

CN010483

TD/MS
REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRI MATURE

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

SYNTHESE DES RECHERCHES EFFECTUEES SUR LE MIL
EN PHYSIOLOGIE VEGETALE
AU CNRA DE BAMBEY

Par

T. Diouf

Juin 1979

Centre National de Recherches Agronomiques
de Bambey

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

Je tiens à remercier Mlle Diop, MM Bèye, Chef du
Département AGROBIO, Ndoye, Diatta et Jean-Pierre Ndiaye pour
leurs conseils et critiques très avisés.

R E S U M E

L'autosuffisance alimentaire étant l'objectif principal du plan de développement rural, la recherche agricole pour atteindre ce but, s'est fixée pour tâche d'augmenter la productivité des produits agricoles notamment celle des céréales. Dans cette optique, des recherches ont été menées au Centre National de Recherches Agronomiques, de Bambey et malgré les difficultés techniques, les résultats obtenus présentent un grand intérêt scientifique. Ces recherches portaient sur la croissance, la nutrition minérale, carbonée et hydrique.

Pour mieux appréhender les questions posées, dégager les acquis et esquisser les perspectives, nous avons jugé devoir apporter dans cet exposé des références bibliographiques élargissant ainsi les discussions et permettant de tirer des conclusions objectives fondées sur des données scientifiques.

CROISSANCE DES MILS :

Les différentes phases de développement et leur durée ont été déterminées. Cependant la biologie florale nécessite une étude beaucoup plus approfondie car on n'a aucune information sur la longévité et la fertilité des pollens. On note une forte accumulation de matière végétative par rapport au grain ce qui limite le rendement.

NUTRITION MINERALE :

Les résultats de cette étude ont donné une bonne connaissance sur la cinétique, l'absorption et l'exportation des éléments minéraux par les rendements.

Elle a permis de déterminer les doses et les époques d'application des engrais : au semis, au démarrage et à la montaison.

L'accent a été mis sur le maintien du niveau de l'azote. Cependant bien qu'il entre dans la molécule biologique, son assimilation est conditionnée par autant de facteurs parmi lesquels on peut citer tout d'abord son rapport avec les autres éléments, les doses et formes, les conditions pédo-climatiques et les particularités biologiques des plantes,

Pour arriver à une meilleure optimisation de l'utilisation des éléments minéraux notamment le rapport NPK permettant de programmer les rendements, il convient d'associer le diagnostic foliaire avec le diagnostic du sol et le calcul des doses d'engrais à partir des exportations par les rendements.

Quant à l'étude de la phase d'installation, à notre avis elle aurait pu avoir plus d'intérêts si elle essayait de lier les réserves de la graine à la cinétique, à l'absorption et l'exportation des éléments minéraux, pour déboucher à une utilisation rationnelle des doses d'engrais.

NUTRITION CARBONÉE, ENERGIE LUMINEUSE, DENSITE CRITIQUE DE SEMIS

Le mil possède un grand pouvoir photosynthétique car faisant partie des plantes en C^{14} . L'étude sur les migrations a montré que seules les feuilles du tiers central et supérieur participent respectivement à l'élaboration de l'épi et à la formation du grain. Les feuilles très basses sont passives quant à la fourniture de substances aux grains et la question de leur utilité dans la productivité de l'épi a été posée. La non productivité de ces feuilles est due à un ombrage.

L'étude sur l'absorption de la radiation photosynthétique active a défini une énergie critique équivalente à 140 w que doit posséder la dernière strate foliaire au stade anthèse.

Une densité critique de semis a été formulée et se définit comme suit : la densité critique est une densité de semis telle que au stade anthèse, la dernière strate foliaire reçoive une énergie lumineuse, photosynthétiquement active, lui permettant de satisfaire son bilan énergétique en 24 h : photosynthèse - respiration nocturne = zéro.

En d'autres termes toute densité supérieure ou inférieure à la critique sera déficitaire ou excédentaire en énergie résiduelle ce qui entraînerait en conséquence une chute du rendement, Elle ne semble pas être confirmée car on observe une augmentation de rendement en cas d'excès ou de déficit énergétique.

L'absorption de l'énergie est liée à la structure géométrique de la plante (disposition des feuilles).

La structure verticale semble être plus avantageuse car les feuilles étant éclairées des deux faces conditionnent l'apparition de stomates, l'échauffement et l'évapotranspiration sont faibles, ce qui favorise une meilleure utilisation de la radiation photosynthétique active et du gaz carbonique.

D'autre part, l'utilisation de l'énergie lumineuse dépend de la composition spectrale du rayonnement, de la nutrition minérale et hydrique, de l'indice foliaire (surface foliaire projetée par unité de surface cultivée) et de la productivité de la photosynthèse.

Le rapport grain sur paille est dû jusqu'à une certaine mesure à une mauvaise répartition des assimilats entre les différentes organes et qu'une étude de "pompage" des photosynthats vers les grânes était nécessaire.

PHYSIOLOGIE DE LA RESISTANCE A LA SECHERESSE

Apparemment le mil souma est tolérant à la sécheresse, cependant le mécanisme de cette résistance n'a pas été decodé. Pour mieux cerner le problème de la résistance à la sécheresse et faire une analyse juste des acquis, nous avons jugé devoir partir des lois générales de la physiologie de la résistance à la sécheresse pour dégager les acquis et formuler les perspectives.

La période critique a été déterminée. Elle se situe au stade montaison-épiaison.

Avec les données fréquentielles de pluie, il est possible de situer les dates de semis pour que la période critique coïncide avec la tombée des pluies.

Les données de l'enracinement n'ont révélé aucune différence significative. Quant au rendement, les résultats obtenus présentent un grand intérêt mais ne permettent pas pour le moment de faire un criblage des matériels testés. Grâce aux données bibliographiques, on a une bonne connaissance des conséquences d'une déficience hydrique dans la vie de la plante. Il est retenu que la résistance des plantes à la sécheresse s'acquiert grâce à une haute viscosité et élasticité du cytoplasme, une liaison consistante du complexe pigment lipodo-protéique. A cet effet, il a été préconisé une méthodologie, le traitement thermique de trempage avec des sujets de recherche.

BIOCHIMIE DU MIL :

Ce volet a été introduit en vue d'aider les sélectionneurs à faire des criblages dans les matériels de sélection sur la base de caractéristiques biochimiques (teneur en protéine, amidon, acides aminés et nucléiques etc...) liées au rendement.

A la fin de cette synthèse des conclusions ont été tirées. Pour chaque aspect abordé des perspectives ont été dégagées et par priorité l'alimentation hydrique semble être plus urgente.

S O M M A I R E



	<u>Pages</u>
Introduction	1
I - CROISSANCE	1
- Feuillaison et tallage	2
12 - Mantaison	2
13 - Epiaison	3
14 - Floraison	3
15 - Fructification	3
16 - Maturation	4
17 - Principales phasos de développement des talles . .	4
II - NUTRITION MINERALE	6
21 - Absorption et exportation des éléments minéraux.	6
22 - Applications agronomiques	10
23 - Méthodes de détermination des besoins des plantes en éléments minéraux	13
231 - Le diagnostic des plantes en engrais aux champs	14
232 - Le diagnostic du sol	14
233 - Le diagnostic foliaire	14
234 - Calcul des doses d'engrais pour le rendement planifié sur la base des subs- tances nutritives exportées par les plantes	17
235 - Influence des différentes formes d'azote sur l'utilisation de ce dernier et des éléments P et K	19
236 - Influence du pH et des formes d'azote sur l'assimilation des éléments minéraux.....	20
24 - Etude de la croissance et de l'alimentation miné- rale du mil au cours des premiers jours de végé- tation	21
241 - Phase de pré-tallage	22
242 - Elaboration du rendement	23
2421 - Croissance d'un grain	23
2422 - Distribution des fécondations par épi et caractère d'épi	23
243 - Nutrition minérale de la phase de post- floraison.....	23
III - NUTRITION CARBONÉE	25
31 - Densité critique	25
311 - Détermination de la densité critique	26
312 - Vérification expérimentale - résultats....	27

IV	»	<u>ALIMENTATION HYDRIQUE</u>	40	
		41	»	Physiologie de la résistance à la sécheresse..	41
		411	»	Influence de la sécheresse sur Tes plantes	41
		412	»	Tolérance de la plante à l'échauffement..	42
		413	»	Période critique	43
»»	»	<u>BIOCHIMIE DU MIL</u>	46	
		51	»	Valeur alimentaire	47
VI	»	<u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	49	
VII	»	<u>PERSPECTIVES</u>	52	

.....

INTRODUCTION

L'économie du Sénégal repose essentiellement sur l'agriculture.

La production agricole représente la principale source d'existence de la majorité de la population active et du revenu national. L'autosuffisance alimentaire étant l'objectif principal du plan de développement rural, la recherche agricole pour atteindre ce but, s'est fixée pour tâche d'augmenter la productivité des produits agricoles notamment celle des céréales.

Le potentiel de production d'une espèce végétale est conditionné, en premier lieu par ses caractères génétiques qu'il importe de connaître et d'améliorer; mais les possibilités intrinsèques de production de la plante ne pourront être pleinement assurées que dans la mesure, où seront garanties au végétal toutes les conditions optimales de sa croissance.

L'air et ses constituants, la lumière et sa radiation, l'énergie solaire, l'eau et les éléments minéraux devront être fournis au végétal à la mesure de ses exigences que déterminent précisément ses caractéristiques génétiques, physiologiques et morphologiques.

Cette interdépendance des facteurs, leur nature souvent biologique et leur difficile contrôle en milieu naturel confèrent aux recherches agronomiques une complexité particulière et rendent toute amélioration étroitement dépendante d'une connaissance préalable suffisante de l'ensemble des facteurs à améliorer.

Dans cette optique des recherches ont été menées au Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey et malgré les difficultés techniques, les résultats obtenus présentent un grand intérêt scientifique.

I - CROISSANCE DES MILS

Le mil est une céréale dont les caractéristiques physiologiques générales sont encore mal connues alors que l'extension de cette culture en Afrique et aux Indes est importante.

Une première approche a été faite par Vidal (1963).

Sur la base des données biométriques, cet auteur a pu caractériser les principales phases de développement des mils.

Ces principales phases ressortent des mesures suivantes :

- Evolution de la hauteur des tiges (tableau 1);
- évolution du nombre de feuilles ;
- évolution de la répartition de la substance humide dans la plante (tableau 2).

Comme on a pu le constater, la dynamique des différents éléments de la croissance a permis de déterminer les phases successives :

- a/ - Feuillaison, tallage.
- b/ - Montaison.
- c/ - Epiaison,
- d/ - floraison.
- e/ - fructification.
- f/ - Maturation.

11 - feuillaison et tallage

Cette phase couvre sensiblement les deux premiers mois du cycle et SC caractérisée par la pré dominance du développement de l'appareil foliaire qui représente 50 p. 100 de la substance humide de la plante et 55 p. 100 de la substance sèche. L'importance relative des feuilles décroît légèrement à partir du vingt-cinquième jour alors que celle des tiges et des racines s'accroît sensiblement.

Le tallage débute très tôt, et le nombre définitif de talles (tableau 1) est atteint vers 60 jours. A ce stade, la plante se présente en tauffe feuillue compacte, d'où émergent l'extrémité de la tige principale et de quelques tiges secondaires,

12 - Montaison

Elle se situe entre soixante et quatre vingt-dix jours et se caractérise par un allongement internodal considérable des tiges et par l'apparition des dernières feuilles.

La tige, qui représente 43 p. 100 de la substance humide à soixante jours, en représente 62 p. 100 au stade fin montaison ; la représentation relative des racines s'accroît très légèrement tandis que celle des feuilles diminue et passe de 47 à 26,5 p. 100.

Par rapport à la substance sèche totale, la tige passe de 35 à 56 p. 100 durant, cette période tandis que s'enregistre une variation inverse des feuilles (55 à 32 p. 100).

Cette phase se termine par l'apparition de l'épi à l'extrémité de la tige au niveau de la dernière gaine.

13 - Epiaison

Le développement de l'épi débute à l'intérieur de la tige au cours de la montaison, mais ce n'est qu'après l'allongement internodal de la tige que la croissance de l'épi devient active.

Elle se situe entre quatre-vingt-douze et cent huit jours et durant cette phase l'épi apparaît à l'extrémité de la dernière gaine et acquiert son format définitif. Dès l'apparition de l'épi le nombre définitif de feuilles est atteint,

Durant cette phase végétative, par rapport à la substance humide totale, les racines ont une représentation relative qui passe de 11,3 à 6,9 p. 100, celle des tiges s'accroît très peu, 62,2 à 63,8 p. 100, celle des feuilles passe de 26,5 à 16 p. 100 tandis que l'épi représente déjà 15 P. 100 du total avec 4,4 p. 100 pour le rachis et 8,9 p. 100 pour les organes floraux.

14 - Floraison

Cette phase a fait l'objet d'une étude détaillée sur la biologie florale du mil faite par (Cojrioles, 1950).

Dès la complète apparition de l'épi se montrent, du sommet à la base, d'abord les stigmatos puis les étamines, la complète floraison de l'épi étant réalisée au stade cent huit jours.

La sortie des stigmatos s'étale sur quatre jours. Celle des étamines a un retard de quatre jours sur les stigmatos.

L'anthèse a lieu vingt quatre heures après la sortie. Le mil est nettement protogyne.

Les fleurs du quart supérieur de l'épi ne peuvent guère être pollinisées que par le pollen des fleurs de l'extrémité ou d'un autre épi. Les fleurs des trois quarts inférieurs de l'épi peuvent être pollinisées par celles qui sont situées au-dessus, mais elles peuvent l'être également par un pollen étranger.

Cojrioles (1950) constate que l'anthèse a lieu entre la levée du jour et 10h au plus tard, mais le pollen reste en suspension longtemps dans l'air par temps calme. Toujours selon l'auteur les stigmatos sont réceptifs à partir de 7h30 environ et peuvent le rester assez tard dans la journée.

15 - Fructification

Sous ce terme Vidal (1963) regroupe l'ensemble des phénomènes post-floraux comprenant le développement de l'ovaire, la nouaison, et la formation des graines.

Ensemble qu'étalée, cette phase peut être située entre cent huit et cent vingt quatre jours et conduit les grains à son stade de développement avancé mais de consistance encore laiteuse, ou plus ou moins pâteuse. A partir de la floraison, on note l'arrêt du développement des organes végétatifs au profit exclusif de l'épi.

Les représentations relatives, de la tige et des feuilles passent respectivement de 63,8 et 16 p. 100 à 57,1 et 13,6 p. 100, tandis que celles des épis va de 13,3 à 21,7 p. 100 de la substance humide totale, dont 18,1 p. 100 sont représentés par les organes floraux et les jeunes; graines. Par rapport à la substance sèche, l'épi représente 30,2 p. 100 tandis que les feuilles ne représentent que 16,8 p. 100 et les tiges 47,3 p. 100.

16 - Maturation des grains

Cette dernière phase conduit les grains du stade laiteux au stade durci et physiologiquement mûrs. Durant cette période, qui va de cent vingt quatre à cent cinquante jours, par rapport à la substance humide totale seule la tige accroît légèrement sa représentation, tandis que restent stationnaires celles des racines et des épis et que diminue encore celle des feuilles.

Il en est sensiblement de même pour la substance sèche, si ce n'est que l'on note une élévation de la représentation de l'épi tandis que celles de la tige et des racines restent stationnaires et que se réduit celle des feuilles.

L'épi représente 33,1 p. 100 de la substance sèche totale dont 3,5 p. 100 pour le rachis, 6,7 p. 100 pour les organes floraux et 22,9 p. 100 pour les grains.

17 - Principales phases de développement des talles

On retrouve chez les talles les phases du développement précédemment décrits. On note toutefois, en moyenne, une hauteur et un nombre de feuilles plus faibles et un léger décalage des différents stades que l'on peut estimer à huit à dix jours.

Afin de mieux comprendre les phénomènes agissant sur les termes du rapport paille/grain des mils pennisctum, Ramond, 1968 a étudié les liaisons entre le tallage, l'épiaison, la floraison, la hauteur des tiges et la surface de l'épi. Il a constaté sur deux variétés locales de mil, l'une hâtive le souna, l'autre tardive le sanio pour des dates de semis échelonnées que le tallage dans tous les cas démarre vers le treizième jour après le semis et s'arrête entre les trente cinquième et quarantième jours. Le nombre total de talles parues est très important, 25 à 30 pour la variété hâtive, 30 à 40 pour la variété tardive, mais seul le quart environ des talles parues donne un épi.

Après la floraison apparaissent des talles axillaires sur les tiges parasitées ou accidentées.

L'intervalle semis-floraison diminue pour des semis de plus en plus tardifs ; mais même pour la variété tardive, la floraison se produit de plus en plus tard. L'intervalle semis-fin tallage étant peu variable le raccourcissement du cycle en fonction de la date de semis provient principalement d'une diminution de l'intervalle fin tallage - début épiaison. La hauteur des tiges diminue régulièrement du premier au dernier semis ; elle est attribuable à une diminution du nombre d'entre-nœuds et non de leur hauteur moyenne.

La surface de l'épi est variable, mais elle est sous la dépendance d'autres facteurs que la date de semis. Le rapport paille/grain diminue lorsque les semis sont effectués de plus en plus tardivement.

L'étude de la croissance a permis de connaître les différentes phases de développement du mil et la dynamique de la matière sèche au cours du cycle végétatif. Cependant elle n'a donné aucune information sur la longévité et la capacité de fécondation des pollens.

D'autre part, la formation de la matière sèche des plantes est le résultat de la photosynthèse. Dans ce processus on peut retenir dans la croissance deux facteurs importants pour l'élaboration des rendements.

1/ - La formation d'un nombre limité de feuilles possède une grande surface foliaire. Il est clair que toutes les plantes n'ont pas la même surface foliaire, mais pour les céréales elle oscille entre 20 et 30.000 m²/ha.

2/ - L'intensité et la productivité de la photosynthèse. Si la photosynthèse est représentée par la matière sèche, sa productivité peut être exprimée par la quantité de matière sèche formée par unité de surface foliaire et de temps.'

Cette valeur est très expressive dans l'élaboration des rendements.

II - NUTRITION MINERALE

La théorie de la nutrition minérale des plantes a commencé à se développer à la première moitié du 19^e siècle et jusqu'à ce jour elle reste parmi les théories les plus actuelles. Cela s'explique par la complexité du processus de nutrition de l'organisme végétal, le grand intérêt qu'il lui donnent les chercheurs comme processus à l'aide duquel on peut agir sur la plante, ses propriétés et sa productivité.

Le mécanisme de l'absorption des ions du sol par les racines reste le plus complexe dans la théorie de la nutrition minérale du fait de la diversité des conceptions de différents auteurs.

Le sol contient tous les éléments indispensables, mais leur accessibilité dépend des particularités biologiques de chaque plante. Sous l'action des facteurs climatiques, les plantes, les micro-organismes du sol s'enrichissent des différentes formes de substances minérales.

L'augmentation de la fertilité s'obtient grâce à l'action de l'homme par l'apport d'engrais, la mécanisation, l'irrigation et d'autres techniques.

Les plantes ont besoin de macroéléments azote, phosphore, potassium, calcium, soufre, magnésium, fer et de microéléments - manganèse, bore, cuivre, zinc, molybdène, cobalte, iode et du fluor. Les différentes plantes ont des exigences différentes on éléments minéraux et réagissent en conséquence différemment selon les conditions du milieu. Ces exigences dépendent des particularités génétiques et des facteurs du milieu.

On a une assez bonne connaissance des exportations de cette culture et des mobilisations au cours du cycle, avec notamment les travaux de Vidal qui a étudié d'une façon très détaillée la cinétique d'absorption et de distribution des éléments minéraux chez le mil.

Dans ce chapitre seront données les quantités d'éléments minéraux absorbés par la plante aux différents stades et exportés par la récolte. Cet acquis a retenu notre attention et à notre avis il présente un grand intérêt agronomique.

21 - Absorption et exportation des éléments minéraux

• Azote . absorption : Au stade récolte, on enregistre 68,6 kg/ha d'N pour l'ensemble de la touffe.

Par quintal de matière sèche produite la touffe a mobilisé 0,77 kg d'azote.

Par quintal de grain récolte la touffe a absorbé 4,30 kg d'N.

• Exportation d'azote par le rendement : Sur la base d'un taux d'utilisation de 4 kg d'N par quintal de grain, le mil aura besoin de 40 kg d'N pour assurer une production de 1.000 kg de grain.

Ca quantité d'N mobilisé Par la touffe croît régulièrement jusqu'à la floraison (cent huit jours), on observe un Palier pendant la fructification jusqu'au stade laiteux et une forte absorption par la suite.

Au stade épiaison, la touffe a absorbé 30 kg d'N, soit 50 p. 100 environ du total. On note également des pertes par lessivage d'N minéral allant de 20 à 30 kg/ha.

P_2O_5 - Absorption : Au stade récolte, on enregistre 31,3 kg/ha pour la touffe,

Par quintal de matière sèche produite, la touffe a mobilisé 0,35 kg. Par quintal de grain récolte la touffe a absorbé 1,98 kg.

- Exportations par les rendements : Par quintale de grain récolté, une récolte de 1.000 kg de mil grain exporterait 18,5 kg de P_2O_5 .

L'absorption de P_2O_5 par la touffe est surtout importante du la montaison à la floraison où elle atteint 24 kg/ha. On enregistre une perte de P_2O_5 de la floraison au stade laiteux, cette perte se retrouvant dans les talles seulement, puis une reprise de l'absorption essentiellement limitée à la tige principale.

SO_4

Absorption : Ru stade récolte la touffe renferme 25,8 kg/ha.

Par quintal de matière sèche produite, la touffe utilise 0,29 kg de SO_4 .

Par quintal de grain produit la touffe a absorbé 1,62 kg de SO_4 .

Exportation : La production de 1.000 kg de mil exporterait 15 kg/ha de SO_4 . On note une perte de SO_4 au cours du stade post-floraison et une faible absorption on fin de cycle.

K_2O

Absorption : Au stade récolte, la touffe renferme 37,7 kg/ha. Par quintal de matière sèche produite, la touffe a absorbé 0,42 kg. Par quintal de grain produit la touffe a mobilisé 2,37 kg/ha. Contrairement aux éléments, NPS, la potasse serait relativement bien utilisée par le mil;

Exportations : Une production de 1.000 kg de grain récolté exporterait 21 kg de K_2O .

L'absorption de K_2O par la touffe est régulière jusqu'au stade grain laiteux et décroît par la suite.

Elle est plus importante en début de cycle que vers la fin sur 37 kg la touffe a absorbé 25 kg dès la fin montaison. L'absorption de K_2O évolue de façon analogue dans la tige principale et dans les talles jusqu'au stade grain laiteux, par la suite l'absorption par la tige principale se poursuit aux dépens des talles.

CaO

Absorption : En fin de cycle, les quantités de CaO absorbées s'élevaient à 40,4 kg pour la touffe. Par quintal de matière sèche produite la touffe a absorbé 0,49 kg. Par quintal de grain Produit la touffe a mobilisé 2,54 kg.

Exportations : Une production de 1.000 kg de mil grain exporterait 25 kg de CaO.

MgO

Absorption : Au stade récolte, la touffe a absorbé 62 kg. Par quintal de matière sèche produite la touffe a utilisé 0,70 kg.

Par quintal de grain récolte, la touffe absorbe 3,90 kg.

Exportations : La production de 1.000 kg de mil exporterait 37,8 kg/ha de MgO.

L'absorption de MgO est pratiquement nulle de cent huit à cent vingt quatre jours, elle est forte de la montaison à la floraison (25 kg/ha) et plus forte encore on fin de cycle : 27 kg du stade laiteux à la récolte.

Le rapport paille/grain élevé paraît être la cause de cette mauvaise répartition des éléments minéraux. Les éléments anioniques sont absorbés quantitativement dans l'ordre décroissant NPS ; tandis que les éléments cationiques le sont dans l'ordre Mg, Ca, K. En résumé pour une production de 1.000 kg de grain la plante exporterait :

43 kg d'N	16,2 kg de SO ₄	25,4 kg de CaO
19,8 kg de P ₂ O ₅	23,7 kg de K ₂ O	39,0 kg de MgO.

L'évolution de la teneur en éléments minéraux des différents organes a montré que la répartition des éléments varie suivant le stade physiologique de la plante et la nature de l'élément. Dans la tige principale durant le développement végétatif de la plante et jusqu'à l'épiaison, l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium ont tendance à s'accumuler dans les feuilles tandis que le magnésium s'accumulerait dans les tiges et le soufre dans les racines.

De l'apparition de l'épi au stade laiteux, N, P, et K, s'accumulent fortement dans l'épi, mais tandis que N et P s'accumulent dans les grains, K s'accumule dans le rachis et les organes floraux. Ces accumulations résultent d'un appauvrissement parallèle des feuilles et de la tige, particulièrement marqué dans les feuilles pour P et K. Durant cette période, S se répartit comme la matière sèche tandis que Ca et Mg s'accumulent dans les feuilles, le phénomène étant toutefois plus marqué pour Ca que pour Mg.

Du stade laiteux à la récolte, les accumulations se poursuivent ; N dans les grains, K dans le rachis et les organes floraux, P, S, Ca et Mg essentiellement dans la tige. Dans les tiges, les mêmes phénomènes d'accumulation se retrouvent mais se différencient à partir du stade laiteux et jusqu'à la récolte. Durant cette période, l'accroissement de la représentation de la matière sèche des feuilles entraîne une accumulation de N et K; Ca dans les feuilles ; aux dépens de l'épi pour N et K, de la tige Pour Ca, tandis que l'accumulation de Mg se poursuit dans la tige.

Les résultats de l'analyse chimique de la plante montrent que si les besoins hydriques sont satisfaits, l'absorption de l'azote conditionne la croissance du mil au long de son cycle végétatif.

A chaque stade végétatif l'azote conditionne en premier lieu la croissance de l'organe, dont la prédominance du développement caractérise le stade. Si dans la touffe plusieurs phases physiologiques se superposent à un moment donné, c'est la partie du végétal qui présente la phase de développement la plus intense qui satisfait en priorité ses besoins nutritionnels.

La croissance de la plante et de chacun de ses organes, au cours des différents stades conditionne à son tour l'absorption des éléments P et S dans des proportions relatives correspondant aux besoins de l'organe bénéficiaire définis par sa composition anionique spécifique.

L'absorption de K est également conditionnée par la croissance du végétal, mais la possibilité d'une très forte intensité d'absorption en début de cycle et de migrations ultérieures permet à la plante d'acquiescer très vite les quantités de potassium qui seront nécessaires au développement de ses futurs organes,

L'absorption de Ca et Mg est liée à la croissance mais aussi à l'absorption du K, un déficit de la nutrition potassique entraînant une absorption accrue d'alcalino-terreux.

Les phénomènes de migration des éléments N, P, S et K des organes végétatifs vers l'épi sont conditionnés par la qualité de la nutrition de la plante en ces éléments et Par l'importance du développement de l'épi et des grains.

La composition moyenne de l'ensemble des feuilles ne peut dans ces conditions fournir aucune indication valable de l'état nutritionnel de la plante ; à un stade de développement donné, seuls les organes en cours de croissance peuvent Fournir une telle indication.

Après avoir examiné les caractéristiques générales de la croissance et de la nutrition minérale des mils, l'auteur a cherché leur confirmation par la méthode du diagnostic foliaire.

Les résultats obtenus ont montré que la deuxième feuille sous épi prélevée au stade floraison reflète au mieux par son développement et sa composition minérale, le développement et la nutrition de l'ensemble de la plante et de l'épi en formation.

22 * Applications agronomiques

De nombreuses techniques traditionnelles ont pu trouver dans les principes dégagés quelques fondements scientifiques et de précieuses explications.

L'accroissement de la densité réduira les risques d'un tallage relativement excessif, mais aggravera ultérieurement les déficits éventuels de la nutrition hydrique ou minérale. La technique traditionnelle éprouvée, qui consiste à conserver trois plants par paquets, bien que surprenant à première vue, trouve son fondement dans la nécessité d'une limitation du tallage. La présence de trois plants en un même point contribue, en effet, à réduire momentanément la quantité d'azote disponible pour chacun d'eux et favorise l'extension latérale et en profondeur du système racinaire,

L'influence des facteurs pédoclimatiques sur la nutrition et la production des mils a pu être analysée, précisée et chiffrée sur la base d'un indice bioclimatique annuel hautement corrélatif des rendements et confirmé sur deux années d'observations.

Les résultats de cette étude ont permis à Vidal (75'63) de déceler les caractéristiques suivantes que devront présenter les pluies :

- 1/ - Précipité maxima
- 2/ - Abondantes pendant les vingt premiers jours du cycle pour favoriser une émission rapide des tiges.
- 3/ - Réduites aux besoins des plantes et des tiges existants, pendant une dizaine de jours, pour stopper l'émission des tiges malgré de bonnes ressources azotées.
- 4/ - Abondantes ensuite jusqu'au début de la montaison pour favoriser le développement radial des tiges et une utilisation maxima des ressources minérales (N et K surtout).
- 5/ - Limitées aux besoins de la plante et à la saturation du profil pendant la montaison.
- 6/ - Limitées aux besoins de la plante pendant l'épiaison, mais suffisantes pour parfaire la saturation si celle-ci n'a pas été réalisée au cours de la phase précédente.
- 7/ - Ne pas dépasser les pertes par évaporation de la floraison à la récolte pour ne pas gêner l'utilisation des solutions enrichies si tuées en profondeur.
- 8/ - Pour l'ensemble du cycle, le total pluviométrique devra correspondre à l'évapotranspiration globale et à l'annulation du déficit hydrique initial.

La nécessité d'un enrichissement des sols en matière organique et en éléments P et K, très souvent déficitaires, a été soulignée ainsi que les possibilités d'apports annuels de fumures azotées.

Sur ces bases a été établi un programme d'expérimentations, élargi aux différentes zones du Sénégal, et visant à confirmer, outre les données théoriques, les possibilités réelles d'amélioration de la production des mils au Sénégal.

Los résultats des essais multiflocaux ont apporté une excellente confirmation à ce travail, ils ont en effet, démontré que la fertilisation azotée pouvait assurer une meilleure utilisation des ressources hydriques et conduire rapidement et économiquement les rendements au voisinage de 2.000 kg/ha si les fournitures phosphatées et potassiques étaient par ailleurs normalement assurées.

Ces essais ont également permis à l'autour de formuler concrètement des recommandations de doses d'engrais ainsi que les époques d'application.

Pour un sol Dior Vidal recommando 50 kg/ha d'azote, 100 kg/ha pour les sols Deck. Quand aux périodes d'application, il suggère un fractionnement des doses. pour les sols Dior au semis et le 20 août, pour les sols Deck au semis le 1er août, le 1er septembre. Ce qui correspond sans doute au système d'engrais actuel au semis, demariage, montaison.

Malgré ces résultats obtenus et qui sont fort intéressants, il faut souligner l'absence de données sur les caractéristiques chimiques des sols. On voit quelques estimations sur la teneur globale des éléments et leur forme échangeable ou assimilable, mais ne reflétant pas leur dynamique. On ne voit pas de relations entre le diagnostic foliaire, la teneur des éléments dans le sol et les doses d'engrais.

Ce travail est une étude classique et nous permet de dégager les principes généraux de la nutrition minérale. La teneur des substances nutritives dans les plantes n'est pas constante et change avec le temps essentiellement.

En général la plus grande quantité de substances minérales s'observe au bas âge de la plante. Par la suite, la concentration des éléments chimiques dans les organes diminue progressivement.

Ce phénomène évidemment s'explique par de nombreuses raisons : avant tout d'abord, l'absorption et l'utilisation des éléments indispensables à la plante représentent deux processus différents qui ne se passent pas toujours parallèlement et en même temps, de ce fait il n'est pas exclu l'accumulation excessive de ces éléments.

Ainsi l'entrée intensive de l'azote dans les plantes avant la formation de la graine devance le rythme de son utilisation pour la formation nouvelle des tissus.

A la suite de cela, il se crée une réserve de l'élément donné, laquelle plus tard sera utilisée partiellement en qualité de magasin pour la formation des organes reproducteurs. Sur la teneur de tel ou tel élément dans la plante peut influencer aussi la présence d'éléments accessibles à la plante se trouvant dans les composés du sol, le rapport, des ions dans la solution du sol et le phénomène de synergisme ou d'antagonisme.

La présence de données expérimentales relatives à la dynamique et à l'accumulation par organe des éléments minéraux sort de critères de base nécessaires pour estimer les besoins des plantes en éléments minéraux et fonder le rapport d'optimisation entre l'azote, le phosphore et le potassium: dans les engrais composés, et complexes tout en tenant compte aussi des possibilités de la plante d'obtenir des éléments minéraux à partir du sol.

Ainsi pour mieux appréhender le problème de la nutrition minérale, il faut lier les analyses des plantes par organe et par phase de végétation aux analyses du sol. Cela permettra de faire le bilan des éléments et partant établir les doses d'engrais tout en tenant compte des coefficients d'utilisation des éléments minéraux par les plantes dans le sol, dans les engrais minéraux et organiques.

Pour le maintien du niveau de fertilité et surtout ci:; l'azote, Vidal recommande l'utilisation des engrais organiques, Pour le fumier, il est traditionnellement utilisé en milieu paysan et son effet positif a déjà fait ses preuves.

S'agissant de l'enfouissement de la paille comme engrais organique dans le but d'augmenter la fertilité et les propriétés des sols, je dois souligner que cette technique culturale est utilisée dans beaucoup de pays et mérite une attention particulière. L'utilisation de la paille en qualité d'engrais présente un intérêt à caractère agronomique et économique. Tout d'abord l'assurance du sol en substances organiques, l'amélioration de son complexe abondant et de ses propriétés hydriques, diminution de dépenses inutiles pour le déchaumage, le transport, les charges et décharges de la paille ou stockage,

Il faut noter que l'action de la paille enfouie aussitôt après la récolte sur le rendement de la culture suivante se détermine par le coefficient de décomposition atteint au début de la prochaine végétation. La durée et la vitesse de décomposition de la paille dépend du type de sol, de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, des conditions climatiques, du type et de la composition du matériel utilisé, surtout du rapport C/N, de la technique et du temps d'enfouissement.

La paille des céréales se caractérise par un haut rapport C/M (80-100/I). A la suite d'une déficience d'azote dans la paille pour satisfaire les besoins des micro-organismes, la décomposition s'arrête rapidement. Pour l'accélération du processus de décomposition de la paille et remédier à son action dépressive sur le rendement, il est nécessaire d'ajouter de l'azote minéral, lacérer la paille avant de l'enfouir. Dans les zones sèches, il est recommandé d'enfouir la paille coupée en petits morceaux aussitôt après la récolte pendant que le sol est encore humide.

En ce moment là, les conditions sont très favorables pour une décomposition rapide.

Sans pour autant nous étendre là-dessus, nous tenons néanmoins à noter que la transformation de la paille dans le sol dépend de plusieurs facteurs notamment le milieu extérieur détermine par le type de sol et le climat surtout l'humidité, la température, le pH du sol, la teneur en oxygène et des substances nutritives et aussi des composantes de la paille.

En général le coefficient de décomposition se mesure par le rapport C/N et C/P.

Des expériences ont montré qu'en enfouissant la paille lacérée à la dose de 100 q/ha plus 70 kg/ha d'engrais azoté, la matière organique au cours de huit mois avec une température de 21°C s'est décomposée de 74,3%. Le coefficient de décomposition sans apport d'azote représentait 70,6%.

Dans un essai de cinq semaines de décomposition de résidus de feuilles et de tiges de maïs on a pu mettre en évidence un rapport de C/N = 39-76, ce qui représente un coefficient de décomposition de 34-42%. L'addition d'azote minéral à raison de 0,5-1,5% du poids de paille a accéléré le processus de décomposition de 15 à 20%.

Certains auteurs communiquent: quo pour un rapport C/P égal à 150-200/1 dans la matière organique il y a une possibilité de décomposition sans crainte. Pour une teneur de 0,2-0,3% de phosphore dans la paille on peut ne pas craindre une liaison biologique du phosphore du sol.

Si pour les pailles des céréales il est admis une teneur moyenne de phosphore de 0,25% (=0,11% P) donc une teneur de carbone de 40% dans la paille le rapport C/P sera de 350-400/1.

Sans risques de non décomposition avec une dose de 50 q/ha de paille on peut ajouter une dose de phosphore de 10-15 kg/ha P_2O_5 .

De ce qui suit on note que la décomposition et l'assimilation des substances nutritives de la paille dépendent aussi de la présence de ces mêmes éléments dans le sol.

23 . Méthode de détermination des besoins des plantes en éléments minéraux

Quant au diagnostic foliaire - méthode utilisée par Vidal (1963), pour la détermination des besoins en éléments minéraux des plantes il faut souligner que cette méthode présente beaucoup d'avantages,

Le diagnostic foliaire permet à l'aide d'une échelle des concentrations des éléments de faire des corrections de nutrition au cours de l'évolution de la plante.

Cependant à côté de cette méthode, il existe différentes méthodes pour la détermination de tels besoins. Parmi elles on peut citer :

- 1/ - Le diagnostic des plantes ou engrais aux champs.
- 2/ - Le diagnostic du sol (analyse du sol),
- 3/ - Le calcul des doses d'engrais à partir des exportations par le rendement etc...

231 - Le diagnostic des plantes en engrais aux champs

Cette méthode nécessite un essai au champ qui peut comporter plusieurs variantes.

Cet essai permet d'éclaircir le rôle de certains éléments **minéraux** dans l'augmentation du rendement.

Le schéma de cet essai peut comporter cinq à huit variantes

2 - - Témoin NP	1 - T	6 - PPI
3 - NK	2 - Témoin	7 - PK
4 - PK	3 - P	8 - NPK
5 - NPK	4 - K	

De même pour éclaircir le rôle des autres éléments il faudra ajouter une variante composée de la nutrition complète et de l'élément à étudier. Exemple NPK + Mg, NPK Mg + B, etc...

232 - Le diagnostic du sol ou analyse chimique est la méthode la plus répandue dans 10 monde. Cette méthode permet d'établir un cartogramme des éléments minéraux de chaque type de sol, l'acidité, la teneur en humus et la granulométrie.

233 - Le diagnostic foliaire

Ces dernières années cette méthode est utilisée dans beaucoup de pays.

Entre le rendement et l'efficacité des engrais d'une part et la composition chimique des feuilles d'autre part, il existe une liaison étroite. Il est important de savoir la teneur optimale de l'azote dans les feuilles qui pourrait pourvoir un haut rendement. Une haute teneur (teneur supérieure à l'optimale) se traduirait par une utilisation excessive de l'élément par la plante.

Cependant, plus la concentration est petite, plus la déficience est plus forte et le rendement est bas.

Le diagnostic foliaire reflète la complexité de la nutrition et caractérise le degré de pourvoir des plantes en éléments nutritionnels dans des conditions concrètes.

Les résultats d'analyses obtenus dans les premières phases de développement de la plante peuvent être utilisés pour la recommandation d'une fumure de couverture.

Les résultats d'analyses des phases tardives sont nécessaires pour la programmation des engrais pour l'année à venir. Le diagnostic foliaire peut donc être utilisé pour la résolution de certains problèmes pratiques et scientifiques, liés à l'utilisation des engrais comme par exemple :

1/ - La détermination des besoins des plantes en engrais. Il est connu que la fertilité du sol ne se détermine pas seulement par la présence et le rapport des substances nutritives accessibles aux plantes. La réaction du sol, ses propriétés physiques, sa teneur en matière organique, la concentration des sels dans la solution, la structure et la composition de la couche arable, les processus

microbiologiques, l'agrotechnie, les conditions climatiques et sa capacité d'assurer aux plantes leurs besoins en éléments nutritionnels sont autant de facteurs qui ont une action très significative.

Le diagnostic: foliaire au cours de la croissance des plantes reflète la somme des actions de toutes les conditions, caractérisant ainsi la fertilité du sol, l'accessibilité physiologique des substances nutritionnelles d'un lieu donné.

En analysant les feuilles il faut connaître le niveau critique de la teneur des éléments de nutrition aux différentes phases de développement des plantes.

Si les analyses s'effectuent au début des phases de développement des plantes, les déficiences nutritives peuvent être corrigées par une fumure de couverture. Si maintenant les résultats d'analyses sont obtenus en fin de végétation, ils peuvent être utilisés pour la précision du système des engrais des cultures prochaines à semer dans un champ donné.

2/ - La vérification de l'action des engrais apportés en fumure de couverture.

Si ces engrais sont accessibles aux racines, ils peuvent influencer non pas seulement le rendement mais aussi l'augmentation de la concentration des substances correspondantes dans les plantes.

3/ - La vérification du système des engrais élaboré sur la base des données des essais aux champs et de l'analyse du sol.

Les données de l'analyse des plantes au cours de leur croissance permettent d'apporter des corrections au système d'engrais choisi pour certains champs et assurer une meilleure utilisation des engrais.

4/ - La détermination de l'exportation des substances nutritives par les plantes du sol. Ces données caractérisent les besoins de différentes plantes en substances nutritives pour l'obtention d'un rendement déterminé et s'utilisent pour les calculs liés à la programmation des engrais. Pour évaluer les exportations des substances nutritives, on effectue la détermination totale des éléments dans les grains et dans la paille.

5/ - Appréciations de certaines techniques culturales (travail du sol, densité de semis, assolement) et leur influence sur l'absorption des éléments de nutrition par les plantes.

6/ - Mise en évidence de l'interrelation entre les éléments minéraux chez certaines cultures dans différentes conditions pédo-climatiques. Sur cette base s'éclairciront les particularités biologiques de nutrition de certaines variétés de plantes et se précifera le système des engrais de différents champs.

7/ - Etude de l'efficacité de certains types et formes d'engrais sur la qualité de la production.

8/ - Elaboration d'un système d'engrais de nouvelles variétés de plantes sur la base d'étude de leur composition chimique.

Les résultats; de l'analyse chimique des plantes aident à éclaircir les particularités d'absorption par les nouvelles variétés des substances nutritives du sol et des engrais.

9/ - Dans les essais pour l'obtention de hauts rendements on utilisant un complexe de dispositifs agro-techniques, irrigation avec des traitoments comportant plusieurs niveaux de fumure NPK équilibrés.

Les résultats du diagnostic foliaire d'un essai comportant plusieurs facteurs peut mettre en évidence l'interaction entre les techniques agricoles et l'absorption des éléments par les plantes, base à partir de laquelle on peut fixer justement la composition des engrais.

10/ - L'explication des résultats des essais aux champs avec les engrais ou d'autres techniques agricoles et l'éclaircissement des raisons des efficiences inégales sur le rendement. Si dans les essais aux champs on connaît l'action finale de l'engrais sur le rendement, par contre on ne connaît pas la réponse des phénomènes liés à la transformation des engrais dans le sol, à l'utilisation de la substance nutritive et son action sur les processus biologiques dans la plante. Si dans un essai au champ, l'action d'un type d'engrais sur le rendement s'est avérée insignifiante, cela ne veut pas dire que la plante est pour autant pourvue de cet élément en quantité suffisante dans le sol,

Dans certains cas l'engrais n'agit pas positivement à la suite d'une faible dose de l'engrais pour ces conditions pédo-logiques ou une déficience d'un autre élément limitatif. Ainsi les données de l'analyse des plantes aident dans ces conditions à éclaircir les raisons de l'absence de, l'effet de l'engrais et permettent de préciser les dispositions à prendre pour un essai correct.

11/ - La détermination de la composition minérale des fourrages utilisés en zootechnique. La déficience des substances minérales dans les rations provoque des maladies chez les animaux, une diminution de leur productivité, une aggravation des fonctions de multiplication, des dépenses excessives de fourrage pour la formation de la production (poids vif). La présence de certaines substances en excès aussi peut avoir un effet négatif sur la santé et la productivité des animaux,

12/ - La détermination des maladies des plantes provoquées par la déficience et l'excès de différents éléments minéraux. D'une façon générale le travail présenterait beaucoup plus d'intérêt si le diagnostic foliaire était associé aux analyses du sol donnant ainsi toute la lumière sur les interactions entre le sol et la plante.

En résumé l'analyse chimique des plantes peut largement être utilisée pour la résolution de certains problèmes théoriques et pratiques liés à l'utilisation des engrais et des techniques culturales. Cependant le diagnostic foliaire serait plus complet si on l'associait à d'autres méthodes telles que les analyses du sol et les observations phénologiques. Une étude complète de la dynamique de la croissance des plantes, leur aspect extérieur (phénologie), la teneur des éléments dans le sol et dans les plantes, des processus biochimiques dans la plante, des processus biologiques et chimiques dans le sol etc... permettent de faire une approche

234 - Calcul des doses d'engrais pour le rendement planifié sur la base des substances nutritives exportées par les plantes.

Chaque culture en fonction de son niveau de rendement exporte du sol une quantité déterminée des substances nutritives. Connaissant la teneur des substances nutritives dans le sol et l'exportation de ces éléments par les plantes on peut calculer les doses d'engrais du rendement planifié. Supposons que nous voulons planifier le rendement d'une culture à 30 q/ha et que pour les années passées avec cette même culture nous avons obtenu 18 q/ha. La différence entre le rendement planifié et le rendement réel constitue 12 q. Une telle augmentation du rendement il faut le pouvoir en engrais. Si on connaît les coefficients d'utilisation des éléments minéraux par les plantes on peut calculer la quantité d'engrais.

Admettons que la plante utilise en moyenne des engrais azotés 60-65 %, 20 % des engrais phosphatés et 70-80 % des engrais potassiques (sous entendu des doses).~

On sait aussi que les exportations de cette culture en substances minérales en tonne de matière produite sont :

N = 35, P₂O₅ = 10, K₂O = 24,

Pour une augmentation du rendement de 1,2 t cette culture exportera les quantités suivantes :

- azote	1,2 x 35	=	42 kg
- Phosphore	1,2 x 10	=	12 kg
- Potassium	1,2 x 24	=	28,8 kg.

Connaissant les coefficients d'utilisation des éléments dans les engrais par les plantes on peut calculer les doses d'engrais.

Azote	=	$\frac{42 \times 100}{65}$	64	kg
Phosphore	=	$\frac{12 \times 100}{20}$	60	kg
Potassium	=	$\frac{28,8 \times 100}{70}$	41	kg.

Il faut noter que l'exemple cité ci-dessous considère que la formation du rendement se réalise à l'aide de trois éléments (NPK). Il est donc incomplet. Pour une précision exacte des doses d'engrais en pratique on tient compte des données des cartogrammes agrochimiques sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, de la teneur de ces éléments dans les résidus de récoltes, les semences, des coefficients d'utilisation de ces éléments dans les engrais minéraux et organiques, dans le sol, de la teneur des éléments dans les engrais, de l'effet direct et résiduel, des données du cartogramme sur la teneur des éléments dans les sols, la densité de la couche arable considérée.

Exemple de calcul de dosas NPK pour un rendement planifié de blé sur la base des exportations

	B L E		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 - Rendement planifié	40 quintaux par hectare		
2 - Exportations kg/ha	130	46	80
3 - Teneur des éléments dans la couche arable (mg/100 g du sol)	12	12	15
4 - Présence d'éléments assimilables dans la sol kg/ha	360	360	450
5 - Coefficient d'utilisation des éléments du sol %	25	10	15
6 - Utilisation des éléments du sol kg/ha	90	36	67,5
7 - Quantité d'engrais minéraux à apporter. (2) - (6)	40	10	12,5
8 - Coefficient d'utilisation des éléments des engrais %	60	25	60
9 - Nécessite d'apporter des éléments sous 10 rendement planifié en tenant compte du coef. d'utilisation des engrais kg/ha	66,7	40	20,8
10 - Teneur de la substance active dans les engrais minéraux en %	34	19	40
11 - Quantité d'engrais minéraux qu'il convient d'apporter en kg/ha.	196,1	210,5	52

Remarque : le poids de la couche arable est considérée ici 3.000.000 kg/ha ainsi 1 mg/100 g du sol de l'élément correspondant à 30 kg/ha.

En outre la méthode citée ci-dessus ne concerne pas seulement le blé. Elle est valable pour n'importe quelle culture si pour cette culture ses exportations, ses coefficients d'utilisation des éléments minéraux dans le sol, dans les engrais minéraux et organiques et les caractéristiques du sol sont connus.

L'exemple ci-dessus pourrait être une perspective pour le mil; Il conviendrait de déterminer les potentialités nutritives du sol sous leurs différentes formes et leur coefficient d'utilisation par le mil.

235 - Influence des différentes formes d'azote sur l'utilisation de ce dernier et des éléments P et K,

L'étude de l'efficacité des différentes formes d'azote a révélé quelques contradictions.

Les premiers résultats obtenus par Blondel en (1967) dans les études de la dynamique de l'azote dans les sols sableux du Sénégal, montrent que l'alimentation azotée semble se dérouler en milieu ammoniacal si on se rapporte uniquement aux teneurs en azote minéral du sol.

Ces données ont conduit Jacquinet en 1969 à réaliser une expérience destinée à préciser la réponse du mil en un milieu défini dont les proportions $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ sont variables. Les résultats de cette expérience ont montré que le mil absorbe préférentiellement les ions nitrates aux ions ammonium. On constate une influence favorable de l'ion ammonium sur l'absorption des nitrates. Il existe une interaction de la nutrition du fer avec la nutrition azotée qui demande à être précisée. Selon Jacquinet, l'absorption du phosphore et du potassium est corrélée à celle de NO_3^- , mais non à celle de NH_4^+ .

On sait que les nitrates et les sols d'ammoniaque ont des effets différents en présence du phosphore et du potassium. Les données de Vidal (1963) confirment cela. Dans les essais de formes d'azote à Bambey, le sulfate d'ammoniaque au semis et le fumier + sulfate d'ammoniaque sont significativement supérieurs au nitrate de chaux apporté au semis.

Les interactions entre la qualité de la nutrition azotée (forme) - son utilisation et son efficacité sur l'absorption de P et K peuvent s'expliquer ainsi :

En absorbant l'azote sous forme ammoniacale les besoins par les plantes en potassium augmentent et ceux du phosphore sont inférieurs par rapport à la forme nitrate. Cette dépendance s'observe quelquefois dans les conditions de culture en sols sablonneux. Cela est peut-être dû au fait que les engrais d'une façon significative n'ont pas subi une transformation quelconque ou la forme de leurs composés (par exemple nitrification de l'ammoniaque ou la rétrogradation du phosphore, etc...).

L'étude de l'influence des formes d'engrais azotés sur l'absorption des cations et des anions par les plantes a montré que dans les conditions de culture en sols sablonneux et de milieu nitrique, l'absorption des cations est plus intensive. Inversement le milieu ammoniacal diminue l'absorption des cations et favorise l'absorption des anions. Cependant la différence dans l'exportation des cations par les plantes entre la forme nitrique et ammoniacale se crée principalement à cause d'un accroissement brusque de l'absorption du calcium en milieu nitrique. Cependant la différence entre ces deux formes d'azote dans l'absorption du potassium et du magnésium est comparativement insignifiante. L'utilisation de l'ammoniaque favorise l'accroissement de l'absorption du phosphore,

La grande exigence des plantes en concentration de potassium dans le milieu de nutrition ayant pour source d'azote l'ammoniac n'est pas liée à une faible absorption significative quelconque de cet élément dans la plante à la suite de l'antagonisme des ions d'ammoniac et de potassium, Ce phénomène pouvant être expliqué par le rôle spécifique du potassium dans le métabolisme de l'azote dans les plantes. La différence cependant dans les exigences des plantes en concentration de phosphore en milieu nitrique ou ammoniacal Pourrait on apparence s'expliquer par l'inégalité des conditions d'absorption du Phosphore par les plantes dans les deux cas, inégalité découlant des particularités d'interaction entre les ions d'ammoniac, de nitrate et de phosphore pendant leur absorption.

Entre l'absorption du phosphore et de l'ammoniac il existe une liaison étroite, L'utilisation intensive de l'un par la plante entraîne une absorption intensive de l'autre.

Ce phénomène en milieu nitrique n'a pas été observé. En outre en milieu ammoniacal les fortes doses de phosphore conditionnent l'absorption intensive de l'ammoniac par la plante, mais en cas de déficiences d'hydrates de carbone, la Plante ne parvient pas à utiliser l'ammoniac rationnellement pour la synthèse des acides aminés à la suite de quoi l'ammoniac accumule ralentit le rythme de la croissance. Dans les mêmes conditions en milieu nitrique les plantes se développent normalement.

236 - Influence du pH et des formes d'azote sur l'assimilation des éléments minéraux

Il est à noter que dans les sols acides, contenant une quantité importante de manganèse, de fer et d'aluminium, l'apport d'engrais ammoniacaux physiologiquement acides entraîne une augmentation par la suite de la mobilité de ces éléments. Ces derniers en réagissant avec les phosphates, les amènent dans des composés peu assimilables par les plantes. C'est pourquoi on apportant des engrais ammoniacaux physiologiquement acides, l'accessibilité du phosphore aux plantes diminue, dans ce cas la nécessité d'apporter de fortes doses de phosphore se pose.

Cependant ce moment négatif de l'action des engrais ammoniacaux physiologiquement acides peut être évité en apportant dans un mélange les engrais avec du carbonate de calcium (chaulage) CaCO_3 .

L'apport systématique des engrais ammoniacaux de longue durée a une influence significative sur les propriétés du sol comme l'acidité, la teneur en aluminium et en manganèse.

Pour ce fait, les engrais azotés peuvent être divisés en quatre groupes :

- 1/ - acidifiant fortement le sol - sulfate d'ammoniac, chlorure d'ammoniac ;
- 2/ - acidifiant moyennement le sol - selitre d'ammoniac, urée ;
- 3/ - acidifiant faiblement - ammophos et diamphos ;
- 4/ - alcalinisant faiblement - les selitres de calcium et de sodium ainsi que le cyanure de calcium.

En pratique pour un sol sablonneux de teneur en humus inférieure à 5 % avec un pH inférieur ou égal à 4,8 - 5,5, il est recommandé le chaulage.

Un autre aspect de la nutrition minérale du mil (phase d'installation) a été traité en détails par Siband (1974-1979).

L'objectif de cette étude de phase d'installation consistait à :

- apporter un support de méthode à différentes études de mécanisme de la nutrition ;

- permettra l'interprétation d'un certain nombre d'observations au champ, .

Ceci a motivé la mise au point d'un dispositif de culture hydroponique pour l'étude de la croissance et de l'alimentation minérale des plantules de mil au cours des premiers jours de végétation.

24 - Etude de la croissance et de l'alimentation minérale des plantules de mil au cours des premiers jours de végétation.

Ce dispositif en outre répond aux conditions de simplicité de montage et d'utilisation, l'exigence de constance de la solution nutritive peut-être satisfaite en jouant sur le volume du vase, la fréquence de renouvellement de la solution, le nombre de plantes par vase.

Les observations au champ sont essentiellement des interventions sur des expérimentations menées dans le cadre d'autres disciplines, et dont les traitements convenaient pour apporter une réponse aux questions posées.

Elles se situent en partie au moment du démarrage des poquets, en phase de pré-floraison, en partie sur l'ensemble du cycle.

Les résultats de cette étude ont montré que le mil germe très vite grâce, en particulier, à la faible dimension de son grain.

En raison de sa petite dimension, le grain de mil dispose d'une petite quantité de substances amylacées et minérales le soumettant aux dépens du milieu (eau, sels minéraux etc...) avant la première intervention culturale (démarrage).

Cette étude chercha à expliquer l'intervention de certaines techniques culturales : labour, fertilisation, semis et démarrage précoces etc...

La seconde partie de l'étude de la nutrition minérale consistait à compléter l'étude du cycle ou à préciser certains aspects (phase démarrage - tallage ; élaboration du rondant) ; à relier certains travaux entre eux (hydroponique - champ ; début et fin de cycle) ; à tester les hypothèses explicatives des précédents résultats (restitutions de fin de cycle) ; d'analyser l'installation de l'effet d'une technique culturale et de variabilité.

- en culture hydroponique, sur 6 mils la phase de pré-tallage a été modélisée.

- Au champ, en culture sous pluie, sur les mêmes mils l'enracinement et les parties aériennes ont été mesurées ;

- En contre-saison, on a modélisé la formation d'un grain de mil (2 saisons, 7 matériels différents) ;

- En saison des pluies, un dispositif en carré latin comparant 4 traitements azotés en couverture (pas d'azote, azote démariage, azote montaison, azote démariage et montaison) a été conduit en mil lignée pure (O.M. 19).

- Sur 3 mils (SOUNA III, Synthétique GAM 5, DM 19), on a sélectionné une série de talles fécondées le même jour et de même vigueur sur lesquelles on a suivi les contenus en N, P et K. De même on a choisi des couples de talles identiques et, sur une des deux talles de chaque couple, coupé l'épi après fécondation. Les premiers résultats 1978 de cette étude montrent que :

241 . Phase de pré-tallage :

Les croissances aérienne et racinaire des différents mils testés sont exponentielles.

On note toutefois une corrélation positive très significative ($r = 0,9970$ à $0,9996$).

On observe une évolution au cours du temps de la liaison entre mesures en hydroponique et au champ en début de cycle, mais très étroite dans les premiers jours.

Entre ces paramètres mesurés en début de cycle pris isolément et sur une mesure instantanée et les rendements obtenus en 1377 sur les mêmes matériels on note pas de liaison.

Cependant on remarque une évolution du rapport parties aériennes/racines. Ce rapport se traduit par des courbes exprimant les rendements (fig. 1 A, 1 B, 1 C.).

Les 2 rendements élevés en 1977 correspondent au passage par un minimum (fig. 1A) ; 2 rendements moyens correspondent à un rapport initial très faible (fig. 1B). Le dernier rendement moyen et le rendement faible correspondent à un rapport initial élevé (fig. 1C). On suppose que ce sont les conditions initiales (vitesse d'émission des racines nodales) qui sont importantes pour le succès de la culture en cas de stress hydrique.

Les vitesses de tallage ont permis de faire un classement des matériels en fonction des rendements.

Ainsi le GAM 5 a un meilleur rendement que le DN3 malgré ce rapport défavorable parce qu'il talle plus vite.

242 - Elaboration du rendement

2421 - Croissance d'un grain : La vitesse de croissance d'un grain est constante jusqu'à la fin du remplissage.

On note une certaine variabilité de cette vitesse autour de 0,5 mg par jour et par grain, peu significative entre matériels entre saisons de culture et entre traitement.

2422 - Distribution des fécondations par épi et Caractère d'épi :

La distribution est assez fluctuante. Le poids de grain par épi varie en fonction de la date de fécondation, mais dépend aussi du nombre de grains par épi.

Le nombre de fleurs déjà fécondées à une date donnée est obtenu en cumulant les valeurs de la distribution précédente.

Les grains correspondants commencent leur croissance après un délai qui est calculé sur l'équation de croissance de grain.

Le poids final du grain permet de savoir le temps de sa croissance par cette même équation et de bâtir la courbe du nombre de grains qui ont achevé leur croissance. Chaque jour, le nombre de grains en croissance est la différence entre les nombres de ceux qui ont déjà commencé et de ceux qui ont déjà fini de croître. La formation quotidienne de rendement est le produit du nombre de grains en croissance par la vitesse de croissance d'un grain.

On remarque qu'il se forme au maximum 6,5 % du rendement en un jour. Au 61^e jour la croissance de la matière sèche atteignait 299 kg, soit encore plus de matière végétative que de grain.

L'effet significatif de l'azote sur le rendement s'explique surtout par l'augmentation du nombre d'épis, le nombre de grains/par Cpi augmentant légèrement sur le traitement le plus fort.

243 - Nutrition minérale de la phase de post-floraison

La dynamique des éléments minéraux a montré que : après la fécondation, le contenu d'une talle en azote décroît dans un premier temps, puis remonte et regresse à nouveau. Le phosphore suit une variation identique mais croît beaucoup plus fortement. Le potassium chute toujours, plus ou moins fortement. Pour les trois éléments, la partie végétative s'appauvrit fortement dans le temps.

Un phénomène a été observé - lorsque l'on coupe l'épi, dans deux cas sur trois, il apparaît des talles aériennes, qui viennent bénéficier des éléments nutritifs ainsi disponibles. Parallèlement on note toujours une sortie d'azote et de potassium, et une perte de phosphore en cas d'absence de talles aériennes.

Ceci signifie que la partie végétative va perdre les éléments redistribuables que l'épi se remplit ou non. Une partie de ces éléments peut, dans certains cas, être récupérée par un redémariage de croissance végétale (si la vigueur de la talle le permet).

De tout ce qui vient d'être dit, il faut souligner que l'intensité et l'utilisation complète des substances de réserve des grains pendant leur germination est en liaison étroite, avec la vigueur des plantules et des racines. Pour une même plante la teneur et le rapport NPK dans les grains dépend de l'année de récolte, du lieu de culture, des variétés et des capacités d'exportations liées aux particularités biologiques de chaque plante.

En outre, la formation de la graine est un processus de reproduction dépendant de la répartition entre les parties aériennes et les parties souterraines d'une part et du milieu d'autre part.

A l'aide d'isotopes il a été établi que les assimilats formés des feuilles migrent dans tous les organes de la plante mais en quantités différentes et avec les phases de la croissance.

L'accroissement du poids du grain peut s'expliquer ainsi : pendant la phase pâteuse, on raison des pertes d'eau, les dimensions diminuent. La formation de la cellule aleuronique et l'accumulation des substances de réserve dans cette couche restent actives. Les dépenses en eau et la deshydratation des grains croissent. La matière sèche de la graine croît, ce qui augmente sa largeur et sa grosseur.

D'une façon générale l'étude de la croissance et de l'alimentation minérale du mil au cours des premiers jours de végétation aurait pu avoir plus d'intérêt si elle essayait de lier les réserves de la graine à la cinétique, à l'absorption et l'exportation des éléments minéraux pour déboucher à une utilisation rationnelle des doses d'engrais.

III - NUTRITION CARBONÉE

Selon P. Vidal, la moitié inférieure du feuillage sert à l'élaboration de la matière végétale au cours de la phase semis-épiaison, et céderait à l'épi une grande part de sa substance. Celui-ci qui se différencie en cours de montaison n'a une croissance active qu'après complète élongation de la tige.

Cette étude a été reprise par L. Jacquinot en 1969. Le programme a été financé par la FED en 1970. Il visait à travers les études de physiologie à préciser quelle devrait être la structure de la plante susceptible de fournir de hauts rendements.

Résultats

32 P, 35 S et le 14C des assimilats photosynthétiques, suivent un chemin analogue au moment de la formation du grain, à partir des feuilles supérieures, il se confirme ainsi le rôle majeur joué par certaines feuilles dans la formation du grain chez le mil,

Par contre les tiges tardives et les parties inférieures de la plante ne participent pas au remplissage des grains, ces tiges ne sont pas des organes de réserve mais au contraire reçoivent des substances des tiges adultes en faibles quantités.

Ces études de migrations effectuées au moyen de 14C ont permis de mettre en évidence deux phases importantes pour la formation du rendement une phase préfloraison durant laquelle ce sont surtout les feuilles du tiers central de la tige qui participent à l'élaboration de l'épi. De leur activité dépend le volume de l'épi, c'est-à-dire du nombre possible de grains.;

Une seconde phase post-floraison durant laquelle ce sont surtout les feuilles du tiers supérieur qui participent à la formation du grain.

Enfin, durant ces deux phases, l'activité des feuilles du tiers inférieur de la tige dépend de l'énergie lumineuse qui leur parvient, soit qu'elles assurent leurs besoins respiratoires ou non. Dans ce dernier cas (énergie lumineuse insuffisante) ce sont les feuilles supérieures, mieux éclairées qui compensent leur déficit en métabolites carbonés.

C'est à la suite de ces résultats qu'il a été proposé un programme de recherches physiologiques, réalisé de 1970 à 1973, comportant l'étude de l'équilibre (photosynthèse) - (respiration nocturne) de l'étage inférieur d'un couvert de mil en fonction de l'énergie lumineuse qui lui parvient et des conséquences que cela implique en ce qui concerne : les migrations des assimilats vers les organes de reproduction (épi puis grains), la structure géométrique de la plante et par là, la densité optimale à respecter de façon à obtenir une production utile maximum par unité de surface cultivée.

31 - Densité critique :

Le mil (Pennisetum typhoides - Stapf et Hubb) cultivé dans la zone sahélienne, présente certaines caractéristiques qui le rendent inapte à une culture intensive. En particulier sa réaction aux engrais est telle que, d'une façon générale, les rendements

en grain atteignent rapidement un plafond tandis que la masse végétative continue d'augmenter dans des proportions beaucoup plus importantes.

Une première analyse faite par Jacquinet et Pouzet 3 permis de constater que l'apport d'engrais azoté ayant pour effet d'augmenter le tallage, c'est-à-dire le nombre d'épis, corrélativement la taille de ces derniers diminue très rapidement, tandis que l'indice foliaire augmente de façon considérable.

D'autre part des études effectuées avant et durant ce projet sur les migrations des assimilats photosynthétiques, ont montré que les feuilles du tiers central permettent la croissance de l'épi jusqu'à l'anthèse, tandis qu'ensuite ce sont les trois feuilles supérieures qui fournissent plus de 85 % des assimilats aux grains en formation. Par contre, soit à la suite de phénomènes de stérilité de l'épi, soit d'ombrage important des feuilles inférieures on observe des migrations importantes d'assimilats provenant des feuilles supérieures vers les feuilles les plus basses.

A partir de ces observations, l'hypothèse suivante a été formulée : lorsque la densité de tiges d'une culture de cette céréale augmente, il apparaît à partir d'une certaine valeur de cette densité, un nombre critique important qui a pour conséquence une diminution telle de la photosynthèse des strates foliaires inférieures, que celles-ci deviennent consommatrices d'assimilats produits par les étages supérieurs.

En d'autres termes la densité critique est une densité de semis telle que au stade anthèse, la dernière strate foliaire reçoit une énergie lumineuse, photosynthétiquement active, lui permettant de satisfaire son bilan énergétique en 24 h : photosynthèse - respiration nocturne = zéro.

311 - Détermination de la densité critique :

Conditions de détermination en zone sahélienne, entre le 12° et le 16° degré de latitude Nord, entre 11 h et 13 h, heure solaire, début septembre, avant l'équinoxe d'automne, époque de la floraison du mil hâtif. Ces conditions reviennent à prendre 90° pour l'élévation du soleil. Après différents calculs et en utilisant les données des différents auteurs, Jacquinet et Pouzet sont arrivés aux conclusions suivantes :

a/ - étant donné l'hypothèse de départ, c'est-à-dire si l'on se trouve dans les conditions limitées d'éclairement pour lesquelles le bilan (photosynthèse) - (respiration nocturne) est nul on se trouve pratiquement dans des conditions de lumière diffus, la lumière directe étant négligeable en-dessous du dernier étage foliaire.

b/ - dans ces conditions on peut exprimer la densité critique par la formule :

$$dc = \frac{1}{S_1} \text{ Loge } \left[\frac{E_0}{E_c} \right]$$

- où S' = surface foliaire projetée orthogonalement au sol de une tige,
- E_0 = énergie lumineuse disponible au-dessus du couvert végétal.
- E_c = énergie lumineuse critique, c'est-à-dire valeur de l'énergie lumineuse pour laquelle une surface unitaire de feuille fixe la journée une quantité de gaz carbonique égale à la quantité rejetée la nuit.

312 - Vérification expérimentale : Résultats

L'énergie critique chez le mil, pour une température nocturne de 25°C et diurne de 35°C est :

$$E_c = (136,87 + 35,96) \text{ W/m}^2 \text{ dans la bande } 400 \text{ à } 750 \text{ nm.}$$

La respiration moyenne d'une feuille d'étage 5 de la lignée F5 239 x 1133 de mil, à 25°C, au stade anthèse de la talle est proche de 1 mm³/cm²/min.

La photosynthèse d'une feuille supérieure de mil du même matériel végétal au stade anthèse, à 30°C, est proportionnelle à l'énergie lumineuse, jusqu'à un niveau énergétique, proche du maximum enregistré en période de culture. L'énergie d'extinction de la photosynthèse est légèrement inférieure à 20 W/m².

L'énergie critique définie pour les conditions de culture de la zone du mil au Sénégal est proche de 140 W/m², chiffre qui a été adopté pour les calculs de la densité critique. Une trop forte densité de culture provoque de nombreuses modifications d'un couvert végétal qui sont pour l'essentiel : une diminution de densité, par disparition de plantes, et diminution du tallage, une diminution de densité apparente par modification morphologique des talles tendant à réduire leur encombrement. Ceci est dû à un déficit lumineux.

La formation de l'épi puis du grain est limitée par de trop fortes densités de culture.

Une vérification sur la fiabilité de la densité critique a été faite par Mlle Diop (1977). Les résultats de cette étude montrent une certaine irrégularité entre les différents paramètres que semble définir l'hypothèse densité de semis, énergie résiduelle et rendement.

On observe une augmentation de rendement en cas de densité de semis inférieure ou supérieure à la critique avec un excès ou un déficit d'énergie résiduelle. On verra de même dans le rapport de la campagne d'hivernage 1975 de Puard, Kane et Sène une remarque sur l'imprécision de cette méthode car le pourcentage d'énergie disponible à un niveau considéré n'est pas proportionnel à l'énergie extérieure.

Ces dernières années de grands succès ont été enregistrés dans la recherche d'une solution du problème de l'organisation du processus de la photosynthèse dans l'espace et dans le temps, les mécanismes de sa régularisation, ses liaisons avec les processus intérieurs cellulaires et la formation du rendement.

La connaissance de la structure et de la fonction de l'appareil photosynthétique, les mécanismes de sa régularisation présentent un grand intérêt théorique et pratique. Cela permet de mieux contrôler la formation des rendements grâce à l'augmentation de l'intensité et de la qualité des produits formés de la photosynthèse.

L'état biologique des nouvelles structures naines de mil demeure encore inconnu,

Toutes ces études sur la photosynthèse et la densité critique n'ont pas abouti à un meilleur rapport grain sur paille ; ce rapport à notre avis en grande partie dépend d'une part du rapport des éléments minéraux dans le substratum de nutrition et d'autre part de la répartition des assimilats entre les différents organes de la plante. Il y a longtemps, il a été mis en évidence que les photosynthats se transportent par un système conducteur des feuilles vers le système racinaire.

Dans les racines, les sucres une fois absorbés, se transforment en acides pyruviques et du cycle de Krebs. Le mouvement des substances à partir des parties aériennes de la plante vers les racines s'accomplit par le floème et des racines vers les parties aériennes par le xylème. Ces deux systèmes de transport floème et xylème sont étroitement liés et peuvent se remplacer.

A l'aide d'isotopes il a été mis en évidence la migration des assimilats des parties végétatives et leur utilisation vers les grains en formation.

Ainsi l'étude sur l'utilisation du carbone 14 par les feuilles de blé a montré que les assimilats formés dans chaque feuille se trouvaient dans les organes de la plante mais avec des quantités différentes selon les phases (Ovtcharov, 1976). Si on compte les feuilles du bas en haut de la tige, on constate que la plus grande partie des assimilats de la deuxième feuille a migré dans les racines (26 + 1 %). De la troisième feuille les assimilats migrent presque de la même façon dans les racines (27 + 2 %) et les tiges (23 + 2 %).

La quatrième feuille dessert principalement les tiges (31 + 3 %) et moins les racines (13 + 2 %) ; la cinquième feuille a servi de source d'assimilats aux tiges axillaires (18 + 1 %) et surtout à la tige principale (29 + 9 %), de la sixième feuille la partie prédominante des photosynthats est entrée dans l'épi (37 + 4 %) et la tige principale (26 + 4 %). Pendant la phase épisaison du blé, l'intensité de la photosynthèse de la feuille supérieure était de cinq fois supérieure à celle de la deuxième et de la troisième feuille, cette même feuille pendant le remplissage et la maturation du grain était encore plus active (Rawson Hofstra, 1969). Pavlov (1967) note qu'au moment du remplissage du grain, le rôle principal d'alimentation en matières plastiques revient aux feuilles supérieures et moins aux feuilles moyennes. Selon Pavlov, les feuilles

inférieures au début du remplissage du grain meurent partiellement. Le reste vieillit et demeure peu actif par rapport aux feuilles supérieures.

Pour Planton (1959) les feuilles des étages supérieurs et moyens n'avaient pas perdu leur activité vitale dans l'alimentation de l'épi jusqu'à la fin du remplissage des grains. Dans l'expérience de Sémégnenko (1957) sur le maïs, qui a fermé les feuilles avec du papier imperméable à la lumière, la diminution du poids des épis était très importante = 62 %.

En enlevant les feuilles supérieures, disposées au-dessus des épis, le poids de ces derniers diminue de 4.0 % par rapport au témoin.

L'enlèvement des feuilles disposées en-dessous de l'épi n'a pas influé pratiquement sur l'accumulation des substances organiques dans le grain ; en enlevant toutes les feuilles, le poids de l'épi a diminué de deux fois par rapport au témoin. Le transport des matières plastiques à partir des vieilles feuilles est précédé par l'hydrolyse des protéines et amidon jusqu'aux acides aminés, amides et sucres qui se meuvent vers le grain en développement. Au fur et à mesure que vieillissent les cellules, l'hydrolyse l'emporte sur la synthèse. Dans les travaux de Vidal (1963) on note une parfaite régularité de la courbe de croissance se rapportant à l'ensemble de la touffe. Contrairement à la tige principale on enregistre donc un développement foliaire des talles au cours de la maturation, le taux de matière sèche s'élève beaucoup plus dans la tige principale.

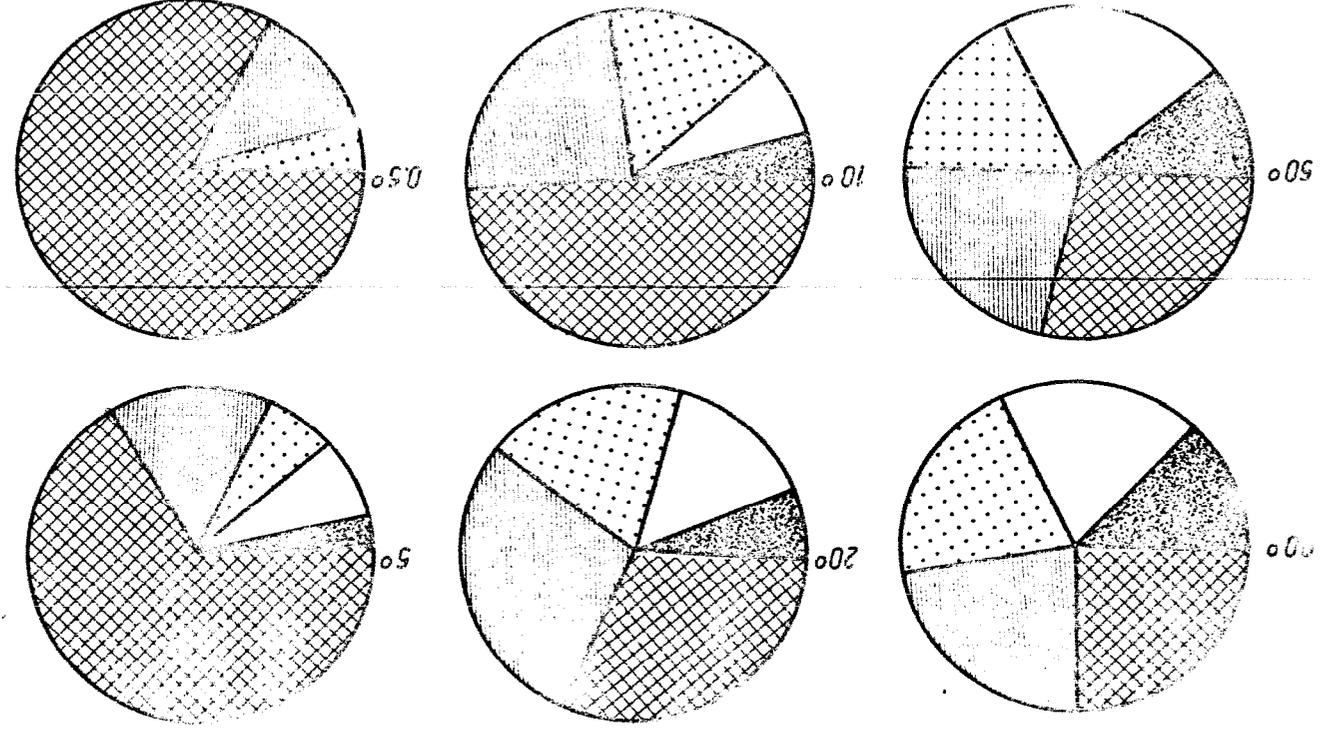
Ceci nous conduit à dire que les jeunes talles apparues après floraison ayant un appareil photosynthétique beaucoup plus jeune doivent être plus exigeantes en matières plastiques, de par même leur croissance et développement intensifs. Donc une concurrence éventuelle pourrait se produire entre, talles et tiges principales. Dans les travaux de Vidal encore que par quintal de grain récolté, les tiges principales ont mobilisé 3,29 kg d'azote, les talles 6,75 kg et la touffe 4,30 kg. Comparativement au maïs on note le chiffre 2,2 kg d'azote par quintal de grain. On n'obtient donc pour le cas du mil des chiffres élevés et ceci est dû au déséquilibre du développement végétatif par rapport à celui des grains.

Cette propriété en général est propre à l'excès d'azote. Demelon (1961) disait que chez les céréales surtout dans les sols légers, des fortes doses d'azote peuvent diminuer la masse de grains à cause de l'augmentation des organes végétatifs. Tartchovski (1973) observe qu'en apportant une couverture d'urée au blé, la poussée des assimilats des feuilles vers l'épillet s'affaiblit, alors que le transport des assimilats vers les racines s'intensifiait.

Il faut noter aussi que l'effet négatif de l'azote dépend des doses et des périodes d'application.

Makhotkine (1973) montre qu'une couverture avec une solution à 5 % de nitrate d'ammonium pendant la phase phéologique des organes végétatifs, intensifie les processus d'hydrolyse qui occasionnent la décomposition des protéines et de l'amidon. Parallèlement l'accumulation des acides aminés et des sucres simples faciles à transporter au grain s'accroît rapidement ce qui accélère ses processus synthétiques de maturation. Il se passe un renforcement

Rayons rouges
 Rayons jaunes
 Rayons verts
 Rayons bleus
 Rayons violets



Hauteur de soleil

(0) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

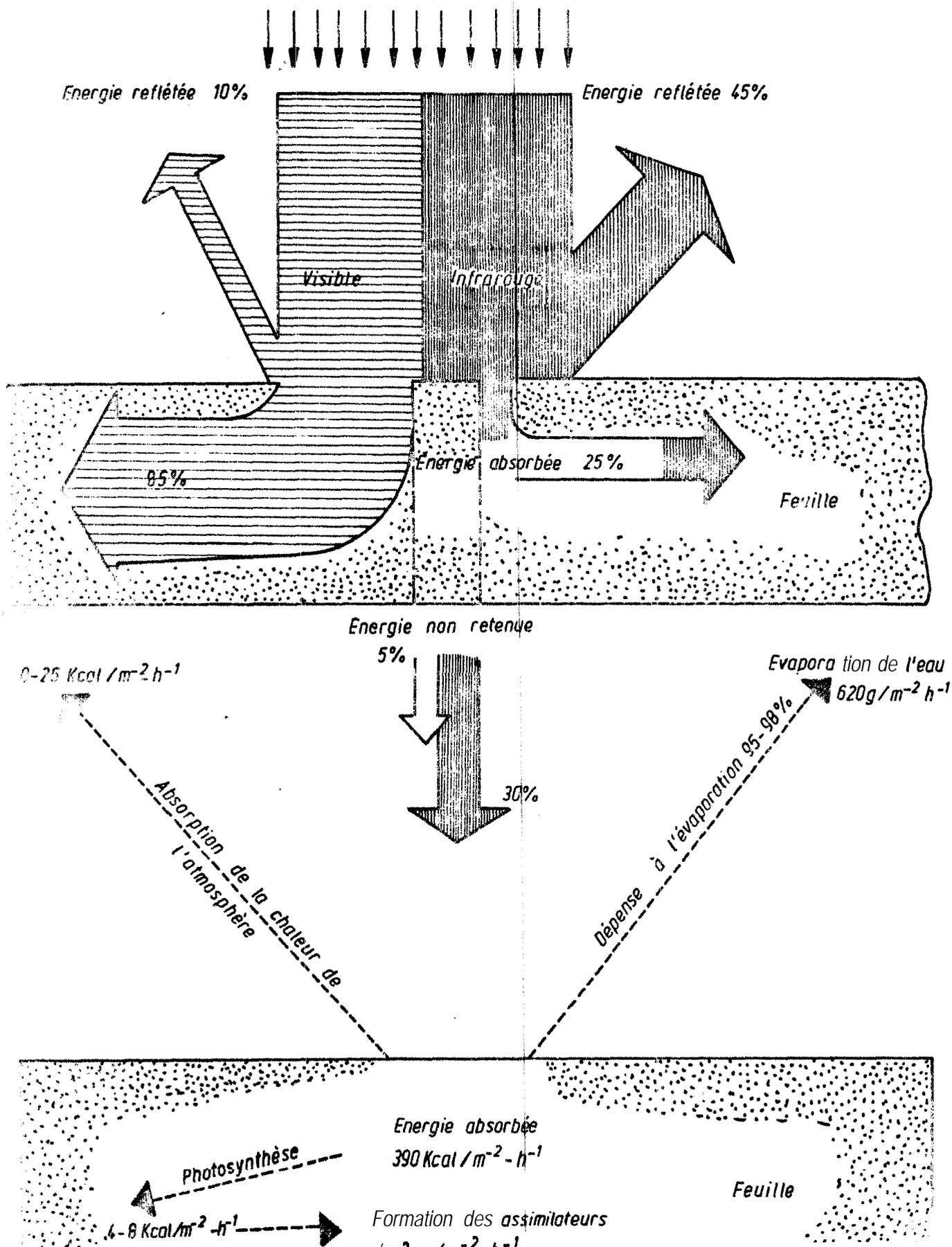
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Fig. 2 : Propriété optique et balance énergétique de la feuille (par IVONTCHIK - 1976)

- a- Répartition totale de l'énergie tombante
- b- Répartition de l'énergie absorbée



ot une accélération des processus de vieillissement naturel des organes végétatifs et la poussée des assimilats vers le grain en maturation. Ces résultats présentent un grand intérêt scientifique et pratique, surtout dans la recherche d'une solution du rapport faible grain sur paille. Sur la base des données bibliographiques il convient de dire que le remplissage de l'épi dépend de la répartition des assimilats dans les différents organes, du rapport des substances minérales notamment NPK, de leur époque d'application et des particularités biologiques de la plante.

La densité critique ne donne aucune information sur l'énergie absorbée, les relations entre le potentiel photosynthétique et la radiation photosynthétiquement active d'une part et ceux-ci et le rendement d'autre part,

Ce rendement alors doit, obligatoirement être en corrélation avec la productivité de la photosynthèse, le coefficient d'utilisation de la radiation lumineuse et la densité de semis qui à leur tour dépendent des conditions pédaclimatiques et autres facteurs. Car on sait que pour la croissance et le développement, les plantes ont besoin de lumière, chaleur, d'eau et d'éléments minéraux et aucun de ses facteurs ne peut se substituer aux autres.

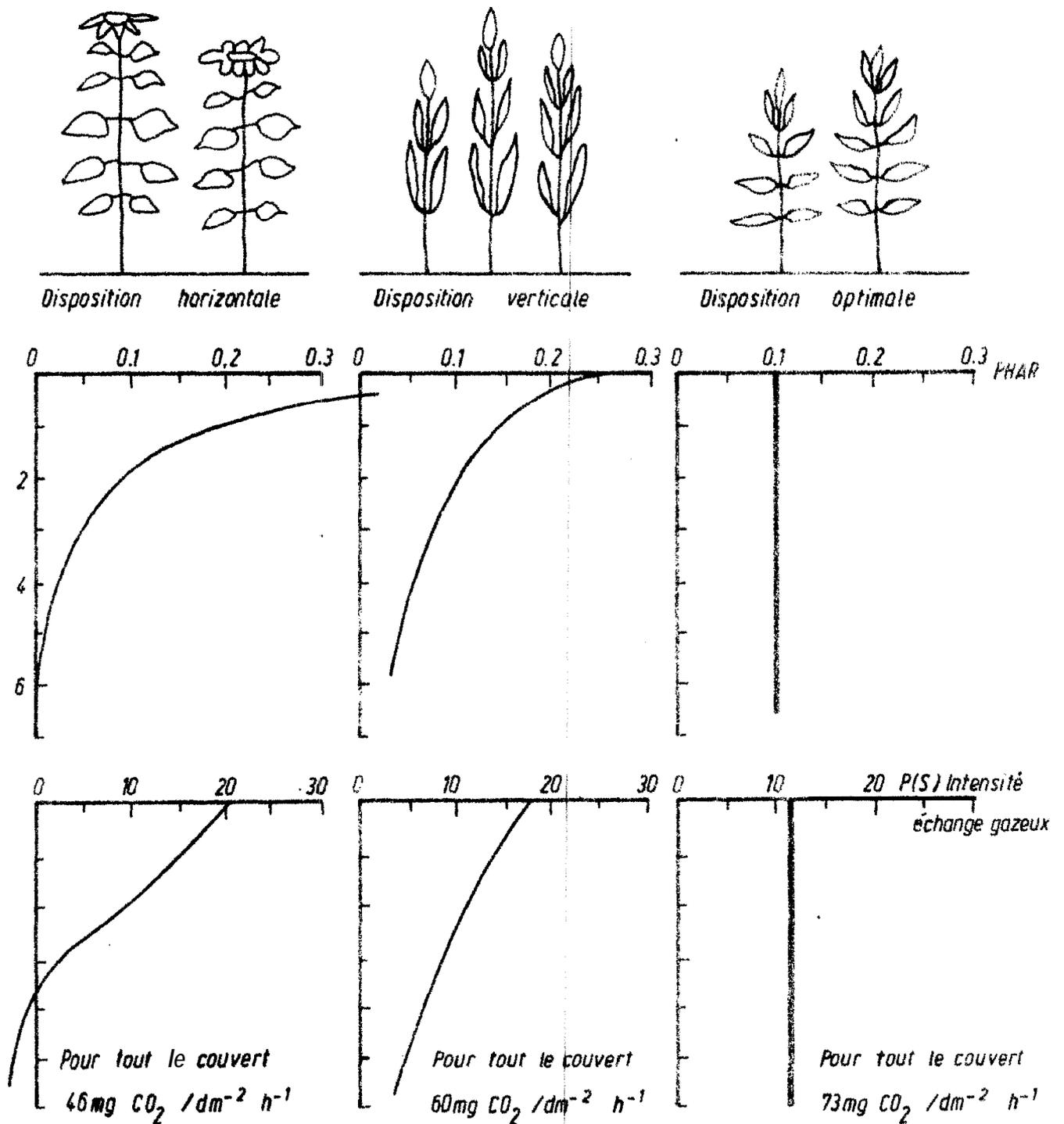
L'énergie globale tombante entre en interaction avec les phyto-éléments.

A la suite de cela, la densité du flux de la radiation, la structure et la composition spectrale changent. Ces changements dépendent de la hauteur du soleil (fig. 1) et de la structure géométrique du couvert végétal, des propriétés optiques spectrales de ces phyto-éléments et de la composition spectrale de la radiation photosynthétiquement active (fig. 2).

Les plantes ou les couverts végétaux peuvent être considérés comme des récepteurs de radiation qui ont une structure géométrique, une fonction de photosynthèse et de respiration variées et ces mêmes récepteurs absorbent et utilisent l'énergie solaire au cours du processus de la photosynthèse avec une efficacité différente. Etant donné, d'une part les différences de structure des chloroplastes et la gamme variée des enzymes et, d'autre part, leurs possibilités de variation avec l'âge de la plante et les conditions de sa culture, le caractère et l'orientation de l'activité des chloroplastes, en tant qu'organe de photosynthèse peuvent varier considérablement et les cellules de la plante peuvent ainsi en recevoir des substances de composition et de qualité très différentes. C'est ainsi que les organes de photosynthèse déterminent dans une certaine mesure la nature biochimique du métabolisme de la plante et définissent ses relations complexes et multiples avec le milieu et, notamment, sa réaction à la lumière (intensité, composition spectrale de la lumière et variations périodiques avec le temps).

Dans un travail de chercheurs australiens Werhagen (1963) il a été étudié la question de savoir quelle orientation des feuilles pourrait assurer l'échange gazeux de tout le couvert végétal ?

Fig. 3 : Répartition de PHAR et intensité de l'échange gazeux dans les semis en fonction de la disposition des feuilles (par THOMING - 1976)



Ces auteurs considèrent que le maximum d'échange gazeux peut être atteint à condition que l'intensité de la photosynthèse de toutes les feuilles dans le couvert végétal dépasse le point de compensation. Par exemple dans des couverts végétaux avec une orientation horizontale des feuilles, les feuilles supérieures absorbent beaucoup de PhAR* et l'intensité de la photosynthèse est maximale, parce que dans de tels couverts, la quantité de PhAR décroît rapidement avec la profondeur, Ainsi les feuilles inférieures reçoivent peu de PhAR et se trouvent dans des conditions où l'intensité de PhAR est inférieure au point de compensation.

Cependant dans des couverts avec une orientation verticale des feuilles, l'absorption de PhAR est plus faible et limite en conséquence l'échange gazeux.

La différence dans l'émissivité de la radiation par le couvert est provoquée par une différence dans l'orientation spatiale des feuilles.

L'idée d'une structure géométrique optimale consiste à dire que l'échange gazeux de tout le couvert végétal est maximal dans la seule condition que la PhAR en fonction de la hauteur de la plants se répartit à l'intérieur du couvert linéairement.

Dans cette condition toutes les feuilles absorbent une même quantité de PhAR qui se traduirait par la formule (Tooning, 1977).

$$M(H) = \frac{4(1-A)(1 - a_T)}{S_d}$$

où $M(H) = \text{PhAR} =$ quantité d'énergie absorbée.

$A =$ albédo du couvert végétal dans les bandes de PhAR
c'est le rapport entre l'énergie réfléctée et l'énergie reçue par le couvert.

$4 =$ Energie globale de PhAR

$S_d =$ Indice foliaire relatif de tout le couvert végétal m^2/m^2

$a_T =$ Fonction d'émissivité de l'énergie globale par le couvert,

Nilson (1971) étudiant la structure géométrique optimale que doit avoir un couvert végétal a établi les courbes suivantes (voir fig. 3).

Comme on le voit, en cas de disposition horizontale des feuilles on obtient une courbe qui a l'allure d'une hyperbole qui coupe l'axe des asymptotes (hauteur) quand PhAR croît indéfiniment. Cela est dû à un ombrage des feuilles inférieures par les étages

PhAR* : Radiation photosynthétique active.

supérieurs. L'action de PhAR est dépressive. L'échauffement et l'évapotranspiration sont très grands. L'intensité de la photosynthèse enregistrée pour tout le couvert est de $46 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

En disposition verticale des feuilles, on observe l'inverse. PhAR est limitée, mais passe dans tout le couvert sur toute la profondeur, Ici l'échauffement est moins important et l'évapotranspiration plus faible. L'intensité de la photosynthèse réalisée par le couvert est de $60 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Dans le cas de disposition optimale des feuilles on obtient une droite qui limite l'absorption de PhAR et la répartit uniformément sur toute la profondeur. De même qu'en disposition verticale, l'échauffement et l'évapotranspiration sont moins importants.

L'intensité de la photosynthèse est optimale à $73 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ pour tout le couvert, car l'échange gazeux est uniforme pour tous les étages.

Les études de Pendleton, Smith, Winter, Johnston (1968) cités par Ovtcharov (1976) ont montré que la maintenance mécanique de la disposition verticale des feuilles de maïs a occasionné un rendement de $113,9 \text{ q/ha}$ - à elles seules les feuilles situées au-dessus de l'épi - 122 q/ha et en conservant habituellement les feuilles en disposition horizontale - $106,8 \text{ q/ha}$.

Un tel accroissement du rendement est lié à une augmentation de l'intensité de la photosynthèse et d'une meilleure utilisation rationnelle de PhAR en disposition verticale des feuilles. Peut-être cette intensité de la photosynthèse et cette productivité des plantes en disposition verticale des feuilles sont liées à une faible évapotranspiration, un faible échauffement des feuilles parce-que absorbent moins les rayons lumineux.

Une étude sur l'interdépendance entre la disposition des feuilles (angle foliaire) et le rendement a montré que la variété de blé ayant un faible angle foliaire par rapport à l'horizontal était plus productive Ovtcharov, (1976). Cela a été plus significatif chez les lignées de maïs de disposition verticale des feuilles. On observait un rendement supérieur de 41% par rapport à la disposition horizontale. L'intensité de la photosynthèse d'une feuille couvrant l'épi de maïs, disposée sous un angle de 90° était de $39,06 \text{ mg}$, alors qu'en réduisant l'angle jusqu'à 19° par rapport à l'horizontal elle était de $31,81 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^{-2} \text{ heure}$.

De ce qui précède, il faut noter que l'assimilation énergétique et carbonée est conditionnée à une structure géométrique qui régularise l'absorption de l'énergie. On suppose qu'une disposition hétérogène avec une alternance des feuilles verticales et horizontales obtenue par un croisement de deux variétés aboutirait à la solution du problème.

D'une façon générale en élaborant les principes de l'utilisation maximale de PhAR et la programmation des rendements des cultures avant tout d'abord il convient d'éclaircir la valeur du rendement maximal théoriquement possible. Cette valeur de rendement sera assurée par l'émissivité énergétique de PhAR en régime optimal de facteurs météorologiques durant tout le cycle végétatif.

Le rendement potentiel ou quelquefois appelé biologique s'exprime par la formule universelle de Nitchiporovitch (1963).

$$R^{bio} \text{ g/cm}^{-2} = \frac{\int_{0}^{\tau} \text{bio} (t) \cdot Q \emptyset (t) dt}{q (t)}$$

Où $\text{bio} (t)$ = fonction (dynamique) coefficient d'utilisation de l'énergie par les cultures durant tout le cycle végétatif.

$q (t)$ = chaleur massive des plantes (kilocalories/g)

$Q \emptyset (t)$ = fonction des sommes journalières de PhAR durant tout le cycle végétatif (kilocalories/cm²)

τ = Durée du cycle végétatif.

En prenant la moyenne de toutes les valeurs durant tout le cycle le rendement biologique peut s'écrire sous la forme.

$$R^{bio} = \frac{\bar{\text{bio}} \cdot \sum Q \emptyset}{q}$$

ou $\bar{\text{bio}}$ = Coefficient moyen d'utilisation de PhAR durant tout le cycle

$\sum Q \emptyset$ = Quantité de PhAR enregistrée durant tout le cycle
Nitchiporovitch est parvenu aux valeurs suivantes du rendement biologique.

$$K^{bio} = \frac{E \times 10^9 \times K}{10^2 \times 4 \times 10^3 \times 10^2}$$

ou R^{bio} = Rendement biologique de la biomasse absolument sèche
q/ha (grains + paille).

$E \times 10^9$ = quantité de PhAR enregistrée durant la végétation d'une culture dans une zone donnée en milliards Kcal/ha.

K = Coefficient planifié d'utilisation de PhAR p. 100.

10^2 = 100 p. 100

4×10^3 = quantité d'énergie dégagée en brûlant 1 kg de matière sèche de la biomasse (paille + graine) en Kcal/kg.

10^2 = passage de kg en q.

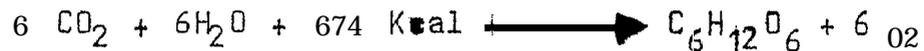
Ainsi en connaissant le rapport grain Paille, il est facile de calculer le rendement en graine.

Par ailleurs le coefficient d'utilisation de PhAR peut se calculer à partir de la relation qui existe entre la photosynthèse et PhAR.

$$K = \frac{112 \text{ Kcal} \times 100 \text{ J}}{44 \times 100.60 \text{ Q}}$$

K = coefficient d'utilisation de l'énergie solaire pendant la photosynthèse.

112 Kcal = kilocalories. Il est admis que pendant la photosynthèse pour réduire 44 g de CO₂ jusqu'aux sucres (30 g) il faut 112 Kcal.



Pour une mole de CO₂ donc il faudra

$$\frac{674 \text{ Kcal}}{6} \quad \approx \quad 112 \text{ Kcal}$$

1 = intensité de la photosynthèse en mg dm⁻² h⁻¹

100 = au numérateur pourcentage

44 = mole de CO₂ en g

Les facteurs 100 et 60 pour passer de mg. dm⁻² h⁻¹
en mg cm⁻² min⁻¹ = $\frac{\text{mg}}{100 \cdot 60}$

Q = Energie de la radiation solaire, reçue ou PhAR globale cal,
cm⁻² min⁻¹

En simplifiant la formule on obtient :

$$K = \frac{0,0425 \times 1}{Q}$$

N. Zamfirescu (1969) dans ses études de valorisation de PhAR en Roumanie en utilisant la formule de Nitchiporovitch est parvenu aux valeurs suivantes de K.

Calcul du coefficient de valorisation de l'énergie solaire chez le blé d'automne (variété Besostia 1,60 q/ha).

Radiations; solaires et biomasse	Valeurs énergé- tiques Cal,
Radiation solaire réceptionnée au sol à l'hec- tare de surface horizontale pendant l'interval- le Janvier - Mars 30 Juin.	557.10 ¹⁰
Radiations $\lambda = 0,7-0,3$	278.10 ¹⁰
15 % radiations passent à travers le tapis végétal complètement développé sans être in- terceptées	237.10 ¹⁰
Radiation incidente retenue par les plantes (80%) 10 % la radiation retenue est inac- tive (rayon: verts bande. 520-560 nm, extrême rouge, etc..)	189.10 ¹⁰ 170.10 ¹⁰
Total radiations actives absorbées	170.10 ¹⁰
Biomasse réalisée à l'hectare pendant l'in- tervalle Janvier-mars 30 juin pour une produc- tion de 60 q grains = 16,5 t/ha matière sèche (1 g = 4 000 cal).	6,6.10 ¹⁰
Coefficient d'utilisation	3,8 %

Calcul du coefficient de valorisation de l'énergie chez le maïs
(HS 301, 140 q/ha).

Radiations solaires et biomasse	Valeurs énergé- tiques cal.
Radiation solaire réceptionnée au sol à l'hec- tare de surface horizontale pendant l'inter- valle janv, mai 30 septembre	812.10 ¹⁰
Radiations $\lambda = 0,7 - 0,3$	406.10 ¹⁰
25 % des radiations ne sont pas interceptées par le tapis végétal complètement développé	305.10 ¹⁰
Radiation incidente retenue par la plante (80 %) 10 % la radiation retenue est inac- tive (rayons verts, extrême rouge, etc..)	244.10 ¹⁰ 219.10 ¹⁰
Total radiations actives absorbées	219.10 ¹⁰
Biomasse réalisée à l'hectare 400 q matières sèche (120 q grains + 280 q masse végétale) 1 g = 4 000 cal	16.10 ¹⁰
Coefficient d'utilisation	7,3 %

Les données ci-dessus nous montrent que, si la radiation photosynthétique active ne change pas, le rendement biologique dépend des propriétés biologiques des cultures et variétés et de la fertilité du sol, lesquelles se reflètent sur le coefficient d'utilisation; il faut noter que le rendement biologique et la valeur du coefficient d'utilisation ne sont pas constants. En raison de l'intensification de la productivité et de la création de nouvelles variétés, la modernisation de l'agrotechnie et l'augmentation des doses d'engrais, le coefficient d'utilisation de l'énergie et le rendement biologique augmentent.

IV - ALIMENTATION HYDRIQUE : TOLERANCE A LA SECHERESSE,

L'objectif des différentes disciplines du programme défini en 1976 est l'augmentation de la productivité des mils, dans le cadre d'un système d'agriculture intensive, en tenant compte de la notion de sécurité et de régularité des rendements. Sur la base des études fréquentielles des pluies, et la définition d'un seuil de succès de la culture du mil en fonction des zones, trois types de cycles seraient à envisager.

Cycle de 75 jours :

Les variétés de ce cycle seraient destinées à la zone comprise entre la ligne Louga - Matam au Nord et Bambey - Diourbel au Sud,

Cycle de 90 jours :

Il intéresserait les structures à créer pour la zone Centre-Sud à savoir entre Bambey - Diourbel au Nord, Fatick, Kaolack - Koumpentoum au Sud.

Cycle de 60 jours :

Il semblerait indiqué pour la zone au Nord de la ligne Louga - Matam.

D'après cette zonation, le raccourcissement du cycle pour les régions Nord et Centre Nord semble indiqué.

Du point de vue physiologique, l'objectif visé est de trouver des caractéristiques physiologiques et biochimiques liées à la productivité, devant servir de bases génétiques pour les sélectionneurs.

Une étude sur la résistance à la sécheresse menée par Mlle Diop a permis de déterminer la période critique qui se situe au stade montaison-épiaison. Cet acquis permet d'être et déjà de planifier l'époque d'intervention par irrigation ou par apport de solution minérale par arrosage en cas de stress hydrique,

Avec les données fréquentielles de pluie, il est possible de situer les dates de semis pour que la période critique coïncide avec la tombée des pluies.

Les données de l'enracinement ont révélé une différence peu significative ce qui en apparence montre tout simplement une imprécision de la méthode des "tranchées" d'où la nécessité de recourir aux isotopes.

Cependant les données des rendements des populations testées dans la localité de Louga bien qu'elles présentent un intérêt ne permettent pas pour le moment de faire un criblage sur les matériels étudiés.

Les études précédentes n'ont donné aucune information sur les changements physiologiques et biochimiques du mil,

Apparemment cette plante présente une certaine résistance à la sécheresse, cependant le mécanisme de cette résistance n'est pas encore connu. Ce mécanisme à notre avis doit reposer sur les lois générales de la physiologie de la résistance à la sécheresse.

Les données bibliographiques auxquelles nous faisons ici référence sont d'ordre général, mais nous aideront à mieux comprendre la mécanisme. Des critères qui en résulteront, serviront de perspectives pour le mil.

42 - Physiologie de la résistance à la sécheresse

Par sécheresse on comprend un régime du temps caractérisé par l'absence de précipitations, la montée de la température de l'air et la chute de l'humidité relative de l'air.

On distingue deux types de sécheresse : la sécheresse atmosphérique et la sécheresse du sol. Il y a lieu de noter cependant à quelques exceptions rares, la sécheresse provient toujours de la sécheresse atmosphérique se répercutant ensuite au sol.

42.1 - Influence de la sécheresse sur les plantes

La sécheresse agit d'une façon complexe sur la plante, provoquant une blessure à cause de l'échauffement et de la déshydratation des tissus cellulaires. Pendant la sécheresse atmosphérique la température augmente fortement et l'humidité de l'air diminue. La transpiration de la plante augmente tellement que le système racinaire ne parvient pas à puiser la quantité d'eau nécessaire pour le refroidissement de la plante à 2. évapotranspiration de la feuille, même en cas de suffisance d'eau dans le sol. L'échauffement provoque une blessure appelée pousse. La pousse en général s'observe quelque temps après sur la feuille sous forme de tâches colorées (jaunes), rouges, brunes, rouge-brunes). Sous l'influence de la sécheresse atmosphérique il peut se passer une montée de la température jusqu'à 40°C et plus, ce qui provoque la dénaturation et la coagulation des protéines du cytoplasme.

Le degré de dispersion des colloïdes change l'imperméabilité du cytoplasme et la capacité de rétention des composés absorbés du cytoplasme augmente.

Il se produit ainsi une perturbation de l'organisation du cytoplasme affectant le métabolisme de la plante toute entière.

Selon Cissakian en cas de stress hydrique les processus d'hydrolyse des protéines s'intensifient, ce qui provoque une décomposition du cytoplasme et la mort de la plante. D'après Stocker sous l'action de la sécheresse du sol la viscosité du cytoplasme diminue brusquement.

La synthèse des protéines joue un grand rôle dans la tolérance à la sécheresse. Le travail des polyribosomes constitue un moment important dans la synthèse des protéines.

Il a été mis en évidence par Satarova ; Tvarue ; (1965, 1966, 1967) que la deshydratation et l'échauffement provoquent une chute de la teneur de l'acide ribonucléique de 10 à 15 % et une diminution de la synthèse protéique de 50 à 70 %.

Il s'est avéré que la sécheresse entraîne une augmentation de l'activité du ribonucléase, à la suite de cela il se produit une dislocation des polysomes situés sur les filaments de l'ARN informatif et sur d'autres ribosomes provoquant ainsi une diminution de la synthèse de la protéine,

La deshydratation des plantes influe sur le système des pigments,

Les plantes tolérantes à la sécheresse ont une liaison chlorophylle-protéine plus consistante que les moins tolérantes.

Les substances protéiques du strome des chloroplastes conditionnent la circulation de l'eau et occasionnent le déroulement normal de la photosynthèse pendant la deshydratation,

422 - Tolérance de la plante à l'échauffement

Plus les cellules des plantes sont moins humides plus elles sont plus résistantes à l'échauffement. Kessler (1959) constate une augmentation significative de la résistance aux hautes températures sous l'action de l'adénine nucléotide. Les grains en germination, les levées et les jeunes feuilles sous l'action de l'adénine ont augmenté de résistance à la deshydratation et aux hautes températures. En appliquant une couverture d'adénine, la teneur des acides nucléiques et d'autres formations protoplasmiques de la structure lipido-nucléoprotidique ont augmenté. Engelbret et Motess (1960) notent une action favorable de la Kinotine (6 - aminofurfuroolpurine) sur la tolérance à la chaleur des feuilles de tabac rustique. L'effet favorable de l'action de la Kinétine selon eux est dû à l'accumulation d'acides aminés.

Satarova a observé une action favorable de l'adénine sur l'accumulation des protéines, occasionnant une augmentation de la tolérance à la chaleur.

Motess (1955), Petinov et Molotkovski (1956) sont arrivés à la conclusion suivante : la respiration joue un rôle important de défense contre la chaleur. Effectivement en bloquant certains ferments de la respiration avec les inhibiteurs (KCN, NAF, etc...), ils ont diminué la formation d'acides organiques et provoqué une diminution de résistance à la chaleur. Sur la base de ces données, les auteurs ont proposé d'augmenter l'intensité de la respiration par une couverture de 0,05 % de solution $Zn SO_4$ et en même temps ont noté une montée de la formation des acides organiques entraînant une augmentation également de la tolérance à la chaleur,

Il convient de noter cependant que l'action du zinc est complexe, parce que ce même élément augmente la viscosité du Cytoplasme et diminue l'activité du ribonucléase ce qui conditionne la synthèse des protéines.

423 * Période critique

A la fin du 19^o siècle début 20^o siècle, Pulman (1898) puis Brownov (1912) ont mis en évidence une haute sensibilité des céréales à l'égard des stress hydriques pendant la période de formation des organes générateurs, c'est-à-dire à partir de la phase (montaison-phénophase) jusqu'à la fin de la floraison, cette période dans la vie de la plante fut appelée période critique. La période critique du mil se situe à cette phase.

Il a été mis en évidence que la viscosité et l'élasticité du plasmé au moment de la période critique chute brusquement ce qui en apparence montre la haute sensibilité de la plante à l'échauffement et à la déshydratation au moment de cette période de développement,

Cette haute sensibilité à la déficience d'eau se répercute sur la formation des pollens par propagation à partir de la montaison, floraison et se terminant par le processus de fécondation, La diminution du rendement se produit dans ce cas à la suite de l'attaque des organes floraux et la perturbation du processus sexuel ceci à cause de la stérilité et du non remplissage de l'épi. Skaskine et Shpilenia (1947), de même que Babluda (1948) notent que la diminution du rendement pendant la sécheresse notamment en période critique se produit à cause des dommages causés aux organes floraux et aux pollens. En 1915 Stebut trouve que dans les fleurs dénudées on peut observer une anthère développée et un filament non développé de cette anthère.

L'anthère même peut ne pas contenir de pollens.

Il a été démontré que les céréales pendant un stress hydrique dans le sol au moment de la formation des pollens, des cellules mères des fleurs de la partie supérieure et inférieure de l'épi, les anthères sont courtes; et leur pollen avorte, Le pollen dans les fleurs de la partie moyenne de l'épi est stérile sur 50-60 % des cas (Zavadskaja 1959 b).

Petrovoskaïa (1956) ; Anukiév (1959) ; Uglov (1959) ont montré qu'en période de sécheresse à la fin de la floraison, les grains de pollen en développement se déforment. L'activité vitale des grains de pollen chute brusquement. Le pollen perd sa capacité de féconder les fleurs des plantes se trouvant même dans les conditions normales.

Suivant leur comportement à l'égard de l'eau, les plantes sont classées en xérophytes adaptées à la vie en milieu sec, en hygrophytes des milieux humides et les plantes intermédiaires les mésophytes.

Des études de comparaison: des caractères morphologiques et physiologiques peuvent indiquer les tendances respectives de certaines d'entre elles (xérophytes, hygrophytes, mesophytes). La nature du système racinaire longueur, dimension, répartition des racines, nous renseigne sur la faculté d'utilisation des réserves profondes du sol.

Le manioc, à racines tubercules profondes, est à tendance xérophyte alors que le maïs avec son puissant chevelu superficiel se range plutôt dans les plantes mésophytes. L'importance de la surface foliaire, corrélative d'une évaporation plus ou moins intense fournit également de précieuses indications sur les besoins en eau. Il faut noter aussi que l'entrée de l'eau à travers les racines dans les conditions normales dépend en général du degré de saturation du sol par l'eau, de la température du sol, de la composition chimique de la solution du sol et des conditions d'aération du système racinaire. Différents sols possèdent différentes capacités de rétention de l'eau et à la suite de cela présentent une résistance inégale à la pénétration de l'eau pour une même plante.

Le schéma ci-dessus illustre les interdépendances des facteurs déterminant la résistance à la sécheresse.

Schéma de la résistance à la sécheresse
(d'après Levitt, 1956)

Résistance passive	Résistance active	Adaptation (immunité)
Toute la plante est résistante	Résistance du cytoplasme des cellules de certains organes.	Adaptation aux conditions sèches Structure morphologique et anatomique et les particularités physiologiques conduisant à une résistance à la balance de l'eau
Supporte la sécheresse en état latent ou demi latent les spores, grains, bourgeons, organes souterrains.	1. traitement thermique de trempe. 2. séchage.	1. Diminution des pertes d'eau a) travail des stomates b) diminution de l'évaporation cuticulaire c) diminution de la transpiration de surface et d'autres dispositifs de défense. 2. Augmentation de la quantité d'absorption d'eau a) formation d'un système racinaire puissant b) absorption de l'eau par les feuilles à partir de l'air 3. Amélioration de la perméabilité à l'eau. 4. Formation de réserves d'eau.

Le traitement thermique de trempe permet de faire acquérir à la plante la propriété de se replier sur elle-même en cas de stress hydrique grâce à une haute élasticité et viscosité du cytoplasme. Les plantes traitées ont la possibilité en fonction des espèces de conserver cette propriété pendant quelques générations (2 à 4 ans). Comme tout processus biologique d'adaptation nécessite une certaine évolution, cette propriété n'est pas définitive et demande une certaine répétition.

Parmi les plantes tolérantes à la sécheresse passivement on peut citer les espèces éphémères (Arvidson, 1957) vivant pendant les périodes sèches sous forme de grains et les géophytes qui se replient dans le sol avec leurs parties souterraines en état de kiste.

Les plantes possédant une résistance active sont surtout les arbustes. Selon Stocker (1951) la résistance active et la résistance du cytoplasme ont le même effet. La résistance de la cellule se détermine par la capacité du cytoplasme de s'opposer à la perturbation de sa structure intérieure. La résistance cytoplasmique de différentes espèces, organes et tissus est différente (Fuchs U. Rosenstiel, 1958).

En résumé, on peut retenir que la résistance des plantes à la sécheresse s'acquiert grâce à une haute viscosité et élasticité du cytoplasme, une liaison consistante du complexe pigment lipido-protidique.

D'une façon générale personne ne s'est jamais posé la question ; comment intervenir en cas de stress hydrique ?

Parmi les perspectives répondant à cette question on peut retenir le traitement thermique par trempage et la nutrition minérale. Il est connu que ces deux facteurs aident la plante à traverser une période de sécheresse sans pour autant perdre sa productivité.

V . BIOCHIMIE DU MIL

L'attention particulière accordée au mil s'explique par son importance économique et sociale.

Au Sénégal il est consommé de diverses manières : pain, farine bouillis (sangaalé), Il est très apprécié pour la fabrication du couscous. Il est encore employé pour la fabrication d'une bière appelée dolo. La paille est un bon fourrage.

On a tendance à donner plus de priorité au rendement dans le sens quantitatif que qualitatif. Or la finalité de ce rendement est sa valeur nutritionnelle.

Il faut souligner également que les céréales ne sont pas un complément alimentaire pour nos paysans, mais constituent l'essentiel de leur alimentation, et même, à certaines périodes, leur seule ressource. L'importance donc des mils et sorgho est double : elle est d'ordre encore une fois quantitatif et qualitatif.

Il y a des milliers d'années, avant notre ère, on traitait les malades avec des aliments ce qu'on appelle la diétothérapie.

Hypocrate (460-377) ans avant notre ère) enseignait la diétothérapie,

Le révérend médecin grec Asclipiade (128-56 ans avant notre ère) recommande pour le traitement des malades l'association de la diétothérapie à la physiothérapie.

Cet aspect techniquique nous a toujours préoccupé et ici nous cherchons à lui donner sa place tout en montrant les conséquences qui peuvent en résulter en cas de déficience énergétique et de mauvaise balance alimentaire.

Le problème de l'augmentation de la production de la protéine et son utilisation rationnelle a fait l'objet de sessions spéciales à la FAO et à l'OMS. Il est connu que l'insuffisance et la déficience de protéines dans l'organisme provoque :

- une dislocation des protéines des tissus, une balance négative du métabolisme de l'azote, une diminution de l'excitation du réflexe du système nerveux central, un étouffement de l'activité hormonale des glandes endocrines, une infiltration de substance grasse du foie, une croissance lente du jeune organisme et une diminution du poids, une diminution de la réactivité de l'immunité biologique de l'organisme, un changement de l'activité des ferments, une diminution de l'activité de la phagocytes des globules blancs, en outre favorise le développement de la pellagre causée par la déficience de tryptophane indispensable pour la synthèse de l'acide nicotinique, l'apparition de l'hypoprotéinémie provoquant une faiblesse musculaire les maux de genou, le dessèchement de la peau, la diminution de l'appétit ; chez les enfants on observe la maladie kwashiorkor ; le marasme des enfants ou la forme cachectique de l'insuffisance protéinique. Chez les adultes, c'est la diatrophie alimentaire. Pour les besoins en protéines des hommes, il faut tenir compte de plusieurs facteurs : l'âge, l'état physiologique, le climat, les conditions et la spécificité du travail, les particularités individuelles et nationales.

Il faut noter que la teneur en protéines ne peut être appréciée que par la présence d'acides aminés indispensables bien balancés.

Ainsi donc, la valeur biologique des protéines ne dépend pas seulement de la quantité d'acides aminés indispensables présents mais de leur balance (équilibre).

57 - Valeur alimentaire

Les protéines des céréales sont généralement reconnues déséquilibrées à cause de la prédominance de certains aminoacides sur les autres ce qui en conséquence se reflète négativement sur la valeur alimentaire et l'efficacité de l'utilisation des graines,

Si on regarde la composition des acides aminés des protéines de différents céréales comparativement à l'étalon de protéine pour la nutrition des hommes de la FAO - (1966) ou de la protéine de lait de vache, tableau n° 5 on se rend compte que les protéines des céréales sont très pauvres en lysine. Le soja du point de vue teneur en cet aminoacide équivaut à la protéine de lait,

A l'exception du sorgho et du riz, elles se caractérisent toutes par une déficience en isoleucine.

Le maïs, le mil et le riz se distinguent des autres céréales par une haute teneur en méthionine dans la protéine totale (2-3 %). Relativement il y a peu de méthionine dans le sorgho et le blé.

Comparativement à nos besoins on note un excès de leucine dans toutes les protéines d'où la nécessité de sa diminution car seule la lysine est limitante.

Le tryptophane fait défaut chez le maïs et le sorgho. Comparativement à l'œuf entier et au lait frais qui ont une valeur biologique de 100 % la valeur biologique du mil malgré sa digestibilité de 85 % se classe entre 50 et 60. Elle se révèle ainsi celle d'un aliment assez médiocre,

La digestibilité du mil peut être considérée normale, cependant sa valeur biologique est faible.

Ceci en apparence, s'explique par une mauvaise balance des acides aminés indispensables : excès de leucine, déficience de isoleucine et surtout de lysine considérée comme acide amine limitant. En référence aux lourdes conséquences citées un peu plus haut qui pourraient en résulter de la déficience protéique et d'une mauvaise balance des acides aminés indispensables, il nous paraît nécessaire de mener à côté des programmes de sélection et de fertilisation, une étude sur l'amélioration nutritionnelle des céréales.

Teneur des acides aminés indispensables des protéines dans les grains et besoins humains en acides aminés en pourcentage de la teneur totale des protéines.

Tableau III

Acides aminés	Blé	Maïs	Mi 1	Sorgho	Riz	Soja	Besoins humains FAO 1966	Lait de vache
Lysine	2,6	2,5	2,2	2,5	3,5	6,6	4,2	6,6
Méthionine	1,7	2,1	2,4	1,6	2,9	1,4	2,2	2,4
Tryptophane	1,3	0,6	1,4	0,9	1,3	1,3	1,4	1,4
Valine	4,6	4,4	4,8	5,2	6,5	5,4	4,2	6,9
Isoleucine	3,4	2,7	3,9	5,6	4,6	5,3	4,2	6,6
Leucine	6,9	11,2	9,6	12,7	8,0	7,9	4,8	9,9
Tyrosine	2,7	3,0	3,1	2,5	4,5	3,8	2,8	5,1
Threonine	2,6	3,2	3,3	2,7	3,5	3,8	2,8	4,6
Phénylalanine	4,3	4,1	4,8	4,3	5,2	5,1	2,8	4,9
Protéine	13,5	9,5	11,0	11,2	7,8	39,0	-	33,5

D'une façon générale on peut constater que l'étude biochimique de la croissance et du développement n'a pas eu jusque là toute l'attention qu'elle mérite. Cet aspect à mon avis est aussi partie intégrante dans la recherche d'une solution du rapport tris f aiblo grain sur paille. Les métabolites (glucides, protéines nucléoprotides, etc.. .) constituent le mécanisme de la formation des rendements. Les particularités biochimiques des grains sont le résultat d'un métabolisme dont la plante s'est caractérisée au cours du processus de développement d'une graine à une autre.

Le caractère du métabolisme chez différentes formes de Plantes se déterminent par les particularités héréditaires survenues au cours du processus d'évolution et des conditions de culture.

Une des perspectives dans, l'aide de la sélection consisterait à étudier les différents caractères biochimiques liés à la productivité des céréales et leur capacité de combinaison. Il conviendrait d'étudier la répartition des métabolites dans les différents organes des plantes aux différentes phases de développement, caractériser les rendements par leur teneur en substances azotées et phosphorées, en NPK et le rapport P : N,

Du point de vue physiologique pour mieux fonder l'utilisation des engrais minéraux, il est nécessaire de suivre l'évolution de la teneur des substances azotées et des sucres dans les différents organes de la plante par phase de développement.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES



Il faut souligner qu'il n'y a pas de développement sans critiques et c'est seulement dans la contradiction que jaillit la lumière.

Les résultats obtenus sur le mil sont fort intéressants et permettent d'orienter les recherches sur de nouvelles bases.

Le mil est une céréale de grande productivité mais à cause du rapport faible grain/paille son rendement est très bas. A côté de cette insuffisance on peut noter sa valeur biologique médiocre qui nécessite également une meilleure amélioration.

Contrairement aux apparences, les exigences du mil en substances minérales se sont révélées supérieures à celles d'autres cultures (maïs), mais ce fait a pu être expliqué. Sur la base des données des exportations et grâce à la connaissance des coefficients d'utilisation des éléments minéraux par le mil dans le sol, dans les engrais minéraux et organiques il serait possible de planifier les rendements théoriques,

Le diagnostic foliaire présente bien des avantages, cependant pour une meilleure connaissance des besoins de la plante en éléments minéraux et en vue d'une programmation des rendements, il convient de l'associer aux analyses du sol. Ce complexe permet d'avoir la lumière sur le mécanisme de l'interdépendance entre les différents paramètres qui déterminent le rendement, une analyse juste et fiable quant à la recommandation aux doses optimales d'engrais minéraux et organiques.

La nutrition carbonée a révélé que le mil possède une haute activité photosynthétique et un grand pouvoir d'assimilation de CO_2 ce qui s'explique par le fait qu'il appartient au groupe de plantes en C_4 .

L'étude de l'énergie critique nous laisse à penser que l'absorption de PAR dépend de toute une série de facteurs parmi lesquels on peut retenir :

- les particularités biologiques des plantes
- la structure géométrique des feuilles
- la fertilité du sol
- l'humidité
- la qualité, du matériel et les normes de semis
- la présence de mauvaises herbes
- l'agrotechnie (technique culture)
- la maladie des plantes
- la composition spectrale du rayonnement

la présence de gaz dans l'atmosphère (O_2 , O_3 , CO_2 , H_2O) qui absorbent le rayonnement solaire direct. D'autre part pour avoir une information sur l'énergie absorbée, il faut lier les paramètres : radiations solaires, biomasses et photosynthèse. Il convient également de déterminer la fonction qui existe entre la répartition de PhAR par strate foliaire et l'intensité maximale de la photosynthèse. Un tel travail demande un matériel beaucoup plus précis tels que l'enregistreur LAMDA (300 - 3000 mm) pour les mesures de la radiation globale,] muni d'une cellule photo-électrique LAMDA pour les mesures des radiations actives de la photosynthèse PhAR (400 - 700 mm), le planimètre portatif pour mesurer la surface foliaire et une bombe calorimétrique pour évaluer la quantité de chaleur dégagée par unité de matière sèche.

Quant à la structure géométrique, à notre avis l'idéal peut être serait, de trouver une disposition hétérogène de feuilles verticales et horizontales ; cependant pour une meilleure assimilation du gaz carbonique la disposition verticale l'emporte sur l'horizontale, car les feuilles éclairées des deux faces, conditionnent l'apparition de stomates des deux faces, ce qui favorise un échauffement et une évapotranspiration très faibles une meilleure utilisation de PhAR et du gaz carbonique.

La touffe de mil constituant une unité physiologique il en résulte une concurrence mutuelle entre les plantes d'une part et les talles d'un même pied d'autre part.

Dans nos conditions climatiques tropicales où le facteur eau est déterminant, il nous paraît opportun d'adopter une densité de semis faible avec un écart allant de $0,80 \times 0,80$ à $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ avec une norme de semis de 2,2 à 4,4 kg/ha soit 2 à 3 plantes par poquet.

L'accroissement de la densité réduira les risques d'un tallage relativement excessif, mais aggravera ultérieurement les déficits éventuels de la nutrition hydrique ou minérale, énergétique. La technique traditionnelle éprouvée qui consiste à conserver trois plantes par paquets avec des écartements de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, bien que surprenante à première vue trouve son fondement dans la nécessité d'une limitation du tallage. La présence de trois plantes en un même point contribue, en effet à réduire momentanément la quantité d'azote disponible pour chacun d'eux et favorise l'extension latérale et en profondeur du système racinaire.

L'étude sur la résistance à la sécheresse a révélé que la période critique du mil se situe au stade montaison-épiaison.

A l'aide des données fréquentielles de pluie, il est possible de situer les dates de semis en fonction des cycles et des zones pour que la période critique coïncide avec la tombée des pluies.

En résumé les plantes cultivées devront posséder dans l'avenir :

- une forte capacité d'absorption des substances minérales du sol et particulièrement des composés de l'azote, ce qui ne peut être obtenu que par un développement substantiel du système racinaire ;

- une haute productivité de la photosynthèse qui dépend à son tour de la disposition des feuilles et de l'indice foliaire et surtout de l'intensité et de la durée du processus de photosynthèse ;

- une capacité accrue de transfert des produits de la photosynthèse des feuilles aux grains.

P E R S P E C T I V E S

Malgré les nombreux résultats obtenus, la physiologie et la biochimie du mil restent encore mal connues, le rapport faible grain/paille n'a pas encore trouvé sa solution.

Si pour le Souna, sa croissance et sa nutrition minérale sont connues, il n'en est pas de même pour les mils nains.

D'une façon générale beaucoup de problèmes restent encore posés et attendent leur solution, Cette solution ne peut être faite que par une étude systématique des différents processus de croissance et de développement qui conditionnent les rendements. Parmi les questions posées et par priorité on peut retenir :

En croissance :

- Etude de la croissance et du développement des variétés naines de mil. Cet aspect est fondamental chez la plante. En effet aucune amélioration n'est possible sans la connaissance de la croissance,

Lorsqu'on suit la croissance en fonction du temps, en effectuant des mesures biométriques et des observations phénologiques, on obtiendra des données exprimant le fait que la vitesse de la croissance varie continuellement au cours du développement. Elle commence à croître, passe par un maximum puis décroît.

La courbe de croissance ainsi obtenue est l'expression du cycle végétatif : elle est en relation étroite avec les modifications survenant dans l'évolution de la plante et qui se traduisent en général par des phénomènes caractérisés comme le tallage, l'épiaison, la floraison, etc.. .

Au cours de cette évolution, l'accumulation de la matière et sa composition varient suivant les phases de développement. L'importance de cette étude est la détermination des corrélations entre l'accumulation de la matière sèche, sa composition en substances nutritives, le cycle végétatif et les rendements.

- Etude sur la longévité et la capacité de fécondation des pollens

Le remplissage de l'épi dépendra dans une large mesure de l'activité vitale des pollens. Cette étude cherchera à donner une explication à la stérilité et au non remplissage des épis et les liaisons entre ces paramètres et le rendement.

En nutrition minérale et fertilisation

* Nutrition minérale des nouvelles variétés naines de mil

Cette étude permettra d'évaluer d'une façon détaillée les besoins du mil nain en éléments minéraux, la cinétique de ces éléments au cours du cycle végétatif et les exportations par les rendements.

. Etude d'optimisation du rapport. N/P/K dans les en rais

De ce rapport dépendra tout le métabolisme de la plante surtout l'accumulation de la matière sèche et le coefficient d'utilisation des éléments minéraux.

* Etude de détermination des coefficients d'utilisation des éléments minéraux dans le sol, dans les engrais minéraux et organiques par les plantes

Les résultats de cette étude permettront de planifier les doses optimales voir même les rendements théoriques sur la base des données d'exportations.

* Etude sur le rôle physiologique des microéléments sur la productivité des mils.

Cette partie de la nutrition minérale n'a pas encore été abordée en physiologie du mil ou alors est très peu développée. Certains microéléments entrent dans la composition des ferments. Ils jouent le rôle de stimulateurs de la croissance et de régulateurs dans le fonctionnement et l'intégrité des processus du métabolisme de la plante.

En nutrition carbonée

L'objectif de cette étude est de parvenir à une densité optimale de semis permettant une meilleure utilisation de la radiation photosynthétique active et partant une meilleure assimilation du gaz carbonique.

Le choix de cette densité tendra vers une optimisation de la surface foliaire projetée par unité de surface cultivée. Ce choix permettra d'éviter l'ombrage et les pertes de chaleur par échauffement du sol provoquant des perturbations dans l'échange hydrique des plantes.

Cette étude fait intervenir la détermination de plusieurs paramètres liés entre eux et auxquels dépend le rendement.

* L'intensité de la photosynthèse et son efficacité. Plus l'intensité de la photosynthèse est supérieure à celle de la respiration plus sa productivité est grande. Le gain en matière sèche se traduira par la différence entre photosynthèse - respiration;

* La teneur en chlorophylle de tous les organes aériens et la prolongation de leur activité vitale contribueront dans une large mesure au remplissage de l'épi ;

- la productivité pure de la photosynthèse s'exprime par la quantité de matière sèche formée par unité de masse de chlorophylle en 24h.

- le coefficient d'utilisation de la radiation photosynthétique active montre la capacité d'absorption de l'énergie par la plante. C'est le rapport entre l'énergie de réserve dans la biomasse et la quantité de la radiation photosynthétique active enregistrée durant tout le cycle végétatif.

Si les conditions de l'alimentation hydrique et minérale sont assurées, les différents paramètres cités plus haut réunis et liés au rendement permettront de définir la densité optimale de semis.

En biochimie du mil

Cette étude fait intervenir la nécessité de connaître la dynamique de :

- l'échange des hydrates de carbonés
- l'échange protéique
- le métabolisme phosphorique
- l'activité des ferments etc.,

A la suite de la photosynthèse, il se forme ces substances organiques localisées dans différents organes de la plante et en quantités différentes, De leur répartition dans la plante et de la durée de leur poussée vers les grains en formation, dépendra le rendement.

En effet entre les parties aériennes et les parties souterraines, il existe une concurrence mutuelle aux photosynthats même en cas de densité optimale de semis et qu'un "pompage" des assimilats avec une couverture de fumure est nécessaire. Dans le cadre de la sélection la teneur en protéine et en acides nucléiques doit constituer un critère de sélection.

Valeur alimentaire

Augmentation de la lysine et diminution de la leucine. Le mil est une céréale de grande digestibilité mais à cause de sa teneur faible en lysine et l'excès en leucine sa valeur biologique est médiocre.

En alimentation hydrique

Le rôle limitatif de l'eau a motivé l'étude de la résistance à la sécheresse. Cette étude fait intervenir la nécessité de connaître les différents paramètres participant au métabolisme de la plante toute entière. Pour cette raison un certain nombre d'éléments physiologiques et biochimiques sont pris en considération afin de trouver les corrélations qui existent entre eux.

Notre but donc est la mise en évidence des relations caractéristiques se manifestant d'une part entre les changements physiologiques de la plante et le rendement en cas de stress hydrique et d'autre part entre ceux-ci et les changements biochimiques (activités enzymatiques et métabolisme phosphorique, etc..).

La perspective dans les études de résistance à la sécheresse ou d'adaptation représente la détermination des voies de régulation de la croissance et leur influence sur le métabolisme tout entier en cas de stress hydrique.

C'est pourquoi la tâche qu'on s'est assignée consiste à étudier l'influence du traitement thermique par trempage et les périodes d'application des macro et microéléments (période critique) sur les changements physiologiques et biochimiques des mils dans le but d'obtenir des données sur l'influence du traitement thermique par trempage et les éléments minéraux sur l'enracinement le métabolisme de l'eau, la viscosité et l'élasticité du cytoplasme, le métabolisme phosphorique, l'activité des ferments (ribonucléase, aldolase, ATP-ase, peroxydase, etc., .), la longévité et la capacité de fécondation des pollens et la formation de la biomasse par les plantes de mils au cours de leur ontogénèse, permettant de fonder scientifiquement l'utilisation de cette méthodologie en milieu paysan et dans la production en général.

Dans ce chapitre des perspectives nous suggérons un projet de recherche comportant quatre principaux sujets tous liés à la productivité.

- 1/ - Etude physiologique
- 2/ - Etude biochimique
- 3/ - Ecophysiologie
- 4/ - Nutrition minérale.

Traitement thermique de trempe

Dispositifs préliminaires

a) - Un premier choix sur les caractéristiques physiologiques liées au rapport grain/paille sera fait entre les différents hybrides.

b) - Pour le traitement différentes méthodes seront utilisées avec de l'eau et des solutions de sels minéraux.

Je tiens à signaler que les méthodes sont nombreuses mais dans cette diversité nous avons choisi celles qui semblent plus accessibles en milieu paysan,

Mous chercherons à déterminer la concentration optimale. Après ce traitement le matériel sera soumis à une deuxième sélection par un test de germination.

Test de germination

Cette méthode consiste à faire germer les grains dans des séries de solutions à pression osmotique croissante (t° 22°C, temps 48-72h). Les grains qui auront la capacité de germer dans la solution la plus forte seront jugés résistants.

On peut également procéder autrement :

• Faire germer les grains dans un endroit sombre avec une température de 25° jusqu'à l'apparition de la racine 1-1,5 cm (48h). Ensuite on les fait passer dans un dessiccateur contenant une solution NaCl (4,6 %) pendant 18 heures. La résistance à la sécheresse se jugera par la teneur en amidon dans le calyptre.

Ces méthodes permettent facilement de sélectionner dans une série de populations, les variétés, lignées ou hybrides qui présentent une plus grande force de succion et; d'avoir la lumière sur leur résistance à la sécheresse;

Matériel, NaCl, Saccharose, microscope, boîte de Petri.

Sujet n°1 : Etude physiologique. Elle consiste à définir ou appréhender toutes les caractéristiques physiologiques et morphologiques liées au rendement.

La condition la plus importante pour éviter l'action de la sécheresse sans dout c'est d'avoir un système racinaire très bien développé en largeur et en profondeur, garantissant la demande en eau pendant les périodes sèches.

1 - Système racinaire : détermination des dimensions et du poids.

2 - Détermination de la période critique : Il s'agira d'infliger aux plantes un stress hydrique aux différentes phases de développement. En général les plantes notamment les céréales sont sensibles à la sécheresse surtout au moment de la formation des organes reproducteurs. Elles réagissent contre l'échauffement et la déshydratation différemment au cours des phases de son développement. Cette période se situe entre l'apparition de la panicule et la fin de la floraison pour le mil et le sorgho.

3 - Viscosité et élasticité du plasme : Il a été établi que la viscosité du plasme et son élasticité pendant la période critique chute brusquement, ce qui en apparence représente l'une des conditions principales de la haute sensibilité de la plante à l'échauffement et à la déshydratation en période critique, On peut s'attendre à un changement des propriétés de la plante et du métabolisme tout entier. les processus de la croissance et la formation de nouveaux organes se déroulent intensivement avec de grandes dépenses en énergie.

4 - Régulation de la transpiration : Le rôle principal de la transpiration repose sur le refroidissement de la plante. En effet, en absorbant les rayons lumineux au cours de la photosynthèse, la plante naturellement se chauffe fortement car la plus grande partie de l'énergie est reçue chaudement et à peine une partie insignifiante est affectée à la photosynthèse. Les régulateurs de la transpiration sont les stomates. Leur ouverture et leur fermeture sont liées au passage de l'amidon au sucre et inversement selon que la pression de turgescence diminue ou augmente.

Une attention particulière est à retenir quant à la localisation des stomates chez les feuilles. Ils sont localisés de façon variable. Lorsque les deux faces de la feuille sont également éclairées, les stomates existent sur l'une et l'autre, c'est le cas des feuilles dressées, qui sont fréquentes chez les monocotylédones et des Eucalyptus. Lorsque les deux faces sont inégalement éclairées, chez les feuilles disposées horizontalement, c'est exclusivement sur la face inférieure, la moins éclairée que se trouvent les stomates. Chez les feuilles nageantes, on ne trouve de stomates que sur la face supérieure ; chez les feuilles complètement immergées, il n'y a pas de stomates.

a) - La régulation peut se faire par un contrôle du mouvement des stomates, (Méthode d'infiltration par G. Molish). Elle consiste à porter sur la surface de la feuille une goutte de liquide pénétrant à l'intérieur des stomates. La goutte une fois pénétrée, forme une tache claire bien visible à la lumière. Quand les stomates sont bien ouvertes, l'alcool pénètre facilement dans la feuille. Si les stomates sont ouvertes à 30-50 %, l'alcool ne pénètre plus mais le benzol pénètre. Quand ils sont très faiblement ouverts seul xylol peut pénétrer.

b) - Détermination de l'intensité de la transpiration. C'est la quantité d'eau évaporée par la plante pendant une unité de temps et de masse ou de surface de feuilles.

c) - Détermination de la productivité de la transpiration. C'est la quantité de matière sèche formée pendant l'évaporation d'un litre d'eau (1 000 g).

d) - Coefficient de transpiration - C'est la quantité d'eau évaporée par la plante pour la formation d'un gramme de matière sèche.

Productivité pure de la photosynthèse : C'est le rapport entre l'accroissement de la matière sèche et le développement de la surface assimilatrice (indice foliaire) pendant un intervalle de temps donné.

Dynamique de la croissance.
Etude de l'architecture de la plante.

Teneur des pigments - complexe pigment lipidoprotide : Une liaison consistante de ce complexe est une des caractéristiques de la résistance à la sécheresse.

Longévité et capacité de fécondation des pollens

Structure du rendement

- poids d'une plante
- poids d'un épi
- nombre d'épis par plante
- poids de grains d'un épi.

Dans ce projet nous ne faisons pas cas de l'étude de la photosynthèse et de l'énergie lumineuse qui figurent de jà dans le programme en cours.

Méthode : En vase de végétation, au champ, on saison sèche, irrigation de précision, au goutte à goutte, avec vanne automatique à volume affichable.

Appareillage : Tensiomètre (-20 bars), psychromètres différentiels, poromètres, planimètre, viscosimètre.

sujet n°2 - Etude biochimique ou résistance métabolique

Cot aspect a été largement commenté un peu plus haut. Rappelons cependant que les métabolismes des hydrates de carbone, protéique et phosphoriques sont directement liés à ce mécanisme,

Le processus du passage de l'amidon au sucre et le sucre à l'amidon dans les chloroplastes des cellules réniformes est à la base de l'ouverture et de la fermeture des stomates, Il existe également une conception selon laquelle pendant l'ouverture des stomates on observe une haute teneur de l'ATP et cela coïncide avec une haute teneur des ions osmotiquement actifs. ATP oriente l'énergie des liaisons macroénergétiques au transport des substances osmotiquement actives à travers les membranes cellulaires. A la suite de cela le potentiel osmotique des cellules réniformes croît et les stomates s'ouvrent.

L'ouverture des stomates est aussi liée à l'augmentation du volume du noyau et du passage de l'ADN sous la forme métabolique active (état de la chromatine) au même moment dans les stomates fermes on trouve la chromatine bien structurée.

Le passage de l'ADN à l'état actif métabolique s'accompagne d'une croissance de la teneur de l'ARN dans toutes les structures des cellules réniformes, d'une activation de systèmes de ferments et d'une nette augmentation de la synthèse de l'ATP.

Ainsi le mouvement des stomates est sous le contrôle de l'ADN qui régularise ce mécanisme,

La résistance métabolique est largement commentée il ne reste plus qu'à citer les différents paramètres à étudier,

- 1 - Métabolisme de l'eau (eau liée, eau libre)
- 2 - Viscosité et élasticité du cytoplasme
- 3 " Métabolisme phosphorique (phosphore total, phosphore non organique, ATP, Acides nucléiques)
- 4 - Azote total, protéique et non protéique
- 5 - Teneur en sucres.

Ferments :

- Activité de peroxydases
- Activité du ribonucléase
- " de l'aldolase
- " de l'ATP-ase.

Méthode : En vase de végétation, au champ en saison sèche avec irrigation de précision au goutte à goutte, avec vanne automatique à volume affichable.

Appareillage : Réfractomètre, viscosimètre, spectrophotomètre, installation d'appareil à distiller Kjeldhal et grilles de minéralisation, saccharimètre, filtre de Kitasato.

Produits chimiques :

- Ribonucléate de sodium, acétate d'uranyle, acide trichloracétique, acide perchlorique, Etanol, Acétone, Ether sulfurique, fructose - 1,6 diphosphate de sodium, sel d'adenosine triphosphorique de sodium, charbon actif.

Les résultats des études physiologiques et biochimiques nous permettront d'aborder le sujet suivant avec toutes les connaissances sur le mécanisme et le comportement de la plante en période critique.

Sujet n°3 - Eco-physiologie : Adaptabilité de la plante après traitement thermique de trempé dans les différentes zones du Sénégal. Analyse des rendements basée sur les critères précédemment définis les observations phénologiques et les conditions pédoclimatiques.

Méthode : au champ - en saison des pluies.

Equipement : matériel agricole (semoirs, batteuses à épi, compteur à graines, bascule, rateaux, etc. .).

Sujet n°4 - Nutrition minérale : L'un des facteurs le plus déterminant dans la résistance à la sécheresse constitue la nutrition minérale.

Il est connu que les sels minéraux macro et micro-éléments influent dans le sol, des phases du développement de la plante et des périodes de leur application.

Des études ont montré que de fortes doses d'azote avaient un effet négatif sur le traitement thermique, alors qu'une bonne nutrition potassique renforçait l'effet positif du traitement thermique de trempé. En apportant une couverture de phosphore au bas âge du blé, il en est résulté une augmentation de la synthèse des composés organiques phosphoriques (nucléoprotides), ce qui a entraîné une croissance du taux d'hydratation des colloïdes du cytoplasme occasionnant l'augmentation de la teneur de l'eau liée et du rendement.

En résumé, nous pouvons dire que l'apport d'engrais améliore la croissance, le développement et conditionne une meilleure utilisation de l'eau par les plantes.

Les engrais augmentent la productivité du processus de la transpiration c'est-à-dire pour chaque unité de matière sèche formée, la plante dépense peu d'eau.

Une couverture d'azote à un âge avancé aussi favorise l'augmentation de l'hydratation des colloïdes du cytoplasme, Quant au potassium sa fonction est polyvalente. Il joue le rôle de régulateur dans le fonctionnement et l'intégrité des processus du métabolisme de la plante, Il influe pas seulement sur l'hydratation des colloïdes du cytoplasme mais aussi sur la prolongation de l'activité vitale du système des pigments.

Dans cette étude, la tâche principale consistera à mettre la lumière sur la question : peut-on affaiblir l'action d'une déficience en eau à une période donnée du développement de la plante et surtout en période critique à l'aide d'éléments de la nutrition minérale ? Ici deux cas sont à considérer. Fertilisation après un traitement thermique de trempé ou sans traitement, L'attention particulière est surtout axée sur le premier cas. On a eu à signaler que l'excès d'azote diminuait l'effet positif du traitement thermique de trempé.

Ainsi il nous paraît très important pour ce cas précis de chercher le rapport optimal de N : P : K dans la solution du sol susceptible de renforcer l'effet positif du traitement thermique de trempé.

Dans le deuxième cas de l'étude de la nutrition minérale sans traitement thermique de trempé il conviendra de déterminer l'efficacité des éléments minéraux sur les stress hydriques intervenus aux différentes phases de développement de la plante.

A cet effet, la connaissance de la période critique est nécessaire. De même que le traitement thermique de trempé l'étude de la nutrition minérale peut comporter les sujets suivants :

Sujet n° 4.1 : Etude physiologique

Effets de la nutrition minérale macro et microéléments sur la période critique, sur les changements physiologiques du mil en liaison avec le rendement.

Dynamique des éléments minéraux.

Sujet n° 4.2 : Etude de la résistance métabolique en liaison avec le rendement,

Sujet n° 4.3 : Adaptabilité en milieu paysan

Nota : Les paramètres à déterminer et les méthodes à utiliser sont les mêmes qu'au traitement thermique de trempé,

Les perspectives ci-dessus ne sont pas classées par ordre d'urgence, mais suivant l'évolution des aspects abordés dans le temps. Ainsi en conformité avec le plan de développement rural, en physiologie végétale, l'alimentation hydrique occupe la première place. Pour les autres perspectives pour le moment les questions restent posées et feront l'objet d'étude par la suite.

B I B L I O G R A P H I E

- VIDAL P. Croissance et nutrition minérale des mils (Pennisetum) cultivés au Sénégal. Thèse de docteur-ingénieur Université de Dakar 1963.
- CORRIOLS J. Quelques observations sur la biologie florale du mil et du sorgho au Sénégal. Annales du Centre de recherches agronomiques de Bambey au Sénégal 1950.
- RAMOND C. Pour une meilleure connaissance de la croissance et du développement des mils pennisetum Bambey 1966.
- BLONDEL D. Premiers résultats sur la dynamique de l'azote de deux sols du Sénégal. Col. fert. Sols tropicaux, Tananarive 1967,
- JACQUINOT L. La nutrition minérale du mil (Pennisetum typhoides Stapf et Hubbard) Agronomie tropicale n° 19 - 1969.
- JACQUINOT L. La nutrition minérale du mil (Pennisetum gibbosum) Effets de la nature de l'alimentation azotée sur l'absorption de l'azote et sur la croissance. Interaction de l'alimentation en for CNRA Bambey 1968.
- JACQUINOT L. Translocation du 32 P et 35 S. Similitude avec la translocation des assimilants photosynthétiques CNRA Bambey 1968.
- JACQUINOT L. Division de physiologie végétale. Recherches et résultats obtenus en 1969 CNRA Bambey Janvier 1970.
- JACQUINOT L. Le potentiel photosynthétique du mil (Pennisetum typhoides) et le rendement utile CNRA Bambey 1971.
- JACQUINOT L. La nutrition carbonée du mil (Pennisetum typhoides Stapf et Hubb.). Migrations des assimilats carbonés durant la formation des graines, Agronomie tropicale Vol, XXV, n°12 - 1970.
- POUZET D. Potentiel photosynthétique et Potentiel de production du mil (Pennisetum typhoides) CNRR Bambey octobre 1974.
- POUZET D. et M. PUARD. Photosynthèse et respiration d'un mil (Pennisetum typhoides) "in vivo".
Application à la détermination de l'énergie critique Ec CNRA Bambey octobre 1974.

- POUZET D. et M. PUARD. Etude de la respiration d'une feuille de mil (Pennisetum typhoides) placée en conditions déficitaires de bilan énergétique lumineux, journalier CNRA Bamby octobre 1974.
- POUZET D. Densité optimum d'une population de mil (Pennisetum typhoides) améliorée - relations avec la densité critique et la densité de semis.
- PUARD M et al. campagne d'hivernage 19'75 - CNRA Bamby.
- JACQUINOT L. , POUZET D., PUARD M. Rapport général d'activité, volume II, Projet FED. Amélioration des mils - CNRA Bamby.
- Mlle DIOP F. Synthèse des travaux des hivernages 1976 - 1977 et contra-saison 1977 - CNRA Bamby 19'78.
- Mlle DIOP F. Rapport de synthèse CNRA Bamby Mai 1979.
- SIBAND P. Système de culture hydroponique pour des études de plantules de céréales. Agronomie Tropicale Juillet-septembre 1978.
- SIBAND P. Rapport d'activité 1974 de la division de physiologie végétale. Nutrition minérale CNRA Bamby.
- SIBAND P. Evolution du pH du milieu nutritif au cours de l'alimentation du mil et de quelques autres céréales CNRA Bamby 1976.
- SIBAND P. Physiologie de la nutrition du mil au CNRA de Bamby. Principaux résultats 1974-1977 - Juillet 19'77.
- SIBAND P. Nutrition minérale des plantules de mil, maïs et sorgho au cours des premiers jours de végétation CNRA Bamby, Janvier 1978.
- SIBAND P. Nutrition minérale des plantes de mil, maïs et sorgho au cours des premiers jours de végétation. Février 1978.
- SIBAND P. Evolution du système grain-plantule chez le mil (Pennisetum typhoides) au cours de l'épuisement du grain II Evolution minérale.
- SIBAND P. Rapport de synthèse 1978 - CNRA Bamby - mars 1979.
- OVTCHAROV K.E. Physiologie de la formation et de la germination des grains, - Moscou "Koloss" 1976.
- PAVLOV A. L. L'accumulation de protéine dans le grain de blé et de maïs "Nauka" 1967.
- Platon M. Lucrari Stiit inst. Agron. Fac. agric. Sizootech Jasi Buuresti, Ed, agron. Silv. Stat 1959.
- SEMEGNEENKO T.N. Le rôle des différents organes des plantes de maïs au cours du processus de formation et d'accumulation de la matière sèche de l'épi, Université d'Etat de Moscou 1957.

- MAKHOTKINA G. A. Quelques changements physiologiques dans les feuilles et les tiges de blé on accélérant le processus de vieillissement, "Nauka" U.R.S.S. Novosibirsk 1973.
- WERHAGEN A.M.V., WILSON J.H., BRITTEN E.J., Plant production in relation to foliage illumination "Ann. Bot.", 1963, 27 p. 627-640.
- TOOMING H. La radiation solaire et la formation des rendements. Leningrad 1977.
- NILSON T. Ross V. Détermination de la densité du couvert végétal à l'aide de photographie. Tartou Estonie 1971.
- NITCHIPOROVITCH A.A. Les voies de l'augmentation de la productivité de la photosynthèse des cultures. Acad. des Sciences U.R.S.S. Moscou 1963.
- ZAMFIRESCU N. Le rendement photosynthétique et la structure de la biomasse, facteurs importants dans l'accroissement des récoltes. Institut agronomique "Balcescu" Bucarest 1969.
- HENKEL P. A. Physiologie des plantes - Moscou 1975.
- SKAZKIN F. D, Période critique chez les plantes à l'égard d'un stress hydrique dans le sol. Académie des Sciences U.R.S.S. Leningrad 1971.
- LEVITT J. Acadcm. Press. New York (1956).
- ARVIDSON I. OIKOS Suppl. 1,1 1957.
- FUCHS W. H. und V. ROSENSTIEL, K.1. Hb d. Pflanzenzücht (Avfl)1. Berlin (1950).
- IVONTCHIK P.N. Agronomie générale de l'Afrique de l'Ouest . Kiév. 1976./-

A N N E X E

Tableau n°1 : Biométrie

Jours après le semis.....		15	25	60	92	108	124	150
Tige principale (T.P.)	Hauteur (cm)....	3,2	5,9	25,0	147,7	274,2	275,8	280,0
	Nombre de feuil.	4,3	0,4	10,3	15,4	15,9	16,0	16,0
	Nbre de talles..	0	0,2	3,4	3,8	3,6	2,7	3,0
Talles	Hauteur moyenne.	-	-	8,0	43,7	80,0	120,0	120,0
	Nbre de feuilles	-	2,4	6,9	9,7	11,4	11,6	11,8

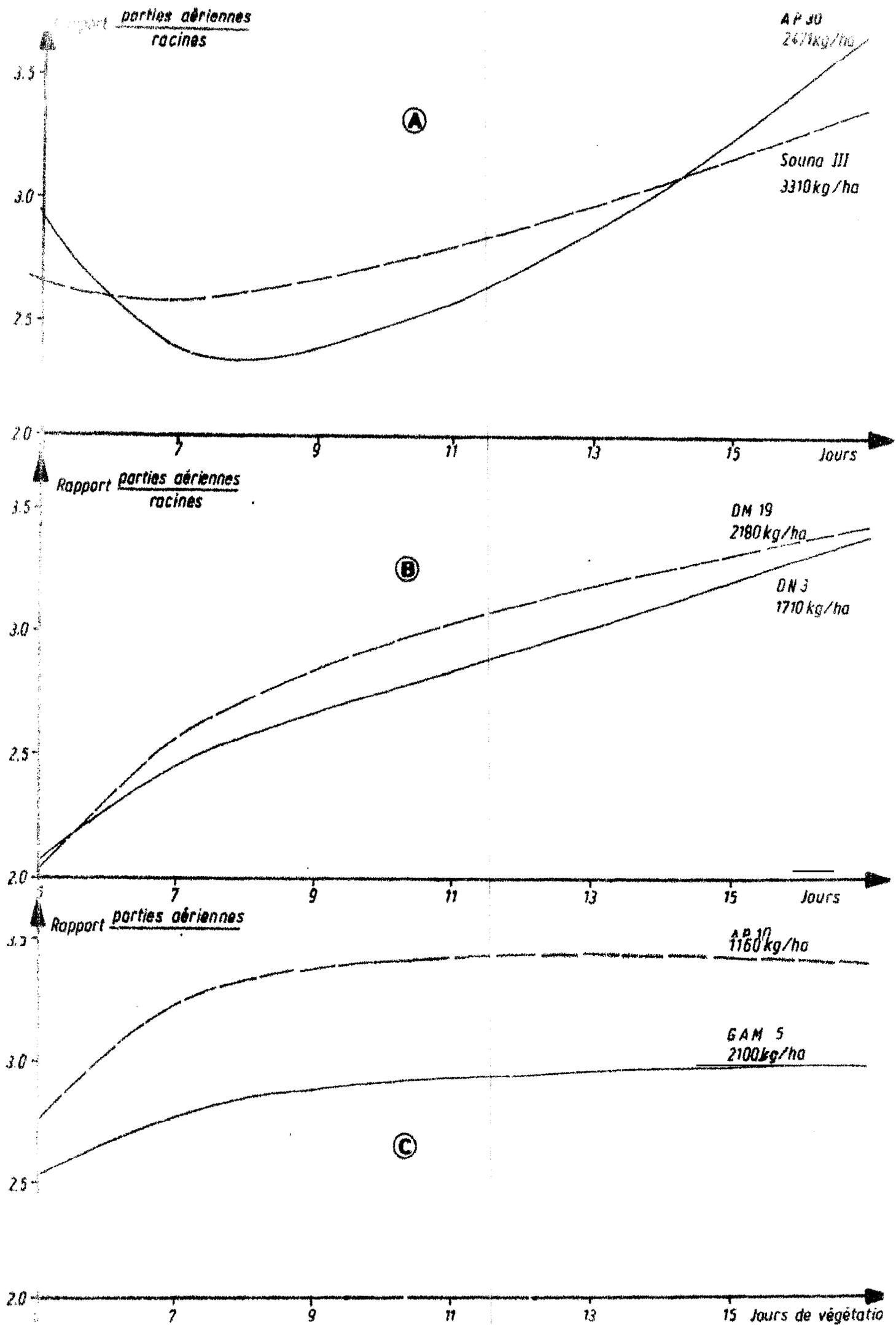


FIGURE N° 1 : EVOLUTION DU RAPPORT PARTIES AERIENNES/RACINES