

Analyse de la variabilité des rendements chez l'ananas (*Ananas comosus* L. MERR.).

II - Relations entre séquence climatique et fonctionnement du peuplement végétal dans les conditions de Côte d'Ivoire.

E. MALEZIEUX et J.J. LACOEUILHE*

ANALYSIS OF YIELD VARIABILITY IN PINEAPPLE (*ANANAS COMOSUS* L. MERR.).

II.- RELATIONS BETWEEN THE CLIMATIC SEQUENCE AND THE FUNCTIONING OF THE PLANT POPULATION UNDER THE CONDITIONS OF COTE D'IVOIRE.

E. MALEZIEUX and J.J. LACOEUILHE.

Fruits, Jul.-Aug. 1991, vol. 46, n° 4, p. 441-452.

ABSTRACT - Correlations between growth indicators, yield and certain parameters characterising fruit quality were examined in a study on 120 pineapple plots planted monthly in Côte d'Ivoire. The different patterns observed were related to certain climatic parameters and especially the solar energy to which the crop is exposed and the intensity of water deficit. Radiation and the water deficit during the vegetative phase determine the biomass at floral induction and thus the yield potential. Radiation during the end of the fructification phase probably plays a determinant role in the orientation of assimilates in the plant and fruit grade. The results can be used to understand yield variability in Côte d'Ivoire in pineapple growing and show that there are favourable periods for positioning the crop cycle in the year.

ANALYSE DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS CHEZ L'ANANAS (*ANANAS COMOSUS* L. MERR.).

II.- RELATIONS ENTRE SEQUENCE CLIMATIQUE ET FONCTIONNEMENT DU PEUPEMENT VEGETAL DANS LES CONDITIONS DE COTE D'IVOIRE.

E. MALEZIEUX et J.J. LACOEUILHE.

Fruits, Jul.-aug. 1991, vol. 46, n°4, p. 441-452.

RESUME - Dans une étude portant sur 120 parcelles d'ananas plantées mensuellement en Côte d'Ivoire, les corrélations entre des indicateurs de croissance, le rendement et certains paramètres caractérisant la qualité du fruit ont été étudiées.

Les différents schémas de fonctionnement observés ont pu être reliés à certains paramètres climatiques et plus particulièrement à l'énergie solaire reçue par la culture et à l'intensité du déficit hydrique. Le rayonnement et le déficit hydrique durant la phase végétative déterminent la biomasse présente au moment de l'induction florale, fixant ainsi un potentiel de rendement. Le rayonnement durant la fin de la phase de fructification jouerait ensuite un rôle déterminant dans l'orientation des assimilats dans la plante et sur le niveau de remplissage du fruit.

Les résultats établis fournissent des éléments pour comprendre la variabilité des rendements obtenus en Côte d'Ivoire en culture d'ananas et permettent de mettre en évidence l'existence de périodes privilégiées de calage du cycle de la culture dans l'année.

MOTS CLES : Rendement, Ananas, *Ananas comosus*, Côte d'Ivoire, Climat, Croissance.

INTRODUCTION

Alors que l'ananas est planté et récolté durant toute l'année en Côte d'Ivoire, de fortes différences de rendement apparaissent à la fois entre années et au sein d'une même année (MALEZIEUX et LACOEUILHE, 1991). Ces variations de rendement sont mal maîtrisées par les producteurs,

entraînant, à certaines périodes, une diminution importante de la rentabilité de la culture.

Le rendement final d'un peuplement végétal dépend de l'ensemble des conditions et facteurs de croissance qui, durant tout le cycle de la culture, régissent la croissance de la plante, mais, également, de la capacité de la plante à former un nombre plus ou moins élevé d'organes d'accumulation et à les remplir. Le rendement est donc l'aboutissement d'un ensemble de phénomènes physiologiques qui se déroulent selon un axe chronologique déterminé, mais qui sont interdépendants.

* - E. MALEZIEUX - IRFA-CIRAD, 01 B.P. 1740 - ABIDJAN
Côte d'Ivoire

J.J. LACOEUILHE - IRFA-CIRAD, B.P. 5035, 34032 MONTPELLIER
CEDEX 01.

Dans le cas de l'ananas, le poids moyen du fruit, qui, à densité égale, détermine le rendement, dépend d'une part du nombre d'yeux du fruit qui correspond au nombre de fleurs de l'inflorescence et, d'autre part, du poids moyen d'un oeil, qui rend compte du niveau de remplissage.

Différents travaux ont permis de caractériser l'influence de certains facteurs climatiques, pris indépendamment, sur la croissance et le développement de l'ananas. Dans les conditions de Côte d'Ivoire, les variations de la température sont très faibles et les moyennes jour/nuite se situent à un niveau très proche de l'optimum établi par BARTHOLOMEW et KADZIMIN (1977). Au contraire, les variations du rayonnement solaire et du déficit hydrique sont très importantes au cours de l'année et entre années. L'influence du rayonnement solaire sur la croissance et le développement de l'ananas a depuis longtemps été reconnue (NIGHTINGALE, 1942) et plusieurs publications analysent les relations entre rayonnement et assimilation du carbone chez l'ananas (BLACK *et al.*, 1971 ; AUBERT, 1971 ; CREWS *et al.*, 1975).

A l'échelle du peuplement, une modélisation de la croissance en phase végétative basée sur l'interception du rayonnement solaire a été réalisée dans les conditions d'Hawaï (FLEISH, 1988). Par ailleurs, bien que l'ananas puisse être considéré comme une plante xérophyte (BARTHOLOMEW *et al.*, 1977), la croissance de la plante peut être fortement diminuée par une période de sécheresse même dans les zones tropicales humides (PY, 1965, 1968).

Très peu de travaux ont par contre permis d'établir des relations entre le rendement et la séquence climatique prise dans sa globalité. Or, faire varier la date de plantation revient à modifier la séquence climatique sur tout le cycle de la culture.

Dans un article précédent, les fluctuations saisonnières des rendements et de certains facteurs liés à la productivité et à la qualité ont été décrites (MALEZIEUX et LACOEUILHE, 1991).

Dans le présent article, nous nous proposons, afin d'interpréter ces variations de rendement, d'analyser le fonctionnement du peuplement végétal et de relier les différents groupes observés aux séquences climatiques obtenues.

MATERIEL ET METHODES.

Localisation.

Les essais ont été réalisés sur la station de recherches fruitières de l'IRFA-CIRAD située en Côte d'Ivoire à proximité d'Abidjan (lat. 5°N, alt. 25 m).

Matériel végétal utilisé.

Ananas comosus L. MERR. Cv «Cayenne lisse».

Dispositif expérimental et techniques culturales.

Cent-vingt parcelles ont été mises en place mensuellement de janvier 1979 à décembre 1988. Le traitement d'induction florale (TIF) est réalisé systématiquement 8 mois après la mise en terre.

Les principales caractéristiques pédologiques du site d'essai, le dispositif expérimental ainsi que les techniques

culturales employées ont déjà été décrites (MALEZIEUX et LACOEUILHE, 1991).

Les données climatiques (rayonnement global, températures mini et maxi, pluviosité) ont été relevées quotidiennement pendant toute la durée de l'essai à proximité immédiate des parcelles expérimentales. L'exposé des composantes majeures du climat a été réalisé par ailleurs (MALEZIEUX, 1988).

La variabilité introduite par l'essai étant limitée à la date de plantation, seules les composantes climatiques du milieu physique sont supposées avoir un effet sur le rendement. A l'exception de sa réserve en eau, qui dépend de la pluviosité et de l'évapotranspiration, le sol est assimilé à un facteur constant et non limitant. La quantité des engrais apportés en pulvérisations fractionnées permet de faire cette hypothèse (cf. analyse de la feuille D au moment de l'induction florale). De même, les traitements nématicides réalisés sont supposés contrôler les effets limitants du système racinaire (cf. comptages de *Pratylenchus brachyurus*).

Démarche suivie et analyse des données.

Dans des études précédentes (MALEZIEUX, 1988 ; MALEZIEUX et SEBILLOTTE, à paraître), un schéma d'élaboration du rendement, permettant de décrire le fonctionnement d'un peuplement d'ananas, a été établi. Ce schéma a permis de dégager les indicateurs biologiques dont la prise en compte est nécessaire pour expliciter les rendements.

Dans un premier temps, les variables biologiques suivantes, caractérisant le peuplement végétal, ont été ici retenues :

- le poids du fruit (PF)
- le nombre d'yeux moyen par spirale (NY)
- le poids moyen d'un oeil (PO)
- le poids moyen du plant au TIF (PTIF)
- le poids des parties aériennes à la récolte (PPR)
- le poids des organes végétatifs à la récolte (MVR)
- le poids de la couronne à la récolte (COU)
- l'accroissement de biomasse aérienne entre TIF et récolte (Q)
- la variation pondérale des organes végétatifs entre TIF et récolte (Qv)
- l'indice de récolte (HI), rapport entre le poids du fruit et le poids des parties aériennes
- l'acidité titrable du jus à la récolte (AC)
- l'indice réfractométrique du jus à la récolte (ES), représentatif de la teneur en sucres
- l'intervalle entre le TIF et la récolte (ITR).

Dans un second temps, afin d'analyser plus précisément l'influence du climat pendant la phase de fructification, d'autres variables, caractérisant le fonctionnement du peuplement à poids du plant au TIF égal, ont été utilisées.

En Côte d'Ivoire, le rayonnement global et l'état hydrique apparaissent comme les deux facteurs limitants prépondérants sur le plan climatique (MALEZIEUX, 1988, MALEZIEUX et SEBILLOTTE, à paraître). La température, dont les variations sont faibles à la fois au cours de l'année et entre les années n'aurait qu'un rôle secondaire dans les conditions de Côte d'Ivoire.

Pour quantifier le déficit hydrique sur une période donnée, on a considéré le bilan suivant :

$$D = RU + P - ETM$$

D : déficit hydrique

P : pluviosité (mm)

ETM : évapotranspiration maximale de la culture

RU : réserve utile (considérée comme égale à 20 mm)

avec : $ETM = K_c ET_0$

K_c : coefficient cultural

ET_0 : évaporation standard, déterminée à partir du rayonnement global, de la température et des relations établies par N'GUESSAN (1986), MONTENY *et al.*, (1981) et COMBRES (1983).

K_c sera considéré égal à 0,75 sur la totalité du cycle (COMBRES, 1983).

D peut varier de +RU à -ETM

On a défini ensuite la quantité p. 100 ETM telle que :

$$p. 100 ETM = 1 + D/ETM \quad (\text{si } D > 0, \text{ p. 100 ETM} = 1)$$

qui mesure la part de l'évapotranspiration maximale susceptible d'être évapotranspirée réellement par la culture durant la période considérée. Cette quantité a été calculée mois par mois sur la durée de l'expérimentation.

Huit variables climatiques, caractérisant la séquence climatique de chaque parcelle sur la totalité du cycle de culture ou sur l'une des phases, ont été considérées :

$R_{g_{tot}}$: Rayonnement global moyen sur l'ensemble du cycle de culture

R_{g_v} : Rayonnement global moyen durant les 8 premiers mois de culture (phase végétative)

$R_{g_{ny}}$: Rayonnement global moyen durant les deux mois succédant à l'induction florale (période de fixation du nombre d'yeux)

$R_{g_{rem}}$: Rayonnement global moyen durant la phase de remplissage (2 derniers mois avant récolte)

p. 100 ETM_{tot} : part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée sur l'ensemble du cycle de culture.

p. 100 ETM_v : part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée durant la phase végétative.

p. 100 ETM_{ny} : part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée durant les 2 mois succédant le TIF.

p. 100 ETM_{rem} : part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée durant la phase de remplissage.

RESULTATS

Mise en évidence d'un modèle de fonctionnement du peuplement.

La moyenne, les extrêmes et l'écart-type des principaux indicateurs biologiques du fonctionnement du peuplement ont été représentés sur le tableau 1.

Une analyse en composantes principales (ACP1) a été réalisée à partir de ces variables biologiques, les variables climatiques retenues ayant été introduites dans l'ACP comme variables supplémentaires.

Le tableau 2 présente la matrice de corrélation totale établie entre les différents paramètres biologiques. La position de l'ensemble des variables actives et supplémentaires sur les deux premiers axes de l'ACP a été représentée sur la figure 1.

. Position des indicateurs biologiques.

Les variables PF, NY, PO, PTIF, PPR sont corrélées positivement entre elles et expliquent fortement l'axe 1. Cet axe, qui contribue pour 42 p. 100 à expliquer la variance totale, est représentatif d'une vigueur générale de la plante, à la fois durant la phase végétative et durant la phase de fructification. Les deux composantes du rendement (NY et PO) contribuent également aux variations de rendement. On ne note aucun antagonisme entre ces deux composantes.

L'axe 2 (23 p. 100 de la contribution totale) traduit essentiellement des comportements du peuplement intervenant durant la phase de fructification : il oppose les parcel-

TABLEAU 1 - Principaux paramètres statistiques des variables étudiées.

Variable	Unité	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-Type
PF	grammes	1146	702	1582	187
ITR	jours	161	148	176,5	4,7
ES	degrés Brix	18	15,1	20,7	1,14
AC	mé/100 ml	10,58	5,2	21,2	3,38
PTIF	grammes	1893	1025	2673	360
NY		12,35	9,1	14,9	1,05
PO	g/oeil	11,54	8,9	14,5	1,19
COU	grammes	151	69	304	48
PPR	grammes	3044	2165	4344	464
Qv	grammes	5,4	-435	553	218
Q	grammes	1302	628	1948	261
HI		0,37	0,29	0,43	0,03

PF : poids du fruit ; ITR : intervalle TIF-récolte ; ES : extrait sec ; AC : acidité libre ; PTIF : poids du plant au TIF ; NY : nombre d'yeux par spirale ; PO : poids moyen d'un oeil ; COU : poids de la couronne à la récolte ; PPR : poids du plant entier à la récolte ; Qv : variation pondérale des organes végétatifs entre TIF et récolte ; Q : accroissement pondéral de la plante entière entre TIF et récolte ; HI : indice de récolte.

TABLEAU 2 - Corrélations linéaires entre variables (ACP1).

Coeff. de corrélation (100 ddl) : $r_{0,05} = 0.195$; $r_{0,01} = 0.254$.

	PF	ITR	ES	AC	PTIF	NY	PO	COU	PPR	MV _r	Q _v	Q
PF	1											
ITR	0,19	1										
ES	0,03	0,25	1									
AC	-0,44	-0,14	-0,29	1								
PTIF	0,79	0,24	0,19	-0,22	1							
NY	0,83	0,16	-0,07	-0,30	0,78	1						
PO	0,9	0,18	0,08	-0,47	0,62	0,52	1					
COU	0,23	-0,22	0,37	-0,14	0,15	0,14	0,22	1				
PPR	0,87	0,22	0,13	-0,12	0,86	0,80	0,71	0,34	1			
MV _r	0,68	0,22	0,18	0,10	0,80	0,69	0,51	0,35	0,96	1		
Q _v	-0,32	-0,1	-0,06	0,49	-0,49	-0,30	-0,27	0,27	-0,04	0,14	1	
Q	0,49	0,01	0,04	0,06	0,18	0,37	0,46	0,57	0,65	0,65	0,66	1
HI	0,38	0	-0,20	-0,65	-0,02	0,18	0,46	-0,2	-0,12	-0,56	-0,23	-0,39

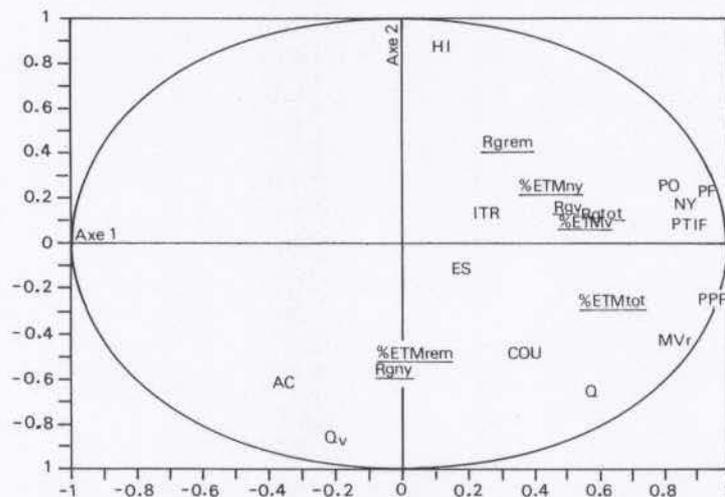


FIGURE 1 - Représentation graphique des variables actives et supplémentaires (soulignées) sur les axes 1 et 2 de l'ACP1.

les caractérisées par un indice de récolte élevé (HI) aux parcelles à forte croissance végétative après l'induction florale (Q_v) et dont l'acidité du jus à la récolte est élevée. Ni le poids du fruit, ni aucune des deux composantes du rendement NY et PO n'interviennent dans la constitution de cet axe.

Le poids du fruit, ainsi que les deux composantes du rendement, sont donc principalement sous la dépendance de la biomasse présente au moment de l'induction florale.

La croissance des organes végétatifs entre l'induction florale et la récolte est indépendante de la biomasse présente au TIF et n'est pas liée au rendement. Par ailleurs, une forte croissance des organes végétatifs pendant la phase de fructification s'oppose à l'obtention d'indices de récolte élevés.

Au contraire, l'acidité du fruit à la récolte est corrélée aux variations pondérales des organes végétatifs après TIF (Q_v) : le comportement des réserves et leur niveau d'utilisation par le fruit pourrait être à l'origine du niveau d'acidité du jus.

L'extrait sec soluble et la durée de l'intervalle TIF-récolte ne sont liés significativement à aucune variable.

. Fonctionnement du peuplement et séquence climatique.

La position des variables $R_{g_{tot}}$, R_{g_v} , $R_{g_{rem}}$, p. 100 ETM_{tot} , p. 100 ETM_v sur le plan des axes 1-2 (figure 1) et leur projection sur l'axe 1 montrent que ces indicateurs climatiques contribuent à l'obtention d'un poids du plant élevé au moment de l'induction florale ainsi qu'à la détermination de hauts rendements. Le poids du fruit est donc maximal dans le cas des séquences climatiques ayant permis une forte croissance durant la phase végétative (R_{g_v} et p. 100 ETM_v). D'une manière générale, un rayonnement élevé durant tout le cycle de la culture ainsi qu'un pourcentage important de l'ETM susceptible d'être évapotranspiré (p. 100 ETM_{tot}) caractérisent les séquences climatiques des parcelles ayant obtenu les rendements les plus élevés.

Sur le plan climatique, l'axe 2 traduit les conditions existant durant la phase de fructification : il oppose les séquences caractérisées par de forts rayonnements en phase de remplissage accompagnés d'un déficit hydrique important aux séquences aux caractéristiques contraires. Les conditions énergétiques et hydriques régnant durant la phase de remplissage semblent donc être à la base de la dynamique de répartition des assimilats dans la plante : un rayonnement élevé en phase de remplissage accompagné d'un déficit hydrique augmente l'indice de récolte mais diminue la croissance des organes végétatifs (augmentation de la mobilisation de réserves vers le fruit) et l'acidité du fruit.

La projection des variables sur la première bissectrice ($Y = -X$) regroupe les parcelles pour lesquelles le poids du plant à la récolte (PPR) est élevé en relation avec une forte croissance post-TIF (Q), un poids de couronne élevé (COU), une forte croissance des organes végétatifs après l'induction florale (Qv) et un faible indice de récolte (HI). Les conditions climatiques liées à ce comportement de croissance sont caractérisées avant tout par l'absence de stress hydrique sur tout le cycle de la culture et plus particulièrement durant la phase de remplissage.

La projection des variables sur la seconde bissectrice ($Y = X$) traduit l'obtention de rendements élevés en relation avec un fort poids de plant au TIF, un indice de récolte élevé, une forte mobilisation des réserves des organes végétatifs. Ce comportement est lié à l'existence de rayonnements élevés durant la phase végétative (R_{g_v}) et la phase de remplissage ($R_{g_{rem}}$) ainsi qu'à l'absence de déficit hydrique en phase végétative et pendant la formation des yeux. Dans ce cas, le rayonnement est faible durant la phase de formation des yeux et le déficit hydrique élevé durant la phase de remplissage.

Analyse du comportement de la plante après l'induction florale.

Si le schéma global de fonctionnement établi permet de caractériser le comportement de la plante sur l'ensemble du cycle de culture, une étude plus précise des phénomènes intervenant après l'induction florale et de leur déterminisme climatique permettrait de mieux comprendre les variations de rendement obtenues.

Le rôle central du niveau de développement végétatif de la plante sur l'élaboration du rendement a déjà été mis en évidence (MALEZIEUX, 1988 ; MALEZIEUX et SEBILLOTTE, à paraître). Dans notre expérience, les niveaux de corrélation très élevés entre le poids du plant au TIF et certains composantes intervenant dans les processus d'élaboration du rendement confirment cette influence malgré

l'existence d'une forte variabilité climatique après l'induction florale.

Afin de rendre compte de l'influence de la séquence climatique post-TIF sur les processus d'élaboration du rendement, des variables d'efficacité ont été établies à partir des régressions linéaires entre les quantités étudiées et le poids du plant au TIF :

Si X représente un paramètre biologique significativement corrélé au poids du plant au TIF (PTIF), on peut écrire :

$$X_c = a \text{ PTIF} + b \quad (1)$$

les constantes a et b représentant les coefficients de régression de l'équation (1) (tableau 3).

La quantité ($X_c - X$) mesure l'écart à la droite de régression (1) : elle caractérise l'efficacité de la plante à former le paramètre X à poids du plant égal au TIF.

Les variables PFr, NYr, POr, Qvr ont ainsi été définies, caractérisant respectivement l'efficacité de la plante vis-à-vis du poids du fruit, du nombre d'yeux, du poids moyen d'un oeil et de la croissance des organes végétatifs après TIF. Elles permettent d'analyser les variations de PF, NY, PO et Qv à biomasse au TIF égale.

Le taux de croissance relatif de la plante entière entre TIF et récolte (TCR) a été calculé pour caractériser la croissance de la plante entière rapporté à l'unité de biomasse présente.

Une analyse en composantes principales (ACP 2) a été effectuée à partir de ces variables d'efficacité et des variables AC, ES et HI.

Les variables climatiques $R_{g_{ny}}$, $R_{g_{rem}}$, $p.100 \text{ ETM}_{ny}$ et $p.100 \text{ ETM}_{rem}$ ont été introduites dans l'ACP comme variables supplémentaires.

La matrice de corrélations entre variables biologiques est représentée sur le tableau 4. La représentation de la position des variables sur les axes 1 et 2 apparaît sur la figure 2.

• Position des paramètres biologiques.

L'axe 1 (34 p. 100 de la contribution totale) exprime le niveau d'efficacité obtenu, à la fois en ce qui concerne le poids du fruit, le nombre d'yeux et le poids d'un oeil. Les variables NYr et POr sont toutefois indépendantes (r non significatif).

TABLEAU 3 - Paramètres des équations de régressions linéaires entre le poids du plant au TIF et différentes variables.

$$X = a \text{ PTIF} + b \quad \text{ddl} = 118$$

Variables	a	b	r ²
PF	0.41	368.60	0.63
NY	22.76 10 ⁻⁴	8.04	0.61
PO	20.36 10 ⁻⁴	7.68	0.38
Qv	-0.289	554.70	0.23

TABLEAU 4 - Corrélations linéaires entre variables (ACP 2)
 Coeff. de corrélation (100 ddl) : $r_{0.05} = 0.195$, $r_{0.01} = 0.254$

	ITR	ES	AC	PFr	NYr	POr	Qvr	TCR	HI
ITR									
ES	0.25								
AC	-0.14	-0.29	1						
PFr	0.01	-0.2	-0.45	1					
NYr	-0.04	-0.35	-0.21	0.56	1				
POr	0.04	-0.05	-0.41	0.86	0.08	1			
Qvr	0.04	0.04	0.46	0.11	0.16	0.03	1		
TCR	-0.31	-0.15	0.27	0.39	0.23	0.32	0.63	1	
HI	0.04	-0.25	-0.62	0.63	0.34	0.57	-0.67	-0.25	1

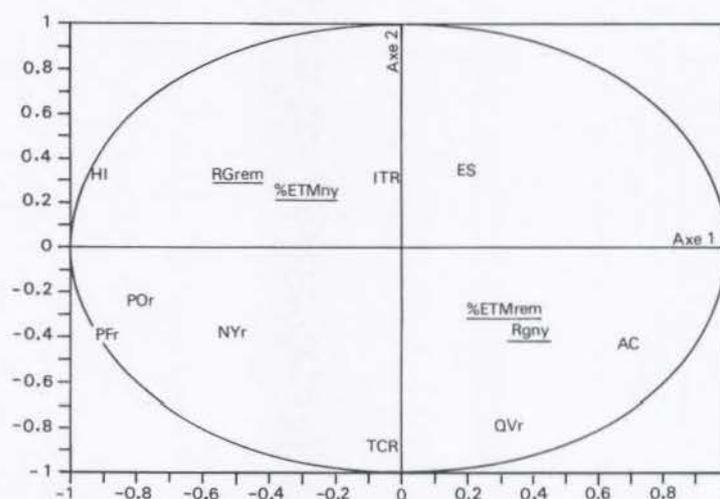


FIGURE 2 - Représentation graphique des variables actives et supplémentaires (soulignées) sur les axes 1 et 2 de l'ACP.

L'indice de récolte est bien relié à cet axe : HI et PFr sont d'ailleurs significativement corrélés ($r = 0.63^{**}$), montrant qu'une forte efficacité de la biomasse présente au TIF traduit un niveau de répartition des assimilats favorable au fruit. L'ensemble de ces variables s'oppose à l'acidité du fruit à la récolte.

L'axe 2 (26 p. 100 de la contribution à la variation totale) traduit le comportement de croissance de la plante après TIF : les variables TCR et Qvr sont significativement corrélées ($r = 0.63^{**}$) et très bien représentées sur cet axe.

Les plus fortes efficacités sont obtenues dans le cas où indice de récolte et taux de croissance relatif se situent à des niveaux élevés (projections sur la seconde bissectrice $Y = X$).

La première bissectrice ($Y = -X$) oppose nettement l'indice de récolte aux variables AC, TCR et Qvr.

- L'influence de la séquence climatique sur le comportement du peuplement après TIF.

L'axe 1, qui traduit l'obtention de fortes efficacités accompagnées d'indices de récolte élevés marque une opposition entre les variables Rg_{rem} et p. 100 ETM_{ny} d'une part

et Rg_{ny} et p. 100 ETM_{rem} d'autre part. La première bissectrice ($Y = -X$) oppose également les mêmes variables climatiques. Ainsi, des conditions de rayonnement et de sécheresse intenses en fin de remplissage semblent induire une mobilisation importante des assimilats vers le fruit aux dépens de la croissance des organes végétatifs (position des variables HI et Qvr). Inversement, une séquence climatique caractérisée par un fort rayonnement durant la phase TIF-floraison suivi d'un faible rayonnement durant la phase de remplissage se traduit, sur le plan biologique, par un accroissement important des organes végétatifs et par un faible indice de récolte.

Conséquences pratiques sur la gestion du cycle de la culture.

Dans l'essai étudié, la forte variabilité des rendements obtenu semble, pour une grande part, pouvoir être reliée aux conditions énergétiques et hydriques régnant durant tout le cycle de la culture. Les figures 3, 4 et 5 représentent les variations du rayonnement moyen et de la part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée sur tout le cycle de la culture (figure 3 a et 3 b), durant la phase végétative (figure 4a et 4b), durant la phase de remplissage (figure 5a et 5b)

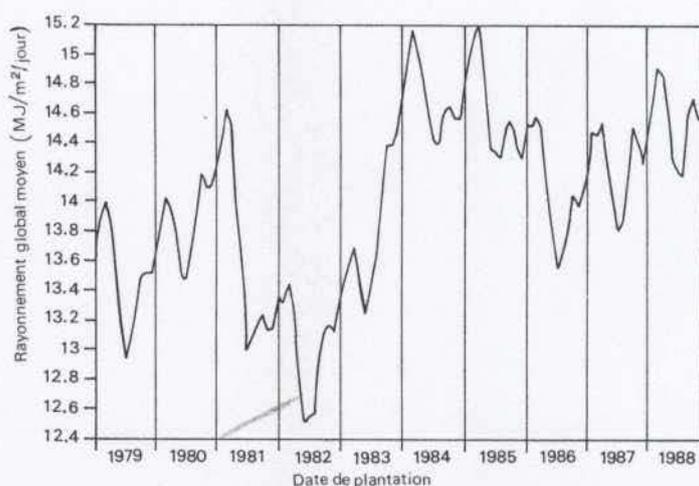


FIGURE 3a - Série chronologique du rayonnement global moyen sur l'ensemble du cycle de culture en fonction de la date de plantation (120 parcelles plantées mensuellement pendant 10 ans).

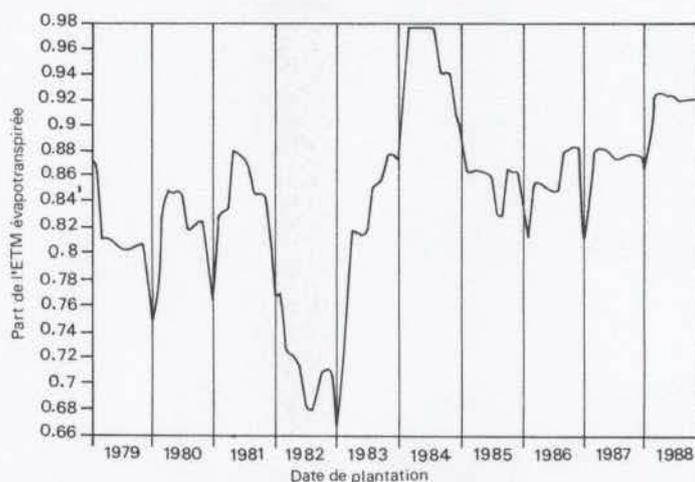


FIGURE 3b - Série chronologique de la part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée sur l'ensemble du cycle de la culture. En abscisse : année et mois de plantation.

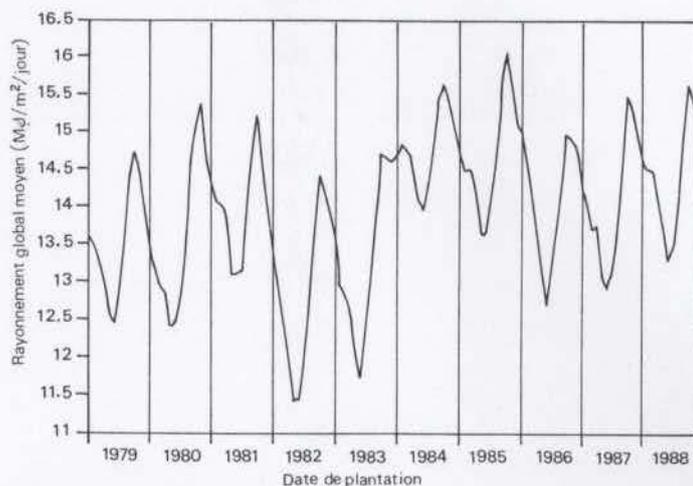


FIGURE 4a - Série chronologique du rayonnement global moyen reçu durant la phase végétative. En abscisse : année et mois de plantation.

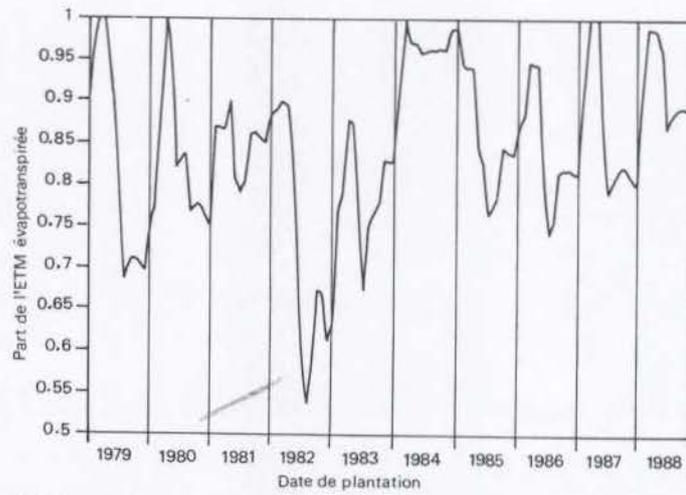


FIGURE 4b - Série chronologique de la part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée durant la phase végétative. En abscisse : années et mois de plantation.

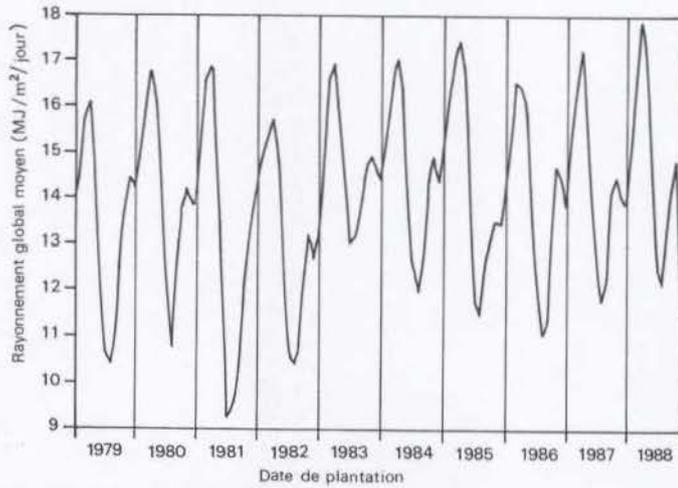


FIGURE 5a - Série chronologique du rayonnement global reçu en phase de remplissage. En abscisse : année et mois de plantation.

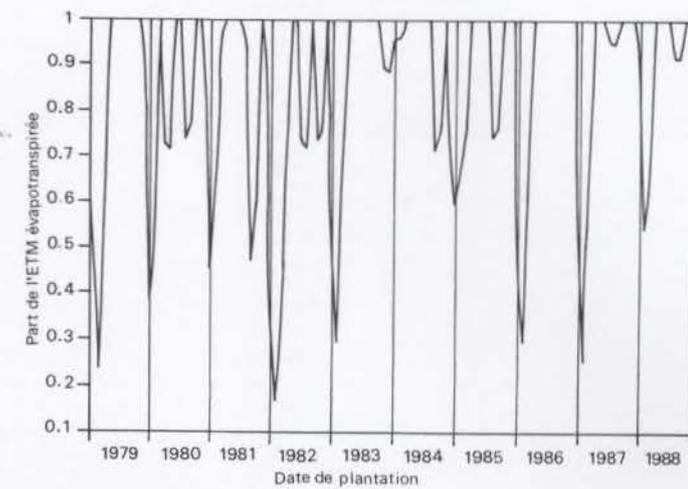


FIGURE 5b - Série chronologique de la part de l'ETM susceptible d'être évapotranspirée durant la phase de remplissage. En abscisse : année et mois de plantation.

en fonction du mois de plantation pour chacune des parcelles observées.

En ce qui concerne les conditions climatiques moyennes sur tout le cycle de la culture, de fortes différences apparaissent entre les années : alors que toutes les parcelles plantées en 82 connaissent de mauvaises conditions aussi bien sur les plans énergétiques et hydriques, ces conditions sont au contraire particulièrement favorables pour les parcelles plantées durant l'année 84. Ces conditions extrêmes ont engendré des comportements de croissance particuliers, comme l'indique la position des parcelles plantées en 82 et 84 sur le plan 1-2 de l'ACP 1 (figure 6, individus soulignés).

A l'exception de ces 2 groupes de parcelles, on montre (figure 6) que les parcelles plantées en juin, juillet ou août sont principalement regroupées dans la zone sud-ouest du

plan alors que les parcelles plantées de janvier à mars sont situées majoritairement dans la partie nord-est du plan observé.

Le mois de plantation détermine donc en partie un type de fonctionnement particulier qui peut être relié aux caractéristiques de la séquence climatique. On observe en effet sur la figure 3a que les parcelles plantées en début d'année ont en moyenne un rayonnement moyen sur tout le cycle de la culture supérieur aux autres. Au contraire, les parcelles plantées en juin, juillet ou août, reçoivent en moyenne le rayonnement le plus faible. Ces différences peuvent expliquer la vigueur et l'indice de récolte plus élevés observés pour les parcelles plantées en début d'année par rapport à celles plantées en milieu d'année (juin à août).

L'observation de la position des parcelles sur les axes 1 et 2 de l'ACP 2 (figure 7) permet d'affiner ces observations :

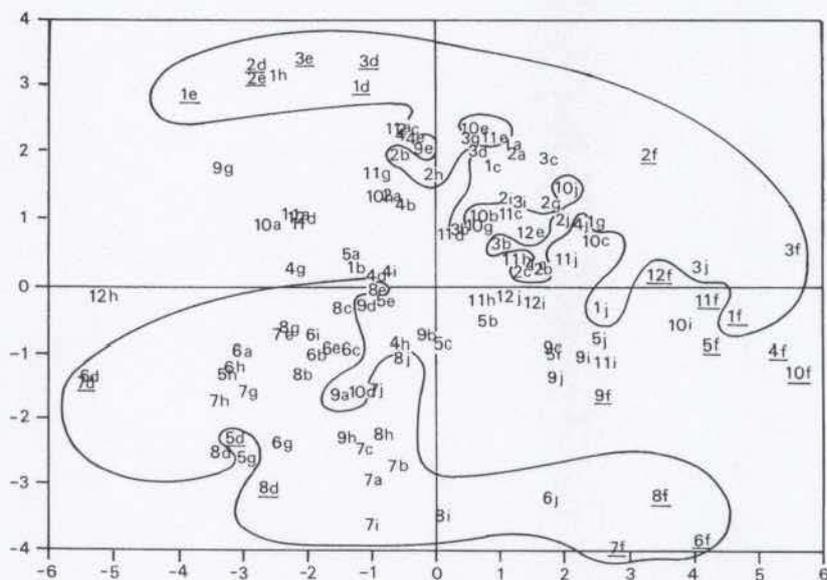


FIGURE 6 - ACP1 - Représentation des individus - Axe 1 horizontal - Axe 2 vertical.

Identification des individus par le mois de plantation (de 1 à 12) et l'année (de a à j).

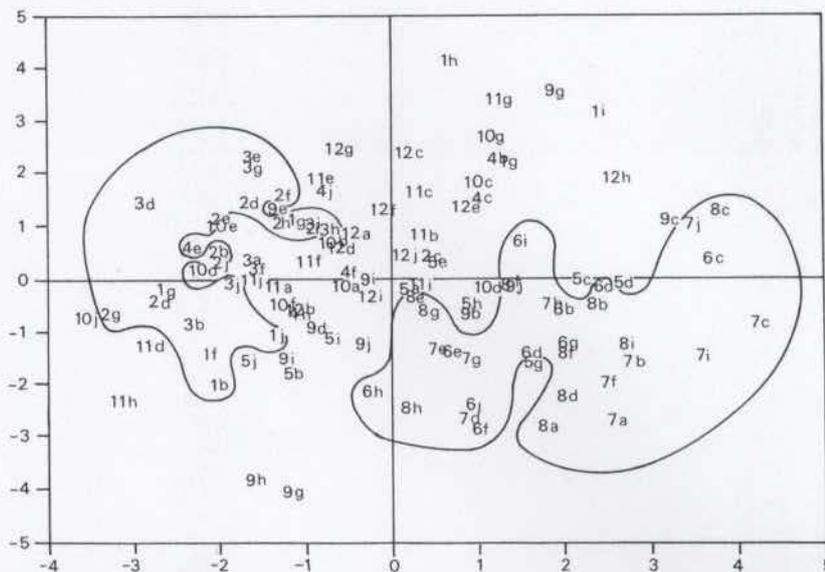


FIGURE 7 - ACP2 - Représentation des individus - Axe 1 horizontal - Axe 2 vertical.

alors que les parcelles plantées en janvier, février ou mars sont essentiellement regroupées dans la zone ouest du plan, les parcelles plantées en juin, juillet et août sont principalement localisées dans la zone sud-est. Ainsi, les parcelles plantées de janvier à mars sont-elles caractérisées par une meilleure efficacité et par une mobilisation plus importante des assimilats des organes végétatifs vers le fruit aux dépens de la croissance des organes végétatifs. Les parcelles plantées en octobre, novembre, décembre ou mai occupent une position intermédiaire. Ces types de comportement correspondent aux variations climatiques observées durant la phase de remplissage (figure 5a, 5b) : le rayonnement est maximal en phase de remplissage pour les parcelles plantées en début d'année et minimal pour les parcelles plantées en milieu d'année.

Ainsi, malgré une dispersion liée aux variations climatiques inter-annuelles, il existe, a priori, une relation entre le mois de plantation, la séquence climatique et le fonctionnement du peuplement. Ces résultats permettent d'explicitier les variations saisonnières des principales composantes de la production décrites précédemment (MALEZIEUX et LACOEUILHE, 1991). Il est important de souligner que ces différences de fonctionnement, liées à des conditions climatiques différentes, déterminent des variations significatives de rendement : dans l'essai ici analysé, le gain de rendement atteint ainsi en moyenne 30 p. 100 lorsque les parcelles sont mises en place en mars plutôt qu'en juillet.

DISCUSSION

L'analyse des résultats de ACP1 et ACP2 nous a permis de caractériser le fonctionnement du peuplement en relation avec les différentes séquences climatiques obtenues. Un schéma, résumant les relations entre les variables biologiques, a été établi (figure 8).

Les fortes variations de rendement observées en faisant varier la séquence climatique sont imputables aux deux composantes du rendement. Le nombre d'yeux et le poids moyen d'un oeil sont faiblement mais positivement corrélés : aucun antagonisme n'apparaît, signifiant qu'un nombre d'yeux important n'est pas un handicap à l'obtention de bons niveaux de remplissage et inversement que de faibles nombres d'yeux ne sont pas nécessairement une garantie d'obtenir un bon remplissage.

D'une manière générale, les hauts rendements s'accompagnent d'une forte vigueur végétative, notamment lorsque celle-ci est mesurée à l'induction florale. De nombreux travaux sur différentes plantes font ainsi état de relations entre la masse végétale présente au moment de l'induction florale ou à la floraison et le nombre d'organes reproducteurs formés ou le rendement (FRANQUIN, 1980 ; SEBILLOTTE, 1980 ; NAVARRO-GARZA, 1984 ; DURR, 1984). Chez l'ananas, le rôle du poids du plant au moment de l'induction florale sur le poids du fruit était déjà connu (PY et PELLEGRIN, 1958 ; PY et LOSSOIS, 1962). On peut confirmer ici son action déterminante sur le rendement alors même que de nombreux autres facteurs sont susceptibles de limiter la croissance par la suite.

Malgré un niveau de corrélation significatif, il est intéressant de constater que la croissance de la plante entière après l'induction florale ne permet pas de rendre compte

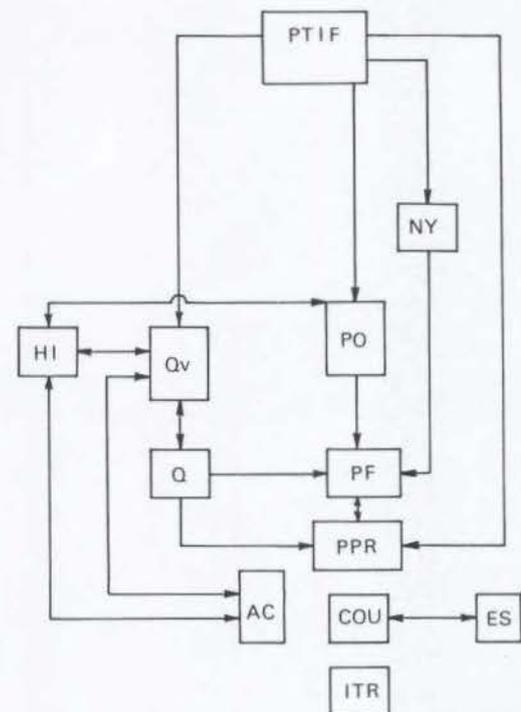


FIGURE 8 - Principales relations entre variables biologiques.

de manière satisfaisante des variations du poids de fruit : un antagonisme semble apparaître entre le remplissage du fruit et la croissance des organes végétatifs après l'induction florale. L'importance de la mobilisation des réserves d'origine foliaire et caulinaire dans la formation du fruit, mise en évidence par ailleurs (MALEZIEUX, 1988), doit être à l'origine de cet antagonisme.

Il n'apparaît pas de liaison étroite entre l'indice réfractométrique du jus (ES) et d'autres caractères. D'une manière générale, la teneur en sucres du jus commence à augmenter environ 60 jours avant la récolte et continue bien après le point de coupe (TEISSON, 1973). L'extrait sec pourrait ainsi représenter un indice de la maturité réelle du fruit, bien corrélé à la coloration externe naturelle qui constitue le critère de décision de la récolte.

Dans cet essai, les fortes variations de l'acidité ont pu être reliées à certains critères de fonctionnement du peuplement : les fortes acidités sont observées conjointement à de faibles indices de récolte, de mauvais remplissage et à de fortes croissances des organes végétatifs entre TIF et récolte. Il reste difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, de proposer un mécanisme de fonctionnement physiologique rendant compte de ces résultats. Il est admis que l'acidité du fruit à la récolte est sous la dépendance étroite du rayonnement durant les semaines précédant la récolte (SINGLETON et GORTNER, 1965 ; TEISSON, 1979 ; MALEZIEUX, 1988). La dynamique de l'acide malique, maillon important du métabolisme CAM, pourrait jouer un rôle important dans les variations observées (GORTNER, 1962). On peut en effet émettre l'hypothèse qu'en période de faible rayonnement la décarboxylation du malate soit limitée, entraînant son transfert vers le fruit. Au contraire, en période de rayonnement élevé, la dégrada-

tion du malate serait supérieure à son accumulation, déterminant un faible niveau d'acide malique dans le fruit. Les optimums thermiques des enzymes intervenant dans le métabolisme du malate pourraient être à l'origine de ce processus (BRANDON, 1967 cité par TEISSON, 1977). La dynamique du malate dans les feuilles au cours de la journée (observée par COTE, 1988), confirmerait ce processus : le malate s'accumule dans la nuit avant d'être décarboxylé durant la journée.

L'existence de corrélations significatives entre l'acidité d'une part et PO, Qv ou HI d'autre part, serait due au rôle déterminant joué par le rayonnement sur les variations de ces paramètres : en période de faible rayonnement, il est possible que l'appel de métabolites par le fruit soit peu important (déterminisme hormonal ou rôle de la demande évaporative ?) : dans ce cas, la mobilisation des assimilats des organes végétatifs vers le fruit reste très modérée mais les acides, fortement représentés, sont transférés. Au contraire, en période de rayonnement intense, la demande importante exercée par le fruit induirait une mobilisation accrue des réserves des organes végétatifs sous forme de sucres. L'acide malique, largement décarboxylé, serait alors peu représenté dans le fruit.

D'une manière générale, les variations de la durée de l'intervalle entre le TIF et la récolte sont essentiellement sous la dépendance du régime thermique (FLEISH et BARTHOLOMEW, 1987). Dans les conditions de Côte d'Ivoire, les variations de l'ITR sont très faibles, en relation avec de faibles variations de la température au cours de l'année. Ceci peut expliquer que la durée de l'intervalle TIF-récolte n'intervient pas, ou de manière très secondaire, dans les processus mis en évidence. Dans nos conditions, la vitesse de croissance des différents organes a un rôle beaucoup plus important que la durée des phases de développement du fruit sur la fixation des composantes du rendement.

Le climat, sous ses aspects énergétiques et hydriques, intervient de façon décisive dans le déterminisme du comportement d'un peuplement d'ananas. Les différents groupes de fonctionnement observés ont pu être reliés à quelques composantes du climat : le rayonnement global et le déficit hydrique apparaissent ainsi comme des facteurs susceptibles de régir la croissance de la plante en phase végétative mais également comme des facteurs déterminants du schéma de répartition des assimilats dans la plante durant la phase de remplissage.

Les plus hauts rendements sont obtenus lorsque le rayonnement est élevé tout au long du cycle de la culture : en favorisant la croissance en phase végétative, le rayonnement détermine la surface foliaire au TIF et fixe un potentiel de rendement. La réalisation de ce potentiel dépend du rayonnement en phase de remplissage qui semble jouer un rôle déterminant dans la mobilisation des assimilats vers le fruit. Le déficit hydrique est susceptible de modifier fortement ce schéma.

CONCLUSION

Cette étude n'a porté que sur quelques variables biologiques et sur une interprétation très simplifiée du rôle de la séquence climatique. Par ailleurs, seuls les niveaux de corrélation sont ici discutés. Cette démarche était nécessaire afin de rendre compte des facteurs prépondérants, à la fois biologiques et climatiques, qui déterminent le rendement.

Dans un précédent article, on a pu définir indépendamment des facteurs nutritionnels et parasitaires supposés non limitants, des périodes de plantation pour lesquelles la probabilité d'obtenir de hauts rendements est élevée (MALEZIEUX et LACOEUILHE, 1991). Les résultats présentés ici montrent la possibilité d'expliquer en grande partie la variabilité des rendements à partir de facteurs biologiques ou climatiques simples.

Ces résultats, qui ont permis d'établir les principales caractéristiques du fonctionnement d'un peuplement d'ananas dans les conditions de Côte d'Ivoire, ouvrent la voie à la recherche de méthodes prédictives plus précises. Pour cela, il sera nécessaire de quantifier l'impact de ces facteurs climatiques sur la croissance et l'élaboration du rendement d'un peuplement d'ananas. Lors de cette étape ultérieure, il conviendra de distinguer la phase végétative de la phase de fructification durant laquelle d'importants mécanismes de transferts de réserves se réalisent.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à Messieurs COMBRES et PINON qui, lors de leurs séjours successifs en Côte d'Ivoire, ont participé au suivi des essais et à l'acquisition des données.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (B.). 1971.
Effet de la radiation globale sur la synthèse d'acides organiques et la régulation stomatique des plantes succulentes.
Exemple d'*Ananas comosus* (L.) MERR.
Oecol. Plant., 6, 25-34.
- BARTHOLOMEW (D.P.) and KADZIMIN (S.B.). 1977.
Pineapple.
In «*Ecophysiology of tropical crops*», Acad. Press., 113-156.
- BLACK (C.C.), EDWARDS (G.E.), KANAI (R.) and MOLLENHAUER (H.H.). 1971.
Photosynthetic assimilation of carbon in certain higher plants.
Photosynth., Proc. Int. Congr. Photosynth. Res., 2nd, 1991, p. 1745-1775.
- BRANDON (P.C.). 1967.
Temperatures features of enzymes affecting crassulacean acid metabolism.
Plant. Physiology, 42, 977-984.
- COMBRES (J.C.). 1979.
Plantations mensuelles. Ecart TIF-récolte.
Réunion annuelle IRFA, doc. interne n° 97.
- COMBRES (J.C.). 1983.
Bilan énergétique et hydrique de l'ananas.
Utilisation optimale des potentialités climatiques.
C.R. Activités, IRFA, 108 p.
- COTE (P.). 1988.
Photosynthèse et photorespiration d'une plante à métabolisme crassulacéen : *Ananas comosus* L. MERR.
Etude des échanges gazeux.
Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université de Toulouse, 99 p.
- CREWS (C.E.), VINES (H.M.) and BLACK (C.C.). 1975.
Postillumination burst of carbon dioxide in crassulacean acid metabolism plants.
Plant Physiol., 55, 652-657.

- DURR (C.). 1984.
Systèmes de culture et élaboration du rendement du riz (*Oryza sativa* L.) en Camargue.
Thèse de docteur-ingénieur, INA-PG, Paris, 193 p.
- FLEISH (H.). 1988.
Modeling pineapple plant growth and inflorescence development
Thesis in Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, 195 p.
- FLEISH (H.) and BARTHOLOMEW (D.P.). 1987.
Development of a heat unit of pineapple (Smooth Cayenne) fruit growth from field data.
Fruits, 42 (12), 709-715.
- FRANQUIN (P.). 1980.
Production de masse, production de nombre et rendement.
Cah. ORSTOM, Sér. Biol., 42, 3-7.
- GORTNER (W.A.). 1962.
A short term effect of weather on malic acid in pineapple fruit.
J. Fd. Sci., 28, 191-192.
- MALEZIEUX (E.). 1988.
Croissance et élaboration du rendement de l'ananas (*Ananas comosus* L. MERR.).
Thèse de Doctorat en Sciences, INA-PG, Paris, 282 p.
- MALEZIEUX (E.) et LACOEUILHE (J.J.). 1991.
Analyse de la variabilité des rendements chez l'ananas (*Ananas comosus* L. MERR.).
I.- Caractérisation, dans les conditions de Côte d'Ivoire, des fluctuations saisonnières du rendement et de certains facteurs liés à la qualité du fruit.
Fruits, 46 (3), 227-239.
- MONTENY (B.A.), HUMBERT (J.), LHOMME (J.P.) et KALMS (J.M.). 1981.
Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire.
Agric. Met., 23, 45-59.
- NAVARRO-GARZA (R.). 1984.
L'analyse des composants du rendement du maïs. Application à l'étude de la variabilité des rendements dans une petite région.
Thèse de Docteur-Ingénieur, INA-PG., 238 p.
- N'GUESSAN (A.). 1986.
Analyse de l'évapotranspiration réelle de l'ananas en Basse Côte d'Ivoire.
C.R. Réunion annuelle, IRFA, 1986.
- NIGHTINGALE (G.T.). 1942.
Nitrate and carbohydrate reserves in relation to nitrogen nutrition of pineapple.
Bot. Gaz. (Chicago), 103, 409-456.
- PY (C.). 1965.
Approches pour combler le déficit en eau, principal facteur limitant de la culture de l'ananas en Guinée.
Fruits, 20 (7), 315-329.
- PY (C.). 1968.
Intérêt dans la culture de l'ananas en zone humide d'une couverture de sol en polyéthylène.
Fruits, 23 (3), 139-148.
- PY (C.) et PELLEGRIN (P.). 1958.
Prévisions de récolte en culture d'ananas.
Fruits, 13 (6), 243-251.
- PY (C.) et LOSSOIS (P.). 1962.
Prévisions de récolte en culture d'ananas.
II.- Etude de corrélations.
Fruits, 17 (2), 75-87.
- PY (C.), LACOEUILHE (J.J.) et TEISSON (C.). 1984.
L'ananas, sa culture, ses produits.
Ed. Maisonneuve et Larose, Paris.
- SEBILLOTTE (M.). 1980.
An analysis of yield elaboration of wheat.
in «Wheat technical monograph», CIBA-GEIGY, Bâle, 25-32.
- SINGLETON (V.L.) et GORTNER (W.A.). 1965.
Chemical and physical development of the pineapple fruit.
II.- Carbohydrate and acids contents.
J. Fd. Sci., 30, 19-23.
- TEISSON (C.). 1977.
Le brunissement interne de l'ananas.
Thèse de Doctorat d'Etat, Abidjan, 183 p.
- TISSEAU (Renée). 1963.
Variations de l'acidité et de l'extrait sec des jus frais d'ananas en Basse Côte d'Ivoire au cours de la campagne 62-63.
Doc. interne IRFA, n° 4, 4 p.

Reçu en février 1991
Accepté en mai 1991

ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS
EN LA PINA (*ANANAS COMOSUS* L. MERR.).
II.- RELACION ENTRE SECUENCIA CLIMATICA Y
FUNCIONAMIENTO DEL POBLAMIENTO VEGETAL EN LAS
CONDICIONES DE COTE D'IVOIRE.

E. MALEZIEUX y J.J. LACOEUILHE.

Fruits, Jul.-Aug. 1991, vol. 46, n° 4, p. 441-452.

RESUMEN - En un estudio realizado sobre 120 parcelas de piña plantadas mensualmente en Côte d'Ivoire, las correlaciones entre los indicadores de crecimiento, el rendimiento y algunos parámetros que caracterizan la calidad de la fruta fueron estudiados. Los diferentes esquemas de funcionamiento observados pudieron ser relacionados con algunos parámetros climáticos y particularmente con la energía solar recibida por el cultivo y la intensidad del déficit hídrico. La radiación y el déficit hídrico durante la fase vegetativa determinan la biomasa presente al momento de la inducción floral, fijando así un potencial de rendimiento. La radiación durante la finalización de la fase de fructificación jugará enseguida, un rol preponderante en la orientación de los asimilados en la planta y sobre el nivel de llenado del fruto. Los resultados establecidos proveen elementos para comprender la variabilidad de los rendimientos en Côte d'Ivoire en el cultivo de piña y permiten poner en evidencia la existencia de períodos privilegiados de calce del ciclo del cultivo durante el año.

