

# Recherche de relations entre la biomasse aérienne, la surface foliaire et l'interception du rayonnement solaire chez l'ananas.

E. MALEZIEUX\*

STUDY OF RELATIONSHIPS BETWEEN PLANT BIOMASS, LEAF AREA AND SOLAR RADIATION INTERCEPTION ON PINEAPPLE.

E. MALEZIEUX.

*Fruits*, Sep.-Oct. 1991, vol. 46, n° 5, p.523-532.

ABSTRACT - To develop later a model of pineapple growth (*Ananas comosus* L. Merr. cv., Smooth Cayenne), relationships between 1) plant biomass and leaf area, 2) leaf area index and a part of radiation intercepted by the canopy have been analysed in Côte d'Ivoire conditions. Then, a relation between intercepted solar radiation and dry mater accumulation was established.

Some of these relations are different from those established by other authors. So, it is necessary to test them before using in different ecological areas.

RECHERCHE DE RELATIONS ENTRE LA BIOMASSE AERIENNE, LA SURFACE FOLIAIRE ET L'INTERCEPTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE CHEZ L'ANANAS.

E. MALEZIEUX.

*Fruits*, Sep.-Oct. 1991, vol. 46, n° 5, p.523-532.

RESUME - Dans l'optique d'établir ultérieurement un modèle de croissance de l'ananas (*Ananas comosus* L. Merr. cv. Cayenne lisse) en phase végétative, les relations entre biomasse aérienne et surface foliaire d'une part et entre indice foliaire et efficacité d'interception du rayonnement solaire d'autre part ont été analysées dans les conditions de Côte d'Ivoire. Une relation entre le rayonnement intercepté par la culture et l'accumulation de la matière sèche a ensuite été établie.

Certaines de ces relations diffèrent sensiblement de celles rapportées par d'autres auteurs, confirmant ainsi la nécessité de les tester avant de les utiliser dans des zones écologiques différentes de celles où elles ont été établies.

MOTS CLES : Ananas, *Ananas comosus* (L.) Merr - Côte d'Ivoire - Indice foliaire - Rayonnement intercepté - Production de biomasse.

## INTRODUCTION

De nombreux travaux réalisés sur différentes cultures font état de relations entre la production de matière sèche et la quantité de rayonnement solaire absorbée ou interceptée par le couvert (BONHOMME *et al.*, 1982 ; GOSSE *et al.*, 1984, 1986). Chez l'ananas, un modèle de croissance en phase végétative basé sur l'interception du rayonnement solaire a été établi à Hawaï (FLEISH, 1988).

En Côte d'Ivoire, le rayonnement solaire total ( $R_g$ ) varie beaucoup au cours de l'année et peut être en grande partie à l'origine des importantes variations de rendement observées en culture d'ananas (MALEZIEUX, 1988).

DUFRENE (1989) a montré que, en relation avec les niveaux de rayonnement atteints, le rendement du palmier à huile en Côte d'Ivoire restait limité par rapport à d'autres zones de culture (Malaisie et Indonésie notamment). Compte tenu de ces éléments, la connaissance des relations entre la production de matière sèche et le rayonnement absorbé ou intercepté par un couvert d'ananas peut constituer un outil déterminant pour prédire la production et juger des niveaux de rendement atteints.

Pour établir un modèle de simulation de croissance basé sur le rayonnement incident, il est nécessaire, au préalable, de disposer de relations entre la biomasse aérienne et la surface foliaire d'une part et entre l'indice foliaire et l'efficacité du rayonnement intercepté par la culture d'autre part. L'objectif de ce travail est donc de rechercher, dans les conditions de Côte d'Ivoire, l'existence de telles relations. Enfin, on tentera de relier l'accumulation de matière sèche

\* - IRFA-CIRAD - Station de l'Anguédédou - 01 B.P. 1740 - ABIDJAN 01 - Côte d'Ivoire.

d'un couvert irrigué avec le rayonnement intercepté par ce couvert.

## METHODOLOGIE

### Relations entre biomasse et surface foliaire.

Les feuilles d'ananas, de forme lancéolée très allongée, sont disposées en rosette autour de la tige selon une phyllotaxie 5/13 (PY *et al.*, 1984). On distingue une partie non chlorophyllienne qui correspond à la zone d'insertion sur la tige prolongée par une partie terminale chlorophyllienne (SIDERIS et KRAUSS, 1936 ; KRAUSS, 1949). Les angles d'insertion des feuilles sur la tige (angle entre l'horizontale et l'axe de la feuille) varient de 10 à 90° lorsque l'on passe des feuilles de la base aux feuilles les plus jeunes (BARTHOLOMEW et KADZIMIN, 1977).

Les indices foliaires atteints sont susceptibles d'être très élevés, dépassant la valeur de 10 durant plusieurs mois consécutifs (BARTHOLOMEW et KADZIMIN, 1977).

PY (1959), TAY et TAN (1971) ont pu relier la surface individuelle des feuilles au produit de leur longueur et de leur largeur à mi-hauteur. On ne cherchera pas ici à confirmer ces relations morphologiques mais l'on tentera plutôt de relier les mesures de surface et de poids. En effet, compte tenu de la difficulté de mesurer des surfaces ou même des longueurs, l'existence d'une relation statistique entre la surface foliaire verte (SFv) et la biomasse aérienne fraîche (MV) permettrait de réaliser une économie considérable lors de mesures ultérieures. De plus, la connaissance d'une telle relation est nécessaire à l'élaboration d'un modèle de croissance.

D'une manière générale, la surface foliaire d'un plant (SF) peut se décomposer selon le produit :

$$SF = MV * LWR * SLA \quad \text{avec :}$$

MV : biomasse aérienne fraîche (g)  
LWR : ratio entre la masse de feuilles et la biomasse aérienne (Leaf Weight Ratio)  
SLA : surface massique (Specific Leaf Area, en  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ )

Cette décomposition permet de rendre compte de la nature de la relation entre la surface foliaire et le poids du plant : elle fait apparaître la part des feuilles dans la biomasse de la plante ainsi que la surface massique des feuilles, deux paramètres susceptibles de varier en fonction du stade de développement de la plante ou des conditions écologiques (température notamment).

### Le bilan radiatif.

Le rayonnement absorbé par la végétation ( $R_{g_a}$ ) est déterminé (VARLET-GRANCHER et BONHOMME, 1974) par le bilan entre les rayonnements reçus :

- Rayonnement incident ( $R_{g_0}$ )
- Rayonnement réfléchi par le sol ( $R_{g_{rs}}$ )
- Rayonnement réfléchi par l'ensemble sol-culture ( $R_{g_r}$ )
- Rayonnement transmis au sol ( $R_{g_t}$ )

$$\text{On a : } R_{g_a} = R_{g_0} - R_{g_t} - R_{g_r} + R_{g_{rs}}$$

En fait, de nombreux auteurs ne considèrent que le rayonnement intercepté ( $R_{g_i}$ ), bilan entre le rayonnement incident et le rayonnement transmis au sol (VARLET GRANCHER *et al.*, 1989) :

$$R_{g_i} = R_{g_0} - R_{g_t}$$

C'est généralement ce bilan qui est utilisé dans les modèles de production de matière sèche. GOSSE *et al.* (1982) ont en effet montré que les efficacités d'absorption ( $R_{g_a}/R_{g_0}$ ) et d'interception ( $R_{g_i}/R_{g_0}$ ) ne sont pas significativement différentes lorsque l'indice foliaire dépasse 1. La mesure de  $R_{g_i}$  étant la plus simple, c'est celle que nous retiendrons.

### Efficacité d'interception et indice foliaire.

La quantité  $T = R_{g_t}/R_{g_0}$  représente le coefficient de transmission du couvert végétal. L'efficacité d'interception ( $e_i$ ), qui représente la part interceptée par le couvert végétal, s'écrit :

$$e_i = 1 - T$$

$$e_i = 1 - \frac{R_{g_t}}{R_{g_0}}$$

Dans de nombreux cas, l'efficacité d'interception  $e_i$  peut être reliée à l'indice foliaire du couvert (IF) selon l'équation exponentielle suivante, issue de la loi de Beer-Lambert (VARLET-GRANCHER *et al.*, 1989) :

$$e_i = e_{i_{\max}} (1 - e^{-K * IF})$$

où K représente le coefficient d'extinction du couvert.

La valeur maximale de l'efficacité d'interception ( $e_{i_{\max}}$ ) peut être considérée comme une constante (peu différente de 0.95) dans les conditions de culture courantes (VARLET-GRANCHER *et al.*, 1989).

Notre objectif est de tester l'existence d'une telle relation en culture d'ananas. Le coefficient K sera déterminé par ajustement statistique en fonction des couples ( $e_i$ , IF) observés. Pour ce faire, il convient de mesurer la quantité  $R_{g_t}/R_{g_0}$  pour une large gamme d'indices foliaires.

### Accumulation de matière sèche et rayonnement intercepté par la culture.

Le rayonnement utile à la photosynthèse intercepté par un couvert végétal (PARa) peut s'exprimer selon la relation :

$$PARa = 0.48 \sum R_{g_i} e_i \quad (\text{GOSSE } et al., 1986)$$

avec PARa en  $\text{MJ m}^{-2}$   
Rg en  $\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$

Dans le cas de nombreuses cultures, il existe une relation linéaire entre la production de matière sèche (MS) et le rayonnement intercepté par le couvert (PARa). La pente de la relation  $MS = f(PARa)$  permet alors de caractériser l'efficacité de conversion de la plante.



## MATERIEL ET TECHNIQUES

Les résultats présentés ici sont issus d'un travail réalisé sur la Station IRFA-CIRAD-MRS de l'Anguédédou située en Côte d'Ivoire à proximité d'Abidjan (5° lat. N). Les conditions pédoclimatiques de la zone de culture ont déjà été présentées (MALEZIEUX, 1988).

Les moyennes des températures minimales et maximales sont respectivement de 22,3°C et de 29,9°C (moyenne des 10 dernières années).

### Relations biomasse aérienne-surface foliaire.

L'étude des relations entre la biomasse aérienne et la surface foliaire a été réalisée à partir de prélèvements effectués tous les 15 jours, pendant 8 mois, dans deux parcelles, l'une irriguée, l'autre non (expérimentation A).

Les prélèvements dans la parcelle non irriguée ont été effectués de septembre 1989 à mai 1990, mois qui correspondent à la plantation et au traitement d'induction florale des deux parcelles. Dans la parcelle irriguée, les prélèvements n'ont débuté qu'en décembre 1989, début de la grande saison sèche et période de démarrage de l'irrigation. Les poids des rejets, les techniques culturales sont identiques pour les deux parcelles.

A chaque prélèvement, 6 plants échantillonnés sont analysés (mesures de poids et mensurations des feuilles). Au total, 17 prélèvements ont été effectués dans la parcelle non irriguée et 9 dans la parcelle irriguée, soit 156 plantes au total.

Les feuilles et la tige de chaque plante sont pesées individuellement. La longueur et les largeurs tous les 10 cm sont mesurées pour chaque feuille. La surface des feuilles est ensuite calculée en considérant que chaque feuille est constituée par la juxtaposition de formes géométriques simples (somme de trapèzes).

La feuille étant composée d'une partie blanche non photosynthétique (zone d'insertion sur la tige) et d'une partie verte, on a distingué les deux parties, puis calculé la surface foliaire totale (SFt) et la surface foliaire photosynthétiquement active (SFv).

Par la suite, seul l'indice foliaire photosynthétiquement actif (IFv) sera considéré : IFv correspond à la surface de feuilles vertes rapportée à la surface occupée par les plantes au sol :

$$IFv = SFv * d$$

d : densité (plantes/m<sup>2</sup>)

SFv : surface foliaire verte d'un plant (m<sup>2</sup>)

### Mesure de l'efficacité d'interception du rayonnement.

Les mesures de rayonnement ont été effectuées en mai et en novembre 1990 sur 7 puis 5 parcelles en phase végétative âgées de 1 à 8 mois au moment des observations (expérimentation B). La gamme de développement des parcelles choisies est élevée et couvre l'ensemble des surfaces foliaires généralement observées en Côte d'Ivoire de la plantation à

l'induction florale.

Le matériel végétal mis en place est composé de cayeux d'un poids de 400 g (cv. Cayenne lisse). Ils ont été plantés en lignes jumelées à la densité de 61 500 plantes/ha (figure 1). Les billons, qui supportent deux lignes jumelées constituant une «rangée», sont approximativement orientés dans le sens NNO-SSE. Les techniques culturales ont été décrites par ailleurs (MALEZIEUX, 1988).

Pour estimer T ou e<sub>i</sub>, deux mesures sont nécessaires:

- l'une, au-dessus du couvert
- l'autre, au-dessous du couvert.

Le rayonnement solaire total au-dessus du couvert est mesuré par un solarimètre à thermopile (Kipp et Zonen) composé par une surface réceptrice de quelques centimètres carrés recouverte d'un globe en verre.

Pour mesurer le rayonnement sous le couvert, on dispose de deux capteurs linéaires de 90 cm (DELTA-T-DEVICE). Ces appareils mesurent la totalité du rayonnement, toutes longueurs d'ondes confondues. Les capteurs linéaires sont placés au sommet du billon perpendiculairement aux deux lignes jumelées d'une même rangée et débordent de chaque côté jusqu'au milieu des inter-rangées. Ce dispositif permet de prendre en compte l'hétérogénéité horizontale du couvert liée au mode de plantation. Afin de respecter la symétrie du couvert, deux capteurs linéaires de 90 cm ont été placés bout à bout, puis la longueur totale de la surface captrice a été ramenée à l'écartement entre les billons (130 cm) à l'aide de caches (méthode utilisée par GALLO et DAUGHTRY, 1986, sur maïs). La position du dispositif de mesure est représentée sur les figures 1 et 2. Pour chaque

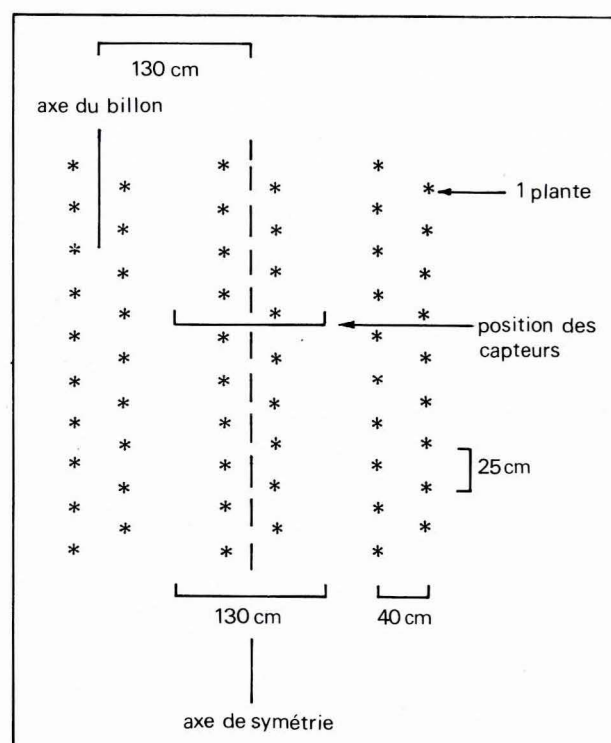


FIGURE 1 - Dispositif de plantation et position des capteurs (densité : 61 500 plantes/ha).

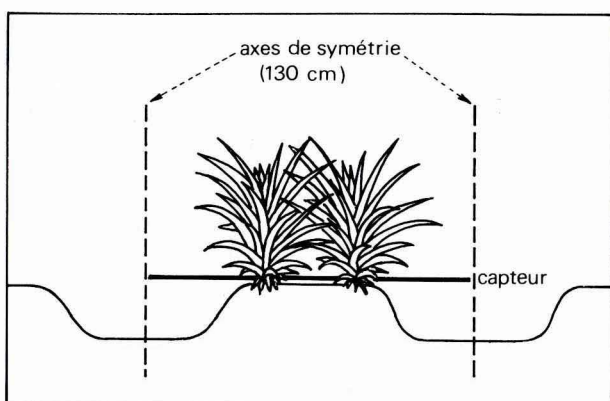


FIGURE 2 - Position du dispositif de mesure.

parcelle, une zone très homogène a été choisie pour les mesures au milieu des blocs.

Le rayonnement global est mesuré au-dessus et au-dessous du couvert toutes les 30 minutes de 7 h 30 à 17 h. Pour chaque parcelle, l'opération est répétée pendant 2 ou 3 jours.

Juste après ces mesures, les 4 plantes jouxtant les capteurs linéaires sont analysées (mesures de surface et de poids) afin de déterminer l'indice foliaire de chaque couvert. Ces mesures seront également utilisées pour valider les relations établies à partir des résultats de l'expérimentation A.

## RESULTATS

### Relations entre surface foliaire et poids du plant.

Les poids moyens de plants par prélèvement (expérimentation A) varient de 405 g de matière fraîche par plante (prélèvement 1) à 2 940 g (prélèvement 17 de la parcelle irriguée). Les surfaces foliaires moyennes par plante varient

dans le même temps de 0,25 à 1,57 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à une gamme d'indices foliaires allant de 1,6 à 9,7.

Sans vouloir étudier en détail les relations surface-poids au niveau individuel (étude déjà réalisée par PY, 1959), nous avons représenté sur les figures 3 a et 3 b les mesures de surface, de longueur et de poids de chaque feuille numérotée pour un plant d'environ 8 mois. Ces courbes ont une forme «en cloche» dissymétrique sur lesquelles nous pouvons distinguer les différents groupes de feuilles définis par KRAUSS (1949) et PY (1959). Le premier groupe (I) est constitué par les feuilles entièrement développées. On observe dans ce cas que la croissance potentielle d'une feuille est d'autant plus élevée qu'elle est émise tardivement. Le second groupe (II) rassemble les feuilles n'ayant pas terminé leur croissance. Les feuilles les plus longues et les plus lourdes constituent le groupe des dernières feuilles ayant atteint leur développement maximal (feuilles ou feuille D). Ces feuilles forment un angle de  $\pm 45^\circ$  avec la verticale quand la croissance est normale. (PY, 1959).

Les relations entre MV et LWR d'une part et entre MV et SLA d'autre part ont été représentées sur les figures 4 et 5 (MV, LWR et SLA en matière fraîche). A partir d'environ 3 mois, LWR reste compris entre 0,9 et 0,92, ce qui correspond aux valeurs observées par PY (1959) en Guinée.

La surface massique évolue au contraire négativement en fonction de MV (figure 5). Une relation de nature hyperbolique d'équation :

$$SLA = 6.47 + 893/MV \quad (r^2 = 0,71, n = 156),$$

peut être établie.

Cette relation traduit une augmentation de la masse moyenne de feuilles par unité de surface foliaire lorsque la plante se développe.

Les relations entre le poids du plant (MV), le poids de feuilles (MF), la surface foliaire totale (SfT) et la surface

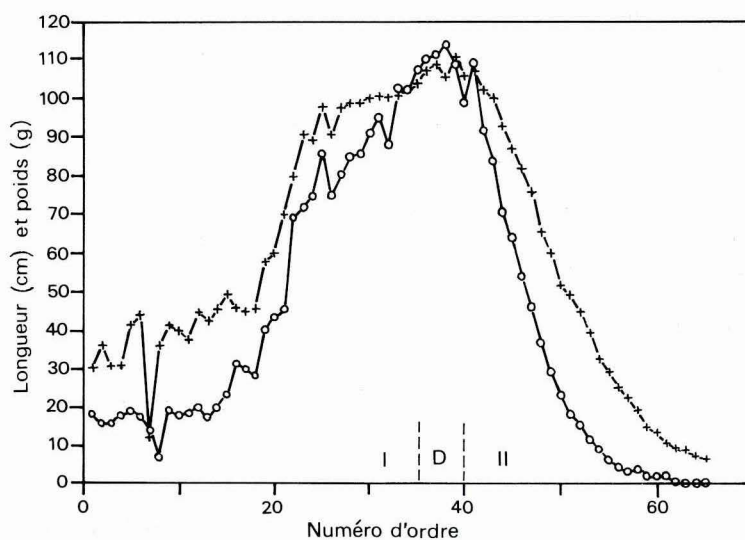


FIGURE 3a - Longueur (+) et poids (o) de chaque feuille en fonction de l'ordre d'insertion sur la tige (1 = feuille la plus ancienne). Plant de 8 mois.

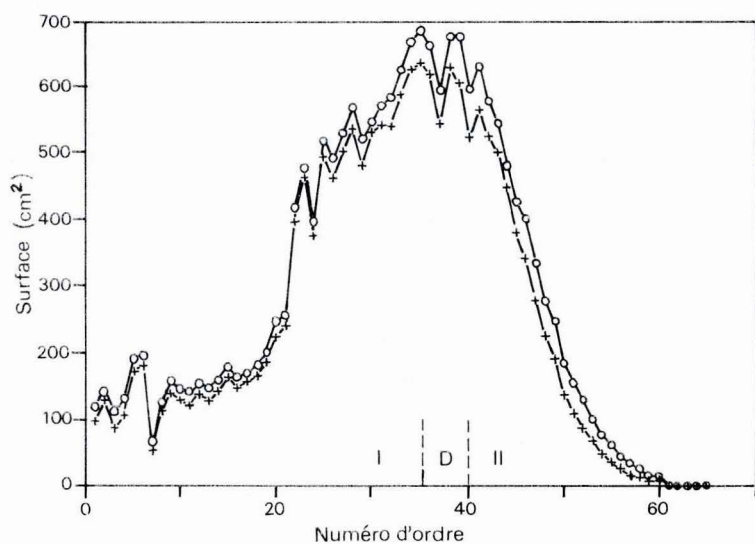


FIGURE 3b - Surface totale (o) et verte (+) de chaque feuille en fonction de l'ordre d'insertion sur la tige. Plant de 8 mois.

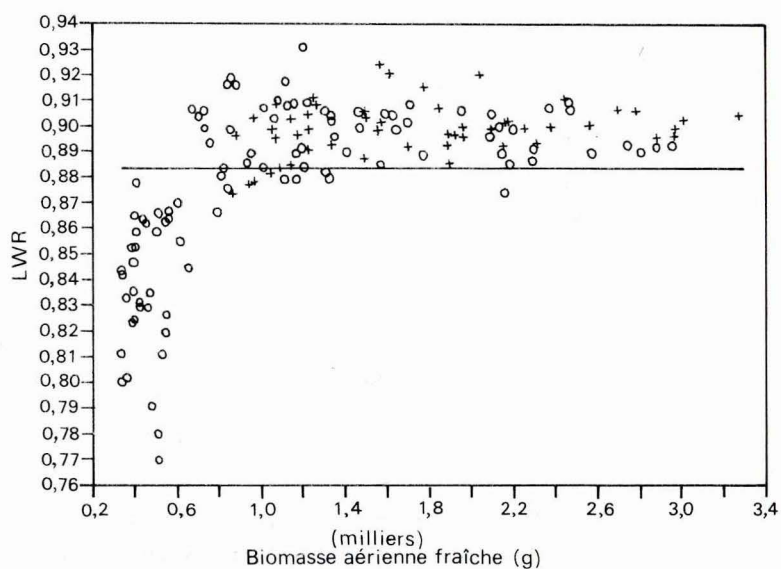


FIGURE 4 - Relation entre le rapport de la masse foliaire à la biomasse aérienne (LWR) et la biomasse aérienne fraîche (MV). Plants irrigués (+) et non irrigués (o).

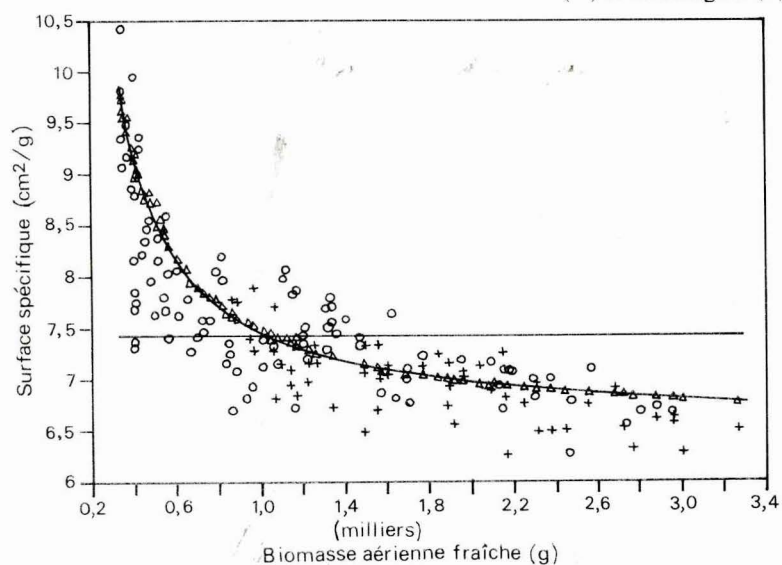


FIGURE 5 - Relation entre surface massique (SLA) et la biomasse aérienne fraîche (MV). Plants irrigués (+) et non irrigués (o).  
Régression :  $SLA = 6.47 + 893/MV$  ( $r^2 = 0.71$ ,  $n = 156$ ).



foliaire verte (SFv) ont été étudiées. Tous ces paramètres présentent entre eux des niveaux de corrélation hautement significatifs. L'allure des courbes montre que dans tous les cas l'ajustement linéaire est bien adapté. Les principales régressions établies entre les paramètres étudiés ont été reportées sur le tableau 1. Dans chaque cas, deux régressions ont été calculées, l'une passant par l'origine, l'autre de la forme  $y = ax + b$ . Les relations entre SFv et MV d'une part et entre SFt et MF d'autre part ont été représentées sur les figures 6 et 7.

Malgré un développement inférieur de la parcelle non irriguée, aucune différence significative n'apparaît entre la parcelle irriguée et la parcelle non irriguée dans les relations établies.

Les relations (1) à (4) ont été validées à partir des prélèvements effectués en mai 1990 sur les 7 parcelles âgées de 1 à 8 mois observées lors de l'expérimentation B (28 plants). Les coefficients de corrélation varient de 0,97 à 0,99 ( $n = 28$ ), l'erreur maximale ne dépassant pas 15 p. 100 sur un plant.

Ces différents résultats montrent que, malgré les variations de LWR et SLA au cours du cycle de développement, il est possible, sur une large gamme de poids, de déterminer la surface foliaire verte ou totale avec une précision suffisante en effectuant de simples pesées de biomasse aérienne.

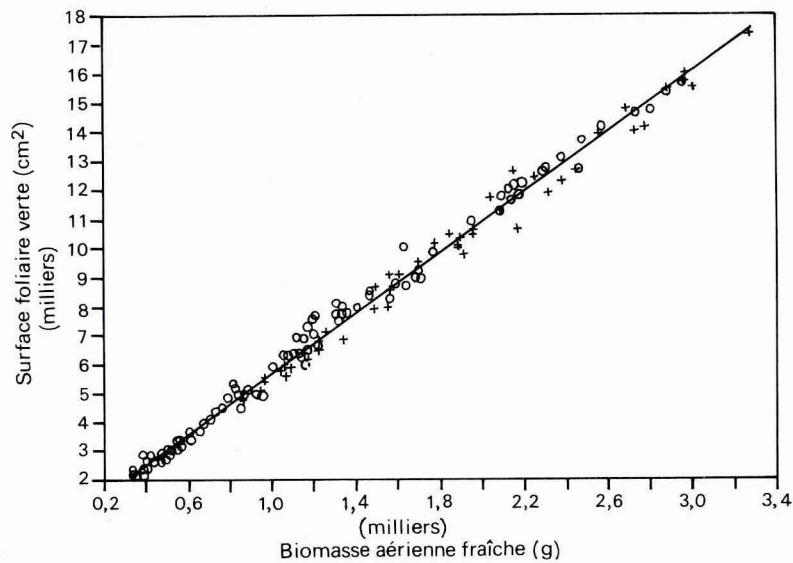


FIGURE 6 - Surface foliaire verte moyenne par plante (SFv en  $\text{cm}^2$ ) en fonction de la biomasse aérienne fraîche (MV en g/plante). Plants irrigués (+) et non irrigués (o).

Régression :  $\text{SFv} = 5.24 \text{ MV} + 427$  ( $r^2 = 0.99$ ,  $n = 156$ ).

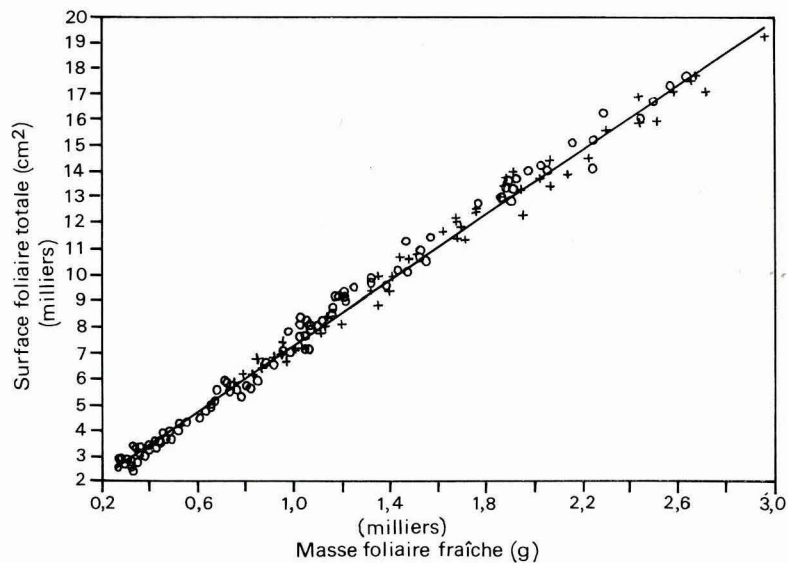


FIGURE 7 - Surface foliaire totale moyenne par plante (SFt en  $\text{cm}^2$ ) en fonction de la masse foliaire fraîche (MF en g/plante). Plants irrigués (+) et non irrigués (o).

Régression :  $\text{SFt} = 6.33 \text{ MF} + 887$  ( $r^2 = 0.99$ ,  $n = 156$ ).

TABLEAU 1 - Régressions linéaires établies entre mesures de poids et de surface.

(1)	SFv = 5.24 MV + 427	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(1')	SFv = 5.48 MV	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(2)	SFt = 5.79 MV + 756	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(2')	SFt = 6.22 MV	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(3)	SFv = 0.88 SFt	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(3')	SFv = 0.9 SFt - 240	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(4)	SFt = 6.33 MF + 887	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)
(4')	SFt = 6.93 MF	(r <sup>2</sup> = 0,99, n = 156)

MV : biomasse aérienne fraîche (g/plante), SFt : surface foliaire totale (cm<sup>2</sup>/plante), SFv : surface foliaire verte (cm<sup>2</sup>/plante), MF : masse foliaire fraîche (g/plante).

Détermination du coefficient d'extinction.

Pour chaque parcelle de l'expérimentation B et pour chaque journée de mesure, on dispose de 19 intervalles de temps de 30 mn au cours desquels ont été mesurés les rayonnements incident (Rg<sub>0</sub>) et transmis au sol (Rg<sub>t</sub>). Nous avons représenté sur la figure 8 la relation entre Rg<sub>t</sub> et Rg<sub>0</sub> pour chacun des couples mesurés sur 3 parcelles. Une régression linéaire passant par l'origine peut être calculée, le coefficient de transmission T = (Rg<sub>t</sub>/Rg<sub>0</sub>) repré-

sentant alors la pente de cette droite de régression. Cette méthode permet de calculer le coefficient de transmission moyen de chaque parcelle, indépendamment de la position du soleil.

Le coefficient de transmission T décroît de manière exponentielle lorsque l'indice foliaire augmente (données non présentées). Une relation exponentielle peut ainsi être établie entre l'efficacité d'interception (e<sub>i</sub> = 1 - T) et l'indice

FIGURE 8 - Relations entre Rg<sub>t</sub> et Rg<sub>0</sub>.

- 1) parcelle 8 mois. Rg<sub>t</sub> = 0.67 Rg<sub>0</sub> r<sup>2</sup> = 0.97, n = 35
- 2) parcelle 5 mois. Rg<sub>t</sub> = 0.3 Rg<sub>0</sub> r<sup>2</sup> = 0.95, n = 28
- 3) parcelle 1 mois. Rg<sub>t</sub> = 0.09 Rg<sub>0</sub> r<sup>2</sup> = 0.68, n = 31

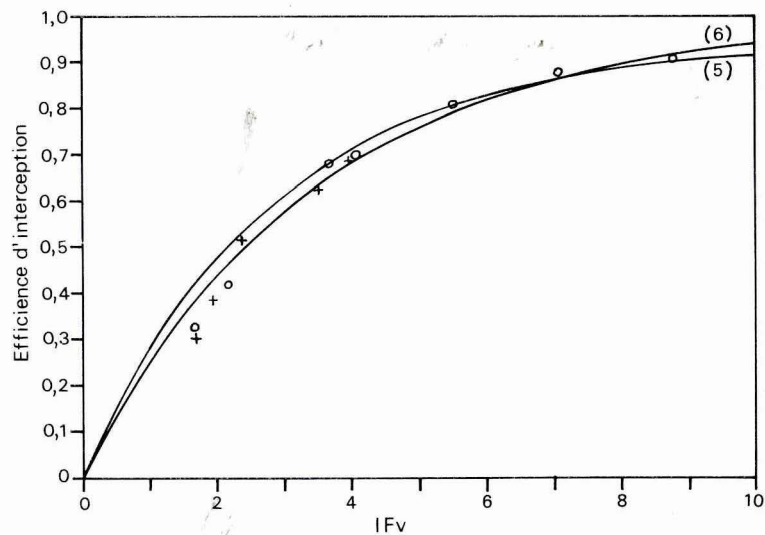
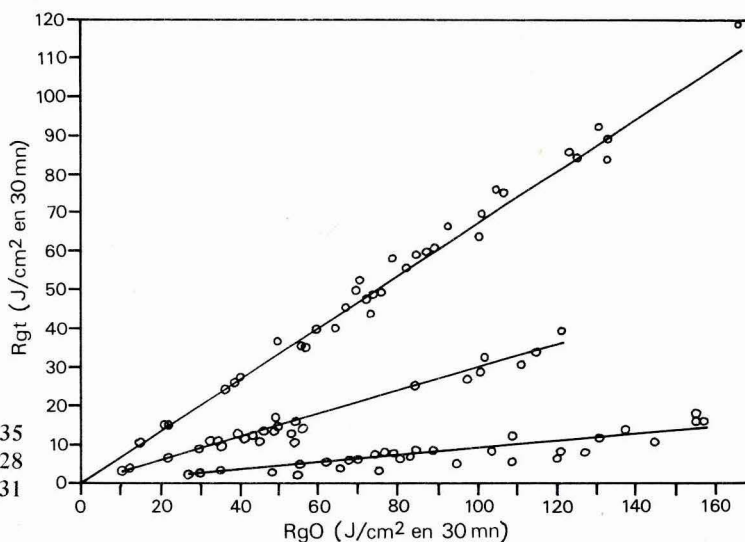


FIGURE 9 - Relations entre l'efficacité d'interception de rayonnement (e<sub>i</sub>) et l'indice foliaire (IFv). Valeurs mesurées (o, +) et estimées par les modèles (5) et (6) (—).

foliaire vert (IFv). On peut écrire :

$$e_i = 0,95 * (1 - e^{-K*IFv}) \quad (5)$$

K représentant le coefficient d'extinction.

On obtient :  $K = 0,346$  avec  $r^2 = 0,98$ ,  $n = 12$  (\*\*\*)

Une relation similaire, ne prenant pas en compte la notion d'efficacité maximale est parfois établie (FLEISH, 1988) :

$$e_i = 1 - e^{-K'IFv} \quad (6)$$

On obtient :  $K' = 0.289$  avec  $r^2 = 0,99$ ,  $n = 12$  (\*\*\*)

Les valeurs mesurées et calculées par les modèles (5) et (6) sont représentées sur la figure 9. L'adéquation entre valeurs observées et simulées est satisfaisante bien que le modèle (5) surestime légèrement le rayonnement intercepté pour les faibles indices foliaires. Cette déviation peut avoir plusieurs origines : en premier lieu, l'hétérogénéité horizontale du couvert (effet rangs), très forte au moment de l'implantation de la culture, diminue au cours du développement de la plante. En second lieu, le port de la plante évolue également : les feuilles des rejets ayant en moyenne une position plus proche de la verticale que les feuilles d'un plant plus âgé, interceptent moins bien le rayonnement.

#### Accumulation de matière sèche et rayonnement intercepté par la culture.

La figure 10 représente l'accumulation de matière sèche aérienne en fonction du rayonnement utile à la photosynthèse intercepté par le peuplement irrigué pendant les huit premiers mois de croissance. Les valeurs successives de  $e_i$  ont été estimées à partir de l'équation (6) et des mesures de IFv. La régression linéaire a pour équation :

$$MS = 1.5 \text{ PARa} \quad (r^2 = 0.98, n = 17) \quad (7)$$

MS en  $g/m^2$ , PARa en  $MJ/m^2 j^{-1}$

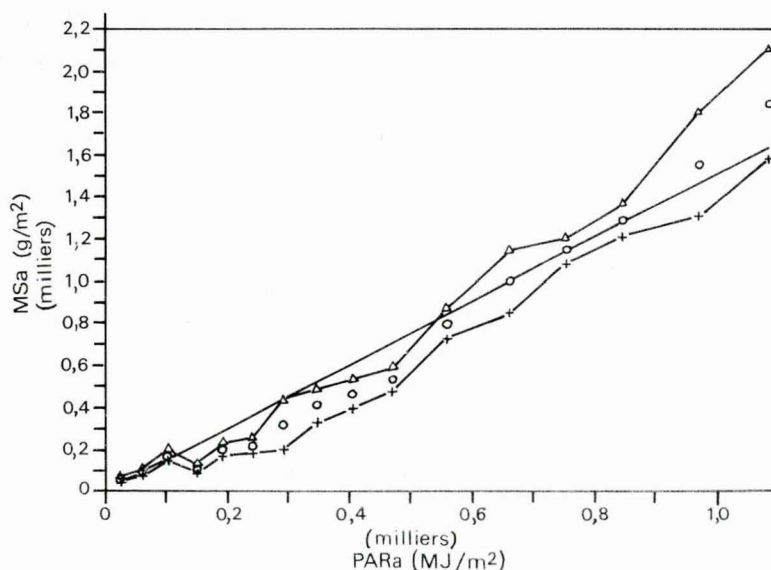


FIGURE 10 - Relation entre l'accumulation de matière sèche aérienne (MSa) et la somme de rayonnement intercepté par la culture (PARa). Valeurs observées (o) et intervalle de confiance au seuil de 95 p. 100. Modèle linéaire :  $MSa = 1.5 \text{ PARa}$  (—).

D'après VARLET-GRANCHER (1982), l'efficacité de la photosynthèse nette du couvert  $e_b$  peut se définir par le rapport entre l'énergie chimique potentielle accumulée dans la matière sèche totale et l'énergie utile à la photosynthèse interceptée par la culture. On a :

$$e_b = c * MS/PAra,$$

la valeur calorifique de la matière sèche pouvant être estimée, selon le même auteur, à 18 175 J/kg dans le cas d'une plante n'accumulant pas de lipides. Dans ces conditions, l'efficacité de conversion moyenne du peuplement étudié est égale à 0.027. Cette valeur constitue une estimation par défaut, la production souterraine de matière sèche n'ayant pas été prise en compte.

L'observation de la figure 10 suggère que le modèle linéaire entre MS et PARa n'est pas nécessairement le mieux adapté : alors que la pente moyenne surestime la vitesse de production de matière sèche en début de cycle, celle-ci est sous-estimée en fin de cycle. On peut en déduire que l'hypothèse de stabilité de la constante de conversion que traduit le modèle linéaire ne correspond pas à une réalité physiologique : on peut supposer que cette efficacité est faible au moment de l'installation du couvert (phase d'acclimatation du rejet, enracinement) et croît par la suite.

#### DISCUSSION

##### Relations biomasse-surface foliaire.

Les relations établies lors de cette étude confirment certains résultats obtenus par d'autres auteurs : la diminution de la surface massique lorsque la plante se développe a ainsi également été mise en évidence par TAY et TAN (1971) en Malaisie sur la variété Singapour Spanish ou encore par FLEISH (1988) à Hawaï sur la variété Cayenne lisse. De même, FLEISH (1988) a pu observer dans les conditions d'Hawaï la relative constance de LWR à partir



d'un certain stade qui peut correspondre à une phase d'acclimatation du rejet planté.

PY (1959) a obtenu, dans les conditions climatiques particulières de Guinée, une surface foliaire de 2,13 m<sup>2</sup> pour une biomasse foliaire de 3,2 kg. Les équations (4) et (4') fournissent alors respectivement les valeurs de 2,11 m<sup>2</sup> et 2,21 m<sup>2</sup>, valeurs compatibles avec celle mesurée par PY.

Au contraire, des divergences importantes apparaissent avec certains résultats établis par FLEISH (1988) à Hawaï. La relation établie par cet auteur entre la biomasse aérienne sèche (MSa) et la surface foliaire verte (SFv = 33.2 \* MSa + 427) a été testée à partir des données présentées ici. Ce modèle sous-estime d'environ 20 p. 100 la surface mesurée. Il est probable que ces écarts soient liés aux conditions climatiques différentes et notamment aux différences de température régnant dans les deux zones. FLEISH (1988) a montré que LWR et SLA augmentaient significativement avec la température moyenne (gamme de variation étudiée variant de 17 à 25°C). Alors que SLA varie entre 50 et 65 cm<sup>2</sup>/g sec dans nos conditions, les résultats établis par FLEISH font état de SLA compris entre 30 et 60 cm<sup>2</sup>/g sec. De la même manière, alors que nos résultats montrent que LWR sec est compris entre 0.9 et 0.92 pour des plants de plus de 3 mois, ce ratio varie de 0.83 à 0.92 dans les conditions hawaïennes (FLEISH, 1988).

L'utilisation des relations statistiques représentées sur le tableau 1 à l'extérieur de la zone écologique dans lesquelles elles ont été établies ne devra donc être effectuée qu'avec prudence, notamment dans les régions plus froides.

#### Relations indice foliaire-efficience d'interception du rayonnement.

Dans un grand nombre de publications, les mesures de rayonnement ne sont effectuées que quelques heures par jour (généralement au milieu de la journée) et sous certaines conditions atmosphériques (ciel clair, peu de rayonnement diffus). Notre méthode tient compte au contraire de l'ensemble des positions du soleil dans la journée et la plupart des mesures ont été réalisées par journées ensoleillées. Sur blé, THORNE *et al.*, 1988 (cités par VARLET-GRANCHER *et al.*, 1989), obtiennent des différences faibles ( $\pm 1$  p. 100) selon le type de temps (ciel clair ou couvert).

Par ailleurs, le positionnement du capteur linéaire perpendiculairement aux rangées a l'avantage d'intégrer directement l'hétérogénéité du couvert liée au dispositif de plantation. Son positionnement dans le sens des lignes de plantation aurait nécessité l'intégration de plusieurs mesures parallèles.

La valeur du coefficient d'extinction K obtenue par FLEISH (1988) sur différents couverts d'ananas est significativement supérieure à celle que nous avons pu mesurer (0.56 au lieu de 0.289). Cette différence peut être expliquée par différents facteurs :

- la densité de plantation, légèrement inférieure dans notre cas (6.15 plantes/m<sup>2</sup> au lieu de 7 à 8 plantes/m<sup>2</sup>) peut influencer sur le coefficient d'extinction ;
- le dispositif de plantation, et notamment l'écartement des billons (130 cm dans notre cas au lieu de 120 cm), déter-

mine le niveau de symétrie du couvert et modifie la part de rayonnement intercepté à surface foliaire égale (meilleure efficience des couverts homogènes) ;

- les propriétés géométriques du couvert et notamment l'inclinaison des feuilles constituent un facteur déterminant du coefficient d'extinction (MONTEITH, 1981). Or, l'origine du matériel végétal de plantation (couronne ou cayeu) entraîne un port de la plante différent pendant les premiers mois de végétation, la rosette des feuilles étant plus étalée et les feuilles plus proches de l'horizontale dans le cas des couronnes (PY *et al.*, 1984). Les plants issus de couronnes peuvent donc déterminer aux stades jeunes, à indice foliaire égal, une meilleure interception du rayonnement incident ;

- enfin, la plus grande part de la différence observée peut être due aux types de rayonnement mesurés en liaison avec le matériel de mesure utilisé : alors que les rayonnements totaux ont été mesurés ici, les travaux de FLEISH (1988) sont basés sur la mesure de l'éclairement quantique. Comme les feuilles absorbent peu les radiations du proche infrarouge, les valeurs de l'efficience mesurée pour le rayonnement total sont plus faibles que celles obtenues pour le rayonnement utile à la photosynthèse (VARLET-GRANCHER *et al.*, 1989). Des relations entre T (coefficient de transmission du rayonnement total) et T<sub>e</sub> ou T<sub>q</sub> (coefficients de transmission des rayonnements énergétiques ou quantiques utiles à la photosynthèse) ont été établies par différents auteurs. A titre d'exemple, T<sub>e</sub> ne représente que 77 p. 100 de T, pour un couvert de blé d'indice foliaire de 4 (GOSSE *et al.*, 1982).

Le coefficient d'extinction mesuré ici pour l'ananas est inférieur à celui de la majorité des autres plantes (VARLET-GRANCHER *et al.*, 1989). Ceci peut être dû d'une part à la forte hétérogénéité horizontale du couvert en culture d'ananas mais surtout à la disposition des feuilles sur la plante : les entre-noeuds très courts, l'absence de pétiole, le fort recouvrement des feuilles entre elles, la forme en U des coupes transversales de feuille sont autant de caractéristiques botaniques qui contribuent à une mauvaise efficience d'interception du rayonnement incident.

L'hypothèse de stabilité du coefficient d'extinction pour toute culture d'ananas ne peut ici être confirmée : en vue de la construction d'un modèle de croissance basé sur l'interception du rayonnement et utilisable dans des lieux ou des conditions différentes, il sera nécessaire de tester la stabilité du coefficient d'extinction en tenant compte du dispositif de plantation et du type de matériel végétal utilisé. Par ailleurs, il serait utile d'analyser l'écart entre le coefficient d'extinction basé sur le rayonnement total (mesuré ici) et ce même coefficient mesuré à partir du rayonnement énergétique.

#### Accumulation de la matière sèche et rayonnement intercepté.

La relation établie précédemment entre l'accumulation de matière sèche et le rayonnement intercepté par la culture suggère plusieurs remarques :

- 1) la comparaison de la pente obtenue ici (1,5 g MS/MJ PAR) avec celles observées pour d'autres plantes (GOSSE



et al., 1986) montre que l'ananas fait preuve d'une faible efficacité de conversion de l'énergie en matière sèche. Cette faible efficacité peut être reliée au type de métabolisme carboné qui caractérise l'ananas ; les capacités photosynthétiques du métabolisme crassulacéen (CAM) étant largement inférieures à celles des plantes en C3 (COTE, 1988).

2) les déviations observées sur la figure 10 pourraient être reliées à la part relative des assimilats attribués aux racines. Différentes études indiquent en effet une diminution de la part des assimilats attribués aux organes souterrains lorsque la plante se développe (MALEZIEUX, GODO, non publié).

Les conditions de variation de cette efficacité ainsi que la valeur moyenne établie ici demanderont toutefois à être testées sur d'autres couverts.

## CONCLUSION

Les différents résultats mis en évidence nous ont permis d'établir chez l'ananas des relations statistiques entre :

- la biomasse aérienne et la surface foliaire
- l'indice foliaire et la part du rayonnement intercepté
- l'accumulation de matière sèche et le rayonnement intercepté par le couvert.

Ces éléments constituent une première étape en vue de la mise au point d'un modèle de simulation de croissance de l'ananas en phase végétative.

Les faibles variations de température observées en Côte d'Ivoire assurent une validité à ces relations dans des conditions proches de celles où elles ont été établies. Leur utilisation dans d'autres zones écologiques devra se faire avec la plus grande prudence, en particulier dans les régions plus froides.

Reçu et accepté en novembre 1991.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARTHOLOMEW (D.P.) and KADZIMIN (S.B.). 1977.  
Pineapple.  
In « *Ecophysiology of tropical crops* ».  
*Acad. Press, London*, 1977, 113-156.
- BONHOMME (R.), RUGET (F.), DERIEUX (M.), VINCOURT (P.). 1982.  
Relations entre production de matière sèche aérienne et énergie interceptée chez différents génotypes de maïs.  
*C.R. Acad. Sci., Paris*, série III, 294, 393-398.
- COTE (F.X.). 1988.  
Photosynthèse et photorespiration d'une plante à métabolisme acide crassulacéen : *Ananas comosus* (L.). MERR.  
Etude des échanges gazeux.  
*Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse*, 99 p.
- DUFRENE (E.). 1989.  
Photosynthèse, consommation en eau et modélisation chez le palmier à huile.  
*Thèse de doctorat en sciences, Université Paris Sud Orsay*.
- FLEISH (H.). 1988.  
Modeling pineapple plant growth and inflorescence development.  
*Ph. D. Dissertation. Library, University of Hawaii, Honolulu*, 195 p.
- GALLO (K.P.) and DAUGHTY (C.S.T.). 1986.  
Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies.  
*Agro. J.*, 78, 752-756.
- GOSSE (G.), CHARTIER (M.), VARLET-GRANCHER (C.) et BONHOMME (R.). 1982.  
Interception du rayonnement utile à la photosynthèse chez la luzerne : variations et modélisation.  
*Agronomie*, 2 (6), 583-588.
- GOSSE (G.), CHARTIER (M.) et LEMAIRE (G.). 1984.  
Mise au point d'un modèle de prévision de production pour une culture de luzerne.  
*C.R. Acad. Sci., Paris*, série III, 298, 541-544.
- GOSSE (G.), VARLET-GRANCHER (C.), BONHOMME (R.), CHARTIER (M.), ALLIRAND (J.M.) et LEMAIRE (G.). 1986.  
Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal.  
*Agronomie*, 1986, 6 (1), 47-56.
- KRAUSS (B.H.). 1949.  
Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr.
- II.- The leaf.  
*Bot. Gaz.*, 110 (3), 333-404.
- MALEZIEUX (E.). 1988.  
Croissance et élaboration du rendement de l'ananas.  
*Thèse de doctorat en sciences, INA-PG*, 217 p., + an.
- MONTEITH (J.L.). 1981.  
Does light limit crop production ?  
In C.B. Johnson (Eds), *Physiological processes limiting crop productivity*.  
*Butterworths, London*.
- PY (C.). 1959.  
Etude sur la croissance de l'ananas en Guinée.  
*Fruits*, 14 (1), 3-24.
- PY (C.), LACOEUILHE (J.J.) et TEISSON (C.). 1984.  
L'ananas, sa culture, ses produits.  
*Ed. Maisonneuve et Larose, Paris*, 562 p.
- SIDERIS (C.P.) et KRAUSS (B.H.). 1936.  
The classification and nomenclature of groups of pineapple leaves, sections of leaves and sections of stem based on morphological and anatomical differences.  
*Pineapple Quarterly, Hawaii*, 1936, 6, 135-147.
- TAY (T.H.) and TAN (K.M.). 1971.  
Leaf area and growth studies.  
*Malays. Pineapple*, 1971, 1, 11-21.
- THORNE (G.N.), PEARMAN (I.), DAY (W.) and TODD (A.D.). 1988.  
Estimation of radiation interception by winter wheat from measurements of leaf area.  
*J. Agric. Sci., Camb.*, 110, 101-108.
- VARLET-GRANCHER (C.) et BONHOMME (R.). 1974.  
Utilisation de l'énergie solaire par une culture de *Vigna sinensis*.  
III.- Evolution du rendement énergétique pendant la phase végétative.  
*An. Agro.*, 25 (6), 811-819.
- VARLET-GRANCHER (C.), BONHOMME (R.), CHARTIER (M.) et ARTIS (P.). 1982.  
Efficacité de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal.  
*Oecol. Plant.*, 2, 16, 2, 189-202.
- VARLET-GRANCHER (C.), GOSSE (G.), CHARTIER (M.), SINOQUET (H.), BONHOMME (R.) et ALLIRAND (J.M.). 1989.  
Mise au point : rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal.  
*Agronomie*, 9, 419-439.

## INVESTIGACION DE RELACIONES ENTRE LA BIOMASA AEREA, LA SUPERFICIE FOLIAR Y LA EFICIENCIA DE INTERCEPCION DE LA IRRADIACION SOLAR EN LA PINA.

E. MALEZIEUX.

*Fruits*, Sep.-Oct. 1991, vol. 46, nº 5, p. 523-532.

RESUMEN - Con la finalidad de establecer posteriormente un modelo de crecimiento de la piña (*Ananas comosus* L. Merr. cv. Cayenne lisse) en fase vegetativa, las relaciones entre biomasa aérea y superfi-

cie foliar por una parte y entre índice foliar y eficiencia de intercepción de la irradiación solar por otra, fueron analizadas bajo las condiciones de Côte d'Ivoire. Una relación entre la suma de la irradiación interceptada por el cultivo y la acumulación de la materia seca fue enseguida establecida.

Algunas de esas relaciones difieren sensiblemente de las reportadas por otros autores, confirmando así la necesidad de evaluarlas antes de su utilización en zonas ecológicas diferentes de aquellas en donde las mismas fueron establecidas.