

Croissance et développement de l'ananas

Exploitant les données obtenues en Côte d'Ivoire et plus particulièrement celles de l'essai de plantations mensuelles conduit depuis plusieurs années, MALEZIEUX tente d'expliquer les différentes étapes de la croissance et du développement de l'ananas. Dans ce but, il propose des modèles de ces étapes intégrant les différentes données collectées.

M. le Professeur SEBILLOTTE (INAPG), en introduction à l'exposé de ces résultats, a rappelé les aspects principaux de l'analyse du rendement et l'intérêt de la modélisation en agronomie.

ANALYSE DU RENDEMENT ET MODELISATION EN AGRONOMIE

Le rôle de l'agronomie est de préparer des actions au champ, de proposer des références techniques et des méthodes de diagnostic. Les essais longtemps utilisés et exploités à l'aide de la statistique, ont leurs limites, en particulier au niveau des interactions prédominantes. La modélisation de l'élaboration du rendement est devenue nécessaire.

On cultive des surfaces mais le rendement est le fait d'individus dont le comportement dépend des effets de voisinage, du milieu et des techniques. L'individu moyen - la répétition dans les essais - masque l'hétérogénéité du champ. Or l'agronomie est la discipline de l'hétérogène.

La densité de peuplement doit être optimisée en tenant compte de tous les paramètres influençant ce dernier. L'énergie lumineuse disponible pendant le cycle exprime le potentiel de production de matière sèche qui se réalisera si les besoins en eau, minéraux, CO_2 ... sont satisfaits. Et pour une surface donnée, la matière sèche produite est en relation avec le nombre de plants. Toutefois le rendement maximum n'est pas nécessairement en relation avec la masse sèche ; car celle-ci ne se traduit pas automatiquement en quantité de graines. En effet, l'histoire du peuplement, avec la mise en place de l'indice foliaire, entre en jeu. L'étude de cet indice conduit à une meilleure compréhension de la morphogénèse pour laquelle pendant très longtemps un rôle important a été accordé aux hormones. En fait, pour l'agronome, l'étude de la croissance est primordiale, en tenant compte en particulier des états du milieu, climat et sol.

Ainsi il est important de savoir si une croissance anormalement faible est due à une compétition interplantes normale ou à un facteur limitant. L'analyse permet de dater l'événement dépressif et son importance. Les liens entre les composantes du rendement, les conditions de croissance et les stades de développement sont essentiels à connaître.

La simultanéité ou non, des étapes de croissance, doit être considérée. Si sans facteur dépressif le phyllochrone est relativement constant, il est différent du rythme de différenciation florale chez le soja par exemple (PIGEAIRE, 1985).

Les conditions de croissance et la croissance sont étudiées en même temps. La croissance est rapportée à la somme des degrés x jours (GESLIN, 1944), la vitesse de croissance s'exprime :

$$\frac{d(P_j)}{dt} = \alpha (\theta - \theta_0)$$

θ_0 étant la température de croissance nulle (le développement nul n'étant pas nécessairement observé à la même température).

La vitesse de croissance par degré-jour est fonction :

- des fournitures par le milieu : énergie lumineuse, eau, éléments minéraux;

- du peuplement végétal par l'intermédiaire des indices foliaires et racinaires. Ceux-ci résultent eux-mêmes, à une date donnée, de l'histoire du peuplement qui fixe aussi le nombre d'organes, donc de sites d'accumulation (les puits).

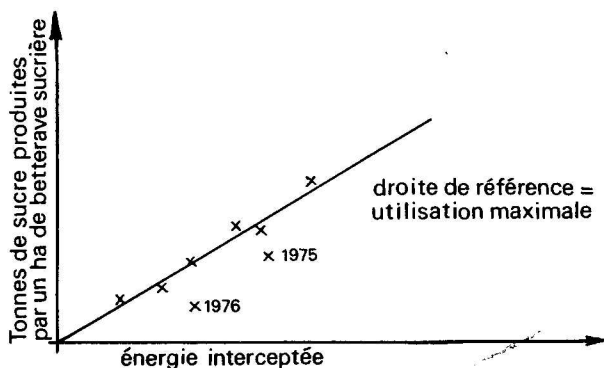
La croissance relative (RGR en anglais) traduit l'augmentation de poids pendant un temps dt par rapport au poids de la plante [RGR = $dP / (P \times dt)$]. Durant la phase exponentielle de la croissance RGR est constant ; durant la phase linéaire RGR est constamment décroissant. On définit ainsi une efficacité de la matière sèche. RGR exprime la variation du rapport surface captrice/surface massique.

$$\frac{dP}{P \times dt} = \text{Assimilation nette moyenne par unité de surface} \times \frac{\text{indice foliaire}}{P}$$

Pour utiliser ce moyen d'analyse il faut pouvoir aisément border les phases donc disposer d'éléments de diagnostic classique pour dater les événements. Les virages de couleur, s'ils se produisent, la teneur en eau, peuvent permettre de définir la fin d'accumulation de la matière sèche par exemple.

On peut aussi songer à exprimer le temps en phyllochrones ou plastochrones ; mais celui-ci n'est pas constant pour toutes les espèces selon les conditions de croissance. Des efficacités sont obtenues si les résultats de la croissance sont exprimés en fonction des facteurs de croissance. Les équations sont linéaires pour le rayonnement intercepté (figure ci-dessous) le rapport ETR/ETM. Elles sont plus complexes pour les éléments minéraux absorbés car

leurs teneurs varient. Les courbes sont des moyens puissants de diagnostic.



Influence de facteurs dépressifs (1975 : jaunissement, 1976 : sécheresse) sur la relation rendement en sucre de la betterave et énergie interceptée. (SCOTT et JAGGARD, 1978).

De même on peut définir des teneurs en minéraux seuils au-dessous desquelles des arrêts de croissance se produisent. Ceci a été réalisé pour l'arrêt du tallage du blé par exemple. Ces teneurs seuils sont alors d'utiles moyens de diagnostic.

L'étude des flux milieu - plante cultivée est aussi nécessaire. La structure du peuplement (J. MASLE, 1980) (structure géographique et structure des états de croissance et de développement des divers individus) joue sur la capture des facteurs de croissance.

On peut enregistrer à ce niveau les effets d'une hétérogénéité des états de peuplement et/ou du milieu. Par exemple F. TARDIEU (1984) a montré l'influence de l'hétérogénéité de répartition, due aux états structuraux du sol, de l'enracinement sur l'alimentation hydrique du maïs et les répercussions sur sa croissance. On manque malheureusement de techniques simples d'observations de l'enracinement.

Il n'y a donc pas d'analyse du rendement sans examen simultané et pertinent du milieu.

On peut espérer, à la suite des travaux en cours à la Chaire d'Agronomie de l'INA-PG :

1. piloter les cultures en utilisant les variables déjà recueillies en les complétant plus ou moins (observation du parasitisme par exemple) ;
2. établir des modèles permettant de prévoir le niveau potentiel des composantes du rendement (moyen de diagnostic) et l'effet des techniques culturales.

La modélisation permet d'aller plus vite à l'essentiel, de rechercher les variables charnières - donc pas nécessairement en grande quantité -. Certaines peuvent être obtenues en milieu contrôlé mais le contrôle au champ est indispensable. L'exemple des modèles existant sur blé (J.M. MEYNARD, 1985) montre comment, à partir d'un objectif de rendement, on peut bâtir différents itinéraires techniques fixant :

- les états du peuplement à atteindre aux différentes étapes : nombre d'épis, biomasse au début de la montaison ...

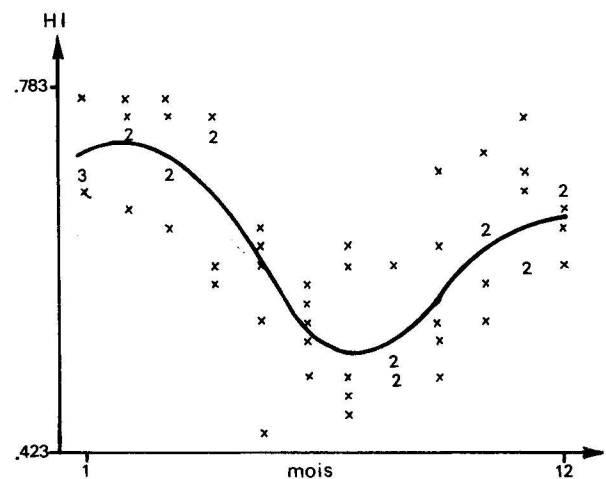


Fig. 9 • Indice de récolte (Côte d'Ivoire).

- les techniques à appliquer et leur date.

Ce sont des instruments très efficaces pour s'adapter aux circonstances économiques et aux caractéristiques des exploitations.

CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE L'ANANAS : TENTATIVE DE MODELISATION DES ETAPES

Au TIF : l'état de développement de la plante est un facteur déterminant du rendement ; le nombre de fleurs (yeux) et le poids de chaque oeil sont liés à cet état. Celui-ci représente un potentiel qui se réalisera en fonction des conditions de croissance pendant la phase de fructification. Les différentes étapes entre la plantation des rejets et la récolte des fruits ont été étudiées en dépouillant les résultats obtenus pendant 5 ans dans l'essai de plantations mensuelles réalisé à l'Anguédédou (Côte d'Ivoire). Les premiers résultats de ce travail de thèse de E. MALEZIEUX ont été présentés au cours de cette réunion. Le but du travail est de proposer des modèles explicatifs des différents stades du cycle de l'ananas en les reliant aux paramètres externes mesurés.

Croissance végétative.

En basse Côte d'Ivoire, les conditions de la reprise après la plantation paraissent avoir un effet déterminant. Pour des raisons évidentes de commodité, on a assimilé cette variable qui contient plusieurs composantes, à l'émission de feuilles au cours des deux premiers mois (toutes ces feuilles sont différenciées avant la plantation).

Celle-ci varie dans une gamme importante (3 à 8 feuilles) et semble sous l'influence d'une loi de température, sans qu'on ait pu encore expliquer son mode d'action. Les parcelles subissant un stress hydrique important après la mise en terre, s'écartent du modèle et prennent du retard.

Compte tenu de la forte stabilité du phyllochrone dans la suite de la croissance, le nombre total de feuilles au moment du traitement d'induction florale (TIF) à 8 mois lui est fortement lié avec $r = 0,79$ sur quatre années d'observa-

tions (48 parcelles). La liaison est bonne également avec le poids du plant ($r = 0,65$ au TIF et $r = 0,88$ à 4 mois) et la feuille D au même stade ($r = 0,58$).

Le nombre de feuilles émises entre 0 et 2 mois permet d'estimer l'état de croissance au TIF à 8 mois à 500 g près avec une probabilité de 95 p. 100. L'écart au modèle s'explique par le déficit hydrique, approché par la simple différence Pluie-ETP, avec son intensité, sa longueur et sa place dans le cycle. En éliminant les parcelles ayant connu les déficits les plus importants, on explique 60 p. 100 de la variabilité du plant au TIF avec $r = 0,77$.

Tout se passe donc comme si un retard acquis au départ était irrattrapable. Des facteurs limitants ultérieurs tels que le déficit hydrique, perturbent la croissance potentielle définie dès 2 mois.

Les composantes du rendement.

Le rendement d'une parcelle dépend de trois composantes :

- le nombre d'inflorescences, soumis à la densité de plantation, à la réussite de l'induction florale et l'homogénéité des plants dans la mesure où les petits fruits ne sont pas commercialisés.

- le nombre de fleurs par inflorescence qui correspond au nombre d'«yeux» (fruits élémentaires) du fruit,

- le poids de chaque «œil» du fruit.

Le nombre d'yeux du fruit est défini très tôt après l'induction florale. Il fixe un potentiel qui s'exprime en fonction des conditions de remplissage qui détermineront le poids de l'œil à la récolte.

Nombre d'yeux.

Le nombre de fleurs de l'inflorescence se détermine pendant la phase florale du méristème. Selon D. BARTHOLOMEW (1977) cette phase s'étend entre 7 et 34 jours après l'application d'éthéphon, dans les conditions de Hawaï. E. MALEZIEUX a cherché à établir un modèle de prévision du nombre d'yeux à partir de l'hypothèse d'un

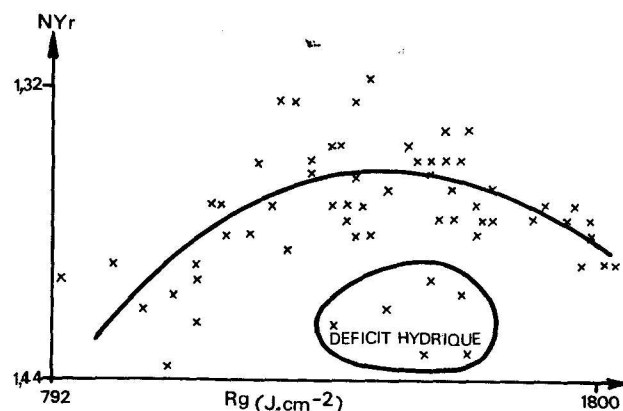


Fig. 10 • Efficacité florale et rayonnement global.

potentiel exprimé par le développement végétatif du plant au TIF et influencé par les conditions de croissance pendant la phase florale. Une telle relation a déjà été mise en évidence sur d'autres plantes : blé d'hiver, maïs.

En exploitant les résultats des moyennes de plantations mensuelles sur une durée de 5 ans, il propose :

$$NY = NY^*(1 - MV_0/MV)$$

où : NY^* = nombre maximal de fleurs de l'inflorescence
 MV_0 = poids minimal du plant au TIF pour produire un fruit.

Ce modèle est en accord avec diverses observations pratiques au champ et donne un coefficient de corrélation r de 0,72 en utilisant le poids du plant (au lieu de 0,52 en utilisant le poids de la feuille D). Cette relation indique la capacité de la plante au TIF à fournir les fleurs qu'on peut appeler efficacité florale. C'est une fonction décroissante de la matière verte. La qualité de la liaison varie selon les mois.

A certaines époques de l'année, d'autres facteurs jouent un rôle prépondérant. L'écart entre le nombre des yeux observés et prévus par le modèle est inférieur à 10 p. 100. Il est lié au rayonnement global reçu pendant l'activité florale du méristème. La liaison est de type parabolique avec un effet positif jusqu'à 1 300 J. cm⁻², un optimum entre 1 300 et 1600 J. cm⁻² et un effet dépressif au-delà. Les exceptions (6 sur 60) correspondent aux cas où la réserve utile du sol en eau était vide. Ces déficits hydriques sévères sont rares mais non exceptionnels en Côte d'Ivoire. On obtient une courbe équivalente avec la température sous abri. On peut parler d'optimum de rayonnement et de température sans pouvoir dissocier l'action de ces deux facteurs qui sont très liés. La température au niveau du méristème (cf. MONTEITH) n'a pas été mesurée et on ne peut que formuler des hypothèses.

Poids des yeux.

Sur les cinq années d'observation de plantations mensuelles, le nombre et le poids des yeux ont un poids similaire dans l'explication du poids moyen du fruit (respectivement r de 0,73 et 0,83). Ces deux composantes sont indépendantes ($r = 0,2$).

Le poids du fruit n'est pas corrélé à l'accroissement total du plant (fruit compris) entre TIF et récolte qui est pourtant lié aux variations de la masse foliaire ($r = 0,75$). Bien corrélé au poids du plant au TIF, le poids du fruit l'est beaucoup moins avec le poids des parties végétatives à la récolte. L'indice de récolte (rapport entre le poids du fruit et le poids total du plant à la récolte) traduit un état de régulation entre la demande globale du fruit fixé par son nombre d'yeux et les disponibilités du plant.

Le poids de l'œil traduit ce phénomène. Il résulte de l'équilibre entre l'activité photosynthétique du feuillage et le potentiel de remplissage venant des réserves du plant. Une augmentation du poids de l'œil traduit un supplément de photosynthèse par rapport à la demande ou une déficience de celle-ci par rapport à l'offre. L'effet source-puits dépend du rapport entre ces deux variables et pas seulement de l'importance de la source.

L'hétérogénéité des individus d'une même parcelle se traduit par une dispersion du poids des fruits, un étalement des dates de récolte, des indices de récoltes différents. Elle s'accroît au cours du temps mais des régulations apparaissent en même temps que d'autres sources d'hétérogénéité.

Qualité du fruit.

L'acidité est bien corrélée à l'indice de récolte ($r = 0,78$) qui exprime bien la variabilité climatique. Il semble donc que l'acidité dépende de l'intensité de mobilisation des réserves et de la dynamique de répartition des assimilats entre le fruit et les parties végétatives. Le rayonnement en fin de remplissage du fruit explique 68 p. 100 de la variabilité de l'acidité au cours de l'année.

L'extrait sec varie peu dans les conditions de Côte d'Ivoire. Le coefficient de variation est de 5 p. 100 sur 5 ans. Néanmoins, il est relié aux mêmes phénomènes que l'acidité qui a un effet négatif.

La durée de fructification semble liée aux conditions de croissance du plant. Les fruits récoltés les premiers sont ceux pour lesquels la croissance à tous les niveaux a été la plus importante (couronne, fruit, quantité photosynthétisée ...).

Modéliser les étapes de la croissance et du développement est également un thème de recherche à Hawaï. H. FLEISH de l'équipe de D. BARTHOLOMEW a cherché un modèle de développement de l'inflorescence en réponse à la température à partir d'observations réalisées pendant 2 ans en 9 sites différenciés. La phase allant jusqu'à la fin de l'épanouissement des fleurs est plus sensible à la température que la phase suivante allant jusqu'à la récolte. J.C. COMBRES avait fait des observations équivalentes en Côte d'Ivoire.

Un modèle multiphase permet d'obtenir une précision de 5 jours et même 2 jours dans la plupart des cas. Un modèle plus simple à une phase peut servir de prédiction pour le planteur, mais la précision n'est que de 10 jours pour l'intervalle TIF-récolte.

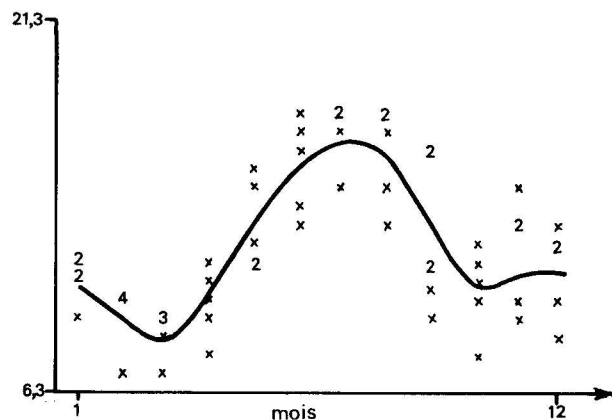


Fig. 11 • Acidité du jus (en meq/l).

Application pratique à la prévision des récoltes.

En Côte d'Ivoire, on plante et on récolte l'ananas toute l'année. Compte tenu de la variabilité inter-annuelle observée sur 5 ans, on a étudié la variabilité inter-mensuelle. Les mois à forte efficacité globale, de septembre à avril, se distinguent nettement de juin à août. La valorisation de la matière verte au TIF (MV) varie selon la saison.

Le modèle $PF = a MV + b$ doit être affiné en tenant compte de la saison, car la différence se fait à la fois sur le terme constant et sur la pente de la régression. On propose le modèle suivant :

$$PF = x (a MV + b)$$

où x est un coefficient saisonnier représentant un pourcentage d'efficacité de la matière verte au TIF. En définissant 4 saisons, on a expliqué 76 p. 100 de la variation du poids des fruits (PF).

Ce modèle permet au planteur de prévoir ses rendements ou le moment de l'induction florale. Ainsi en juin (saison des pluies), il faut un plant plus grand au TIF pour obtenir un fruit de même poids qu'en mars ; mais en plus, augmenter le poids du plant en juin sera moins efficace qu'en mars.