas notamment de l'imperméabilisation du site ou de l'accroissement de la densité de drainage du bassin. D'autres, au contraire, ont pour effet de diminuer la production d'écoulement et d'en ralentir le transfert : la présence de constructions verticales artificielles telles que murs, clôtures etc. représente autant d'obstacles à l'écoulement.

Ces divers effets doivent cependant être nuancés par des considérations portant sur les positions respectives des surfaces imperméables par rapport au système d'assainissement d'une part et aux surfaces naturelles d'autre part.

Ainsi, l'écoulement en provenance de surfaces imperméables sera-t-il très différent selon que cet écoulement est directement capté par le réseau de drainage, ou au contraire, transite sur des surfaces naturelles ; ou encore le ruissellement en provenance des toitures varie-t-il considérablement suivant leur conception (présence de terrasses ou de citernes de collecte des eaux pluviales par exemple).

Ces quelques exemples, cités parmi d'autres, montrent que les surfaces imperméables peuvent fournir des contributions au ruissellement bien différentes.

Ceci nous a conduit, en matière d'occupation du sol, à considérer plusieurs catégories de surfaces imperméables :

- les surfaces drainées reliées directement au réseau (IMP1) : le ruissellement en provenance de ces surfaces est quasiment intégralement retrouvé à l'exutoire du bassin.

- les surfaces drainées non reliées au réseau (IMP2) : le ruissellement en provenance de ces surfaces se déverse sur des surfaces naturelles et y subit des pertes, représentées notamment par l'infiltration et le stockage.
- les surfaces non drainées (IMPnd) : le ruissellement en provenance de ces surfaces est retenu par des aménagements divers (terrasse, cuve, fossé d'infiltration) et la contribution de ces surfaces au ruissellement observé à l'exutoire peut être considérée comme étant nulle.

1.2 Classification des surfaces naturelles

En milieu naturel, les facteurs déterminant le ruissellement sont principalement les caractéristiques hydrodynamiques des sols.

En Afrique de l'Ouest, celles-ci varient essentiellement en fonction des organisations pédologiques internes ou superficielles et des états de surface, avec prépondérance des unes ou des autres suivant le régime climatique considéré (CASENAVE et VALENTIN, 1988).

Les campagnes de mesure de ruissellement sous pluie simulée effectuées sur les bassins de Niamey, Ouagadougou, Lomé et Yopougon (BOUVIER et JANEAU, 1988) montrent que, en milieu urbain, les caractéristiques hydrodynamiques des sols dépendent en premier lieu de la présence ou non de végétation et en second lieu de l'état d'humectation du sol. Pour ce dernier, la chronique des précipitations antérieures est déterminante, mais l'influence de la topographie peut également se faire sentir comme c'est le cas à Lomé.

La classification des différentes catégories de sols naturels en regard du ruissellement urbain pourrait donc se limiter à la détermination des surfaces couvertes ou non de végétation, en tenant compte également des zones de bas-fonds le cas échéant. Cette classification n'est néanmoins pas suffisante pour rendre compte des diverses contributions au ruissellement des surfaces naturelles. Pour un état de surface donné, ces contributions peuvent être modifiées par :

- une augmentation artificielle de la lame d'eau précipitée quand les surfaces naturelles reçoivent de l'eau en provenance des surfaces imperméables : c'est

par exemple le cas lorsque l'écoulement en provenance des toitures se déverse dans des cours en sol naturel.

- une diminution artificielle de la lame ruisselée par rétention consécutive à la présence d'obstacles à l'écoulement : c'est le cas lorsque le ruissellement en provenance des cours d'habitation ne peut s'évacuer du fait de l'absence de drainage.

Ces facteurs nous ont conduit à considérer un critère supplémentaire de classification des surfaces naturelles en regard du ruissellement, constitué par les positions respectives de ces surfaces par rapport aux surfaces imperméables horizontales ou verticales. Nous distinguerons :

- les surfaces naturelles drainées recevant l'eau en provenance des surfaces imperméables (PER1) par exemple les cours d'habitation en sol naturel, ou encore les pistes bordant les maisons.
- les surfaces naturelles drainées ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables (PER2): les terrains vagues ou grands espaces isolés divers.
- les surfaces naturelles non drainées (PERnd) dont l'écoulement est stocké dans des dépressions topographiques naturelles ou artificielles : c'est le cas notamment des cours d'habitation ne comportant pas d'exutoire.

Chacune de ces catégories, définies en fonction de leurs positions respectives par rapport aux surfaces imperméables et au réseau de drainage se scindent en sous-classes liées aux états de surface. Cette sous-classification peut schématiquement être représentée par les 3 cas suivants:

- 1- les surfaces sont suffisamment peu perméables pour qu'elles ruissellent dans tous les cas
- 2- les surfaces ne ruissellent que si elles reçoivent un apport d'eau en provenance des surfaces imperméables
- 3- les surfaces sont très perméables et ne ruissellent pratiquement jamais.

L'organigramme de la figure 1 résume les connaissances nécessaires a priori en matière d'occupation du sol pour traiter les problèmes d'évaluation de la production et du transfert de l'écoulement en milieu urbain.

Cet organigramme est susceptible de se simplifier en fonction de chaque cas particulier : ces simplifications seront évoquées dans le paragraphe 2.1.2

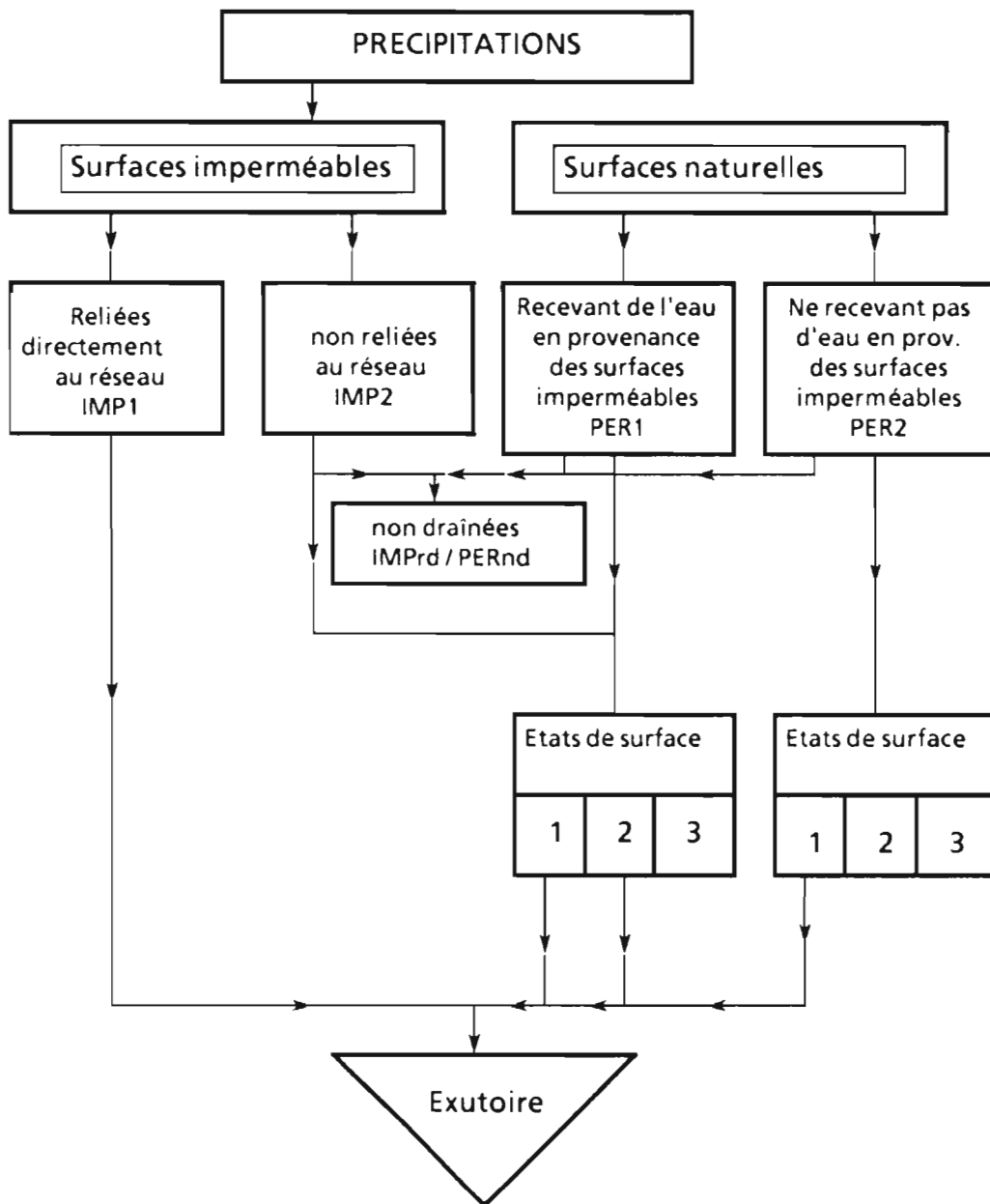


Figure n° 1 - Organigramme des types d'occupation du sol

2. METHODOLOGIE DE CALCUL DES COEFFICIENTS D'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN ETUDIE

2.1. Généralités sur le choix des catégories d'occupation du sol à déterminer

Le choix des différentes catégories d'occupation du sol, indiqué de façon générale par la figure n°1, dépend essentiellement des possibilités d'identification des catégories en question, de la précision numérique avec laquelle on peut les déterminer et de l'application qu'on souhaite faire de ces résultats. On travaille par exemple à un niveau plus ou moins fin selon la qualité du document photographique ou photo-interprété disponible, la performance de la méthode de dépouillement utilisée ou le type de bassin étudié. Nous analyserons plus en détail ces facteurs dans ce qui suit.

2.1.1. Problèmes d'identification des catégories d'occupation du sol

Les problèmes d'identification des catégories d'occupation du sol sont liés :

- à la qualité du document disponible
- à la nature de la catégorie étudiée.

En ce qui concerne le document de référence , celui-ci peut être constitué par une photographie aérienne, un plan photo-interprété tiré de cette photographie aérienne, ou encore une image de télédétection. Mais, compte tenu de la petite taille et de la nature des objets à identifier (toitures par exemple), on doit remarquer que :

- les plans photo-interprétés sont souvent très imprécis,
- la résolution, et surtout la caractérisation des divers états de surface des images télédétection (SPOT 1 pixel : 10x20 m) ne sont pas encore suffisamment performantes pour obtenir une détermination précise des différents constituants élémentaires de l'occupation du sol en milieu urbain.

Par conséquent, on choisira comme document de base, chaque fois que c'est possible, la photographie aérienne, fidèle reproduction de la réalité.

L'utilisation de photographies aériennes pour être pertinente doit satisfaire à certaines recommandations :

- il est souhaitable que l'échelle des documents photographiques soit au moins de 1/5 000^e
- il est également souhaitable d'utiliser les clichés dans leur partie centrale, ou mieux -mais plus astreignant- en vision stéréoscopique, sous peine d'avoir une image déformée suivant l'angle de la visée photographique : cet inconvénient est d'autant plus important que les constructions photographiées sont hautes, comme le montre la figure 2 ci-après.

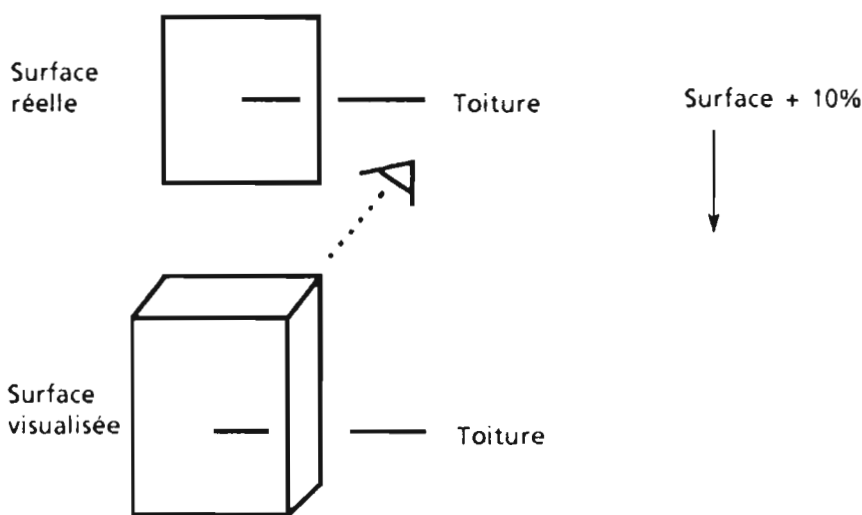


Figure n° 2 - Distorsion des vues aériennes

En ce qui concerne la nature de la catégorie étudiée, les problèmes d'identification proviennent non seulement de la taille des objets, mais aussi du caractère associé à cette catégorie : il est par exemple impossible de distinguer sur une photographie aérienne les surfaces drainées des surfaces non drainées, ou de voir quelles sont les surfaces imperméables directement reliées au réseau.

La détermination de tels caractères ne peut être rendue possible que par une bonne connaissance du bassin et par la définition d'objets physiques identifiables que l'on sait associés à ces caractères. Cette façon de procéder nécessite que l'association de ces objets physiques avec les caractères recherchés reste homogène sur des zones assez larges : nous avons constaté que c'était bien le cas sur les bassins étudiés.

Ceci nous a conduit à définir la liste d'objets physiques suivante :

- toitures
- cours d'habitation
- voiries goudronnées
- voiries non goudronnées
- grands espaces naturels
- végétation aérienne (arbres)
- végétation au sol (herbes, cultures).

Les cinq premiers concernent les différents types d'aménagement susceptibles, par leur caractère propre et leur position relative, d'influencer significativement le ruissellement. Les deux derniers concernent les états de surfaces naturelles directement identifiables sur photographies aériennes.

Chacun de ces objets constitue donc une unité élémentaire spécifique vis à vis du ruissellement et des caractères que nous avons définis au paragraphe 1, constitués par :

- les états de surface
- la position respective de ces unités dans la dualité imperméable/naturel
- le drainage de l'écoulement.

2.1.2. Choix des catégories d'occupation du sol en fonction de l'application envisagée.

Le choix des différentes catégories d'occupation du sol à déterminer est lié au fonctionnement hydrologique du bassin et à l'application envisagée .

Ainsi, par exemple, dans le cas d'un bassin urbanisé situé en zone tempérée, on considère que l'écoulement en provenance des surfaces naturelles est négligeable devant celui provenant des surfaces imperméables. En effet, les intensités de pluie y sont la plupart du temps de l'ordre de grandeur de la capacité d'absorption des sols et dans ces conditions, la plus grande partie de l'écoulement est perdue par infiltration.

Pour ce type de bassin, on ne cherchera donc à déterminer que la proportion des surfaces imperméables, ou plus restrictivement encore la proportion de surfaces imperméables directement reliées au réseau d'assainissement.

Un autre exemple est constitué par les bassins dont les surfaces naturelles sont peu perméables. Dans ce cas, le ruissellement apparaît très vite sur l'ensemble des surfaces naturelles et la distribution entre surfaces naturelles recevant ou non de l'eau en provenance des surfaces imperméables n'a pas lieu d'être établie.

En ce qui concerne l'utilisation ultérieure des résultats -modélisation par exemple-, il convient bien sûr de s'assurer que la précision recherchée dans la définition et la mesure des différentes classes d'occupation des sols est compatible avec les performances du modèle.

2.1.3. Problèmes de dépouillement des coefficients d'occupation du sol

La détermination des coefficients d'occupation du sol est une opération qui comporte des difficultés liées aux facteurs suivants :

- la durée de l'opération
- le coût de l'opération
- les possibilités d'identification du caractère étudié
- les possibilités de mesure du caractère étudié
- le matériel technique nécessaire.

Parmi les méthodes de dépouillement utilisées actuellement, nous distinguerons :

- les méthodes basées sur la mesure exhaustive des surfaces correspondant aux caractères recherchés

Cette mesure peut être réalisée à trois niveaux différents :

- * identification et calcul automatique des états de surface : ces possibilités offertes par la télédétection ne sont pas encore suffisamment performantes pour le problème qui nous préoccupe, mais leurs avantages justifient le

développement des recherches dans cette direction. Le coût et le matériel de mise en oeuvre de ces méthodes sont néanmoins relativement lourds.

- * identification manuelle et calcul automatique des états de surface: l'identification exhaustive est dans ce cas longue, fastidieuse, et parfois difficile. Les surfaces étant identifiées, on procède ensuite à la saisie des contours soit :
 - par réalisation d'un masque opaque dont les zones assombries correspondent aux surfaces recherchées. La détermination des coefficients associés à ces surfaces est effectuée ensuite au planimètre électronique à balayage (I.G.N. 1978) ;
 - par digitalisation des contours et dépouillement des superficies occupées à l'aide de programmes adéquats. Le matériel nécessaire est constitué par une table à digitaliser et un équipement informatique approprié (micro-ordinateur par exemple).

Cette technique a notamment été utilisée au centre ORSTOM de Lomé (LE BARBE et al., 1984, 1985).

D'autres possibilités existent au Centre National Universitaire Sud de Calcul - CNUSC (MAZUREK, 1985).

- * identification et calcul manuels des états de surface: ces méthodes ont pour seul avantage de ne requérir aucun matériel coûteux particulier.
 - les méthodes basées sur la mesure statistique des surfaces correspondant aux caractères recherchés

Le principe de la mesure statistique consiste à définir un échantillon de n points, répartis aléatoirement sur la surface étudiée. Chacun de ces n points doit être identifié et la proportion de points de l'échantillon correspondant au caractère recherché désigne le coefficient d'occupation du sol de ce caractère.

Par rapport aux méthodes opérationnelles basées sur la mesure exhaustive, les méthodes basées sur la mesure statistique possèdent beaucoup d'avantages :

- une mise en oeuvre plus rapide et plus simple.
- une plus grande capacité à mesurer des objets dont les formes géométriques peuvent ne pas être simples.
- un support logistique beaucoup plus modeste.

L'ensemble de ces avantages montre l'intérêt que peuvent représenter de telles méthodes. Ceci nous a conduit à mettre au point une méthode de détermination des coefficients d'occupation du sol basée sur les sondages statistiques pour nos propres besoins. Cette méthode est plus précisément décrite dans le paragraphe suivant.

2.2. Proposition d'une méthode de dépouillement des coefficients d'occupation du sol par sondage statistique

2.2.1 Analyse théorique du problème

La principale difficulté rencontrée dans l'utilisation des méthodes de mesure statistique concerne la précision des résultats et le problème se pose dans les termes suivants :

- Combien de points doit-on identifier pour obtenir la valeur des coefficients d'occupation du sol d'une caractéristique donnée, avec un premier seuil de précision α fixé (concernant la mesure du coefficient) et un deuxième seuil de précision β fixé (concernant le risque d'erreur) ?
- Formulé autrement, ce problème revient à savoir comment calculer la probabilité que le coefficient d'occupation du sol d'une caractéristique donnée, mesuré expérimentalement, soit distant d'au plus $\alpha\%$ du coefficient réel, avec un risque d'erreur inférieur à $\beta\%$?

L'inégalité de Bienaymé-Tchebichev fournit la réponse :

- si X est une variable aléatoire d'espérance mathématique \bar{X} et de variance σ^2 , cette inégalité précise que :

$$Prob(|X - \bar{X}| \geq \epsilon) \leq \frac{\sigma^2}{\epsilon^2}$$

Définissons l'épreuve qui consiste à identifier n points sur une maille donnée, et une variable aléatoire X_i , associée à une caractéristique donnée i (toiture par exemple), définissant le nombre de points correspondant à la caractéristique i parmi les n points identifiés :

X_i = nombre de points identifiés correspondant à la caractéristique i

Cette variable peut prendre les valeurs 0 à n et sa loi de probabilité est une loi binomiale :

$$Prob(X_i = k) = C_n^k p_i (1 - p_i)^{n-k}$$

expression dans laquelle p_i n'est autre que la valeur du coefficient d'occupation du sol de la caractéristique i,

D'autre part :

$$E(X_i) = np_i$$

$$Var(X_i) = np_i(1 - p_i)$$

Appelons \hat{p}_i , l'évaluation expérimentale du coefficient d'occupation du sol de la caractéristique i, obtenue par l'identification des n points :

$$\hat{p}_i = \frac{\text{nombre de points correspondant à la caractéristique } i}{\text{nombre de points identifiés}} = \frac{X_i}{n}$$

\hat{p}_i est encore une variable aléatoire et

$$E(\hat{p}_i) = E\left(\frac{X_i}{n}\right) = \frac{1}{n} E(X_i) = \frac{1}{n} \cdot np_i = p_i$$

$$Var(\hat{p}_i) = Var\left(\frac{X_i}{n}\right) = \frac{1}{n^2} np_i(1 - p_i) = \frac{p_i(1 - p_i)}{n}$$

L'inégalité de Bienaymé-Tchebichev appliquée à la variable aléatoire \hat{p}_i s'écrit :

$$Prob(|\hat{p}_i - p_i| < \varepsilon) \geq 1 - \frac{p_i(1 - p_i)}{n\varepsilon^2} \quad (1)$$

et permet de trouver effectivement le nombre nécessaire de points à identifier pour obtenir une évaluation \hat{p}_i du coefficient d'occupation du sol d'une caractéristique i donnée, avec une précision ε fixée et un risque d'erreur inférieur à $p_i(1-p_i)/n\varepsilon^2$.

L'expression (1) montre également que le nombre de points à identifier dépend des trois facteurs suivants :

- la proportion exacte associée à la caractéristique étudiée
- la précision avec laquelle on veut connaître cette proportion
- le risque d'erreur admis.

Pour une précision de l'ordre de 5%, on veut calculer en fonction du nombre de points utilisés pour l'identification, le risque d'erreur de trouver des valeurs expérimentales du coefficient d'occupation du sol de la caractéristique en dehors de l'intervalle $20-5 = 15\%$ et $20 + 5 = 25\%$.

L'inégalité (1) s'écrit dans ce cas :

$$Prob(0,15 < p_i < 0,25) \geq 1 - \frac{0,20 \cdot 0,80}{n \cdot 0,05^2} = 1 - \frac{64}{n}$$

Dans ces conditions, en choisissant d'identifier :

- 500 points : le risque d'erreur est inférieur à 12,8 %
- 1000 points : le risque d'erreur est inférieur à 6,4 %.

Le tableau suivant indique le nombre de points à identifier en fonction de p_i et ε le risque d'erreur étant fixé à 10%.

Pourcentage de représentation de la caractéristique étudiée P_i										
%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Précision (%) ϵ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	1188	2250	3188	4000	4688	5250	5688	6000	6188	6250
5	190	360	510	640	750	840	910	960	990	1000
10	48	90	128	160	188	210	228	240	248	250
15	21	40	57	71	83	93	101	107	110	111
20	12	23	32	40	47	53	57	60	62	63
30	5	10	14	18	24	23	25	27	28	28
50	2	4	5	6	8	8	9	10	10	10

Tableau 1 : Nombre de points à identifier en fonction de P_i et ϵ

2.2.2 Elaboration des grilles de points

Le principe de positionnement des points à identifier sur la superficie étudiée consiste à tracer des grilles de n points aléatoirement répartis sur ces grilles. Les grilles sont par la suite photocopiées sur des supports transparents, et placées sur le document photographique de référence : l'identification des n points peut alors commencer.

La confection des grilles de points compte deux étapes :

La première étape consiste en l'élaboration de N fichiers contenant chacun n couples de coordonnées choisis de manière aléatoire. Nous avons pour nos premiers essais constitué 10 fichiers de 100 couples.

La génération de la suite de nombres aléatoires est faite par la méthode de congruence multiplicative (BRUNET-MORET, 1969).

$$x_i = a x_{i-1} \quad \text{modulo } m$$

x_i est le reste de la division du produit (a multiplié par x_{i-1}) par le diviseur m ; x_i , x_{i-1} , a et m étant des nombres entiers positifs.

Exemple : $x_0 = 3$ $a = 2$ $m = 7$

1ère boucle $x_i = 2 \times 3 (7)$ $x_i = 6$

2ème boucle $x_i = 2 \times 6 (7)$ $x_i = 5$

3ème boucle $x_i = 2 \times 5 (7)$ $x_i = 3$

On voit sur cet exemple, que la suite de nombres ainsi créée est périodique.

BRUNET-MORET propose de prendre au départ pour x_0 un nombre égal ou supérieur à 32 767, pour m la valeur $2^{31}-1$, soit 2 147 483 647 qui est le plus grand nombre entier qui puisse être obtenu par les ordinateurs "360", et enfin pour le multiplicateur a : 65 539, nombre premier qui a été choisi après tests.

Ainsi, pour un x_0 impair pris avec 7 ou 8 chiffres, la période de la suite est égale à 2^{29} termes, soit 53 6870 912 termes.

La deuxième étape consiste à représenter graphiquement les N grilles de n points répartis aléatoirement. Ces graphiques ont été réalisés par le logiciel STATGRAPHICS, et tracés sur le plotter HP 7475 du Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier. Les données ASCII des fichiers de nombres aléatoires doivent d'abord être converties dans le système STATGRAPHICS (menu A/3 : DATA MANAGEMENT/IMPORT FILES).

Ensuite, le sous-menu E/1 : PLOTTING FUNCTIONS/X-Y LINE AND SCATTERPLOTS procède à l'élaboration de la grille de points, qui est visualisée à l'écran.

La touche F5 permet d'accéder à une fenêtre contenant différentes options :

- a) PLOT options → correction de l'intitulé, etc.

- b) GRAPHICS options → modification du graphisme
 → modification de la taille de la grille
 → etc.

c) REPLOT → visualisation de la grille, compte tenu des modifications apportées en a) et b).

Si le tracé est accepté, on procède au stockage sur disque ou disquette (CTRL F9, puis REPLOT).

La sortie sur table traçante se fait à partir du menu I, et du sous-menu D : PLOTTER INTERFACE.

Il est nécessaire de répondre successivement aux options :

D1. Communication-initialisation

D2. plotter initialisation

D3. send recorded files to plotter.

Dans cette dernière étape, il est encore possible de modifier la taille de la grille, que l'on s'efforcera de choisir identique à la maille à étudier. On y définit également le graphisme des points.

Il suffit ensuite de photocopier les grilles obtenues à la table traçante sur support transparent.

2.2.3. Commentaires sur la mise en oeuvre de la méthode

Le premier commentaire, valable pour l'ensemble des méthodes de dépouillement du coefficient d'occupation du sol en milieu urbain, est de travailler de préférence à partir d'une photographie aérienne : il convient de se méfier des plans photo-interprétés dont la fidélité de reproduction est très variable. Une échelle de 1/5 000^e constitue d'autre part un minimum à ne pas dépasser, pour des raisons de lisibilité. On veillera enfin, dans le cas d'une photographie aérienne, à travailler dans la zone centrale du document, ou mieux, en stéréoscopie, pour éviter une distorsion d'autant plus grande que les objets sont de haute taille.

En ce qui concerne plus particulièrement la méthode de mesure des coefficients d'occupation du sol par sondage statistique, le dépouillement consiste à couvrir la totalité de la surface étudiée par N nombre de grilles identifiées, comportant chacune n points, à la condition que N x n soit proche du nombre de points

nécessaires à la détermination des coefficients d'occupation du sol avec la précision voulue. Il est bon à cet effet de disposer de plusieurs jeux de grilles de tailles différentes et dont le nombre de points est également différent, de façon à réduire les manipulations des transparents. Nous avons reporté en annexe deux jeux de grilles formés à partir de 1 000 points, comportant :

- 2 grilles de 500 points pour le premier
- 10 grilles de 100 points pour le second.

A titre indicatif, l'identification et le dépouillement de grilles comportant au total 1000 points représentent un travail d'une demi-journée, et ce nombre de points est suffisant pour obtenir une précision au moins égale à 5%, avec un risque d'erreur égal à 10%.

3. DETERMINATION DES COEFFICIENTS D'OCCUPATION DU SOL SUR LES BASSINS EXPERIMENTAUX ETUDIES EN MILIEU URBAIN

3.1. Description de l'urbanisation

L'objet de ce paragraphe est de donner, pour chacun des bassins expérimentaux étudiés, une description de l'urbanisation rencontrée, sous deux aspects constitués par :

- . les différents aménagements relatifs aux bâtiments, voiries, espaces, drainage etc.
- . les associations entre ces aménagements et les surfaces susceptibles d'agir sur le ruissellement telles qu'elles ont été définies dans le chapitre 1.

3.1.1. Le bassin de Niamey

5 bassins ont été étudiés à Niamey :

- les bassins n°1, 2 et 3 de 1978 à 1980
- les bassins A et B en 1987 (le bassin A reprend le bassin 1).

La majeure partie de ces bassins présente les mêmes caractéristiques d'urbanisation que l'on peut désigner par le terme d'habitat traditionnel. Elles sont décrites dans ce qui suit :

- les maisons sont de petites tailles (environ 30 à 50 m² au sol) construites en dur, avec des toitures en pente dont l'écoulement se déverse directement dans la cour de la concession ou dans la rue avoisinante. On ne trouve aucune construction à étages.
- les maisons sont bordées ou entourées de cours non revêtues, dont la surface est en moyenne de l'ordre d'une cinquantaine de mètres carrés. Sur les bassins, ces cours sont toutes convenablement drainées par des ouvertures pratiquées à la base des murs de la concession. En dehors des bassins, à la périphérie de Niamey notamment, on trouve des quartiers dont les cours sont, elles, fréquemment inondées.

- les réseaux de voiries quadrillent les blocs de concessions en unités rectangulaires dont la surface est en moyenne de l'ordre de 7 000 m². Ces voiries ne sont généralement pas goudronnées, à l'exception des axes principaux qui sont la plupart du temps bordés par des collecteurs.
- le réseau de drainage est constitué par des collecteurs ramifiés de type rectiligne. Ceux-ci peuvent être construits à ciel ouvert, simplement couverts par des dalles, ou enterrés. Ces derniers sont apparus récemment à Niamey, à l'occasion des grands travaux d'assainissement effectués en 1985.

Dans le cas d'ouvrages enterrés, la capture de l'écoulement dans le réseau est assurée soit par des ouvertures latérales soit par des ouvertures supérieures surmontées de grilles.

L'organisation des collecteurs est calquée sur celle des axes de circulation. Il n'existe pas de réseau de drainage au niveau d'un bloc de concessions, et nombre de voiries secondaires en sont également démunies.

Dans ces conditions, les associations entre les surfaces susceptibles d'influencer le ruissellement et les objets physiques identifiables sur photographie aérienne peuvent être résumés de la façon suivante :

- les surfaces imperméables drainées, directement reliées au réseau sont représentées par les routes goudronnées.
- les surfaces imperméables drainées, non directement reliées au réseau sont représentées par les toitures.
- les surfaces naturelles drainées recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables sont représentées par les cours de concessions et les voiries non goudronnées.
- les surfaces naturelles drainées ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables sont représentées par les grands espaces.

Toutes les surfaces sont dans l'ensemble bien drainées et la végétation se réduit à la présence de quelques arbres.

En plus de ces zones qui constituent majoritairement l'ensemble des bassins étudiés, on trouve également quelques quartiers dont les caractéristiques sont assez différentes :

- la partie sud du bassin A présente une urbanisation assez peu dense, constituée principalement d'entrepôts et bâtiments administratifs ou militaires, dont les dimensions sont de l'ordre de 700 m² en moyenne. Cette zone est drainée naturellement jusqu'au collecteur situé sur sa bordure aval.
- la partie aval du bassin B est une zone moderne à activité commerciale, pour laquelle les bâtiments sont d'assez grandes dimensions (de l'ordre de 200 à 1000 m²) et relativement espacés les uns des autres. Ces bâtiments sont entourés par de grandes étendues naturelles, et certains sont directement reliés au réseau de drainage.

La quasi totalité des rues est goudronnée et la végétation arborée n'est pas négligeable.

- sur les bassins n°1 et 2, on trouve quelques zones de petits commerces caractérisées par une forte densité de surfaces habitées, dont les tailles sont variables en fonction de la date de (re)construction. Les plus anciennes sont constituées de petites échopes à caractère précaire drainées de façon rudimentaire. Les plus modernes conservent leur structure individuelle d'échopes mais sont intégrées dans des bâtiments de plus grande taille équipés d'un réseau de drainage enterré.

On trouve donc, sur le bassin de Niamey, 4 zones d'urbanisation différentes :

- 1 - Zone à habitat traditionnel, rencontrée majoritairement sur les bassins suivis.
- 2 - Zone nue ou avec peu de constructions, sur la partie sud du bassin A.
- 3 - Zone moderne à activité commerciale, sur la partie aval du bassin B.
- 4 - Zone de petits commerces, disséminés sur l'ensemble des bassins.

Le tableau suivant indique les proportions respectives de ces zones sur l'ensemble des bassins suivis (BOUVIER, 1986 et 1988).

BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone nue ou avec peu de constructions	Zone moderne à activité commerciale	Zone de petits commerces
BV 1	85	0	13	2
BV 2	93	0	0	7
BV 3	69	31	0	0
BV A	54	45	0	1
BV B	48	0	52	0

Tableau 2. NIAMEY: ZONES D'URBANISATION

3.1.2. Les bassins de Ouagadougou

Trois bassins ont été étudiés à Ouagadougou de 1977 à 1979. Ceux-ci présentent des modes d'urbanisation comparables à ceux de Niamey ; on y retrouve, aux différences de proportions près :

- des zones de terrains nus sans ou avec peu de constructions
- des zones dites "d'habitat traditionnel"
- une zone plus moderne à activité commerciale.

Nous ne reviendrons pas sur la description de ces différentes zones et indiquons simplement les pourcentages d'occupation du sol qu'elles représentent sur les bassins de Ouagadougou.

On trouve par ailleurs sur le bassin n° 3 une zone à caractère résidentiel et administratif, dont les constructions de moyenne ou de petite taille sont situées au milieu de parcelles plantées d'arbres, avec ou sans aires gazonnées. Cette zone se distingue des autres, au regard du ruissellement, par les forts pourcentages de végétation qu'on y rencontre et qui produisent naturellement une diminution notable du ruissellement. Les associations entre les objets physiques identifiables et les catégories de surfaces susceptibles d'agir sur le ruissellement sont identiques à celles que nous avons définies à Niamey.

Les bassins de Ouagadougou, comportent 4 zones d'urbanisation différentes dont les proportions respectives sur l'ensemble des bassins suivis sont résumées par le tableau suivant (LE BARBE, 1982).

BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone nue ou avec peu de constructions	Zone moderne à activité commerciale	Zone résidentielle et administrative
BV 1	100	0	0	0
BV 2	82	18	0	0
BV 3	56	6	6	32

Tableau 3. OUAGADOUGOU: ZONES D'URBANISATION

3.1.3. Les bassins de BAMAKO

Quatre bassins ont été étudiés à Bamako de 1978 à 1980, et en 1982.

Ces bassins présentent des modes d'urbanisation comparables à ceux de Niamey ; on y retrouve, aux différences de proportions près (carte fig. n° 3) :

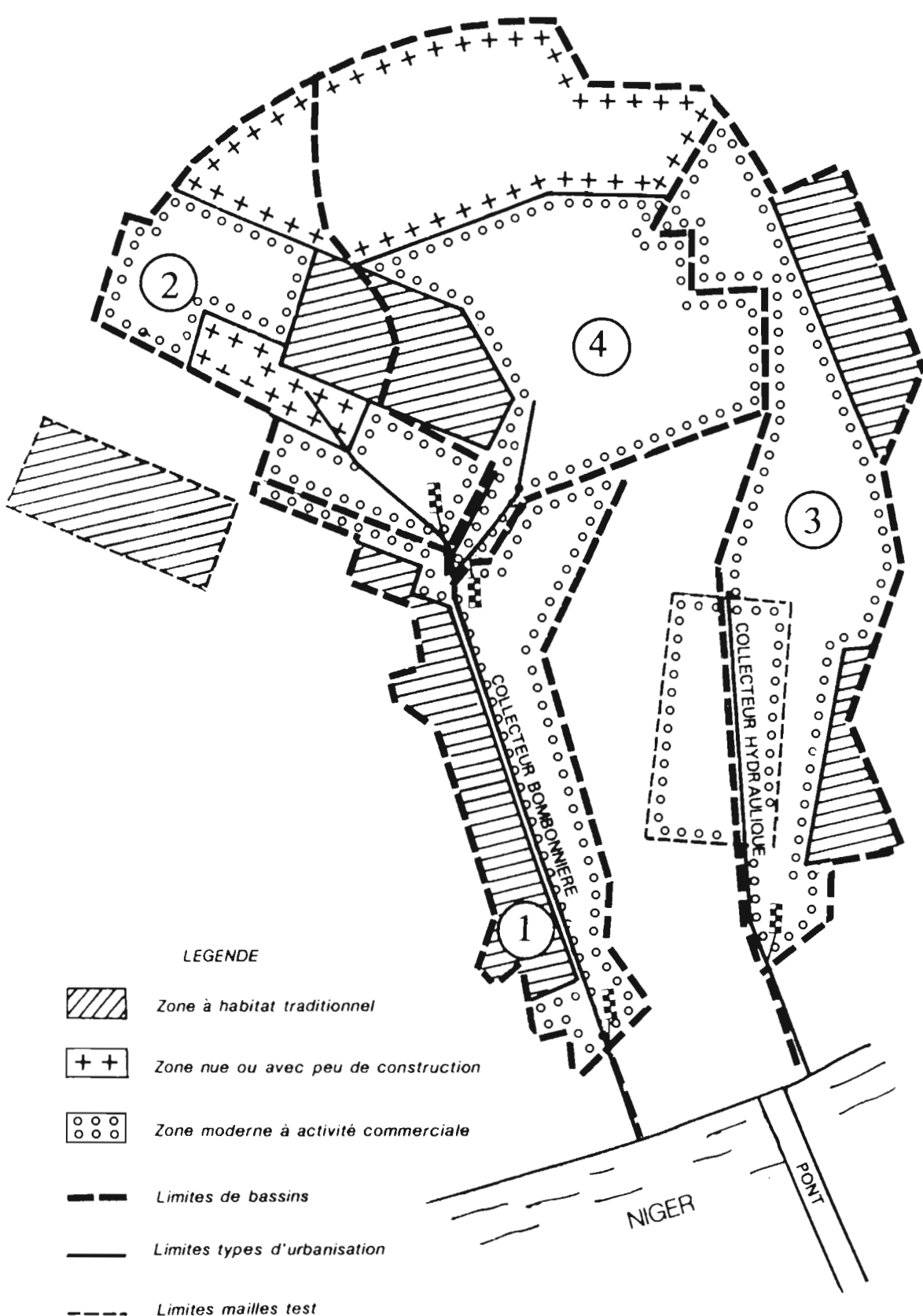
- des zones de terrains nus sans ou avec peu de construction
- des zones dites "d'habitat traditionnel"
- une zone plus moderne à activité commerciale.

Nous ne reviendrons pas sur la description de ces différentes zones et indiquons simplement les pourcentages d'occupation des sols qu'elles représentent. Ces pourcentages sont résumés par le tableau suivant :

BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone nue ou avec peu de constructions	Zone moderne à activité commerciale
BV 1	36	0	64
BV 2	16	37	47
BV 3	25	0	75
BV 4	10	47	43

Tableau 4. BAMAKO: ZONES D'URBANISATION

BASSIN DE BAMAKO
REPARTITION DES TYPES D'URBANISATION



3.1.4. Les bassins de LOME

Trois bassins ont été étudiés à Lomé de 1977 à 1979. Ceux-ci présentent exclusivement une urbanisation de type habitat traditionnel. Bien que revêtant une forme architecturale propre à Lomé, ce type d'habitat peut être assimilé, au regard du ruissellement, à celui rencontré à Niamey que nous avons décrit plus en détail. On s'y reportera pour en trouver les principales caractéristiques.

Cependant, sur la partie aval du bassin n°1, nous avons constaté que les cours de concessions ne sont pas drainés et stockent une grande partie de l'écoulement. Ces cours sont situées en contrebas des voiries avoisinantes ; une quelconque ouverture pratiquée à la base des murs de la concession aurait pour effet d'aggraver l'inondation de la cour avec l'écoulement issu des voiries. Dans ces conditions, on peut considérer que, sur cette partie du bassin, une partie des toitures et des cours de concessions doivent être considérées comme des surfaces non drainées.

A côté des zones à urbanisation de type habitat traditionnel, on trouve sur le bassin n°1 une vaste zone comportant peu de constructions et correspondant au camp militaire du R.I.T.

Les bassins de Lomé, se divisent en 2 zones d'urbanisation distinctes, dont les proportions respectives sont résumées par le tableau suivant.

BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone nue ou avec peu de constructions
BV 1	79	21
BV 2	100	0
BV 3	100	0

Tableau 5. LOME: ZONES D'URBANISATION

3.1.5. Les bassins de COTONOU

Trois bassins ont été étudiés à COTONOU de 1978 à 1979, présentant principalement une urbanisation de type habitat traditionnel. Bien que revêtant une forme architecturale propre à Cotonou, ce type d'habitat peut être assimilé, au regard du ruissellement, à celui rencontré à Niamey. On s'y reportera pour en trouver les principales caractéristiques. A côté des zones à urbanisation de type habitat traditionnel, on trouve sur la partie sud du bassin n°3 une zone moderne à activité commerciale, dont les caractéristiques sont analogues à celles décrites pour la zone de même type rencontrée à Niamey.

On trouve donc sur les bassins de Cotonou, 2 zones d'urbanisation distinctes, dont les proportions respectives sont résumées par le tableau suivant.

BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone moderne à activité commerciale
BV 1	100	0
BV 2	100	0
BV 3	63	37

Tableau 6. COTONOU: ZONES D'URBANISATION

3.1.6. Les bassins de Yopougon

4 bassins, portant les numéros 1, 5, 6 et 7 ont été étudiés à Yopougon entre 1983 et 1985.

L'urbanisation de ces bassins a fait l'objet d'une étude approfondie réalisée par nos soins, exposée dans ce qui suit, motivée par une redéfinition plus précise des coefficients d'occupation du sol initialement calculés.

L'urbanisation sur le site de Yopougon présente une grande diversité liée aux niveaux de développement et à l'activité des différentes zones.

On peut distinguer :

- les zones à habitat traditionnel loti
- les zones à habitat traditionnel non loti
- les zones à habitat moderne individuel
- les zones à habitat moderne collectif
- la zone industrielle
- les zones de petits commerces.
- les zones de terrains vagues ou cultivés, sans ou avec peu de constructions

Les zones d'habitat traditionnel loti présentent, au regard du ruissellement des caractéristiques identiques à celles rencontrées dans les autres villes africaines. On notera cependant que l'on trouve parfois dans ces zones des constructions plus modernes à étages.

Les zones d'habitat traditionnel non loti représentent sur les bassins de petites unités éparses. Elles sont constituées de constructions précaires et démunies de système d'assainissement. La notion de cour ne correspond ici à aucune réalité.

les zones à habitat moderne individuel sont très homogènes et les constructions sont toutes réalisées sur le même modèle. Les maisons sont de petite taille, sans étage, et comportent une cour intérieure généralement cimentée, et drainée par des tuyaux directement reliés au collecteur le plus proche.

Les voiries sont le plus souvent goudronnées et bordées de collecteurs à ciel ouvert : le réseau de collecteurs est disposé de la même façon que le réseau des voiries et quadrille l'ensemble de la zone en blocs rectangulaires. Pour ce type d'habitat, les surfaces imperméables sont donc les toitures, les cours et les routes, que l'on peut toutes considérer comme étant directement reliées au réseau de collecteurs. L'ensemble des surfaces du bassin est bien drainé et la végétation y est rare.

Les zones à habitat moderne collectif sont constituées par des ensembles d'immeubles. Ceux-ci comportent jusqu'à une dizaine d'étages et leurs toitures sont directement reliées au réseau d'assainissement souterrain qui équipe la plupart de ces zones. Les voiries sont goudronnées. L'ensemble des surfaces de ces zones est bien drainé et la végétation y est parfois présente sous forme d'aires gazonnées.

La zone industrielle est constituée de bâtiments de grande taille, assez espacés entre eux. Cette zone est équipée d'un réseau d'assainissement enterré qui draine directement toutes les surfaces imperméables. La proportion de voiries, goudronnées la plupart du temps, est importante. La végétation est également très présente, et couvre tous les espaces naturels.

Les zones de petits commerces représentent sur les bassins de petites unités éparses. Elles possèdent les mêmes caractéristiques que dans les autres villes africaines.

Les zones de terrains vagues ou cultivés sont constituées de terrains incultes, couverts de végétation ou de plantations d'ananas, principalement en exploitations de type industriel.

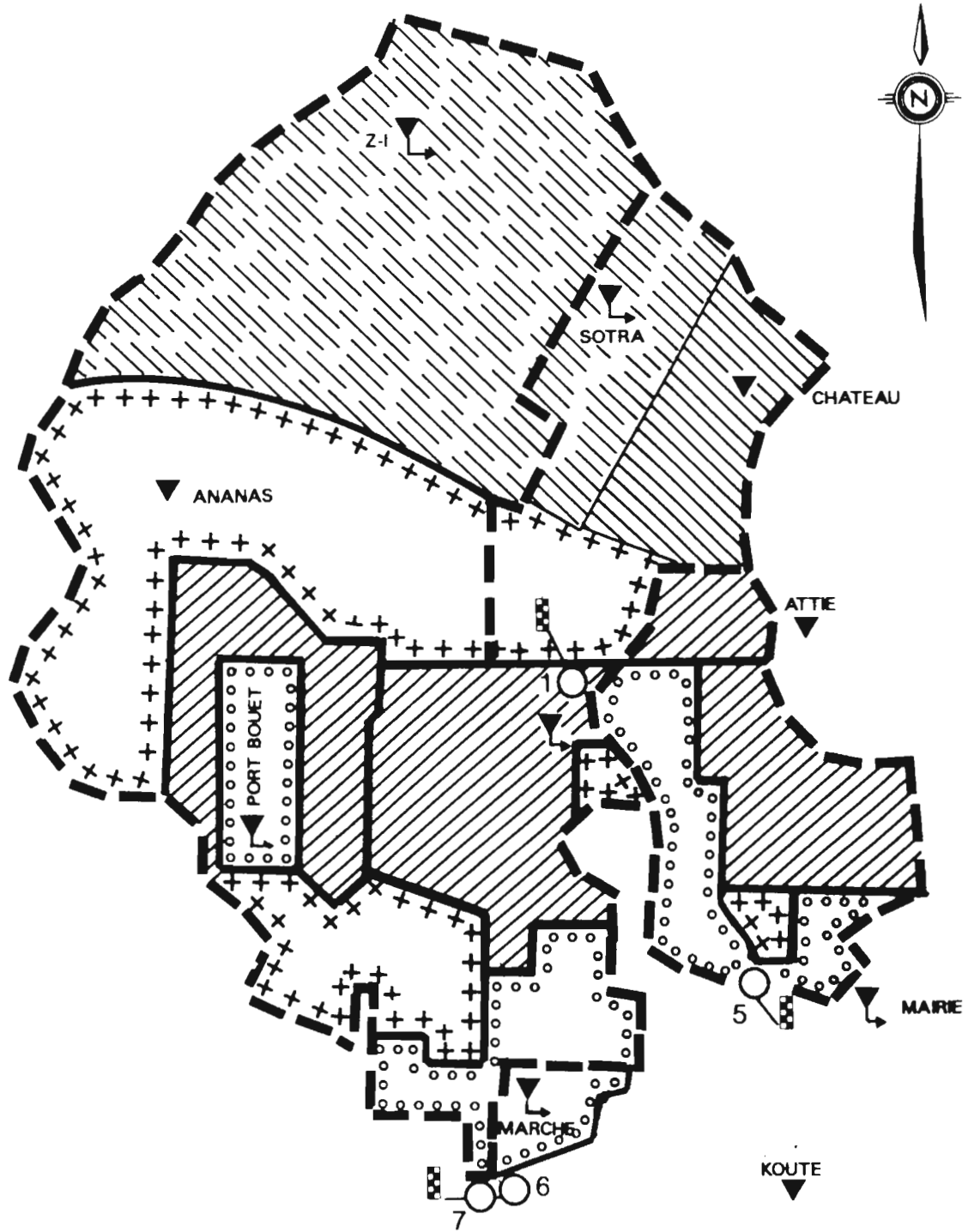
On trouve donc sur les bassins de Yopougon, 6 types d'urbanisation différents. Le tableau suivant présente les proportions respectives de chaque type, en regroupant les 2 types d'habitat traditionnel, ainsi que les 2 types d'habitat moderne (SIGHOMNOU, 1986).

La carte de la figure 4 précise les zones correspondant à ces différents types d'habitat sur les bassins.





BASSINS	Zone à habitat traditionnel	Zone à habitat moderne	Zone industrielle	Zone de terrains vagues ou cultivés
BV 1	49	0	33	18
BV 5	41	54	0	5
BV 6	0	91	0	9
BV 7	10	19	43	28

Tableau 7. YOPOUGON: ZONES D'URBANISATION

BASSINS DE YOPOUGON
REPARTITION DES TYPES D'URBANISATION



LEGENDE

-  Zone à habitations traditionnelles
-  Zone nue ou avec peu de constructions
-  Zone habitations moderne
-  Zone industrielle

Dessiné par JP-DEBUICHE

CONCLUSION

La description des différents types d'urbanisation rencontrés sur l'ensemble des bassins étudiés dans le cadre de la Convention a fait apparaître les catégories suivantes, définies a priori:

- 1 - Zone d'habitat traditionnel non loti
- 2 - Zone d'habitat traditionnel loti
- 3 - Zone d'habitat moderne individuel
- 4 - Zone d'habitat moderne collectif
- 5 - Zone résidentielle ou administrative
- 6 - Zone moderne à activité commerciale
- 7 - Zone de petits commerces
- 8 - Zone industrielle
- 9 - Zone nue sans ou avec peu de constructions.

Cette classification ne prétend pas être exhaustive : elle renferme néanmoins toutes les catégories définies par ailleurs dans les ouvrages techniques consacrés aux interactions de l'eau dans la ville en milieu africain (LE BARBE, 1982 - SIGHOMNOU, 1986 - CIEH, 19..).

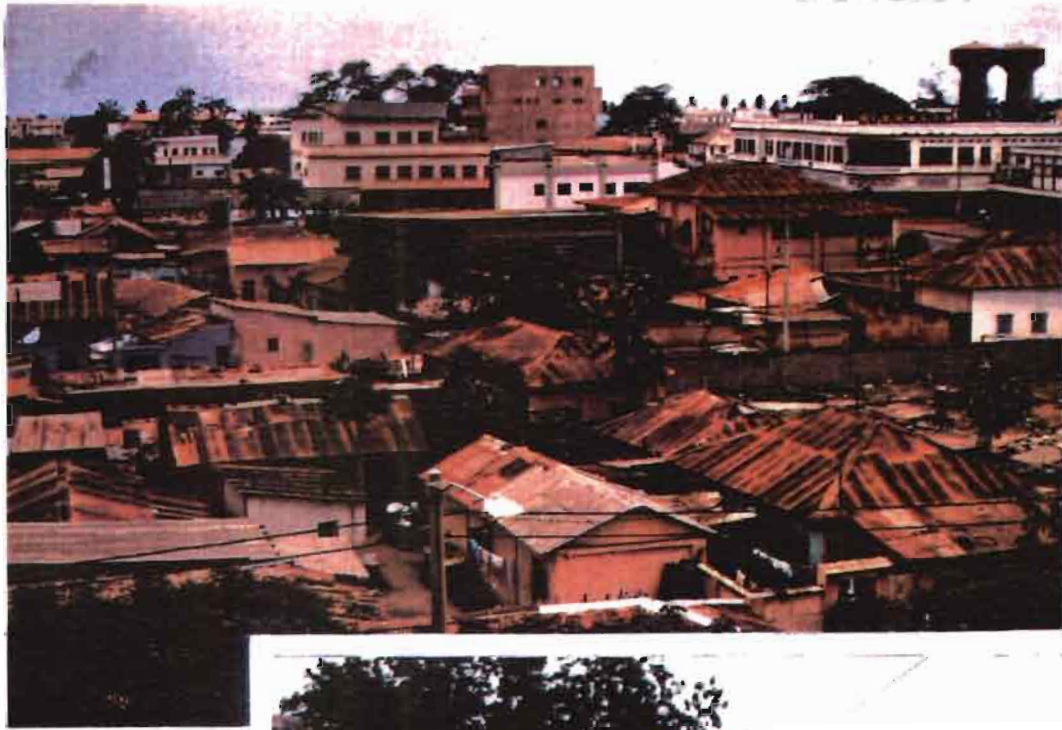
Nous discuterons plus en détail au paragraphe 3.3. la pertinence de cette classification en regard du ruissellement. Cependant, en admettant que cette pertinence repose principalement sur les paramètres IMP, IMP₂, IMPNd, PER₁, PER₂ et PER Nd et secondairement sur le pourcentage de végétation et la densité du réseau de drainage, il est possible, en ne tenant compte que des paramètres principaux, de reporter les différentes catégories urbaines définies précédemment en 4 grands groupes, dont la nature et les caractéristiques sont résumées dans le tableau n° 8.

Les planches photos n° 1 et 2 montrent respectivement des types d'urbanisation rencontrés sur les bassins étudiés, ainsi que différents types de réseaux de drainage.

- Photo n° 1 : LOME. Habitat traditionnel loti, en arrière plan zone à activité commerciale.
Photo n° 2 : NIAMEY. Habitat traditionnel non loti.
Photo n° 3 : YOPOUGON. Habitat moderne individuel.
Photo n° 4 : YOPOUGON.
Photo n° 5 : NIAMEY.

	IMP1	IMP2	IMPNd	PER1	PER2	PERNd	% Végétation	Drainage
Habitat traditionnel non loti (YBV1-YBV5-YBV7)	Routes goudronnées	Toitures		Cours et voiries non goudronnées	Grands espaces		faible	inexistant
Habitat traditionnel loti (NBV1 - NBV2-NBV3-NBVA-NBVB-BBV1-BBV2-BBV3-BBV4-OBV1-OBV2-OBV3-CBV1-CBV2-CBV3-LBV1 amont-LBV2-LBV3)							Faible	Moyen
Habitat traditionnel loti - YBV1							Fort sur PER2	Moyen
Habitat résidentiel OBV3							Fort sur PER1	Moyen
Habitat traditionnel loti LBV1 aval	Routes goudronnées	Toitures	Toitures	Cours et voiries non goudronnées	Grands espaces	Cours	Faible	Moyen
Habitat moderne collectif ou individuel YBV5-YBV6-YBV7	Routes goudronnées Toitures cours			Voiries non goudronnées	Grands espaces		Faible	Important
Zone industrielle YBV1	Routes goudronnées Toitures	Toitures		Voiries non goudronnées	Grands espaces		Fort	Important
Zone moderne ou traditionnelle à activité commerciale NBVB- OBV3- CBV3- BBV1-BBV3							Moyen	Moyen à important

Tableau 8 : CATEGORIES URBAINES. NATURE. CARACTERISTIQUES

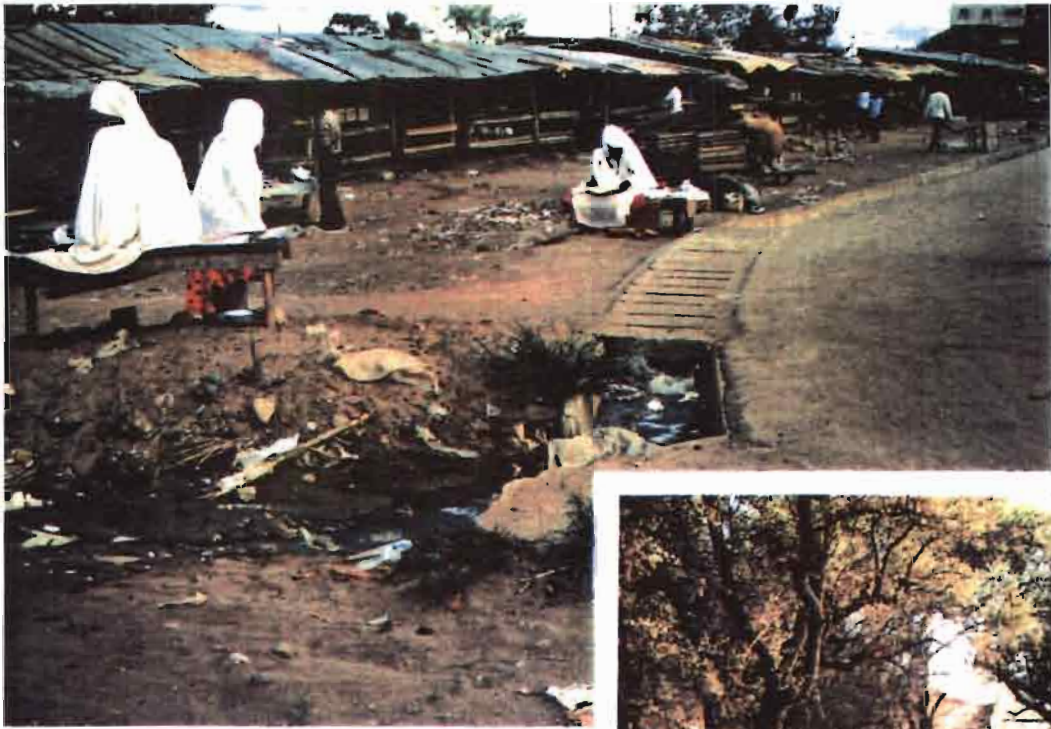


↑
1

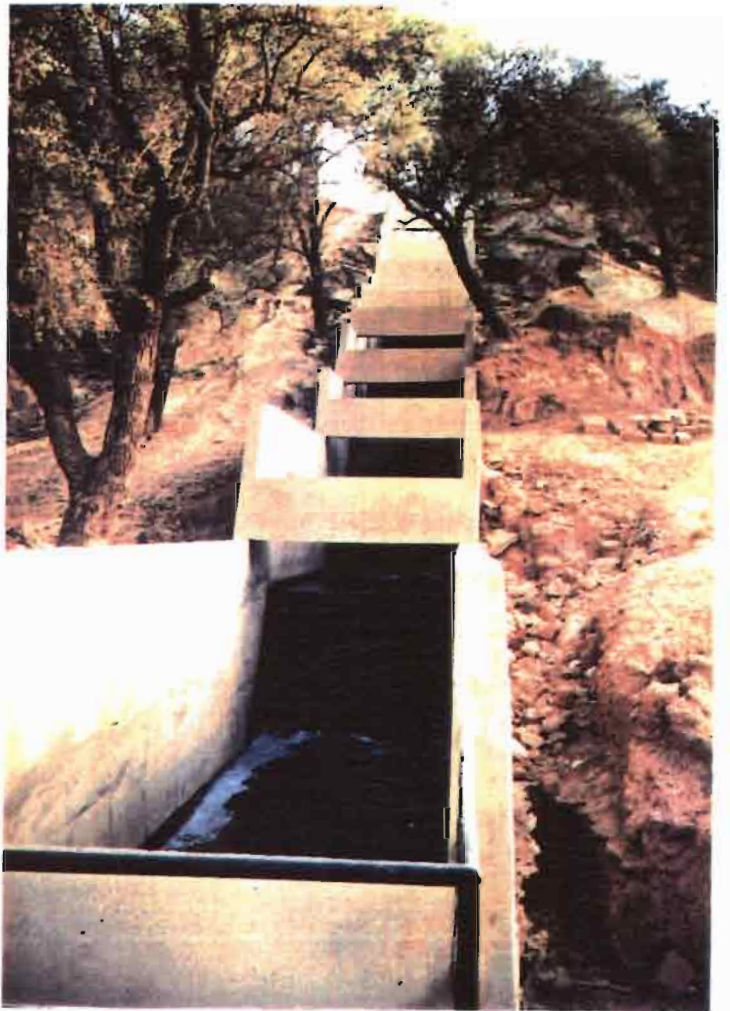
2 →

3
↓





↑
4



5 →

6
↓



3.2. Valeurs numériques des coefficients d'occupation du sol, bassin par bassin

Nous avons voulu dans ce paragraphe calculer pour chaque bassin tous les coefficients d'occupation des sols correspondant aux surfaces susceptibles d'agir sur le ruissellement, définies dans le chapitre 1. .

Rappelons que ces surfaces sont constituées des :

- surfaces imperméables directement reliées au réseau IMP1
- surfaces imperméables non reliées au réseau IMP2
- surfaces imperméables non drainées reliées au réseau IMP nd
- surfaces naturelles recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables, PER₁. Nous distinguerons éventuellement pour cette catégorie les différents états de surface rencontrés sur le bassin considéré.
- surfaces naturelles ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables, PER₂. Nous distinguerons éventuellement pour cette catégorie les différents états de surface rencontrés sur le bassin considéré.
- surfaces naturelles non drainées,PERnd.

La composition des états de surface en fonction de la dualité naturel/imperméable a été détaillée au paragraphe 3.1. Pour déterminer les proportions respectives de ces surfaces, plusieurs protocoles de mesures ont cependant été utilisés et ne fournissent pas tous le même type de résultats.

Par ailleurs, la description des états de surface doit être étendue aux surfaces naturelles et à la variété des caractéristiques hydrodynamiques qu'elles présentent.

Il convient donc de faire le point, pour chaque site étudié, sur ces deux aspects. La plupart des résultats proviennent de rapports déjà publiés et nous en indiquerons dans ce cas la référence. Dans le cas contraire, on trouvera dans le texte le détail des résultats.

Bassins de Niamey

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par comptage manuel de toutes les surfaces, pour les bassins étudiés de 1978 à 1980, à partir d'un plan photo-interprété établi en 1979 à une échelle de 1/5 000^e, agrandi au 1/2 500^e par nos soins (BOUVIER, 1986). Pour les bassins étudiés en 1987, nous avons complété les mesures du bassin A réalisées pour le bassin n° 1, et utilisé la méthode de sondage statistique décrite au paragraphe 2.2 pour le bassin B (BOUVIER, 1988). Le document utilisé dans ce dernier cas est un tirage de photographie aérienne datant de 1979 à une échelle de 1/2 000^e. Nous avons considéré que l'urbanisation était assez stable dans les quartiers étudiés pour que la couverture photographique réalisée en 1979 reste représentative de la situation en 1987.

En ce qui concerne les sols naturels rencontrés sur les bassins expérimentaux, nous avons constaté, à l'occasion de la campagne de mesures de l'infiltration sous pluie simulée réalisée à Niamey du 14.04.86 au 27.04.86, que ces sols peuvent être regroupés en une seule catégorie de sols nus, homogènes en regard du ruissellement (BOUVIER, JANEAU, 1988). L'examen des photographies aériennes indique cependant la présence de végétation arborée, dont l'importance reste généralement faible, à l'exception du bassin B : les pourcentages représentés par cette catégorie n'ont pu être déterminés que dans le cas de l'utilisation de la méthode de dépouillement des coefficients d'occupation du sol par sondage statistique.

Les tableaux suivants indiquent la nature et les proportions respectives des états de surface sur les différents bassins de Niamey.

	Total IMP	Total PER
NBV1	27	73
NBV2	31	69
NBV3	21	79

	IMP1	IMP2	Total IMP	PER1	PER2	Total PER
NBVA	4	17	21	41	38	79
NBVB	9	26	35	35	sol nu vegetat. 2 arborée 28	65

Tableaux 9a - 9b. BV NIAMEY: ETATS DE SURFACE

Bassins de Ouagadougou

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par comptage manuel de toutes les surfaces à partir de photographies aériennes de 1978, agrandies au 1/2 000^e (LE BARBE, 1982) En ce qui concerne les sols naturels, nous avons constaté, à l'occasion de la campagne de mesure de l'infiltration sous pluie simulée réalisée à Ouagadougou du 26.03.87 au 08.04.87 que ces sols peuvent être regroupés en une seule catégorie de sols nus, homogène en regard du ruissellement (BOUVIER et JANEAU, 1988). La végétation arborée reste faible sur ces bassins. Sur le bassin n° 3, on trouve, en plus de la même catégorie de sols nus, quelques zones d'habitat résidentiel comportant des aires gazonnées.

La méthode de dépouillement utilisée n'a cependant pas permis de déterminer les pourcentages d'occupation du sol de la végétation.

Le tableau suivant indique la nature et la proportion respectives des états de surface sur les différents bassins de Ouagadougou.

	Total IMP	Total PER
OBV1	10	90
OBV2	25	75
OBV3	25	75

Tableau 10.BV OUAGADOUGOU: ETATS DE SURFACE

Bassins de Bamako

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par nos soins avec la méthode de dépouillement par sondage statistique décrite au paragraphe 2.2. Nous avons utilisé comme document de travail des photographies aériennes datant de 1976, agrandies au 1/5 000^e.

Compte tenu de la superficie relativement faible des bassins, les mailles étudiés sont constituées par les bassins eux-mêmes. Nous avons en outre sélectionné indépendamment des limites des bassins, deux mailles représentatives chacune de l'un des types d'urbanisation rencontré sur les bassins (figure 3). Pour chaque maille ont été identifiés les toitures, les cours, les voiries non goudronnées, les

voiries gou-dronnées, la végétation au sol, la végétation arborée et les grands espaces nus.

Les proportions des objets identifiés calculées à l'aide de 1000 points par maille figurent dans le tableau suivant.

Bassin	Toitures %	Cours %	Voiries goudr. %	Voiries non goudr. %	Végét. au sol %	Végét. arbor. %	Espaces nus %
BV1 aval (S = 33ha)	25,1	17,9	1,0	21,2	-	34,8	-
BV2	15,8	8,8	0,5	12,4	-	11,9	50,6
BV3	24,5	17,8	2,7	18,3	-	25,6	11,1
BV4	14,0	10,9	4,5	7,2	-	25,8	40,6
Maille test habitat traditionnel	34,7	24,2	-	32,1	-	9,0	-
Maille test Zone comm. et administ.	30,9	-	13,9	19,5	-	35,7	-

Tableau 11 : B.V. BAMAKO, REPARTITION DES OBJETS PHYSIQUES IDENTIFIES

Le tableau suivant indique la nature et les proportions respectives des états de surface sur les bassins de Bamako.

	IMP1	IMP2	Tot.IMP	PER1	PER2		Tot.PER
				sols nus	sols nus	végét. arbor.	
BBV1	1	17	18	22	37	23	82
BBV2	1	16	17	20	51	12	83
BBV3	3	25	28	37	11	26	72
BBV4	1	14	15	18	41	26	85

Tableau 12. BV BAMAKO: ETATS DE SURFACE

Aucune campagne de simulation de pluie n'a été réalisée à Bamako, mais on peut considérer que, comme à Ouagadougou et à Niamey, les sols nus forment une catégorie homogène pour laquelle les pertes à l'écoulement sont faibles et peu influencées par la chronique des précipitations.

L'examen des photographies aériennes indique la présence de végétation arborée, et la méthode de dépouillement utilisée a permis d'en préciser les proportions.

Bassins de Lomé

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par saisie des contours de toutes les surfaces représentées sur un plan photo-interprété au 1/2000^e, tiré d'une couverture photographique aérienne datant de 1979. Les coefficients ont ensuite été calculés à l'aide de différents programmes élaborés au centre ORSTOM de Lomé (LE BARBE et WOME, 1984).

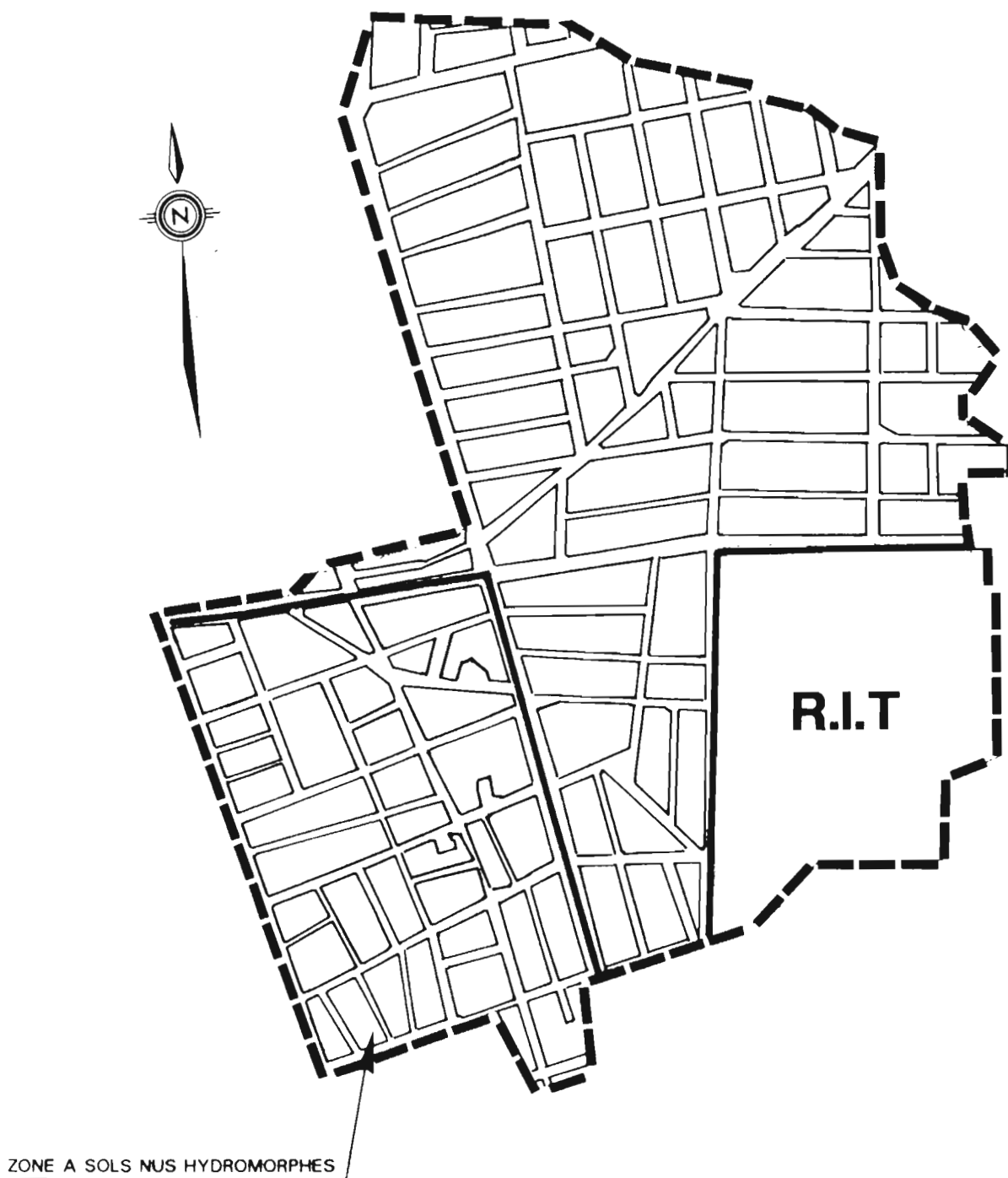
Sur les bassins, nous avons constaté, à l'occasion de la campagne de mesure de l'infiltration sous pluie simulée réalisée à Lomé du 15.03.87 au 07.04.87, que les sols naturels, généralement nus, ne peuvent être regroupés en une seule classe homogène (BOUVIER et JANEAU, 1988).

Il est nécessaire de distinguer :

- les sols nus de type "terres de Barres" de la partie haute de Lomé, qui couvrent l'intégralité du bassin n°2 et la partie amont du bassin n°1.
- les sols nus sableux de type cordon lagunaire constituant le bassin n°3. Il existe cependant sur ce bassin de nombreuses variétés de sol correspondant à diverses combinaisons de ces sols sableux et de sols rapportés de type "terres de Barres".
- les sols nus hydromorphes qui couvrent la partie aval du bassin n°1. Cette partie est délimitée en amont par la nouvelle route circulaire et en rive gauche par l'avenue de la Libération (figure 5). Elle représente une superficie de 21 hectares.

ETUDE DU RUISSELLEMENT URBAIN A LOME

BASSIN VERSANT N°1



La végétation est très peu représentée sur ces bassins et le document utilisé n'a pas permis d'en calculer les coefficients d'occupation du sol.

Le tableau suivant indique la nature et les proportions respectives des états de surface sur les bassins de Lomé.

	IMPnd	Total IMP	PER1		PER2	PERnd	Total PER
			Terres de Barres	hydro-morphes	Terres de Barres		
LBV1	~5	23	45	19	13	~5	77
LBV2	-	18	-	-	-	-	82
LBV3	-	27	-	-	-	-	73

Tableau 13. BV LOME: ETATS DE SURFACE

Bassins de COTONOU

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par saisie des contours de toutes les surfaces représentées sur un plan photo-interprété au 1/2 000^e, tiré d'une couverture photographique aérienne datant de 1981. Les coefficients ont ensuite été calculés à l'aide des différents programmes élaborés au Centre ORSTOM de Lomé (LE BARBE et al. 1985).

Aucune campagne de simulation de pluie n'a été réalisée à Cotonou. Les états de surface sont principalement représentés sur les bassins étudiés par des sols nus sableux, de type cordon lagunaire, sans que nous soyons capables d'en préciser davantage la nature. On sait cependant que les mécanismes de ruissellement sur ces bassins sont complexes, compte tenu de la proximité de la nappe qui affleure fréquemment. Dans ces conditions, les états de surface sont probablement moins déterminants pour expliquer la genèse de l'écoulement. Les proportions respectives des états de surface sur les bassins de Cotonou sont rassemblées dans le tableau suivant :

	Total IMP	Total PER
CBV1	29	71
CBV2	26	74
CBV3	30	70

Tableau 14. BV COTONOU: ETATS DE SURFACE

Bassins de YOPOUGON

Le dépouillement des coefficients d'occupation du sol a été réalisé par nos soins avec la méthode de dépouillement par sondage statistique décrite au paragraphe 2.2. Nous avons utilisé comme document de travail des photographies aériennes datant de 1985, agrandies à une échelle de 1/3 000è.

Les bassins ont été traités de la façon suivante :

- chaque bassin a été découpé en mailles dont le nombre dépend de l'homogénéité de l'urbanisation qu'on y trouve. Le maillage adopté est représenté sur la figure :

le bassin n°1 est découpé en 6 mailles

le bassin n°5 est découpé en 5 mailles

le bassin n°6 constitue une maille unique

le bassin n°7 est découpé en 14 mailles dont 6 sont communes au bassin n°1.

- pour chacune des mailles ont été identifiés les objets physiques suivants : toitures, cours, voiries goudronnées, voiries non goudronnées, végétation au sol, végétation arborée, grands espaces nus.

Nous n'avons pas prévu de préciser la position des sols couverts de végétation. Cette position est néanmoins un élément déterminant dans la genèse du ruissellement selon que la végétation intercepte ou non l'écoulement en provenance des surfaces imperméables. Après avoir vérifié sur les photographies, il a été admis que les cours étaient dénuées de végétation, et que celle-ci se concentre exclusivement en des endroits ne recevant pas d'eau en provenance de surfaces imperméables.

Les proportions respectives de ces objets, calculées à l'aide d'environ 1000 points par maille, figurent dans le tableau suivant.

Maille	surface %	Toitures %	Cours %	Voiries goudr. %	Voiries non goudr. %	Veget. au sol %	Végét. arbor. %	Espaces nus %	Commentaires
1a	30,0	13,5	-	22,8	18,5	31,6	10,0	3,6	
1b	31,5	25,8	11,6	2,0	24,3	17,7	8,1	10,5	
1c	7,8	36,8	7,7	-	11,3	33,1	-	11,1	
1d	0,7	65,3		-	24,5	8,9	1,3	-	
1e	28,0	1,9		9,4	-	80,2	6,0	2,7	
1f	2,0	19,3		11,5	40,7	28,5	3,6	-	
5a	14,0	30,7	14,6 (1)	1,3	36,0	17,4	-	-	cours non revêtues
5b	35,0	30,4	5,9 (2)	16,9	17,6	26,6	-	2,7	cours revêtues et drainées
5c	42,0	28,6	13,2 (1)	3,5	30,8	19,9	-	3,9	cours non revêtues
5d	6,0	-	-	-	-	100,0	-	-	
5e	3,0	53,0	-	-	47,0	-	-	-	
6	100,0	43,3	8,1	5,3	37,8	-	5,5	-	
7a	26,3	15,7	-	6,5	12,0	49,8	-	16,0	
7b	19,4	1,4	-	3,0	2,0	90,3	0,7	2,6	
7c	9,5	15,2	3,8	1,3	20,9	52,5	-	6,3	
7d	3,1	48,6	9,9	2,4	38,1	-	1,0	-	cours revêtues et drainées
7e	13,6	25,5	6,0	-	27,5	38,2	-	2,8	
7f	6,1	4,0	-	2,0	9,6	79,6	-	4,8	
7g	0,8	-	-	-	-	100,0	-	-	
7h	4,6	55,0	2,6	3,2	28,4	10,8	-	-	cours revêtues et drainées
7i	4,6	13,5	-	22,8	18,5	31,6	10,0	3,6	
7j	4,8	25,8	11,6	2,0	24,3	17,7	8,1	10,5	
7k	1,3	36,8	7,7	-	11,3	33,1	-	11,1	
7l	4,3	1,8	-	9,4	-	80,2	6,0	2,7	
7m	1,5	19,3	-	11,5	40,7	28,5	-	-	
7n	0,1	65,3	-	-	24,5	8,9	1,3	-	

Tableau 15 : B.V. YOPOUGON. IDENTIFICATION DES OBJETS PHYSIQUES

La campagne de mesure de l'infiltration sous pluie simulée réalisée à Yopougon du 09.03.87 au 02.04.87, a montré que les sols rencontrés sur les bassins étudiés se répartissent dans deux catégories principales, homogènes en regard du ruissellement : les sols nus et les sols recouverts d'une végétation persistante de type herbacée (BOUVIER et JANEAU, 1988).

Le tableau suivant indique la nature et les proportions respectives des états de surface sur les bassins de Yopougon

	IMP1	IMP2	Total IMP	PER1	PER2		Total PER
				sol nu	sol nu	vegetat.	
YBV1	10	17	27	19	6	48	73
YBV5	22	16	38	33	3	26	62
YBV6	56	-	56	38	-	6	44
YBV7	5	16	21	17	7	55	79

Tableau 16.BV YOPOUGON: ETATS DE SURFACE

3.3. Analyse d'une typologie de l'urbanisation

La définition d'une typologie de l'urbanisation dépend évidemment de l'objectif recherché et des critères correspondants, choisis pour établir cette typologie. Pour nous qui nous intéressons à l'aptitude au ruissellement des bassins urbains, la typologie idéale est celle qui fournit les coefficients de ruissellement en fonction des différentes catégories d'urbanisation définies.

L'urbanisation n'étant pas le seul facteur discriminant à prendre en compte pour le ruissellement, une telle typologie est évidemment impossible à réaliser. L'objectif que nous pouvons nous fixer consiste davantage à établir une typologie fournissant les caractéristiques liées à l'urbanisation susceptibles d'influencer le ruissellement.

Nous avons dans un premier temps cherché à établir cette typologie en fonction de critères relativement grossiers constitués par les proportions respectives de surfaces imperméables et de surfaces naturelles. Ces critères ne traduisent pas

toute la complexité des mécanismes de ruissellement en milieu urbain -en particulier les dispositions respectives de ces surfaces entre elles- mais permettent d'une part de travailler avec un volume plus important de données et constituent d'autre part les caractéristiques requises à l'application de la plupart des modèles de ruissellement urbain classiques. Nous avons donc cherché à réunir pour l'ensemble des sites considérés toutes les zones présentant une urbanisation uniforme, correspondant aux différents types définis a priori au paragraphe 1.3.1., et avons sélectionné :

pour la catégorie habitat traditionnel :

Niamey : BV2-BVA amont-BVB amont
Lomé : BV1 (à l'exception du camp militaire du R.I.T.)-BV2-BV3
Cotonou : BV1-BV2-BV3 amont
Bamako : maille représentative n°1
Yopougon : mailles 1YBV1b-YBV5a et YBV5c

pour la catégorie habitat moderne individuel :

Yopougon : BV6- mailles YBV7d-YBV7h

pour la catégorie zone moderne commerciale :

Niamey : BVB aval
Cotonou : BV3 aval
Bamako : maille représentative n° 2

pour la catégorie zone industrielle

Yopougon : mailles YBV1a-YBV7a

Les autres catégories ne possèdent pas plus d'un représentant.

Les tableaux 17a, 17b suivants résument les valeurs des coefficients de surfaces imperméables mesurés sur les zones retenues

Habitat traditionnel

NBV 2	NBVA amont	NBVB amont	LBV1 amont	LBV2	LBV3	CBV1	CBV2	CBV3 amont	Bamako maille n°1	Y1b	Y5a	Y5a
31	25	44	24	18	27	29	26	35.7	35	28	32	32

Tableau 17a - Coefficients d'occupation des zones imperméables

<u>Habitat moderne individuel</u>			<u>Zone commerciale</u>			<u>Zone industrielle</u>	
YBV6	Y7d	Y7h	NBV aval	CBV3 aval	Bamako maille n°2	Y1a	Y7a
57	61	61	27	17.9	43	36	22

Tableau 17b - Coefficients d'occupation des zones imperméables

On remarquera que les valeurs des coefficients d'imperméabilité sont peu dispersées pour les types d'habitat traditionnel et moderne individuel, puisque :

- dans le premier cas, 11 valeurs sur 13 sont comprises entre 25 et 35%
- dans le second cas, les 3 valeurs sont respectivement 57, 61 et 61%.

On notera que ces deux types d'habitat présentent des caractéristiques d'imperméabilisation très différentes.

Les valeurs sont en revanche plus dispersées en zone commerciale ou industrielle : des fourchettes respectives de 25-45% et 20-40% caractérisent cette dispersion.

Nous avons ensuite cherché à établir une typologie plus fine, en fonction des caractéristiques liées au ruissellement que nous avons définies dans le chapitre 1: IMP₁, IMP₂, IMP_{nd}, PER₁, PER₂, PER_{nd}.

Les proportions de ces surfaces respectives dépendent :

- des proportions des divers aménagements urbains ;
- de la relation entre aménagements et états de surface au sens de la dualité naturel-imperméable ;
- de la relation entre aménagements et transport de l'écoulement ; c'est à dire de leurs positions respectives.

Ces deux dernières ayant été précisées dans le paragraphe 3.1, nous ne nous attacherons qu'à l'étude des proportions de divers aménagements urbains. Les données utilisées, malheureusement peu nombreuses, sont représentées par :

- en zone d'habitat traditionnel : NBVA amont - NBVB amont - Bamako maille N°1: YBV1b-YBV5a-YBV5c
- en zone d'habitat moderne individuel : YBV6 - YBV7d, YBV7h
- en zone commerciale : NBVB aval - Bamako maille n°2
- en zone industrielle : YBC1a - YBV7a.

Les tableaux 18a et 18b résument les résultats obtenus.

On constate que, pour chacune des catégories étudiées, les résultats relatifs aux toitures, cours et voiries restent homogènes et permettent d'affiner la description des différentes formes d'urbanisation rencontrées sur les bassins. Pour ces catégories d'aménagements urbains, on retiendra par exemple les quatre situations type suivantes, auxquelles on a associé, à titre indicatif, des valeurs médianes et des fourchettes de variation associées.

	Toitures	Cours	Voiries		Grands espaces	Végétation arborée
			goud.	non goud.		
<u>Habitat traditionnel</u>						
NBVA amont	22	40	3	35	-	inconnu
NBVB amont	38	19	6	17	0	20
Maille Bamako	35	24	0	32	0	9
YBV1b	26	12	2	24	28	8
YBV5a	31	15	1	36	18	0
YBV5c	29	13	4	31	24	0
<u>Habitat moderne individuel</u>						
YBV6	43	8	5	38	-	6
YBV7d	49	10	2	38	-	1
YBV7 h	55	3	3	28	11	0
<u>Zone commerciale</u>						
NBVB aval	14	-	13	33	4	36
Maille Bamako	31	-	14	20	0	36
<u>Zone industrielle</u>						
YBV1 a	14	-	23	19	35	10
YBV7 a	16	-	7	12	66	0

Tableau 18a-Coefficients d'occupation du sol par types d'urbanisation

	Toitures		Cours		Voiries goudronnées		Voiries non goudronnées	
Habitat traditionnel	30	20-40	20	10-40	3	0-5	30	15-40
Habitat moderne individuel	50	40-60	5	0-15	3	0-5	35	25-45
Zone commerciale	20	10-40	-	-	15	10-20	25	15-40
Zone industrielle	15	10-30	-	-	15	5-25	15	10-20

Tableau 18b-Coefficients d'occupation du sol par types d'urbanisation

Valeur médianes et dispersion

CONCLUSION

Dans un cadre tout d'abord général, les différents facteurs susceptibles d'avoir une influence discriminante sur le ruissellement ont été considérés comme étant :

- les différents états de surface rencontrés sur le bassin
- les positions respectives de ces différents états de surface

et ont conduit à établir la classification suivante des surfaces :

- les surfaces non drainées, naturelles (PERNd) ou imperméables (IMPNd)
- les surfaces drainées imperméables, directement reliées au système d'assainissement (IMP1)
- les surfaces drainées imperméables, non reliées directement au système d'assainissement (IMP2)
- les surfaces drainées naturelles, recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables (PER1)
- les surfaces drainées naturelles, ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables (PER2).

Pour ces deux dernières, on s'attachera également à distinguer les différents sols en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques.

La détermination des caractéristiques urbaines en ces termes n'est cependant pas toujours possible, par exemple lorsque la qualité du document disponible l'interdit, ni même souhaitable lorsqu'on peut faire valoir des hypothèses simplificatrices comme c'est le cas pour :

- les bassins fortement urbanisés situés en zone tempérée, pour lesquels la détermination des surfaces imperméables, éventuellement directement raccordées au réseau, suffit.

- les bassins dont les zones naturelles sont peu perméables, pour lesquels la distinction PER1, PER2 est superflue.

Une des difficultés rencontrées dans la détermination des caractéristiques urbaines définies plus haut est qu'elles ne sont pas directement identifiables sur le document de travail. Nous avons ainsi été conduits à substituer à ces caractéristiques une liste d'"objets" urbains, physiquement identifiables :

- toitures,
- cours d'habitation
- voiries goudronnées
- voiries non goudronnées
- grands espaces naturels nus
- végétation herbacée
- végétation arborée,

représentant, soit des aménagements urbains, soit des états de surfaces naturelles identifiables qu'il est souhaitable de déterminer.

La détermination des surfaces IMP_1 , IMP_2 , etc. se ramène alors à déterminer le type d'association existant entre les "objets" urbains identifiés, les états de surface et les positions à prendre en compte.

Une fois ces objets définis et identifiés, la mesure de leurs proportions respectives est une autre difficulté pour laquelle nous avons finalement mis au point une méthode numérique adaptée à nos besoins.

Cette méthode précise et facile à mettre en oeuvre, permet d'envisager la détermination en mode statistique des caractéristiques urbaines et naturelles des sols.

Le présent rapport contient tous les coefficients d'occupation des sols relatifs à l'ensemble des bassins étudiés. Le détail de ces coefficients dépend de la méthode de dépouillement utilisée et de la diversité des caractéristiques hydrodynamiques des surfaces naturelles, établies à l'aide d'études parallèles concernant l'infiltration en milieu urbain.

Ces coefficients doivent être maintenant exploités en vue de la modélisation de la relation pluie-débit en milieu urbain africain.

A la lumière des différentes formes d'urbanisation rencontrées sur les bassins étudiés, nous avons essayé de définir une typologie de l'urbanisation pertinente en regard du ruissellement. Cette typologie a porté sur un double aspect constitué par :

- la caractérisation numérique des aménagements urbains,
- la caractérisation qualitative des associations existant entre ces aménagements et les surfaces définies dans le schéma général.

Cette typologie permet d'obtenir une évaluation rapide des caractéristiques urbaines à prendre en compte dans la production et le transfert de l'écoulement en milieu urbain africain. Les limites de cette évaluation sont cependant atteintes très rapidement et on préférera utiliser des méthodes plus complètes pour déterminer précisément les coefficients d'occupation des sols.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages généraux

BOUVIER C. (1988)

"Recueil de données hydro-pluviométriques sur bassins urbains africains". ORSTOM-CIEH, 26 p. 1 ann.

BOUVIER C., JANEAU J.I. (1988)

"Simulation de pluie en milieu urbain. Rapport de synthèse". ORSTOM-CIEH.

BRUNET-MORET. (1969)

"Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie". Cah. ORSTOM. série hydrol.VOL. XI, N° 3.

CASENAVE.A., VALENTIN.C. (1988)

"Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration". ORSTOM. CEE. 202 p + annexes

CIEH.(1985)

"Conception générale des ouvrages d'assainissement en Afrique tropicale. Aspects techniques."

IGN (1978)

"Une méthode pratique de détermination des coefficients de ruissellement urbains". Note technique IGN.

LE BARBE L. (1982)

"Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou". Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie. Vol. XIX, n°3, p. 135-24.

SIGHOMNOU D. (1986)

"Assainissement pluvial en zone urbaine en Afrique tropicale. Cas de Yopougon (Côte d'Ivoire)". Thèse de Doctorat 3ème cycle. USTL-Montpellier, 254 p.

MAZUREK H. (1985)

"Programme de digitalisation de documents graphiques". Maison de la Géographie. Montpellier, 17 p.

Bibliographie par bassins

BASSIN DE LOME

MOYON Y. (1979)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Rapport de campagnes 1977 et 1978". CIEH-ORSTOM, 108 pages.

Ouvrage collectif (1981)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Rapport de campagne 1979". CIEH-ORSTOM, 54 pages.

LE BARBE L., WOME K.A. (1984)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Recueil des données de base. Années 1977, 1978 et 1979". CIEH-ORSTOM, 304 pages.

BOUVIER C., MAILLAC P., SEGUIS L., SMAOUI A., JANEAU J.L. (1987).

"Campagne de simulation de pluie en milieu urbain - Lomé". ORSTOM-CIEH, 16 pages, 31 tableaux, 17 figures, 1 ann.

BASSIN DE COTONOU

AFOUNDA A., ALE G., VODJI L. (1981)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Rapport de campagne 1978". CIEH-ORSTOM, 12 pages, 3 figures, 34 tableaux.

MILLET B. (1980)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Rapport de campagne 1979". CIEH-ORSTOM, 129 pages.

LE BARBE L., WOME K.A., BOREL Y. (1985)

"Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Recueil des données de base. Années 1978 et 1979". CIEH-ORSTOM, 296 pages.

BASSIN DE YOPOUGON

BOUVIER C., BERTHELOT M., JANEAU J.L. (1987)

"Campagne de simulation de pluie en milieu urbain, Yopougon". ORSTOM-CIEH, 16 p., 31 tableaux, 18 figures, 1 ann.

CHEVALLIER P., SIGHOMNOU D., MAHIEUX A., GIODA A. (1983)

"Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). Installation et première campagne". BCEOM-ORSTOM, 60 pages.

CASENAVE A., SIGHOMNOU D., MAHIEUX A., GIOADA A., HOORELBECK J. (1983)

"Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). Deuxième campagne". BCEOM-ORSTOM, 32 pages.

CHEVALLIER P., CASENAVE A., ETIENNE J., GIODA A., LAPETITE J.M., MAHIEUX A. (1984)

"Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). Troisième campagne". BCEOM-ORSTOM, 51 pages.

CASENAVE A., CHEVALLIER P., ETIENNE J., GIODA A., LAPETITE J.M., SAKLY F. (1984)

"mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). Quatrième campagne". BCEOM-ORSTOM, 24 pages.

BASSIN DE BAMAKO

DNHE (1985a)

"Ruissellement urbain. Bamako. Rapport de synthèse, Tome 1". DNHE-CIEH, 30 p. 3 ann.

DNHE (1985b)

"Ruissellement urbain. Bamako. Rapport de synthèse, Tome 2". DNHE-CIEH, 11 plans.

BASSINS DE OUAGADOUGOU

BOUVIER C., DELFIEU J.M., JANEAU J.L. (1987)

"Campagne de simulation de pluie en milieu urbain. Ouagadougou". ORSTOM-CIEH, 16 p., 31 tableaux, 17 figures, 1 ann.

LE BARBE L., CHEVALLIER P., THIEBAUX J.P. (1978)

"Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport de campagne 78". ORSTOM-CIEH, 26 p.

LE BARBE L. (1980a)

"Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport général. Tome 1 : les données de base". ORSTOM-CIEH, 159 p.

LE BARBE L. (1980b)

"Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport général. Tome 2 : L'interprétation des données". ORSTOM-CIEH, 88 p.

LE BARBE L. (1980c)

"Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport général. Tome 3 : Photos aériennes et plans". ORSTOM-CIEH, 3 plans.

BASSINS DE NIAMEY

BOUVIER C. (1986)

"Etude du ruissellement urbain à Niamey. Rapport général. Tome 3 : Interprétation des données". ORSTOM-CIEH, 82 p., 2 ann.

BOUVIER C. (1988)

"Les bassins urbains de Niamey. Campagne 1987". ORSTOM-CIEH, 25 p., 11 tabl., 21 fig.

BOUVIER C., GATHELIER R., GIODA A. (1986)

"Campagne de simulation de pluies en milieu urbain. Niamey". ORSTOM-CIEH, 19 p., 22 tabl., 6 fig.

GATHELIER R., HOEPPFNER M. (1978)

"Les bassins urbains de Niamey. Campagne 1978". ORSTOM-CIEH, 13 p., 17 tableaux, 33 fig.

GATHELIER R., DUBEE G. (1980)

"Les bassins urbains de Niamey. Campagne 1980". ORSTOM-CIEH, 4p. 14 tabl., 30 fig.

GATHELIER R. (1985)

"Etude du ruissellement urbain à Niamey. Rapport général. Tome 1 : les données de base". ORSTOM-CIEH, 161 p., 12 fig.

GATHELIER R. (1985)

"Etude du ruissellement urbain à Niamey. Rapport général. Tome 2 : Plans." ORSTOM-CIEH, 3 plans.

HARANG P., GATHELIER R. (1979)

"Les bassins urbains de Niamey. Campagne 1979". ORSTOM-CIEH, 16 p., 18 tabl., 30 fig.

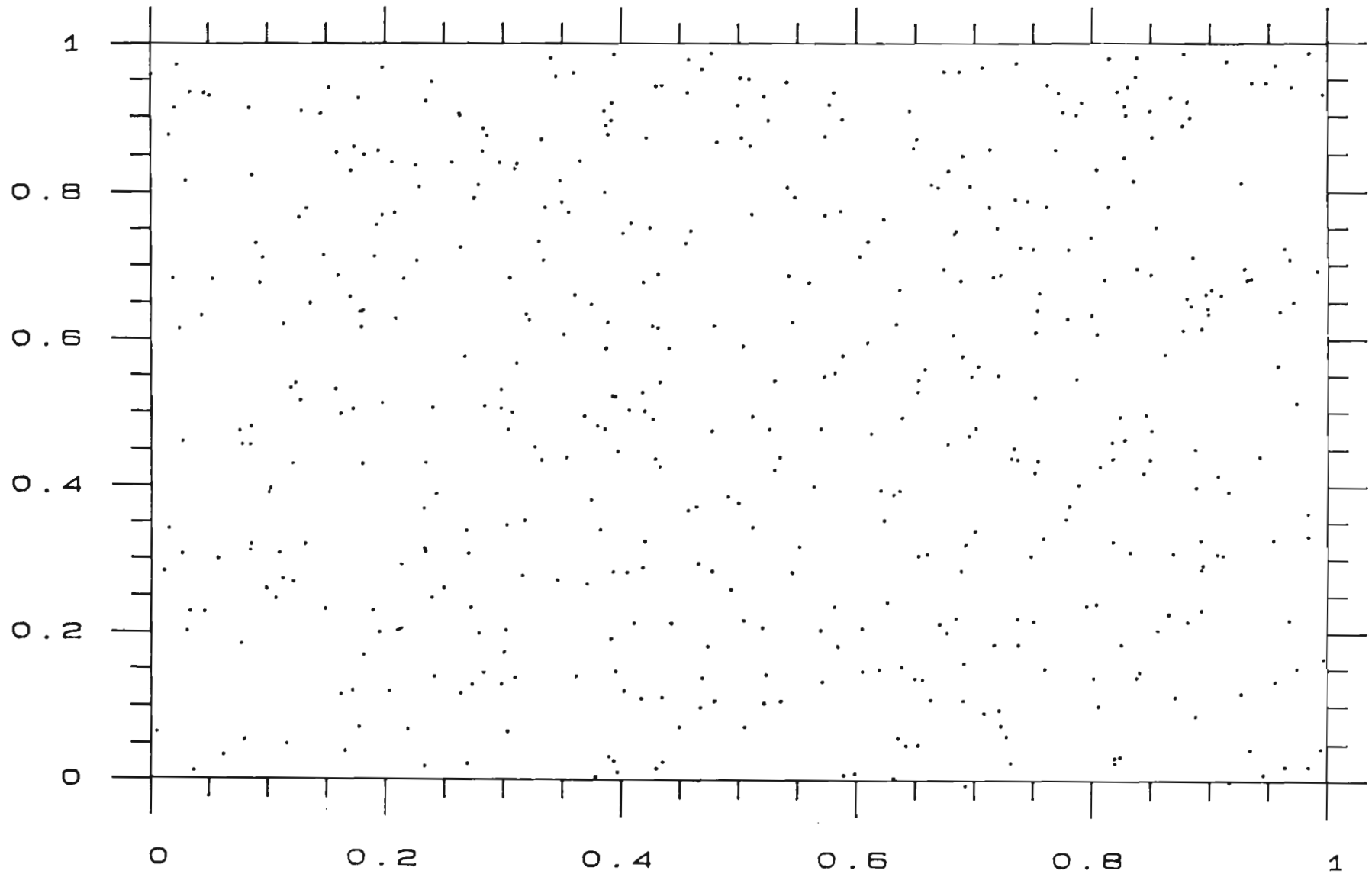
LISTE DES TABLEAUX

- N°1 - Nombre de points à identifier en fonction de P_i et ξ
- N°2 - NIAMEY: zones d'urbanisation
- N°3 - OUAGADOUGOU: zones d'urbanisation
- N°4 - BAMAKO: zones d'urbanisation
- N°5 - LOME: zones d'urbanisation
- N°6 - COTONOU: zones d'urbanisation
- N°7 - YOPOUGON: zones d'urbanisation
- N°8 - Catégories urbaines. Nature, caractéristiques
- N°9 - BV. NIAMEY. états de surface
- N°10 - BV. OUAGADOUGOU. états de surface
- N°11 - BV. BAMAKO. Répartition des objets physiques identifiés
- N°12 - BV. BAMAKO. états de surface
- N°13 - BV. LOME. états de surface
- N°14 - BV. COTONOU. états de surface
- N°15 - BV. YOPOUGON. Répartition des objets physiques identifiés
- N°16 - BV. YOPOUGON. états de surface
- N°17 a.b. Coefficients d'occupation des zones imperméables
- N°18 a.b. Coefficients d'occupation du sol par types d'urbanisation
Valeurs médianes et dispersion

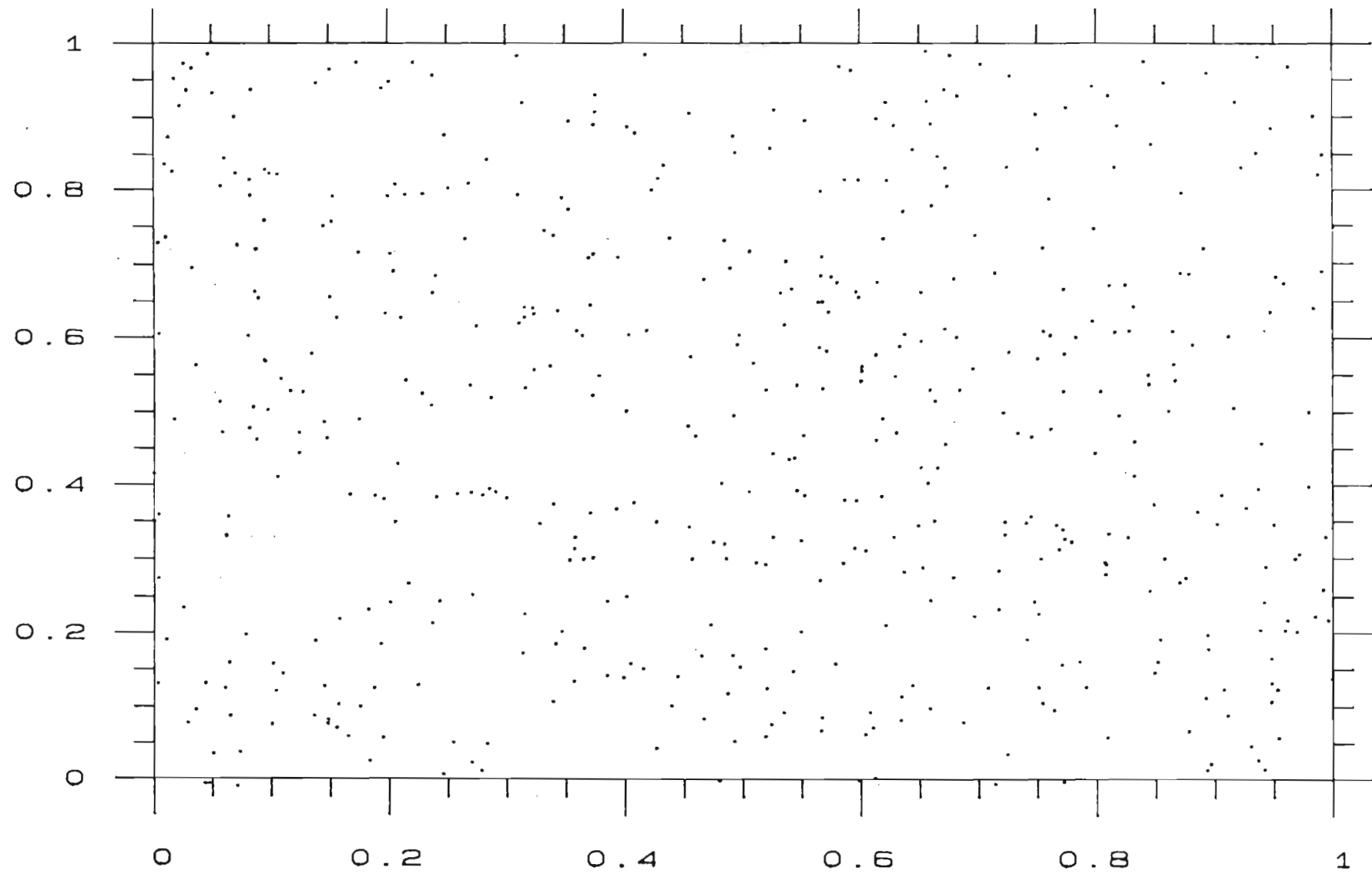
LISTE DES FIGURES

- N°1 - Organigramme des types d'occupation du sol
- N°2 - Distorsion des vues aériennes
- N°3 - BV. BAMAKO. Répartition des types d'urbanisation
- N°4 - BV. YOPOUGON. Répartition des types d'urbanisation
- N°5 - Etude du ruissellement urbain à LOME.BV.N°1

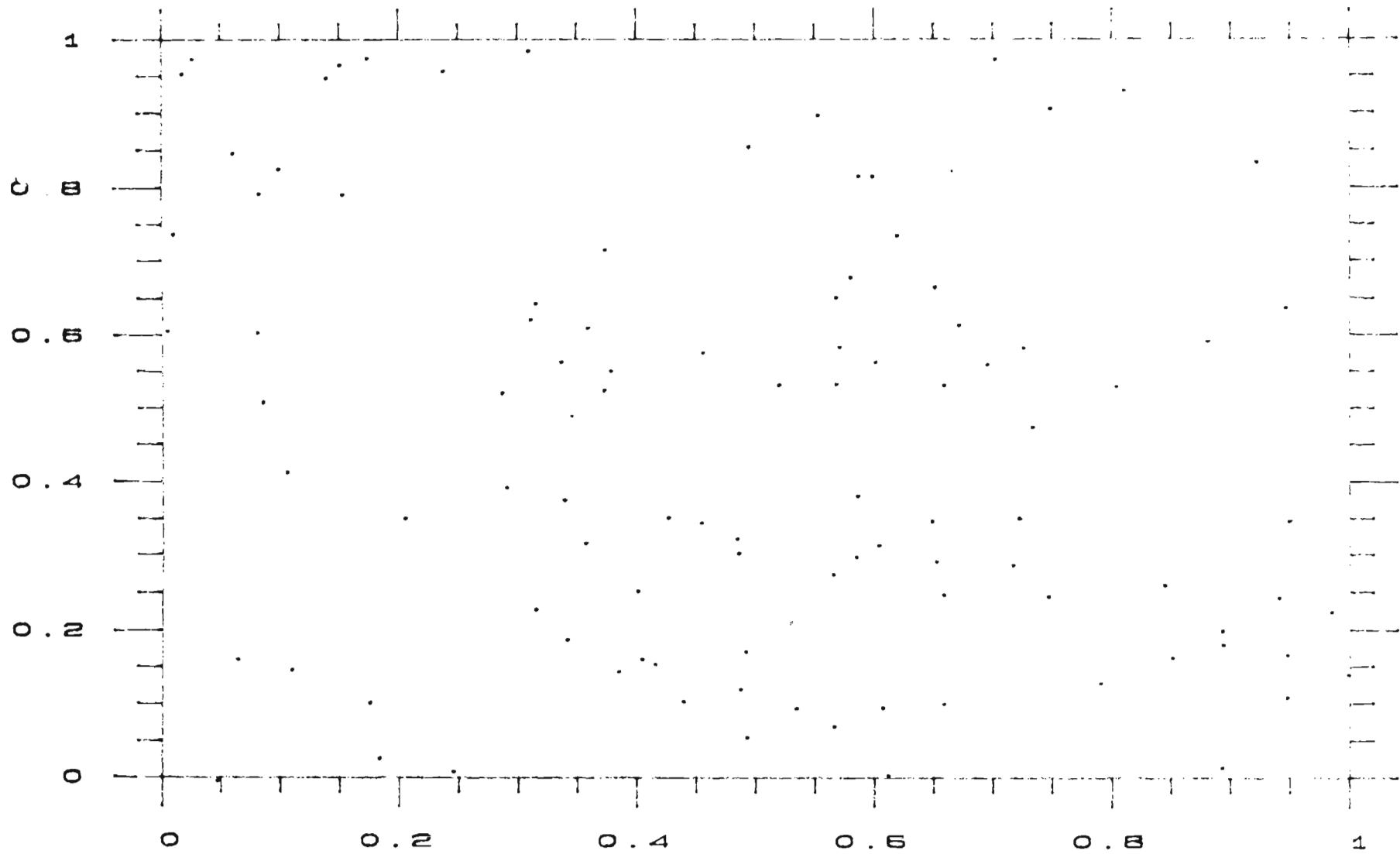
ANNEXE



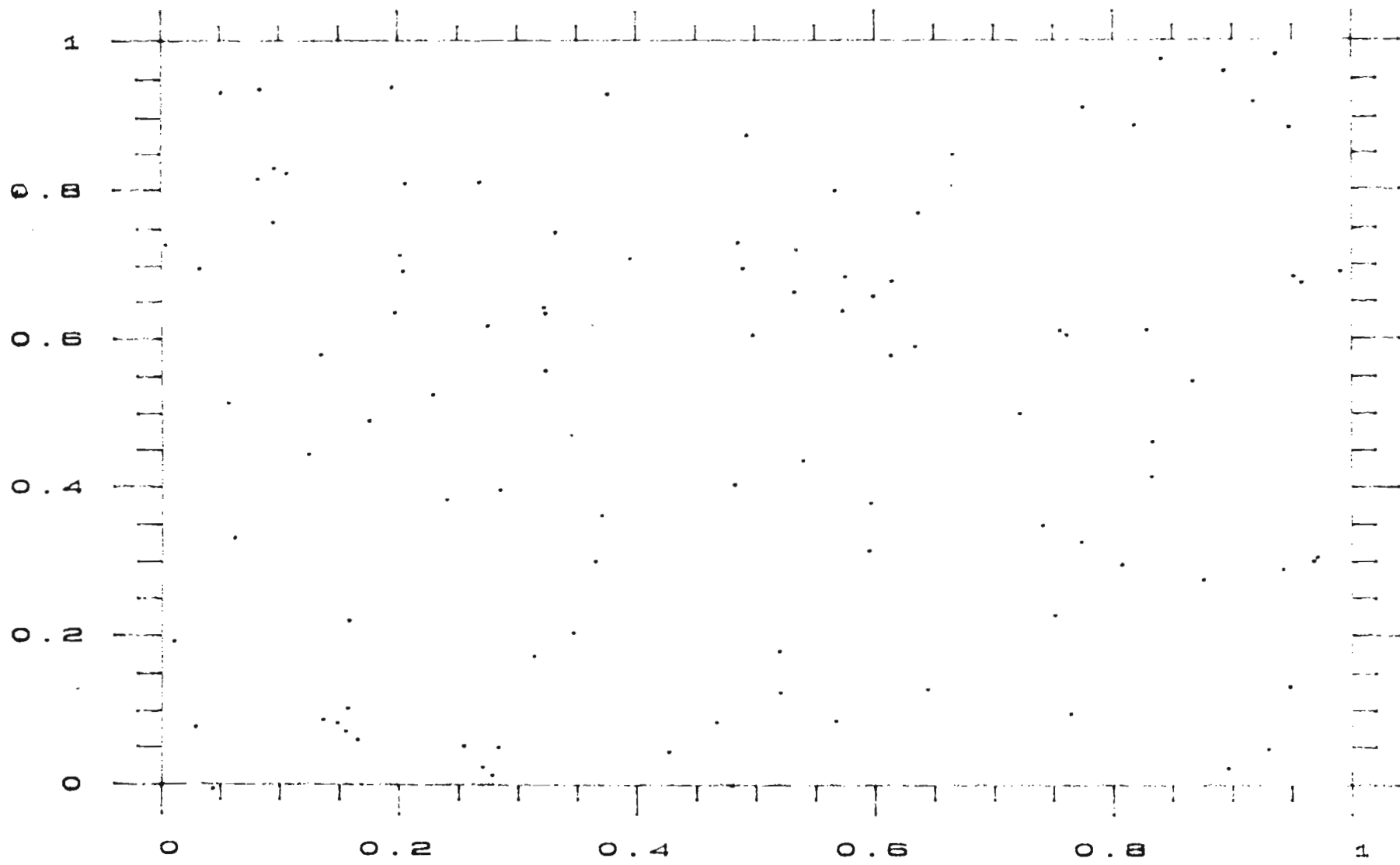
GRILLE 501



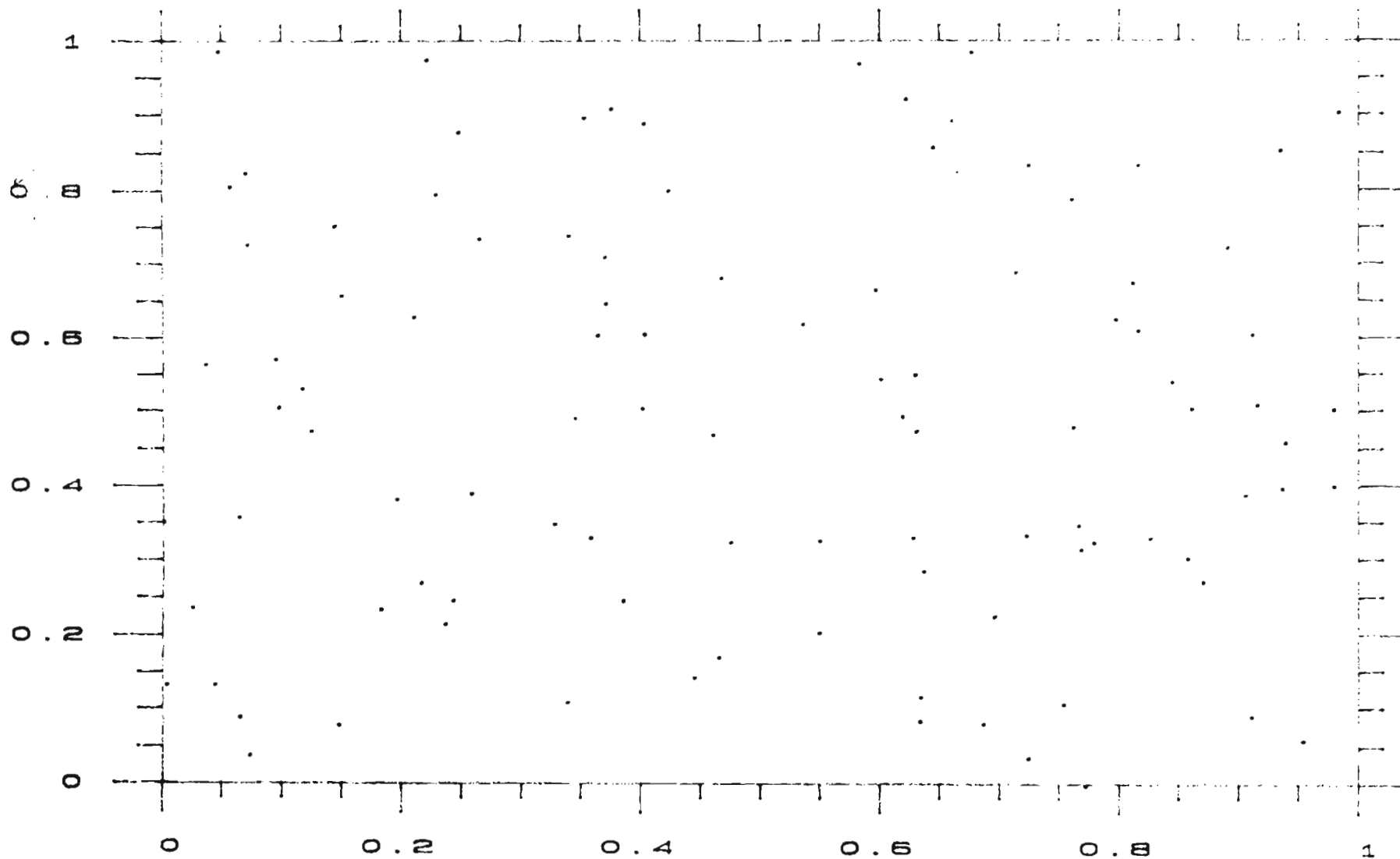
GRILLE 502



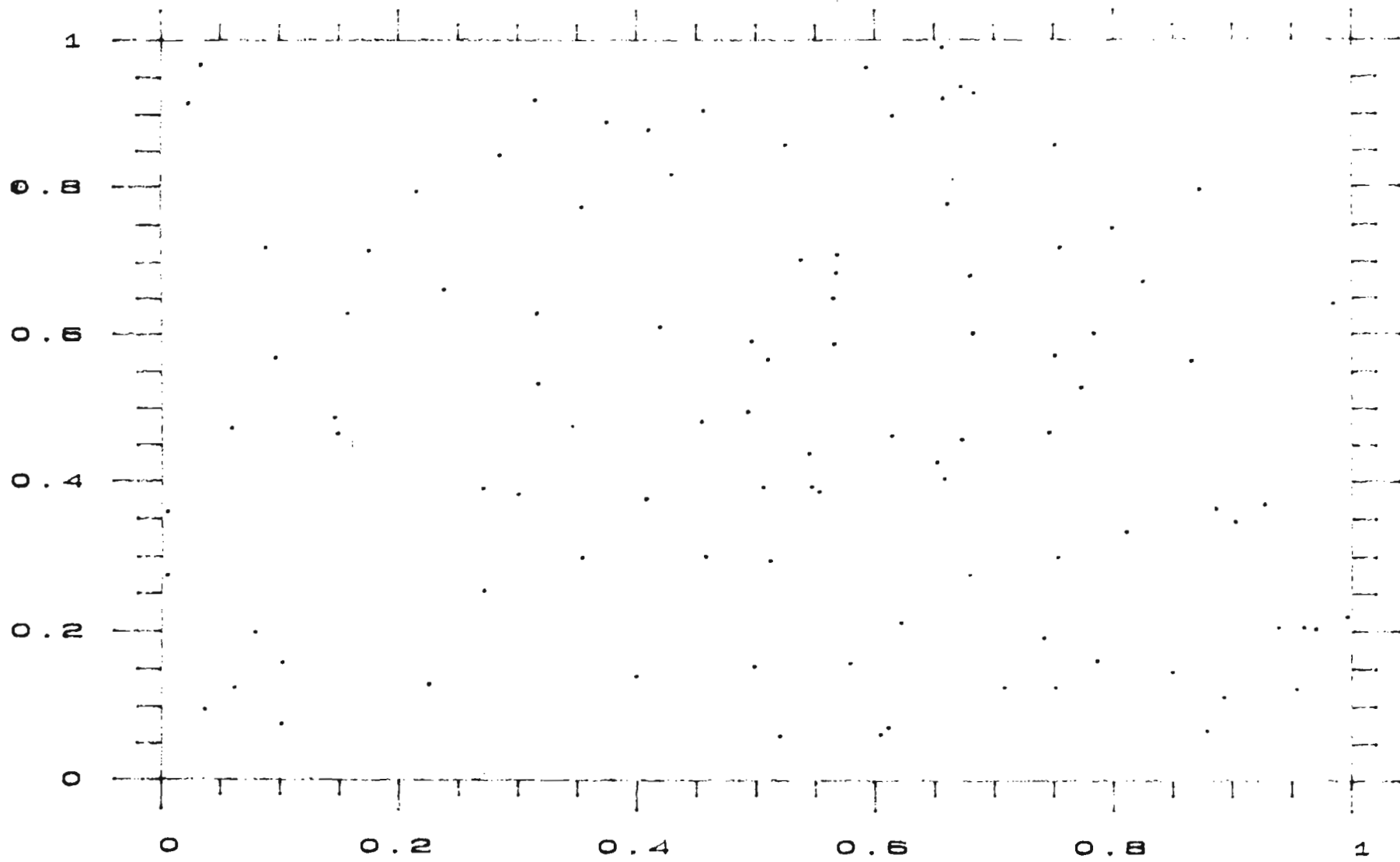
GRILLE 110



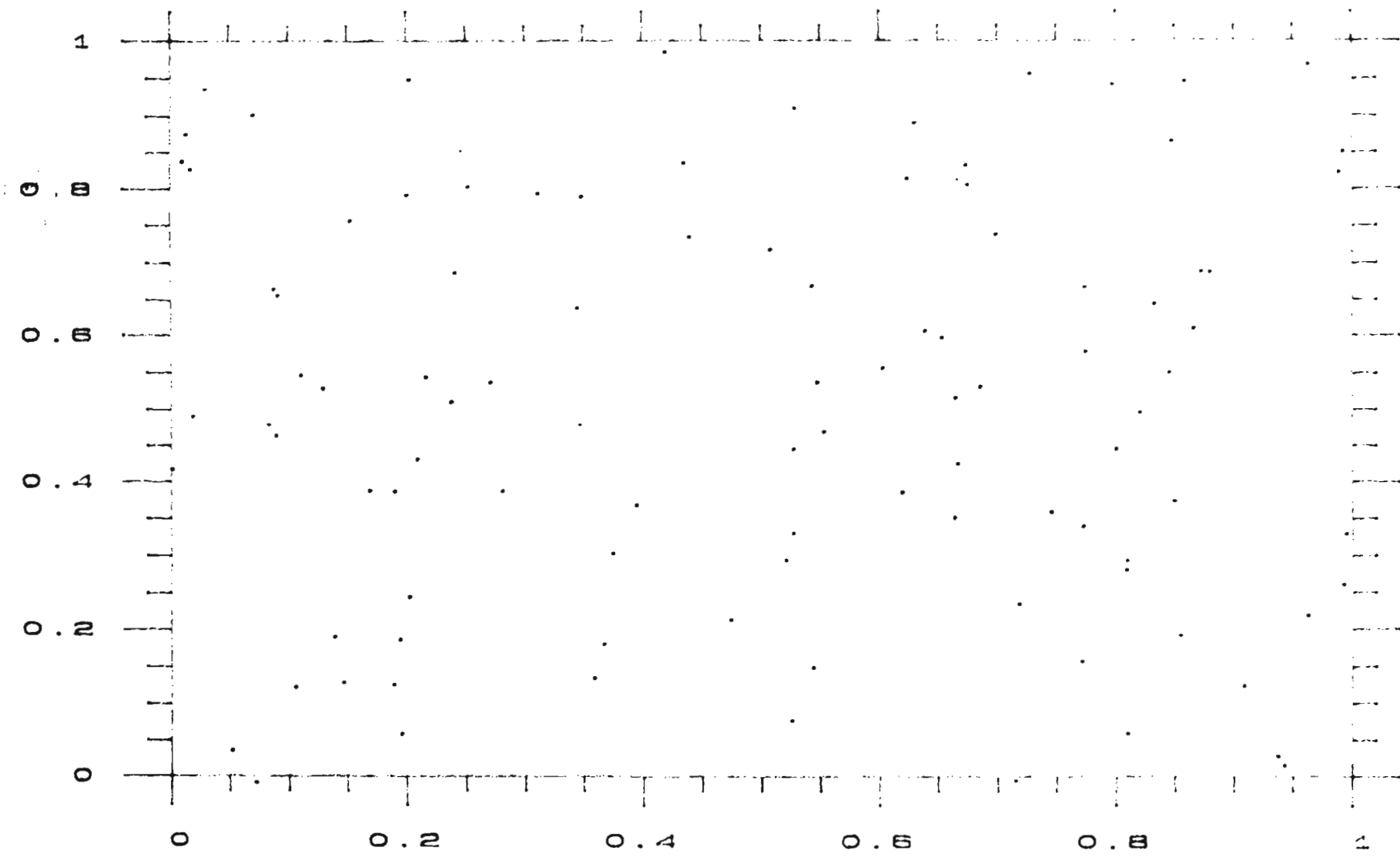
GRILLE 109



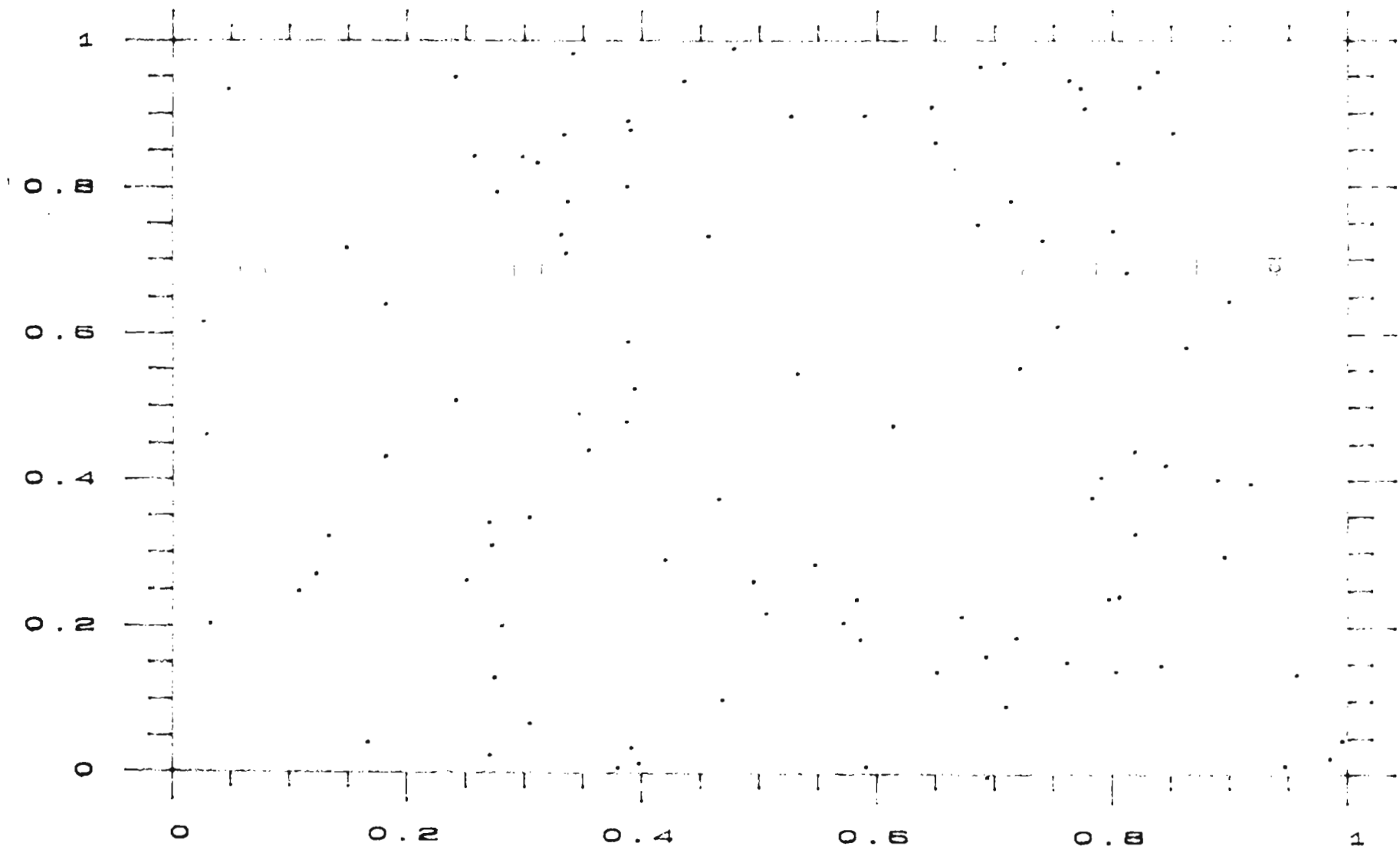
GRILLE 108



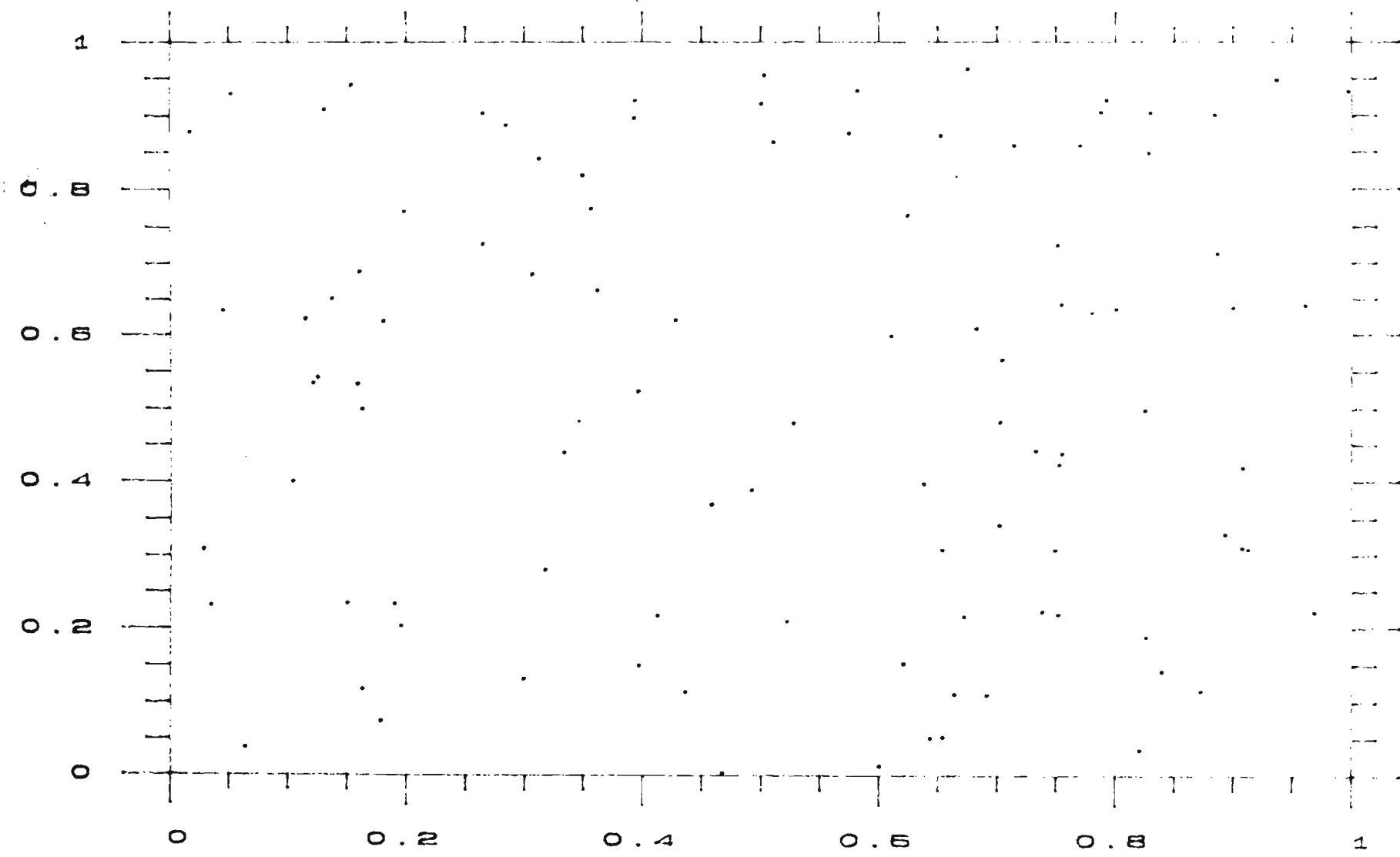
GRILLE 107



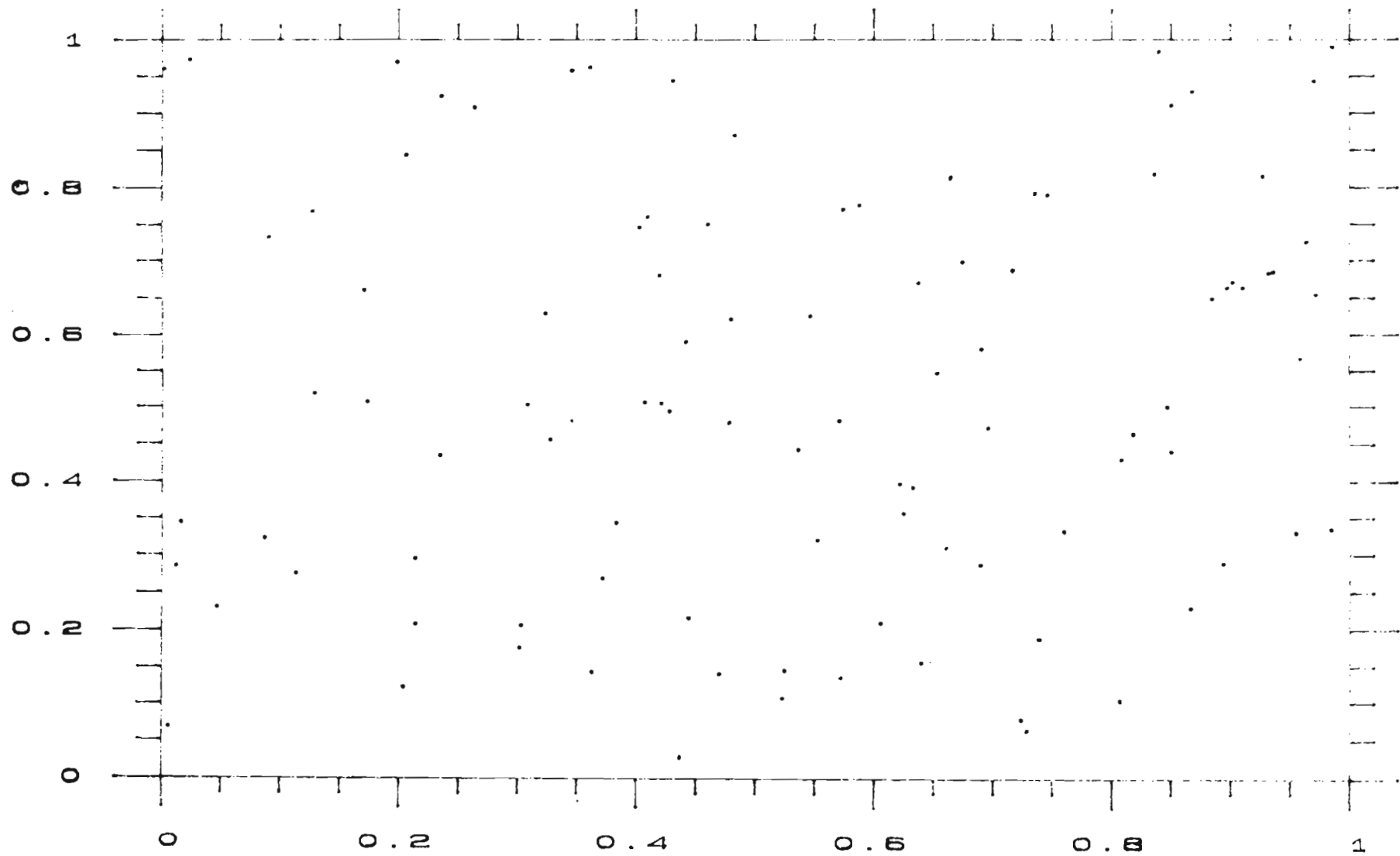
GRILLE 106



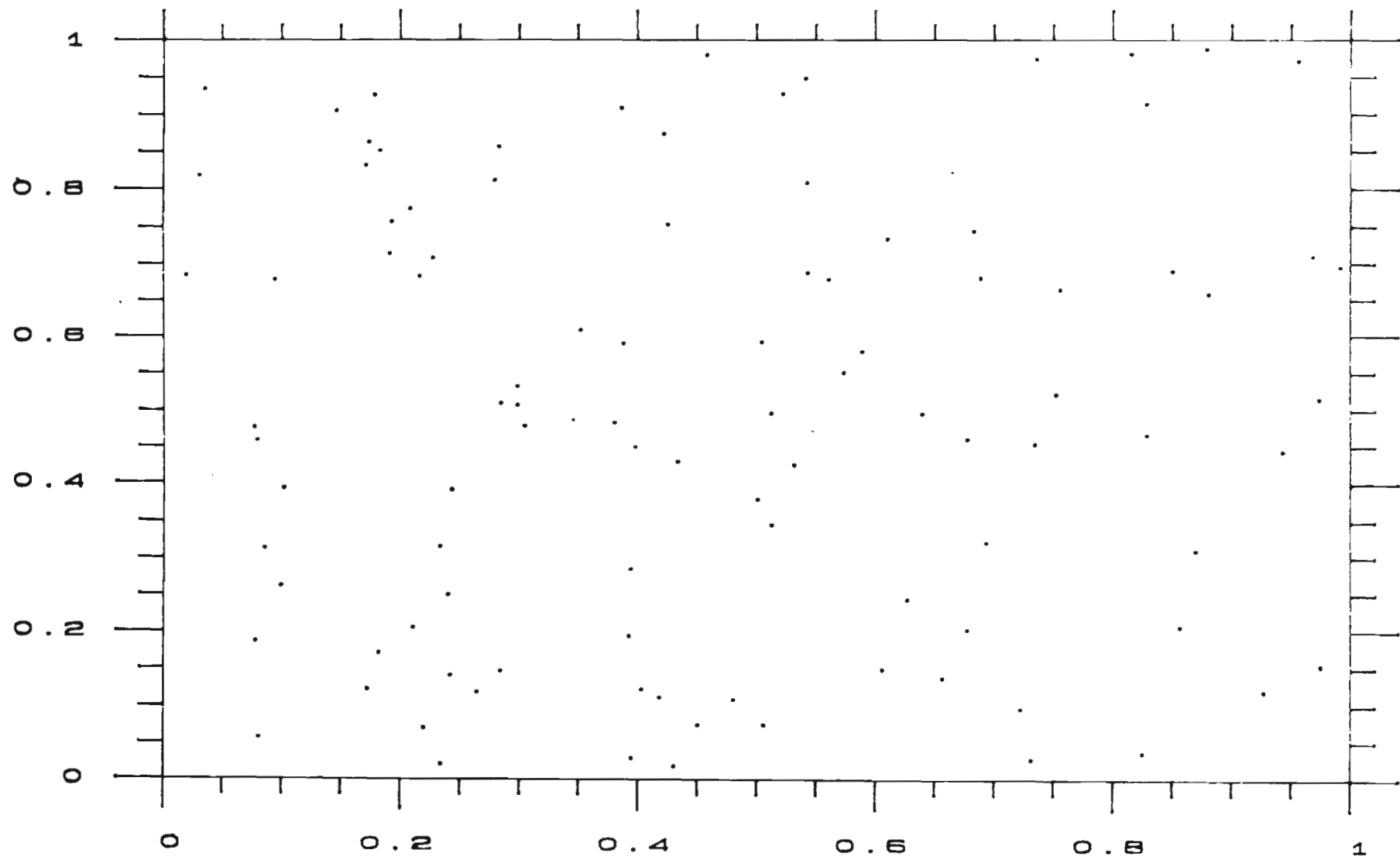
GRILLE 105



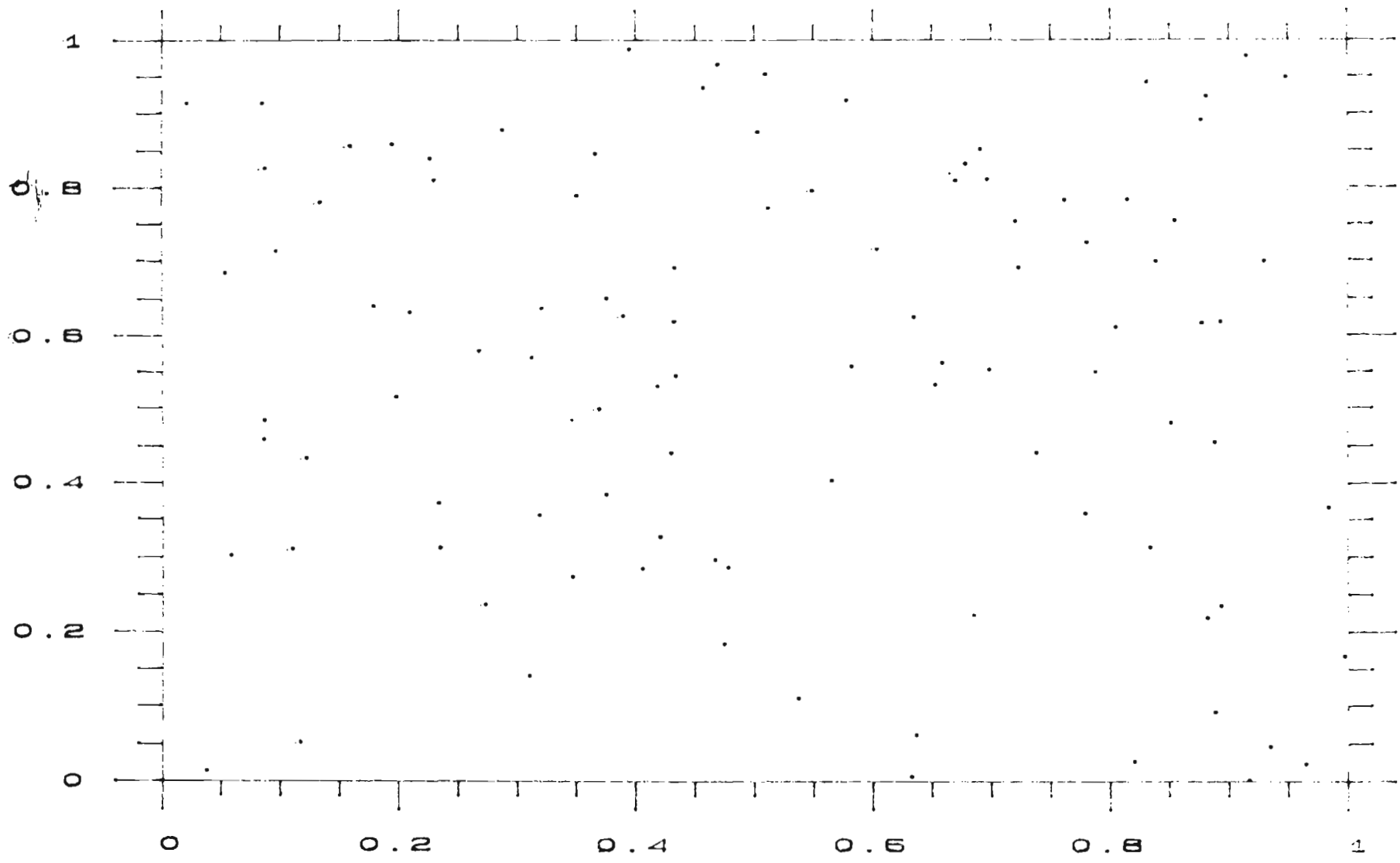
GRILLE 104



GRILLE 103



GRILLE 102



GRILLE 101