

## Aléas climatiques et production agricole : le coton au Burkina

J. Albergel \*, J. P. Carbonnel \*\*, J. Vaugelade \*

\* *ORSTOM, B. P. 182, Ouagadougou*

\*\* *Université Pierre-et-Marie-Curie, Laboratoire de géologie dynamique,  
4, place Jussieu, Paris 05*

### RÉSUMÉ

Contrairement à l'ensemble des cultures pluviales du pays, la production de coton a progressé en 1983 malgré un déficit pluviométrique important dans tout le Burkina (anciennement République de Haute-Volta). Dans cet article, les auteurs cherchent à cerner les facteurs explicatifs de cette production et mettent en évidence la répercussion des aléas climatiques sur les performances de cette culture. Ils proposent une formule estimative de la production du coton au Burkina dont les paramètres peuvent être connus trois mois avant la récolte et la commercialisation de ce produit.

MOTS-CLÉS : *Afrique - Sahel - Burkina - Production agricole - Pluviométrie - Coton -  
Prévision - Sécheresse - Modèle - Régression multiple.*

### ABSTRACT

In 1983, whereas all rain-crops endured the dryness, the cotton production has increased in Burkina (former Upper-Volta) in spite of an important rainfall deficit. In this study, the authors define the parameters of this production and show the effects of climatic risks on its performance. They propose a mathematical model to estimate cotton production in Burkina. All the parameters of this formula can be known 3 months before harvesting and cotton commercialisation.

KEY-WORDS: *Africa - Sahel - Burkina - Agricultural production - Rainfall - Cotton -  
Forecast - Dryness - Model - Multiple regression.*

### INTRODUCTION

Depuis quinze ans, la zone soudano-sahélienne est soumise à des conditions climatiques sévères dont la persistance est maintenant bien attestée (OLIVRY, 1983; ALBERGEL *et al.*, 1984; CARBONNEL, 1985).

Cette phase sèche, dont les conséquences sont si graves pour les conditions alimentaires des pays sahéliens, fait peser sur les systèmes écologiques la menace d'une détérioration irréversible.

Que ce soit pour les pâturages de la zone sahélienne ou pour les cultures vivrières pluviales, la diminution de la pluviométrie et sa répartition capricieuse au cours de la saison conditionnent toute l'activité des zones rurales (LECAILLON & MORISSON, 1984).

Pour comprendre l'effet des contraintes climatiques sur la production agricole on peut essayer de mettre en relation la pluviométrie et les productions.

Si on commence à avoir quelques résultats, principalement en stations agronomiques, sur les rapports qui régissent les rendements en fonction de la pluviométrie (I. R. A. T., 1983), on manque de données fiables sur les productions agricoles à l'échelle régionale et surtout de longues séries de mesures permettant des traitements statistiques.

Pour tenter une première approche à ce problème, il nous a semblé préférable d'utiliser les données fournies par une culture de type industriel, celle du coton, dont on connaît la plupart des caractéristiques avec une bonne précision (C. F. D. T., 1952-1979, SOFITEX, 1980-1983).

En effet, dans une étude précédente (ALBERGEL *et al.*, 1985), nous avons mis en évidence que la culture du coton suit une progression régulière avec cependant des années pour lesquelles cette production fléchit sérieusement.

Basé sur l'étude analytique des données statistiques fournies par SOFITEX (\*), le présent travail se propose d'étudier plus en détail les variations de production et de rendement de cette culture en liaison avec les conditions pluviométriques du Burkina, depuis 1952, date de la mise en place d'une production organisée de coton.

## 1. — LA CULTURE DU COTON EN BURKINA

### 1.1. ÉCOLOGIE

La culture du coton nécessite une température minimale de 14° C avec un optimum autour de 30° C et des températures relativement constantes entre le jour et la nuit. Ces conditions sont uniformément satisfaites au Burkina (LAGIÈRE, 1966).

Les besoins en lumière sont essentiels, surtout durant les phases de fructification et de maturation. Cette condition est également satisfaite au Burkina car, au cœur de la région cotonnière, l'ensoleillement moyen est de 8,5 heures par jour et remarquablement constant tout au long de l'année et d'une année à l'autre (LOINTIER & GUALDE, 1983; OUEDRAOGO *et al.*, 1981).

Le cycle végétatif est de 120 jours, les semis doivent avoir lieu de fin mai à début juillet; au-delà du 1<sup>er</sup> juillet, il est estimé que chaque semaine de retard entraîne une perte de production de 15 %. Le cycle du mil étant plus court (90 jours), si le début de la saison des pluies est tardif, les surfaces cultivées en coton sont réduites au profit du mil (SOFITEX, 1983).

Le cotonnier demande un minimum de 600 mm d'eau durant son cycle végétatif, mais la répartition temporelle paraît plus importante que la quantité d'eau en elle-même. Cependant, comme les plus fortes pluviométries sont en général associées à une meilleure répartition, on préfère au Burkina le cultiver dans les zones où la pluviométrie est supérieure à 800 mm.

La zone cotonnière est donc déterminée par l'isohyète 800 mm et par les types de sol qui sont favorables, constitués essentiellement par ceux sur grès birrimiens situés dans l'Ouest Burkinabè.

(\*) Société des Fibres Textiles.

## 1.2. LE DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE DU COTON

La culture industrielle du coton, d'implantation relativement récente, a pu bénéficier de l'apport de techniques modernes de culture en même temps qu'elle n'a pas eu à combattre des habitudes antérieures qui auraient pu freiner son développement.

Par ailleurs, la politique de prix et d'encadrement adoptée dès le début a permis une croissance régulière dès sa mise en place en 1951 (tableau I).

TABLEAU I. — *Évolution de la production cotonnière au Burkina.*

Campagne	Superficie (ha)	Production coton graine (kg)	Rendement (kg/ha)
1951-52	0 315	52 000	165
1952-53	2 310	136 000	58
1953-54	5 620	254 000	45
1954-55	4 950	610 000	123
1955-56	8 720	824 000	94
1956-57	18 410	2 605 000	143
1957-58	22 015	3 490 000	158
1958-59	25 270	2 875 000	113
1959-60	23 355	1 018 000	43
1960-61	20 560	2 772 000	134
1961-62	22 925	2 341 000	113
1962-63	36 000	6 600 000	183
1963-64	45 800	8 048 220	186
1964-65	52 500	8 769 405	170
1965-66	49 720	7 463 147	137
1966-67	52 355	16 296 945	311
1967-68	65 408	17 274 788	264
1968-69	71 648	32 027 291	447
1969-70	84 076	36 248 249	431
1970-71	80 557	23 484 037	291
1971-72	74 056	28 126 336	379
1972-73	70 058	32 574 251	465
1973-74	66 601	26 668 596	413
1974-75	61 520	30 562 703	497
1975-76	68 005	50 694 961	745
1976-77	79 225	55 253 548	697
1977-78	68 767	38 043 013	553
1978-79	71 714	59 956 674	837
1979-80	82 030	77 520 247	945
1980-81	74 948	62 538 692	834
1981-82	65 240	57 533 948	882
1982-83	71 970	75 572 320	1 030
1983-84	73 115	76 040 000*	1 040*

\* Estimation (comm. orale)

### 1.3. ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION

La culture du coton présente une croissance de caractère exponentiel jusque vers 1979. On constate depuis un ralentissement de cette progression (fig. 1 c).

Les facteurs du milieu (espace disponible, zone climatique favorable...), les facteurs technologiques (labours, insecticides, engrais...) et la main-d'œuvre n'étant pas extensibles indéfiniment, ceci contribue à faire tendre les productions et les rendements vers des limites, qui ne pourraient être dépassées sans que n'interviennent des changements importants.

La courbe qui s'ajuste le mieux à ce type de phénomène est une courbe logistique (forme en S) de la forme :

$$y = \frac{k}{1 + m e^{-at}}$$

où  $k$  est la valeur limite et  $t$  l'année.

## 2. — LES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA PRODUCTION COTONNIÈRE

Les facteurs qui expliquent les productions sont les surfaces cultivées et les rendements, qui eux-mêmes dépendent, d'une part de paramètres maîtrisables par l'homme : décision de cultiver et intrants, et, d'autre part d'un paramètre indépendant, la pluviométrie.

Nous pouvons donc considérer que la courbe logistique d'ajustement représente ce qu'aurait été la production si les paramètres maîtrisables avaient été les seuls à intervenir, tandis que les écarts des productions réelles à cette courbe représentent l'influence des facteurs non maîtrisables.

### 2.1. AJUSTEMENTS DES FACTEURS RENDEMENT, SURFACE, PRODUCTION A DES COURBES LOGISTIQUES

L'évolution de ces trois facteurs est représentée sur la figure 1. Notons que les chiffres de production d'une année correspondent à la saison pluvieuse précédente.

Pour les facteurs « rendement » et « surface », les paramètres de la courbe logistique sont les suivants :

	$k$	$m$	$a$
Rendements (kg/ha)	1 439,3	25,11	0,0817
Surface (ha)	71 720	108,61	0,419

On remarquera que la valeur de  $k$  pour les surfaces est proche de la moyenne des 11 dernières années (70 920 ha) alors que pour les rendements la valeur limite (1 439 kg/ha) est largement supérieure à la plus forte valeur observée (1 040 kg/ha en 1983) (tableau I).

Ponctuellement, on peut atteindre des rendements de 2 000 kg/ha; mais on ne peut espérer généraliser cette performance à la totalité des surfaces cotonnières.

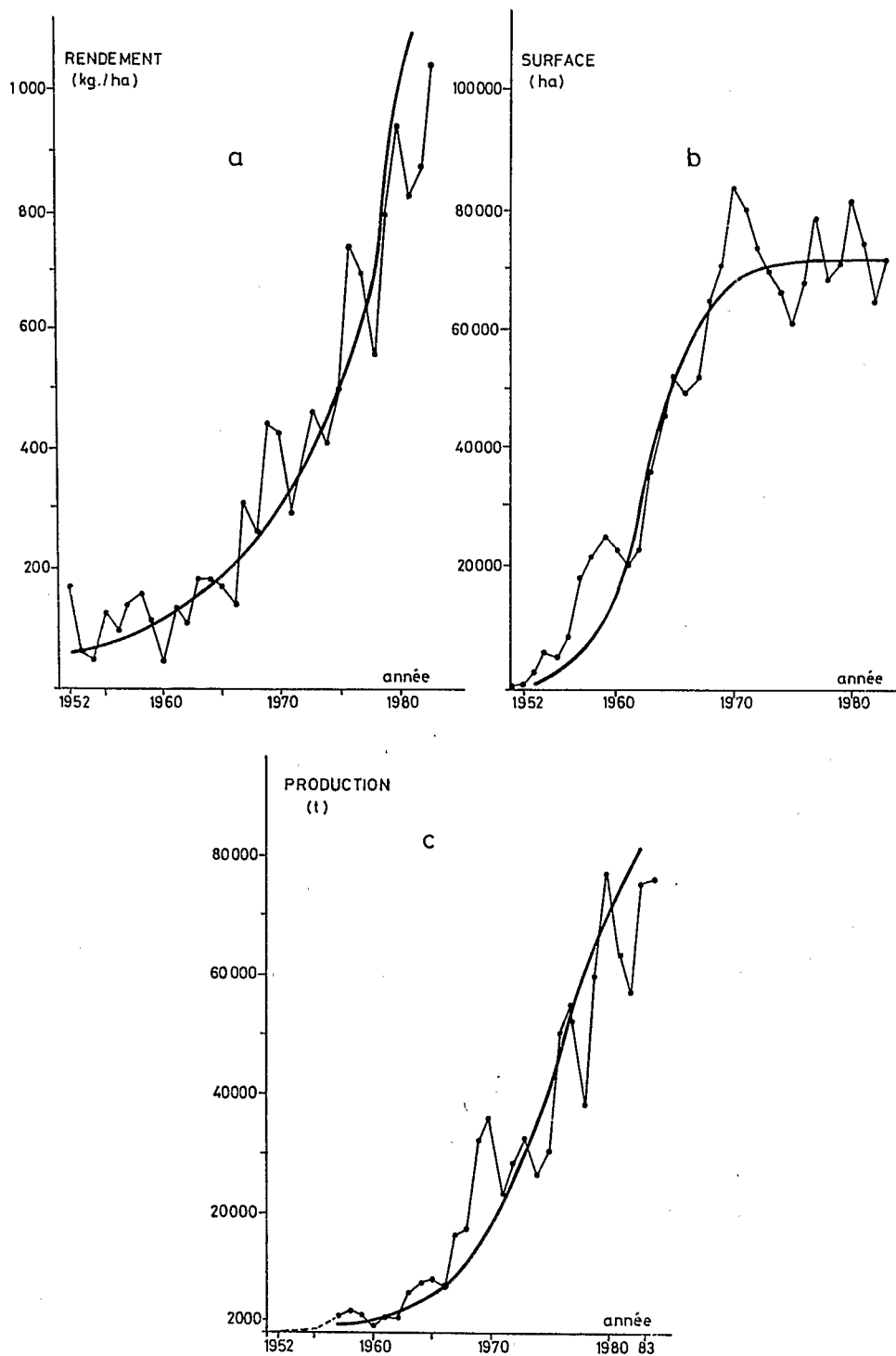


FIG. 1. — La culture du coton au Burkina : ajustement à des courbes logistiques de l'évolution des rendements (a), de la surface cultivée (b) et de la production (c).

En effectuant l'ajustement à une courbe logistique des valeurs observées de la production, on obtient une production limite ( $k$ ) de l'ordre de 45 000 tonnes, ce qui est nettement en dessous des valeurs observées pour les dernières années (tableau I). Aussi, pour essayer de s'approcher de la réalité, on est amené à faire le même type d'ajustement en se fixant une valeur limite de la production. Or on s'aperçoit que :

- pour les rendements, cette valeur-limite calculée est de 1 439 kg/ha,
- pour les surfaces, elle est de 71 700 ha.

On en déduit une valeur limite de production :

$$k = 1\,439 \times 71\,700 = 103\,176 \text{ tonnes.}$$

On peut donc considérer que la potentialité maximale de production de coton est de l'ordre de 100 000 tonnes pour l'ensemble du pays.

En adoptant cette limite ( $k = 100\,000$ ), les paramètres relatifs au facteur « production » prennent les valeurs suivantes :

	$k$	$m$	$a$
Production ( $t$ )	100 000	316,16	0,234

L'extrapolation de cet ajustement conduit à une production de 99 473 tonnes en l'an 2000.

*Adéquation des ajustements.* — Une bonne estimation de l'adéquation des ajustements utilisés est fournie par les coefficients de corrélation entre les logarithmes des valeurs calculées et ceux des valeurs observées :

Variable	Surface	Rendement	Production	Nombre d'années observées
Coefficient de corrélation	0,96	0,93	0,96	29

## 2.2. LES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA COURBE THÉORIQUE DE PRODUCTION

Parmi l'ensemble des données relatives à la culture du coton, nous avons retenu trois variables significatives des techniques culturales : surface labourée, quantités d'engrais et quantités d'insecticides utilisées.

Les coefficients de corrélation linéaire montrent que la production théorique définie précédemment est fortement liée à chacune de ces trois variables (tableau II) :

Variable	Surface labourée	Engrais	Insecticide	Nombre d'années observées
Coefficient de corrélation	0,94	0,95	0,97	17

## 2.3. LES ÉCARTS DE LA PRODUCTION OBSERVÉE PAR RAPPORT A LA COURBE LOGISTIQUE

Le tableau III donne les écarts des productions observées à la courbe logistique. Pour faciliter l'exposé, nous rapporterons la production à l'année de culture. En effet, la commercialisation du coton se fait à partir des mois de janvier ou février de l'année suivant la saison des pluies au cours de laquelle il a été cultivé.

TABLEAU II. — *Intrants et surfaces labourées.*

Année	Surfaces labourées (ha)	Engrais (t)	Insecticides (1)
1966-67	2 801	227	14 000
1967-68	4 584	430	41 000
1968-69	6 390	850	83 000
1969-70	9 493	1 351	120 000
1970-71	10 432	1 285	118 000
1971-72	11 256	1 720	132 207
1972-73	10 588	1 500	139 200
1973-74	9 700	1 680	170 700
1974-75	8 458	1 782	195 000
1975-76	13 690	2 550	250 000
1976-77	23 449	3 610	370 000
1977-78	20 467	3 273	346 000
1978-79	26 157	4 984	397 000
1979-80	28 201	7 235	600 000
1980-81	27 350	7 371	550 000
1981-82	36 000	7 526	514 500
1982-83	44 490	8 703	592 400

Une première analyse de cette série d'écarts met en évidence les faits suivants :

— les fluctuations de la production observée autour de la courbe de production théorique peuvent être très importantes (174,5 % en 1957),

— de 1954 à 1969, les écarts sont plutôt positifs ou faiblement négatifs (sauf 1959 et 1961),

— de 1970 à 1983, ils sont plutôt négatifs ou faiblement positifs.

On retrouve donc bien ici la période de pluviométries fortement excédentaires de 1950-1968 et celle de la dernière persistance sèche (depuis 1968) (ALBERGEL *et al.*, 1984).

Notons que les années 1959 et 1961 de la période humide ont été plutôt moins arrosées, tandis que les années 1975 et 1979 de la période sèche ont été moins déficitaires.

Ces constatations nous ont conduit à tester la régression multiple entre les pluviométries observées au niveau de 10 postes de la région cotonnière (fig. 2) et les écarts à la production théorique mentionnés sur le tableau III.

TABLEAU III. — *Écarts des productions réellement observées à la courbe logistique.*

Année de culture	Ecart productions %		Année de culture	Ecart productions %	
	+	-		+	-
1954		- 3,8	1969	106,1	
1955	3,0		1970	10,5	
1956	158,2		1971	10,6	
1957	174,5		1972	8,2	
1958	79,6		1973		- 24,3
1959		- 49,5	1974		- 25,0
1960	9,5		1975	9,0	
1961		- 26,4	1976	5,6	
1962	65,7		1977		- 34,5
1963	61,5		1978		- 5,9
1964	41,1		1979	12,5	
1965		- 3,4	1980		- 15,1
1966	70,3		1981		- 26,2
1967	46,5		1982		- 7,5
1968	121,6		1983		- 10,5

Le coefficient de corrélation multiple est de 0,72 pour 22 années observées.

Vu l'hétérogénéité des données pluviométriques, ce coefficient de corrélation est satisfaisant et la liaison entre pluie et écarts à la production est assez forte pour être jugée significative, le seuil de signification est inférieur à 1 % (test de FISHER-SNEDECOR dans SNEDECOR & COCHRAN, 1957).

En ne conservant que les 3 postes (Houndé, Dionkélé, Tougan) qui présentent les coefficients de régression les plus forts, on obtient une nouvelle corrélation à 3 variables, significative de l'écart à la production théorique. Remarquons que les 3 postes pluviométriques conservés sont des stations en pleine zone rurale à forte densité de culture cotonnière.



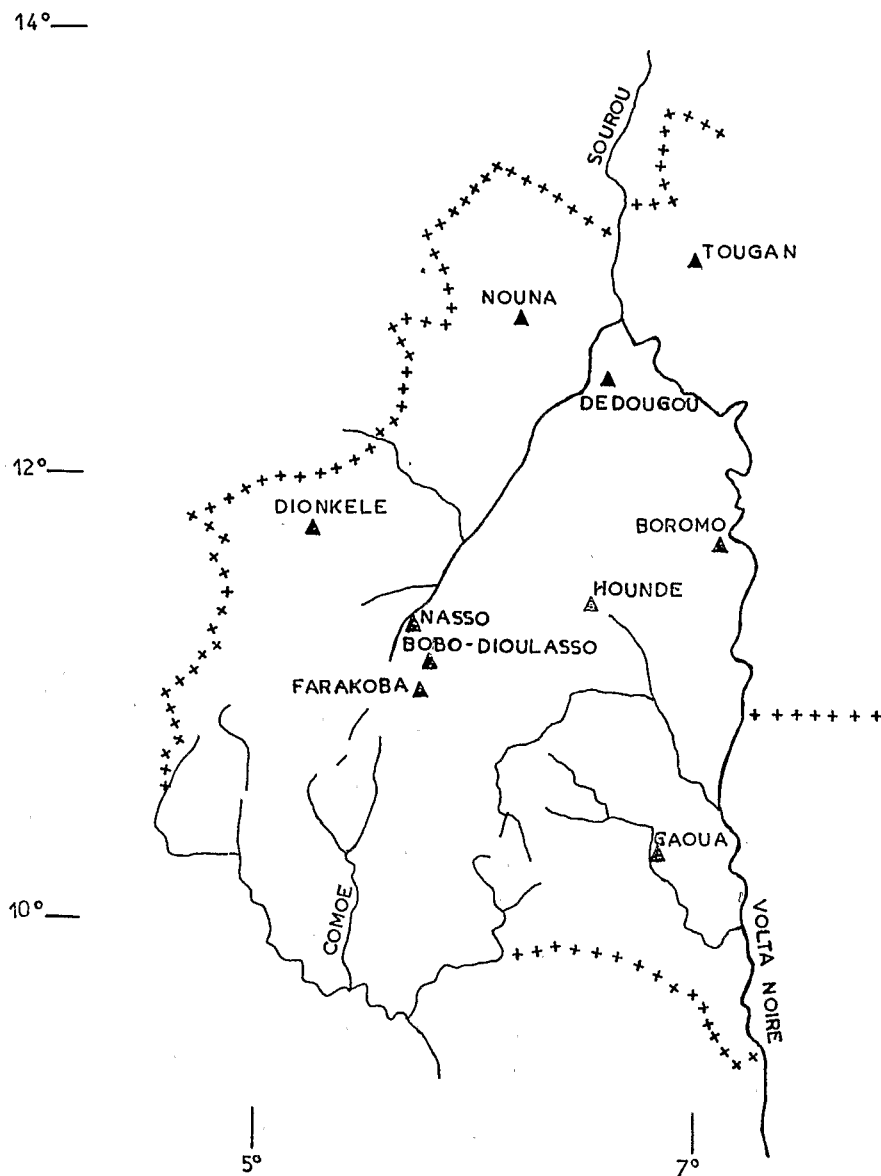


FIG. 2. — Principales stations pluviométriques dans la zone du coton au Burkina.

L'expression de cette corrélation est la suivante :

$$E = 0,37 \times P7 \text{ (Houndé)} + 1,6 \times P8 \text{ (Dionkélé)} + 1,19 \times P9 \text{ (Tougan)} - 2,591,$$

où :

$$E = (\text{production logistique} - \text{production observée}) / \text{production logistique},$$

$$P = \text{pluie annuelle en mètres.}$$

Le coefficient de corrélation est de 0,67 pour 26 valeurs (seuil de signification inférieur à 1 %).

### 3. — FORMULES ESTIMATIVES DE LA PRODUCTION DE COTON

#### 3.1. ESTIMATION DE LA PRODUCTION COTONNIÈRE A PARTIR DE LA COURBE LOGISTIQUE ET DE LA PLUVIOMÉTRIE

A partir de l'analyse précédente, on peut estimer la production à partir de la pluviométrie et de l'année ( $Pr_e$  = production estimée, en tonnes pour l'année  $t$ ) :

$$Pr_e = \frac{100\,000}{1 + 316 e^{-0,234(t-1952)}} (1 + E)$$

La figure 3 montre l'adéquation entre les productions annuelles ainsi calculées et celles observées pour la période 1955-1983. Les données relatives aux années 1955, 1963, 1979 et 1983 n'ont pu être calculées, faute de données pluviométriques suffisantes.

Cette formulation de la production de coton permet une estimation dès la fin de la saison des pluies, donc 3 mois avant le début de la commercialisation. Elle restera valable tant que la progression de la culture suivra la courbe logistique précédemment utilisée.

#### 3.2. ESTIMATION DE LA PRODUCTION COTONNIÈRE A PARTIR DES SURFACES LABOURÉES, DES INTRANTS ET DE LA PLUVIOMÉTRIE

Si une transformation de la politique cotonnière du pays survenait, la courbe logistique ne serait plus valable. Mais la démarche consistant à séparer en deux groupes les variables explicatives de la production, d'une part celles maîtrisables par l'homme et, d'autre part la pluviométrie, sera d'autant plus justifiée. On calcule alors une production moyenne liée au premier groupe de variables et on explique les variations autour de cette production moyenne par la pluviométrie.

##### 3.2.1. Production moyenne

Les trois variables pertinentes maîtrisables par l'homme sont les surfaces labourées, les quantités d'engrais et d'insecticides utilisées. Ces trois variables ne sont pas indépendantes, les quantités d'insecticides et d'engrais dépendent des surfaces labourées; les coefficients de corrélation sont entre eux supérieurs à 0,95. Si on considère les quantités d'engrais et d'insecticides épandues par hectare, la régression expliquant la production observée par ces deux variables et par les surfaces labourées montre que seul le coefficient de régression de la variable « surface labourée » est significativement différent de zéro.

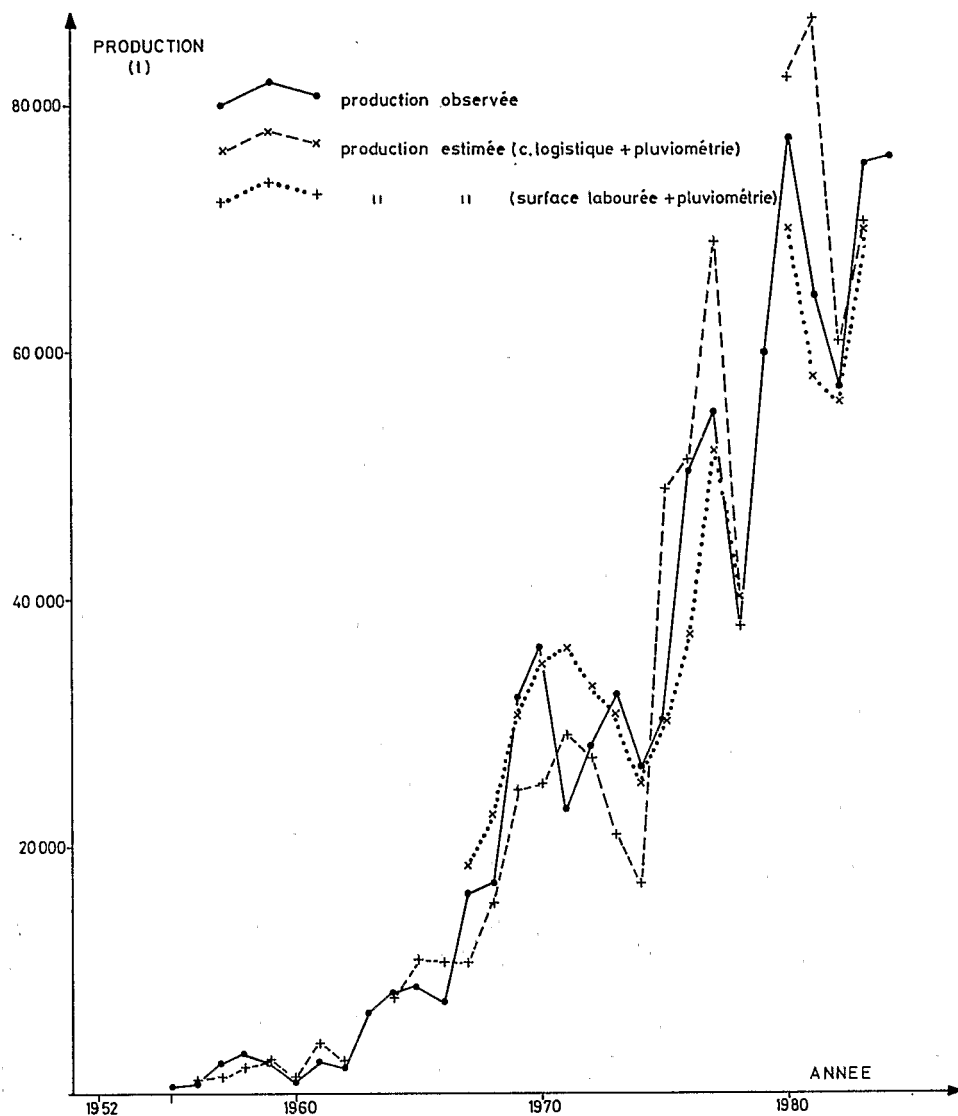


FIG. 3. — Évolution comparée de la production observée et de la production estimée du coton au Burkina.

Si  $Pr_m$  est la production moyenne (en tonnes) liée aux facteurs maîtrisables, on obtient :

$$Pr_m = 1,47 \text{ surface labourée (en hectares)} + 17\,000$$

Le coefficient de corrélation est de 0,90 pour 17 années observées.

### 3.2.2. Écarts à la production moyenne

Du fait que l'on ne dispose que de 17 années d'observations, la régression entre les écarts et les données des 10 postes n'est pas significative. Pour conserver le maximum d'observations, nous n'utiliserons que les postes de Nasso, Houndé et de Dionkélé.

La régression a alors pour expression :

$$E' = 0,629 \times P4 \text{ (Nasso)} + 0,155 \times P7 \text{ (Houndé)} + 0,031 \times P8 \text{ (Dionkélé)} - 0,853,$$

où :

$$E' = (\text{production moyenne} - \text{production observée}) / \text{production moyenne},$$

$$P = \text{pluie annuelle en mètres.}$$

Le coefficient de corrélation est de 0,59 pour 16 années (la pluviométrie en 1979 du poste Dionkélé est inconnue) (seuil de signification 1 %).

#### Formule d'estimation

La production estimée en tonnes a pour expression :

$$Pr_e = (1,47 \text{ surface labourée} + 17\,000) (1 + E')$$

La figure 3 montre l'adéquation entre les productions annuelles ainsi calculées et celles réellement observées pour la période 1967-1983.

L'année 1979 n'a pu être reconstituée faute d'observations pluviométriques au poste de Dionkélé.

## CONCLUSIONS

Cette étude met en évidence que, malgré la croissance réelle de la production de coton tout au long de la phase sèche actuelle (1968-1983), cette culture subit les aléas climatiques, ce qui se traduit par des écarts relativement importants autour d'une progression moyenne liée à l'amélioration des techniques culturales.

Les formulations auxquelles nous avons abouti prouvent que, à partir de mesures fiables de quelques paramètres descriptifs de la production, il est possible d'en saisir les mécanismes.

Une telle étude ne peut actuellement être menée sur les cultures vivrières et surtout céréalières, malgré l'importance qu'elles revêtent dans la zone sahélo-soudanienne. En effet, ces cultures pluviales semblent régies par des conditions climatiques plus strictes; en particulier, elles sont plus sensibles à la répartition temporelle des pluies qu'à la pluviométrie totale annuelle. Dans la région de Ouahigouya, par exemple, les années 1982 et 1983 ont donné lieu, pour un total pluviométrique identique, à des rendements très différents (rapport de 1 à 6 pour le mil), dus à une répartition particulièrement défavorable des pluies en 1983 (I. R. A. T., Ouagadougou, commun. orale).

De plus, les statistiques agricoles pour ces cultures ne présentent pas la fiabilité de celles du coton.

Nous avons démontré que la pluviométrie est le facteur essentiel des variations interannuelles de la production de coton bien qu'elle reste supérieure au besoin de la plante, même les années les plus déficitaires dans la région cotonnière.

Il serait intéressant d'étudier plus en détail et de façon agronomique cette relation de causalité entre la pluie et la production de coton : décision de cultiver en fonction de la précocité de la saison des pluies, satisfaction du bilan hydrique en fonction de la répartition des pluies, etc...

Par ailleurs, il apparaît que la courbe théorique (fig. 1 c) est actuellement proche de son asymptote; pour dépasser ce seuil, qui doit se situer autour de 100 000 tonnes par an, on pourrait envisager :

— soit une intensification des cultures et une augmentation des rendements dans la région cotonnière,

— soit une extension des zones cultivées en coton, et cela surtout vers les régions où la pluviométrie paraît favorable.

### BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J., CARBONNEL J. P. & GROUZIS M., 1984. — *Pluies, eaux de surface-production végétale. Haute-Volta (1920-1983)*. ORSTOM, DGRST, Ouagadougou, doc. mult., 58 p.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J. P. & GROUZIS M., 1985. — Péjoration climatique au Burkina Faso, incidence sur la ressource en eau et sur la production végétale. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, à paraître.
- CARBONNEL J. P., 1985. — *Analysis of the recent climatic evolution in Burkina Faso (Upper Volta)*. Natural Resources Forum, U. N., New York, vol. 9, n° 1, 12 p.
- C. F. D. T., 1952-1979. — *Rapports annuels sur les campagnes cotonnières*, Ouagadougou.
- I. R. A. T., 1983. — *Rapport de synthèse 1982*, Paris, 208 p.
- LAGIÈRE R., 1966. — *Le cotonnier*, Paris, Maisonneuve et Larose (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 9).
- LECAILLON J. P. & MORRISSON Ch., 1984. — *Politiques macroéconomiques et performances agricoles, le cas de la Haute-Volta*. Organisation de coopération et de développement économiques, rap. mult., 145 p.
- LOINTIER M. & GUALDE R., 1983. — *Étude hydrologique de la plaine de Niéna Dionkélé : station de N'Dorola*. ORSTOM, Ouagadougou, doc. mult., 67 p.
- OLIVRY J. C., 1983. — Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, 20, 1, 47-69.
- OUEDRAOGO J. P., OUEDRAOGO J. B. G. & BALDY M., 1981. — Premières données sur le rayonnement global et la durée de l'insolation en Haute-Volta. *La Météorologie*, 6<sup>e</sup> sér, 25, 123-134.
- SNEDECOR G. W. & COCHRAN W. G., 1957. — *Statistical Methods*. The Iowa State University Press Ames, 6<sup>e</sup> édition, 649 p.
- SOFITEX, 1980-1983. — *Rapports annuels sur les campagnes cotonnières*. Ouagadougou.