Répartition et évolution du déficit hydrique dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Application à la culture de l'ananas.

E. MALEZIEUX*

THE DISTRIBUTION AND EVOLUTION OF THE WATER SHORTAGE ON SOUTH-EAST COTE D'IVOIRE.
Application to pineapple growing.

E. MALEZIEUX.

Fruits, Sep.-Oct. 1990, vol. 45, n° 5, p. 457-468.

ABSTRACT - Water deficit constitutes an important limiting factor of the pineapple production in Côte d'Ivoire. The geographical distribution of this deficit and the evolution of the chronological serials have been analysed in each producting zone. In terms of spatial distribution the north-south gradients and the influence of the «V Baoulé» have been confirmed. Several statistical methods have allowed to show the existence of an increase of the dryness of the climate for the past ten years, mainly in the north zone of the study area. However, the existence of oscillatory fluctuations does not permit to conclude, on a statistical basis, to an irreversibility of this dryness.

REPARTITION ET EVOLUTION DU DEFICIT HYDRIQUE DANS LE SUD-EST DE LA COTE D'IVOIRE. APPLICATION A LA CULTURE DE L'ANANAS.

E. MALEZIEUX.

Fruits, Sep.-Oct. 1990, n° 5, p. 457-468.

RESUME - Le déficit hydrique constitue un facteur limitant important de la production d'ananas en Côte d'Ivoire. La répartition géographique de ce déficit et l'évolution des séries chronologiques ont été analysées dans chaque zone productrice. En terme de répartition spatiale, les gradients Nord-Sud et l'influence du «V Baoulé» ont été confirmés. Différentes méthodes statistiques ont permis de mettre en évidence un assèchement du climat ces dix dernières années, notamment dans la zone Nord de la région d'étude. L'existence de fluctuations de nature oscillatoire ne permet toutefois pas de conclure, sur le plan statistique, à une irréversibilité de cet assèchement.

MOTS CLES : *Ananas comosus*, **déficit hydrique, Côte d'Ivoire.**

INTRODUCTION

Le climat de la Côte d'Ivoire est caractérisé par une succession de saisons «sèches» et «humides», dont l'alternance est régie par le déplacement du Front Intertropical Humide (FIT) qui marque la limite entre une masse d'air humide d'origine océanique et une masse d'air sèche d'origine continentale (ELDIN, 1971).

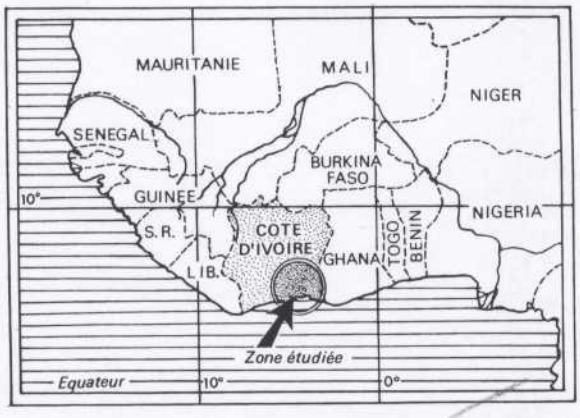
En Basse Côte d'Ivoire, on observe l'existence de deux saisons des pluies : la «grande» saison des pluies, centrée sur le mois de juin, correspond à la montée du FIT vers le nord alors que la «petite» saison des pluies, centrée sur octobre, est liée à la redescente du FIT vers le sud.

Ces deux saisons humides, durant lesquelles la pluviosité excède l'évapotranspiration des cultures sont séparées par deux saisons «sèches» durant lesquelles les besoins en eau des cultures sont plus ou moins satisfaits. L'intensité et la durée de ces périodes sèches conditionnent fortement le rendement de nombreuses cultures.

A l'exception de la région de Yamoussoukro où furent situées quelques plantations importantes, la culture de l'ananas [*Ananas comosus* (L.) MERR] est concentrée dans la zone sud-est du pays, à l'intérieur d'un quadrilatère compris entre 5 et 6 degrés de latitude Nord et 3 et 5.5 degrés de longitude Ouest (carte de situation).

Dans le cadre de la production d'ananas frais pour l'exportation, le matériel végétal initial est composé de cayeux de la variété «Cayenne lisse» d'un poids compris entre

* - IRFA/CIRAD - 01 B.P. 1740 - ABIDJAN 01 - Côte d'Ivoire.



CARTE DE SITUATION

300 et 500 g dans les conditions de culture habituelles. Le cycle de la culture (de la mise en terre des rejets à la récolte du fruit) varie de 12 à 16 mois dans les conditions locales. Malgré d'importantes fluctuations saisonnières des volumes produits, liées essentiellement à des contraintes d'ordre économique (variations du prix de vente), l'ananas est planté et récolté durant toute l'année. L'irrigation restant une technique peu répandue, toute parcelle connaît donc, quel que soit le calage de son cycle dans l'année, des périodes sèches durant lesquelles l'eau apparaît comme un facteur limitant de la production (MALEZIEUX, 1988).

Au cours de la dernière décennie, l'assèchement du climat fut souvent invoqué pour rendre compte des diminutions de rendement. Une aggravation du déficit hydrique annuel dans le sud de la Côte d'Ivoire entre les années 1950 et la fin des années 1980 a d'ailleurs été mise en évidence par QUENCEY (1988).

Dans ce contexte, et devant l'incertitude des planteurs sur le risque de déficit hydrique inhérent à chaque zone de production, nous avons analysé les variations intra et interannuelles du déficit hydrique pour chacune des régions productrices. Nous avons ensuite cherché à mettre en évidence l'existence d'une tendance éventuelle dans l'évolution du déficit hydrique.

MATERIEL ET METHODES

Le calcul du déficit hydrique.

L'existence d'un état de sécheresse susceptible de ralentir la croissance d'un couvert végétal est liée au résultat d'un bilan entre l'évaporation maximale du couvert (ETM) et la pluviométrie durant la période considérée. L'évapotranspiration maximale (ETM) dépend de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et d'un coefficient cultural (Kc), caractéristique de la culture, de son stade physiologique et des conditions climatiques.

L'état de sécheresse se caractérise par une diminution de l'évapotranspiration réelle du couvert (ETR) par rapport à l'ETM.

Le bilan hydrique réel peut s'écrire (FRANQUIN, 1969) :

$$P \pm R - D \pm \delta W - ETR = 0$$

avec :
- R : ruissellement
- D : drainage
- P : pluviométrie
- δW : variation d'humidité dans le sol
- ETR : Evapotranspiration réelle de la culture.

Pour simplifier, on supposera que la totalité des pluies est infiltrée dans le sol (R = 0). Lorsque la pluviosité de la période étudiée est supérieure à la réserve utile du sol (RU), on considère que la quantité excédentaire est drainée.

On peut alors écrire le bilan hydrique simplifié :

$$B = P + RU - ETM$$

B peut varier de -ETM (pas de pluie sur la période considérée et réserve utile initiale vide) à + RU (pluie excédentaire).

Ce bilan peut être déterminé selon différents pas de temps. Bien qu'à l'échelle de la plante les bilans mensuels soient peu précis, nous retiendrons ce pas de temps compte tenu de la difficulté à réunir des données plus précises sur une longue période.

Ne disposant d'aucune donnée concernant le rayonnement global, l'évaporation Piche ou l'évaporation en bac pour la plupart des postes retenus, l'ETM a dû être estimée de manière très simplifiée.

On supposera :

ETM = 2,75 mm/jour si le nombre de jours de pluie du mois considéré est inférieur à 10 ;

ETM = 1,75 mm/jour si le nombre de jours de pluie du mois considéré est supérieur à 10.

Ces valeurs moyennes ont été déterminées par rapport aux valeurs calculées par la formule établie par MONTENY *et al.* (1981) reliant l'évaporation standard (ET0) au rayonnement global. Un coefficient cultural égal à 0.74 (COMBRES, 1983) a été retenu.

Les valeurs du rayonnement global ont été enregistrées sur la station IRFA de l'Anguédédou.

La faible valeur du coefficient cultural doit être reliée aux caractéristiques spécifiques de la physiologie de l'ananas (morphologie foliaire et fonctionnement des stomates en relation avec le métabolisme crassulacéen de la plante).

Compte tenu des variations non corrélées du rayonnement et de la pluviométrie au cours de l'année (MALEZIEUX, 1988), on en déduit que les valeurs retenues conduisent à surestimer l'ETM en petite saison sèche et à la sous-estimer en début de grande saison des pluies. Dans l'analyse, il en résultera une surestimation du déficit hydrique en petite saison sèche.

Par contre, étant donné les faibles variations de latitude dans la zone considérée, l'erreur liée à une variation géographique de l'ETM reste faible. ELDIN *et al.* (1971) font toutefois état d'une diminution rapide de l'ETP de

l'ordre de 15 p. 100 de la zone littorale à la zone intérieure située à une vingtaine de kilomètres. Cette variation rapide serait due à l'insolation supérieure de la zone cotière.

La réserve utile a été estimée à 30 mm, ce qui constitue un maximum étant donné la profondeur d'enracinement de l'ananas (dépassant rarement 30 cm), la texture des sols (très sableux ou à fort taux de refus) et le mode de plantation (culture sur billons).

Compte tenu de l'approximation liée à l'estimation de l'ETM, les bilans hydriques simplifiés calculés ici ne peuvent constituer un outil destiné à analyser la productivité d'une culture dans une zone donnée. Ils permettent par contre la réalisation d'une étude comparative dans l'espace et dans le temps d'un état de sécheresse, de manière mieux adaptée qu'une analyse de la pluviosité seule.

Les postes étudiés : localisation et durée de la série chronologique.

Treize postes climatiques, répartis dans la zone de culture de l'ananas, ont été retenus (carte 1).

Pour deux postes, on dispose de données de longue durée (1923-1988). Pour neuf postes, on dispose des données de 1947 à 1988, les autres postes ne pouvant être étudiés que sur la période 1966-1988.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation du déficit hydrique annuel dans les différentes régions.

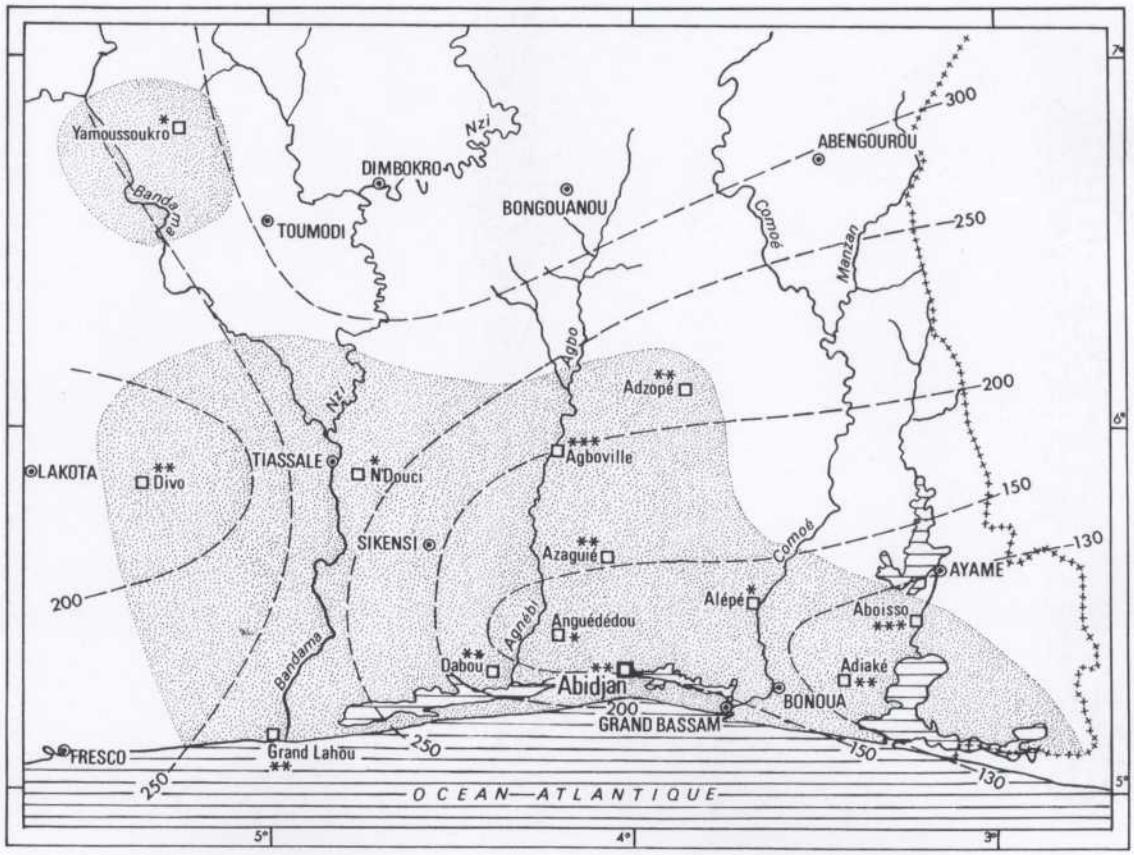
• Le déficit hydrique annuel moyen.

Dans un premier temps, afin de distinguer les caractéristiques hydriques de chaque zone de production, le déficit hydrique annuel moyen de chaque poste a été calculé sur la période 1966-1988.

Pour une année donnée, le déficit hydrique annuel a été calculé comme suit :

$D = \Sigma B_i$ avec $B_i < 0$

B_i = déficit hydrique mensuel



CARTE 1 • Localisation des postes d'étude et courbes d'isodéficits hydriques (période 1966-1988).

Zone approximative de culture de l'ananas.

□ Postes d'étude

Durée des observations : *** 1923-1988
** 1946-1988
* 1966-1988

200 — — — Ligne d'isodéficit hydrique cumulé, exprimé en mm.
Déficit hydrique cumulé : somme des déficits mensuels moyens sur l'année.

Le déficit hydrique annuel moyen varie selon les postes étudiés de 112 mm à Adiaké à 222 mm à Yamoussoukro. Ainsi, malgré la taille réduite de la zone étudiée, des différences importantes se dessinent.

La zone de l'Est-Comoé (Adiaké, Aboisso) est la moins sèche, suivie des zones relativement proches de la côte atlantique (Anguédédou, Azaguié, Dabou, Alépé).

Divo, à la même latitude que N'Douci, Agboville ou Adzopé, connaît un climat notablement moins sec.

Yamoussoukro, situé dans la position la plus septentrionale en culture d'ananas, connaît le déficit le plus élevé des postes étudiés.

Les courbes d'iso-déficit hydrique moyen (période 1966-1988) ont été représentées sur la carte 1. Le gradient Nord-Sud, lié aux variations classiques dues au régime des précipitations (déplacement du FIT), est perturbé par la présence du «V» baoulé dont la pointe extrême se situerait vers Grand-Lahou. Le caractère plus sec d'Abidjan (poste Asecna) et de certains postes côtiers doit probablement être relié à la proximité immédiate de l'océan.

- Etude des distributions fréquentielles du déficit hydrique annuel.

Nous avons reporté sur le tableau 1 les principaux paramètres statistiques du bilan hydrique annuel pour les neuf postes retenus (période 1947-1988).

Les coefficients de variation sont élevés (de 32 à 67 p. 100) et varient d'un poste à l'autre : le coefficient de variation est plus élevé dans les zones humides (Aboisso, Adiaké) que dans les zones sèches (Grand-Lahou, Adzopé).

Un test de normalité a été appliqué aux séries chronologiques des neuf postes retenus. L'hypothèse de normalité ne peut être rejetée au seuil de 5 p. 100, pour aucun des postes. Les courbes de distribution du déficit hydrique annuel peuvent donc être considérées comme normales même si certaines séries présentent une asymétrie positive importante ainsi qu'un aplatissement de la courbe supérieur à 3 (tableau 1). Ces paramètres traduisent l'existence de quelques années exceptionnellement sèches (forte proportion d'années proches de la moyenne mais présence de quelques valeurs éloignées).

Analyse de la répartition saisonnière du déficit hydrique.

- La répartition des périodes sèches dans l'année.

Nous avons représenté sur le tableau 2 le déficit hydrique moyen de chaque mois (période 1966-1988) pour chacun des 13 postes retenus.

Dans toutes les zones, le mois le plus sec est janvier, marquant ainsi l'apogée de la grande saison sèche. Le début de cette saison sèche est plus précoce dans le Nord, Yamoussoukro et Adzopé connaissant déjà des déficits hydriques

TABLEAU 1 - Paramètres statistiques des différentes séries (période 1947-1988).

	Agboville	Aboisso	Dabou	Adzopé	Grand Lahou	Abidjan	Divo	Azaguié	Adiaké
Moyenne (mm)	169	112	155	195	241	167	142	133	101
Ecart-type (mm)	75	75	79	75	79	78	70	67	58
Coefficient de variation	44	67	51	38	32	47	49	50	57
Maximum (mm)	339	320	461	466	405	420	271	279	259
Minimum (mm)	14	0	33	59	112	10	0	18	5
Symétrie	0	0.71	1.6	0.79	0	0.26	0	0	0.78
Aplatissement	2.64	3.63	6.36	5.4	2.24	3.7	2.18	2.4	3.63

TABLEAU 2 - Déficit hydrique mensuel moyen (période 1966-1988)

Mois \ Poste	Agboville	Aboisso	Dabou	Adzopé	Grand Lahou	Abidjan	Divo	Azaguié	Adiaké	Yamoussoukro	Anguédédou	N'Douci
Janvier	62.7	45.3	54.3	74.5	62.3	58.8	64.5	58.8	52.7	72.8	51.4	97.7
Février	43.4	22.5	30.3	38.1	44.6	35.3	17.2	32.7	24.2	49.8	24.5	38.3
Mars	8.7	9.6	9.2	6.9	15.6	8.56	1	3.5	5.4	6.71	4	5.6
Avril	3.6	1.6	3.1	6.5	1.7	0	0.3	1	2.2	3	0.4	5.6
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juillet	6.7	0.54	2.9	3.1	4.8	6.3	5.6	1.7	0.4	10.5	2.8	7.3
Août	22.5	9.7	14	17.2	32.4	31.5	17.9	13.7	5.9	24.2	16.6	22.4
Septembre	18.2	7.7	17.5	13.7	42	24.7	13.4	10.2	5.5	8.2	14.6	17.9
Octobre	7.5	1.4	3.6	0.3	18.9	12	3.6	2.4	0	2	0.8	8
Novembre	0.3	2.2	2.3	11.1	3.7	0	6.2	2.8	0.3	23	2.7	6.2
Décembre	17.5	17	14.8	50.7	22.7	11.7	31.9	18.8	15.9	67	10.2	7.4
Total	191.1	117.54	152	222.1	248.7	188.86	161.6	145.6	112.5	267.21	128	221

élevés dès novembre. En mars, des déficits importants subsistent encore dans la plupart des zones.

Mai et juin se caractérisent par l'absence de déficit dans toutes les zones considérées.

La petite saison sèche, dont le maximum d'intensité se situe en août, est perceptible dans tous les postes, même ceux situés le plus au Nord. Elle reste toutefois très limitée dans la zone Sud-Est du périmètre (Adiaké, Aboisso). Elle est par contre très marquée à Grand-Lahou.

• Etude fréquentielle des déficits hydriques mensuels.

Afin d'analyser plus précisément la répartition du déficit dans l'année pour les différents postes étudiés, une analyse fréquentielle a été réalisée.

La fréquence d'obtention d'un déficit hydrique donné pour un mois donné a été calculée pour chacun des postes retenus (fréquences calculées sur la période 1966-1988). Ces résultats sont représentés sur les figures 1.1 à 1.10. avec, en ordonnée, la probabilité d'obtention d'un déficit hydrique mensuel donné (DHm) et, en abscisse, le mois considéré.

La présence de deux saisons sèches d'inégales fréquences se confirme sur chacune des courbes.

Dans toutes les zones, la probabilité maximale d'obtenir un déficit hydrique ($Bi < 0$) est obtenue pour le mois de janvier ($[P(B\ janvier < 0)] > 0.9$ dans tous les postes). Les mois de décembre et février connaissent sensiblement la même probabilité d'occurrence.

Le début de la grande saison sèche ne se situe qu'en décembre pour les postes situés le plus au sud alors que la probabilité d'obtenir un mois de novembre sec est de 0.8 pour Yamoussoukro et de 0.5 pour Adzopé.

Dans tous les postes observés, la probabilité pour que les mois de mai et juin soient secs est nulle.

• Analyse fréquentielle de la durée de la saison sèche.

Afin de rendre compte de la durée des périodes sèches dans l'année, on a calculé pour chaque poste la fréquence avec laquelle on observe au moins n mois secs dans l'année (un mois étant considéré comme sec lorsque $Bi < 0$). Les résultats sont représentés sur le tableau 3.

Yamoussoukro, Grand-Lahou et N'Douci qui possèdent les déficits hydriques annuels les plus élevés sont également caractérisés par la plus forte fréquence d'obtention d'une longue saison sèche. Pour ces trois postes, on note neuf années sur dix la présence d'au moins quatre mois secs et quatre années sur dix au moins six mois secs. La répartition du déficit est toutefois différente : alors que Yamoussoukro connaît une petite saison sèche relativement peu marquée par rapport à Grand-Lahou, on note dans la région Nord un démarrage plus précoce de la grande saison sèche.

La fréquence avec laquelle on observe au moins cinq mois secs, très faible à l'Est-Comoé (Adiaké et Aboisso) mais également à Divo, devient importante dans la zone traversée par le «V» baoulé. La fréquence avec laquelle on observe au moins six mois secs reste très faible dans la partie sud de la zone de culture.

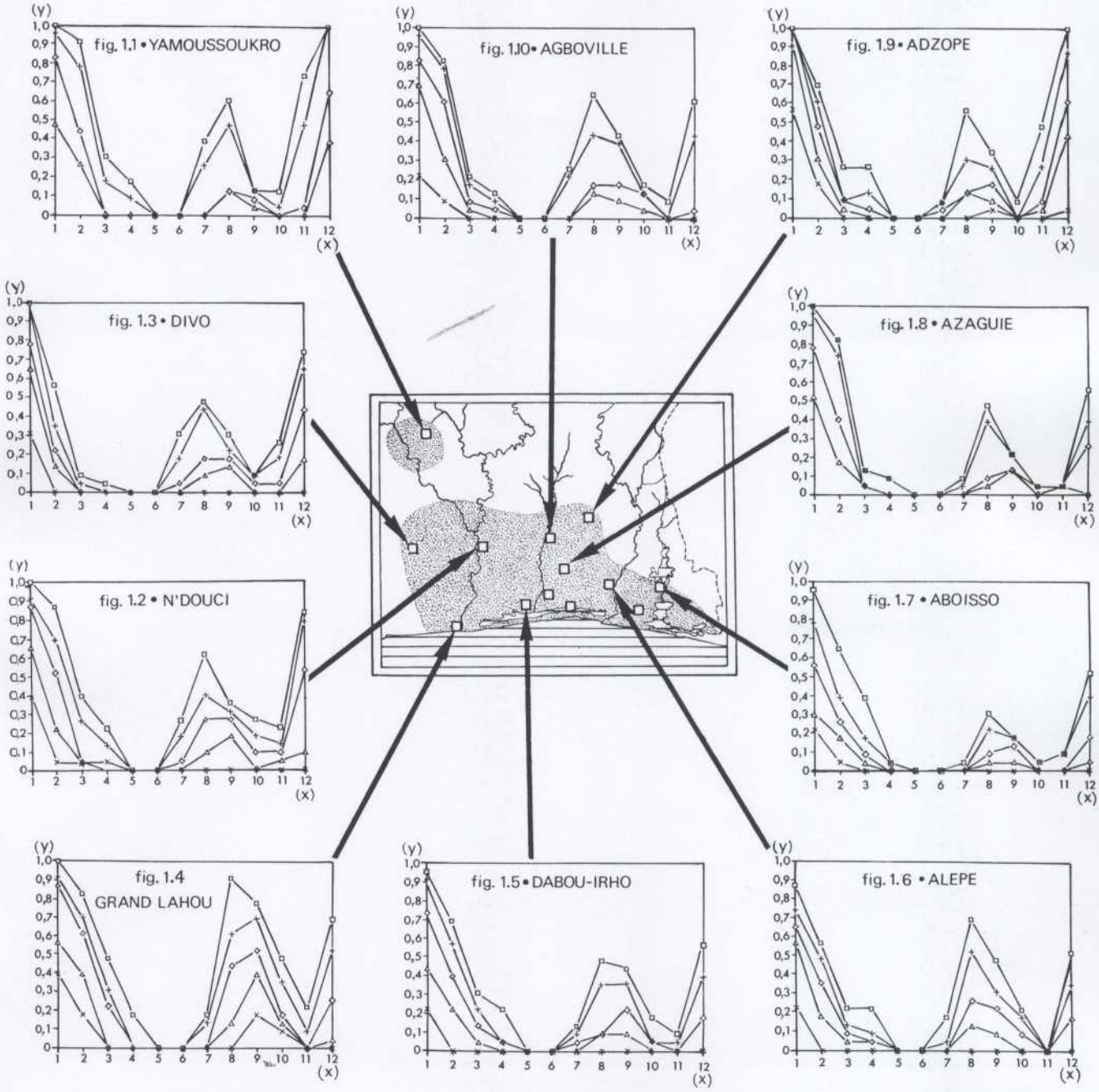
Le nombre de mois secs traduit l'intensité de la saison sèche en terme de durée. On peut souligner, la similitude de répartition des zones à longues saisons sèches avec celle des zones à «fortes» saisons sèches (déficit hydrique annuel).

Analyse de la concomitance des variations inter-annuelles du déficit hydrique entre les différents postes.

Compte tenu de l'unicité du déterminisme climatique dans la région (déplacement du FIT) et malgré des différences importantes entre les différentes zones du périmètre en ce qui concerne le déficit hydrique annuel moyen, on peut supposer l'existence d'une concomitance des années «sèches» ou «humides» entre les différents postes.

TABLEAU 3 - Probabilité d'obtenir au moins n mois secs dans l'année (période 1966-1988)

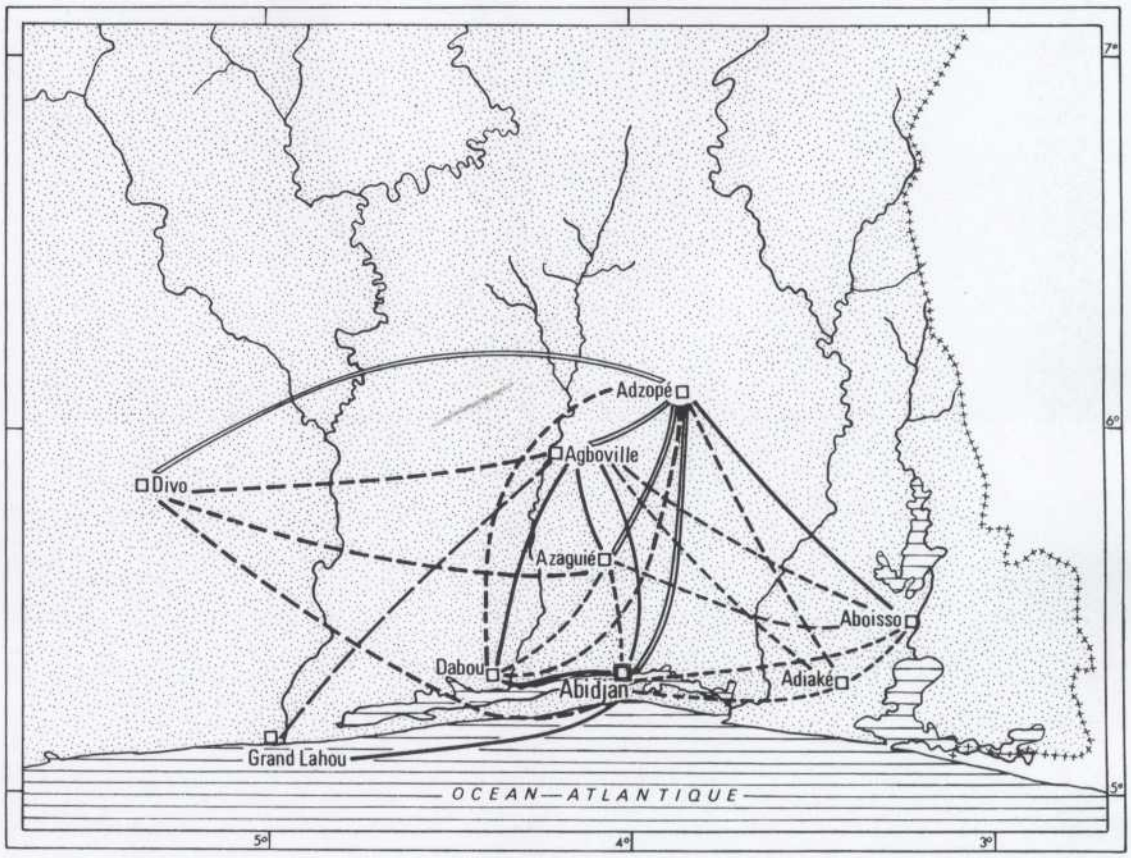
Poste \ n	3	4	5	6	7
Agboville	0.91	0.7	0.48	0.17	0.09
Aboisso	0.65	0.35	0.22	0.09	0.04
Dabou	0.74	0.65	0.43	0.17	0.04
Adzopé	0.96	0.83	0.43	0.35	0.09
Grand Lahou	1	0.91	0.78	0.57	0.3
Abidjan	0.87	0.7	0.48	0.13	0.04
Divo	0.82	0.74	0.26	0.09	0
Alépé	0.78	0.7	0.52	0.04	0
Yamoussoukro	1	0.96	0.78	0.48	0.13
Anguédédou	0.64	0.45	0.18	0.09	0
N'Douci	1	0.82	0.59	0.41	0.23
Azaguié	0.77	0.41	0.18	0.14	0.04
Adiaké	0.64	0.41	0.136	0.04	0



Figures 1 • FREQUENCE D'OBTENTION D'UN DEFICIT HYDRIQUE MENSUEL DONNE (DHm) EN FONCTION DU MOIS DE L'ANNEE.

□ DHm ⩾ 0 mm
+ DHm ⩾ 20 mm
◇ DHm ⩾ 40 mm
△ DHm ⩾ 60 mm
× DHm ⩾ 80 mm

y : Fréquence d'obtention d'un déficit hydrique donné.
x : Mois de l'année.



CARTE 2 • Diagramme de corrélation (période 1947-1988). Niveaux de corrélation entre déficits hydriques annuels. Postes pris deux à deux. [— — Liaison significative à 1% (r ⩾ 0,394) —— r ⩾ 0,5 ═══ r ⩾ 0,6]

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons calculé les coefficients de corrélations entre les séries chronologiques du déficit hydrique annuel pour les postes pris 2 à 2. Neuf postes ont été retenus, l'analyse portant sur les années 1947-1988. La matrice de corrélation est représentée sur le tableau 4.

Les coefficients de corrélation varient de 0.16 à 0.68. Tous ces coefficients étant positifs et 70 p. 100 d'entre eux étant significativement différents de 0 au seuil de 1 p. 100 ($r > 0.394$), on peut en déduire une relative concomitance des variations inter-annuelles du déficit hydrique entre les différents postes de la région étudiée.

Nous avons représenté sur la carte 2 les liaisons significatives entre les postes. Un effet géographique prévisible important se dégage, isolant les postes périphériques. Malgré un éloignement important et des différences de déficit hydrique moyen élevées, on note une forte liaison entre les postes de Grand-Lahou, Abidjan et Adiaké, probablement en raison de la proximité de l'océan.

La localisation des postes sur les deux axes Nord-Sud et Est-Ouest est donc déterminante pour juger du déficit hydrique en terme de moyenne annuelle mais également en terme de concomitance.

TABLEAU 4 - Matrice de corrélation - séries chronologiques du déficit hydrique annuel.

	Agboville	Aboisso	Dabou	Adzopé	Grand Lahou	Abidjan	Divo	Azaguié	Adiaké
Aboisso	0.403								
Dabou	0.517	0.255							
Adzopé	0.615	0.529	0.49						
Grand Lahou	0.475	0.217	0.263	0.363					
Abidjan	0.511	0.404	0.597	0.679	0.556				
Divo	0.47	0.341	0.311	0.627	0.303	0.495			
Azaguié	0.528	0.413	0.477	0.621	0.331	0.478	0.487		
Adiaké	0.404	0.457	0.346	0.438	0.16	0.499	0.41	0.336	

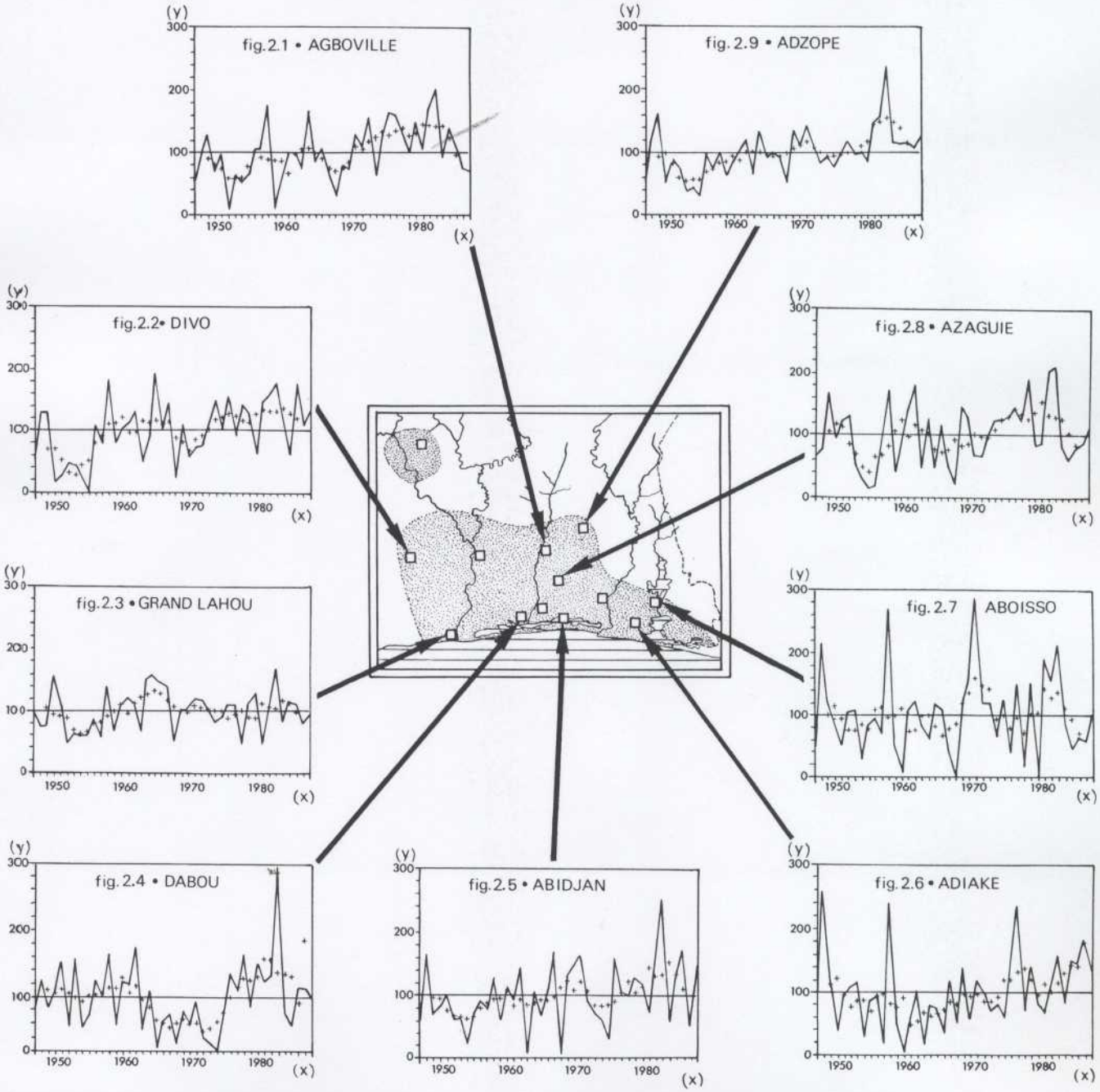
r significativement différent de 0 au seuil de 1 p. 100.

Recherche d'une tendance d'évolution du déficit au cours du temps.

Avant d'envisager un test statistique et afin de visualiser une éventuelle tendance, nous avons représenté sur les figures 2.1 à 2.9 les déficits hydriques annuels de 1947 à 1988 pour chacun des postes retenus.

L'observation de la position de la courbe lissée par rapport à la moyenne permet de déceler une certaine augmentation du déficit hydrique au cours du temps pour les postes d'Agboville, Adzopé et Divo qui correspondent aux postes situés au nord de la zone d'étude.

L'observation des séries d'Agboville et Divo montre une grande similarité d'évolution entre ces deux postes. Tous



Figures 2 • SERIES CHRONOLOGIQUES DU DEFICIT HYDRIQUE ANNUEL EXPRIMEES EN POURCENTAGE DE LA MOYENNE (période 1947-1988).

— Valeurs annuelles.
+++ Moyennes mobiles 5 ans.

y : Déficit hydrique annuel (% moyenne).
x : Années calendaires.

deux sont marqués par des périodes concomitantes de faibles déficits (années 1950-1955, 1965-1972) entrecoupées de périodes à déficit élevé (années 1955-1965 et surtout 1975-1985).

Il est intéressant de constater que ces différentes périodes se retrouvent dans la plupart des postes avec plus ou moins d'intensité (Abidjan, Azaguié, Dabou, Adzopé).

Ainsi, dans tous les postes à l'exception de Grand-Lahou, la période 1975-1985 apparaît comme une période particulièrement sèche de par la fréquence des années supérieures à la moyenne obtenue ainsi que par les valeurs exceptionnelles que l'on peut observer (année 1983 notamment).

Malgré l'existence de cette période sèche récente, il est difficile de conclure à une évolution du climat dans toute la zone étudiée. Ainsi, aucune tendance réelle à l'assèchement n'apparaît pour les postes situés le plus au sud (à l'exception toutefois d'Adiaké dont le déficit annuel semble augmenter régulièrement depuis les années 1960).

Différentes méthodes sont susceptibles d'être utilisées pour tester l'hypothèse d'une tendance dans une série chronologique. Elles seront ici utilisées successivement.

• Comparaison des moyennes partielles.

Pour les postes pour lesquels nous disposons de données de longue durée, les séries chronologiques du déficit hydrique annuel ont été divisées en périodes de 20 ans. On a distingué trois périodes :

1. période 1929-1948 (Agboville et Aboisso seulement)
2. période 1949-1968
3. période 1969-1988

Les moyennes partielles du déficit hydrique annuel ont été calculées puis le test t de Student a été appliqué pour tester les différences entre les moyennes (tableau 5).

On note une augmentation notable du déficit hydrique entre les périodes 2 et 3 dans la plupart des postes, à l'exception de Dabou et Grand-Lahou qui gardent une moyenne stable. Cette évolution n'est toutefois significative que dans quatre cas sur neuf. L'aggravation du déficit est beaucoup plus importante dans la zone nord (+ 60 mm à Agboville et Adzopé) que vers la côte (+ 30 mm).

Pour les deux postes d'Agboville et d'Aboisso on ne note aucune différence significative entre les périodes 1 et 2 au seuil de 5 p. 100. L'évolution est par contre significative pour les deux postes entre les périodes 2 et 3, ainsi qu'entre les périodes 1 et 3.

Une tendance à l'augmentation du déficit hydrique semble donc apparaître, notamment pour les postes situés le plus au Nord (Adzopé, Divo, Agboville). Plus près de la côte atlantique, l'évolution est moins nette (Abidjan, Azaguié, Adiaké), voire inexistante (Grand-Lahou, Dabou).

• Test de rangs de Spearman.

Dans un deuxième temps, le test de rangs de Spearman a été appliqué aux neuf postes précédents. La corrélation entre le classement chronologique et le classement par valeurs croissantes des déficits hydriques annuels des années 1947 à 1988 a été mesurée pour chacun des neuf postes et l'hypothèse [rs = 0] a été testée. Le coefficient de corrélation de Spearman (rs) peut varier de +1 (concordance complète) à -1 (discordance complète). Les résultats sont représentés sur le tableau 6.

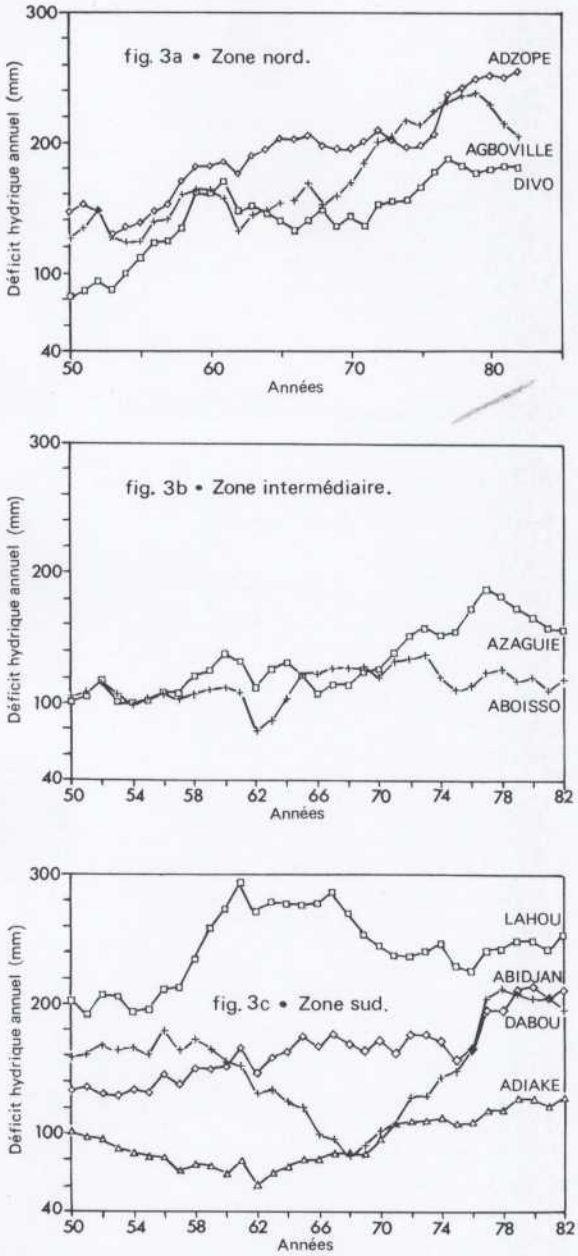
TABLEAU 5 - Périodes 1949-1968 et 1969-1988, déficit hydrique annuel moyen.

Poste	Moyenne 1949-1968	Moyenne 1969-1988	Différence	Niveau de signification
Agboville	139	202	63	0.34
Aboisso	96	126	30	2.87
Dabou	155	156	1	NS
Adzopé	164	225	61	0.33
Grand Lahou	242	239	- 3	NS
Abidjan	149	185	36	NS (7)
Divo	124	160	35	4.97
Azaguié	117	149	32	NS (5.96)
Adiaké	85	115	29	Ns (5.42)

TABLEAU 6 - Tableau de corrélation année x rang, période 1947-1988.

	Coefficient de corrélation de Spearman	Niveau de signification
Agboville	0.41	**
Aboisso	0.07	NS
Dabou	0.035	NS
Adzopé	0.48	**
Grand-Lahou	0.15	NS
Abidjan	0.26	NS
Divo	0.45	**
Azaguié	0.2	NS
Adiaké	0.32	*

* - la corrélation est significative à 5 p. 100 pour rs > 0.304
** - la corrélation est significative à 1 p. 100 pour rs > 0.393.



Figures 3 • COURBES D'EVOLUTION DES MOYENNES MOBILES DU DEFICIT HYDRIQUE ANNUEL (lissage de 10 ans) POUR LES ZONES NORD (fig. 3a), INTERMEDIAIRE (fig. 3b) ET SUD (fig. 3c) DE LA REGION ETUDIEE.

On observe un effet significatif pour quatre postes sur neuf. Dans tous les cas, le coefficient de corrélation de Spearman est positif, indiquant une tendance à l'augmentation du déficit hydrique au cours du temps.

Les postes dont le coefficient de corrélation est significatif à 1 p. 100 sont Divo, Agboville et Adzopé. Ces postes correspondent à la zone Nord de la région étudiée. On confirme donc ici le résultat obtenu par la méthode de comparaison des moyennes partielles.

• Visualisation des tendances.

Afin de visualiser ces tendances, nous avons représenté sur les figures 3 les séries chronologiques du déficit hydrique annuel des neuf postes, lissées sur 10 ans, ceci afin d'éliminer l'effet des fluctuations sur les courtes périodes.

La figure 3a représente l'évolution du déficit pour les postes situés le plus au Nord. La tendance à l'assèchement du climat apparaît nettement pour les trois postes.

Les figures 3b et 3c représentent l'évolution du déficit pour les deux postes de latitude intermédiaire (3b) et les quatre postes de la zone méridionale (3c). Sur ces deux derniers graphiques, aucune tendance n'apparaît.

On confirme donc ici les résultats établis précédemment semblant indiquer un assèchement plus important de la zone nord.

Remarquons que la figure 3c permet de bien visualiser l'effet du «V baoulé» : à même latitude, les postes de Grand-Lahou et Dabou apparaissent notablement plus secs que les postes d'Abidjan et surtout d'Adiaké.

• Evolution des années particulières.

Afin de préciser cette évolution du climat, nous avons caractérisé l'évolution des «années particulières». La fréquence de dépassement de la moyenne des quarante dernières années a ainsi été calculée pour les décades 1949-1958, 1959-1968, 1969-1978 et 1979-1988. Les résultats sont représentés sur le tableau 7A.

Pour évaluer l'évolution de la fréquence des forts déficits au cours du temps, le même calcul a été réalisé en comparant cette fois la valeur d'un déficit hydrique annuel donné à 1.3 fois la moyenne des quarante dernières années (moyenne + 30 p. 100) (tableau 7B).

Bien qu'il n'existe pas de test statistique pour évaluer la signification de ces résultats, une évolution apparaît très nettement : pour 5 postes sur 9, la fréquence des années supérieures à la moyenne a été la plus élevée pour la décade 1979-1988. En moyenne pour tous les postes, on note une augmentation régulière de cette fréquence qui passe de 0.34 à 0.63 entre les années 1955 et les années 1985.

Cette tendance se confirme lorsque l'on considère la fréquence des années très sèches (supérieures à 30 p. 100 de la moyenne) (fj). Dans tous les postes, la fréquence fj la plus élevée a été observée durant la décade 1979-1988. On note également une augmentation régulière de fj calculé sur la moyenne des postes : fj moyen passe de 0.14 à 0.36 entre les années 1955 et 1985.

L'ensemble des méthodes utilisées ici semble donc confirmer la tendance d'une aggravation du déficit hydrique. Cet assèchement général du climat, manifeste depuis une vingtaine d'années notamment dans la zone nord de la région d'étude, paraît s'être accentué durant la dernière décade.

TABLEAU 7A - Nombre d'années supérieures à la moyenne (période 1947-1988).

Poste / Période	Agboville	Aboisso	Dabou	Adzopé	Grand Lahou	Abidjan	Divo	Azaguié	Adiaké	Moyenne
1947-1958	4	4	5	2	3	2	3	4	4	3.4
1959-1968	3	4	4	3	7	5	6	4	1	4.1
1969-1978	7	7	3	5	6	5	6	7	4	5.5
1979-1988	6	4	6	9	6	7	8	4	7	6.3

TABLEAU 7B - Nombre d'années supérieures de 30 p. 100 à la moyenne (période 1947-1988).

Poste / Période	Agboville	Aboisso	Dabou	Adzopé	Grand Lahou	Abidjan	Divo	Azaguié	Adiaké	Moyenne
1947-1958	1	1	3	1	2	0	1	3	1	1.4
1959-1968	1	0	1	1	4	2	2	2	0	1.4
1969-1978	3	3	2	2	0	4	3	2	3	2.4
1979-1988	4	4	3	3	1	4	5	3	6	3.6

• Recherche des propriétés cycliques.

Si une tendance à l'assèchement du climat a pu être mise en évidence pour certains postes de la zone septentrionale du périmètre entre les années 1947 et 1988, des fluctuations de nature oscillatoire semblent également apparaître. Ainsi, par exemple, la série chronologique du poste d'Agboville est caractérisée par une période de faible déficit centrée sur les années soixante, encadrée par deux périodes aux déficits plus prononcés (années 1940 et année 1980) (fig. 3a).

Afin de mettre en évidence d'éventuelles fluctuations cycliques, les séries chronologiques des postes pour lesquels nous disposions des données pour de longues durées ont été soumises à l'analyse harmonique (méthode décrite par LHOMME, 1981). Les deux postes d'Agboville et d'Aboisso ont été retenus (analyse de 1923 à 1988).

Une série Xi sera considérée comme la résultante d'une superposition de mouvements oscillatoires de fréquence fi :

$$Xi = Xm + \sum_j Aj \cos(2\pi fji - \emptyset j) \quad 0 \leqslant i \leqslant n-1$$

avec : Xm = moyenne des Xi

La quantité A^2 j est maximale quand fj est proche d'une fréquence réelle de la série.

On a : $A^2(f) = a^2(f) + b^2(f)$

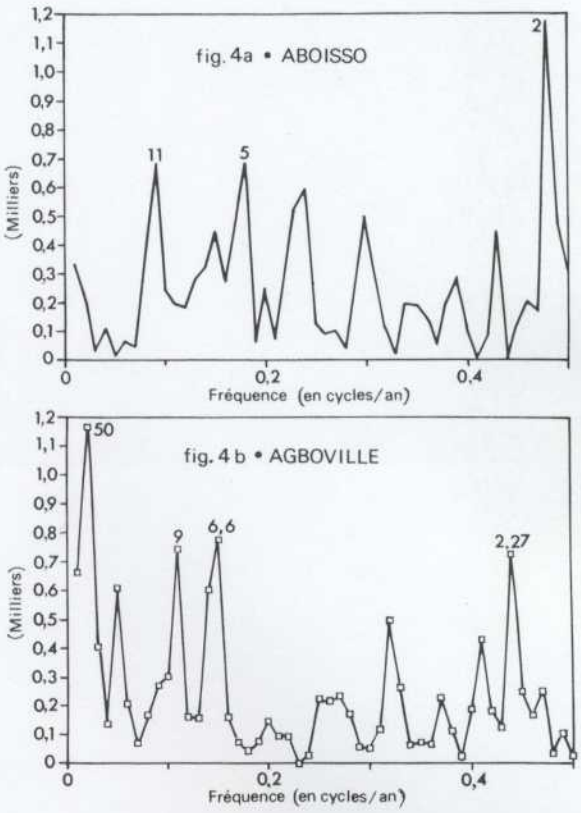
$$\text{avec : } a(f) = 2/n^* \sum_{i=o}^{n-1} (Xi-Xm) \cos(2\pi fi)$$

$$b(f) = 2/n^* \sum_{i=o}^{n-1} (Xi-Xm) \sin(2\pi fi)$$

Le périodogramme, représentant les variations de A^2 (f), permet de mettre en évidence les périodes et les amplitudes des éléments cycliques de la série.

Les périodogrammes des 2 postes ont été représentés sur les figures 4. Dans les deux cas, la lecture des périodogrammes n'apparaît pas très claire. On distingue des pics à 50, 9, 6.6 et 2.27 ans pour Agboville et à 11, 5 et 2 ans pour Aboisso.

On peut retenir deux pics communs aux deux postes : l'un situé vers 10 ans (9 et 11), l'autre vers 2 ans (2 et 2.27). Ces deux pics communs correspondent à deux phénomènes



Figures 4 • PERIODOGRAMMES RELATIFS AUX DEFICITS HYDRIQUES ANNUELS (période 1923-1988).

météorologiques classiques (LHOMME, 1981) : le cycle de 10 ans environ des taches solaires et une oscillation quasi bisannuelle (QBO = quasi bisannual oscillation). LHOMME, dans son étude de la pluviosité dans les sites d'Abengourou, Bouna et Daloa, avait pu mettre en évidence l'influence d'un triple cycle solaire (de l'ordre de trente ans) ainsi que la QBO, mais sans mettre en évidence de pic correspondant au cycle solaire simple. KLAUSS (1978), cité par LHOMME (op. cit), a montré, dans une étude de la pluviométrie dans toute la zone Sud du Sahara, l'existence de pics tous les 32, 6.9 et 2.6 ans. Ces résultats ne corroborent que partiellement les nôtres mais relativisent l'hypothèse d'un assèchement irréversible du climat.

CONCLUSION

Malgré l'étendue réduite de la zone de culture de l'ananas en Côte d'Ivoire, de fortes disparités existent sur le plan hydrique. Les gradients Nord-Sud et Est-Ouest ont pu être confirmés, la zone Sud-Est présentant les conditions hydriques les plus favorables malgré l'existence de deux saisons sèches bien marquées.

Les conditions hydriques deviennent sévères dès que l'on s'éloigne à plus d'une centaine de kilomètres de la côte atlantique, la durée de la saison sèche augmentant rapidement avec la latitude.

Par ailleurs, malgré la présence de variations rythmiques qui semblent basées sur le cycle solaire et sur un cycle de deux ans (QBO), une tendance à l'assèchement du climat apparaît dans toute la zone mais plus particulièrement dans la zone Nord de la région étudiée.

Compte tenu des résultats obtenus ici et de la durée sur laquelle a été réalisée l'analyse, toute conclusion prospective serait hasardeuse. Certains associent l'assèchement du climat au déboisement intensif de la forêt en Côte d'Ivoire. Au contraire, LHOMME (1981) relie la faible pluviosité des dernières décades au creux d'une période oscillatoire. Evolution inéluctable ou simple fluctuation passagère du climat, il n'en reste pas moins que l'assèchement du climat entre les années 1960 et les années 1980 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire apparaît nettement. Cette évolution conditionne la rentabilité de nombreuses cultures et notamment celle de l'ananas. La zone de l'Est-Comoé, moins sèche, garde ainsi de nombreux atouts, notamment pour les petits planteurs pour lesquels l'accès à des techniques de gestion de l'eau (couverture du sol, irrigation) reste impossible. Dans les zones plus sèches, la rentabilité de la culture a long terme nécessitera certainement des investissements en matière d'irrigation si la tendance climatique devait se confirmer.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos vifs remerciements à P. OUVRIER (IRHO-CIRAD-Station de Port-Bouët, Côte d'Ivoire) pour l'aide apportée au recueil et au traitement des données.

BIBLIOGRAPHIE

COMBRES (J.C.). 1983.
Bilan énergétique et hydrique de l'ananas.
Utilisation optimale des potentialités climatiques.
C.R. Activités IRFA, 1981, 107 p.

ELDIN (M.). 1971.
Le climat.
in «Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire».
Mémoires ORSTOM, 1971.

FRANQUIN (P.). 1969.
Analyse agroclimatique en régions tropicales.
Saison pluvieuse et saison humide. Applications.
Cah. ORSTOM, sér. biol., Jul. 1969, n° 9, p. 68-95.

LHOMME (J.P.). 1981.
L'évolution de la pluviosité annuelle en Côte d'Ivoire.
La météorologie, VI série, n° 25, Jun. 1981, p. 135-140.

MALEZIEUX (E.). 1988.
Croissance et élaboration du rendement de l'ananas [*A. comosus* **(L.). MERR.**]
Thèse de doctorat de l'Institut national agronomique Paris-Grignon.

MONTENY (B.A.), HUMBERT (J.), LHOMME (J.P.) et KALMS (J.A.). 1981.
Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire.
Agricultural Meteorology, 1981, 23, 45-49.

QUENCEY (P.). 1988.
Evolution de la pluviosité dans le Sud ivoirien.
Cultures et forêts.
Revue de l'UNEMAF, n° 2, p. 9-14.

Reçu le 2.5.90
Accepté le 10.10.90

DISTRIBUCION Y EVOLUCION DEL DEFICIT HIDRICO EN EL SUDESTE DE LA COTE D'IVOIRE.
Aplicación al cultivo de la piña.

E. MALEZIEUX.

Fruits, Sep.-Oct. 1990, vol. 45, n° 5, p. 457-468.

RESUMEN - El déficit hídrico es un factor limitante importante de la producción de piña en Côte d'Ivoire. La repartición geográfica de este déficit y la evolución de las serias chronológicas fueron analisadas en cada zona de producción. En término de repartición espacial, los gradientes norte-sur y la influencia del «V Baoulé» fueron confirmadas. Diferentes métodos estadísticos permitieron de demostrar la existencia de un desecamiento del clíma en los últimos diez años, particularmente en la zona norte de la región estudiada. Sin embargo, la presencia de fluctuaciones de tipo oscilatorio no permite concluir al nivel estadístico a la ireversibilidad de este desecamiento.