

LOUE 7

Bois et Arbre

**FERTILITÉ**

**informations  
sur la  
fertilisation  
en régions  
tropicales  
et  
subtropicales**

EB 403 (d)

REVUE TRIMESTRIELLE  
NOVEMBRE-DÉCEMBRE  
1963

20

12437

LOUE

# *FERTILITÉ*

22 OCT. 1968

S. T. O. M.  
Collection de Référence  
n° 12437 lx1

# FERTILITÉ

Rédaction - Administration - Publicité  
15, RUE DU LOUVRE - PARIS (1<sup>er</sup>)  
CEN. 33-96 — C.C.P. 4663-62 PARIS

REVUE TRIMESTRIELLE  
EN 4 LANGUES

## ABONNEMENTS :

France : 1 an ..... 10 F  
Etranger : 1 an ..... 12 F

## LE NUMERO :

France ..... 3 F  
Etranger ..... 4 F

## EDITIONS SEDA

Directeur de Publication : A. DAUJAT

## SOMMAIRE

<b>Contribution à l'étude de la nutrition cationique et plus particulièrement potassique du maïs .....</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	
Méthodes d'études de la nutrition minérale du maïs .....	5
Dispositifs expérimentaux ayant servi de bases d'étude .....	7
<b>Première partie</b>	
Les exportations d'éléments fertilisants par le maïs .....	10
<b>Annexe à la première partie</b>	
Les signes de la déficience en potassium sur le maïs .....	20
<b>Deuxième partie</b>	
Exigences minérales comparées de diverses variétés de maïs hybrides .....	22
<b>Troisième partie</b>	
La nutrition cationique du maïs et le diagnostic foliaire .....	33
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>52</b>

## COMITÉ DE RÉDACTION

### M. Georges AUBERT

Chef de la Section des Sols, Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer  
Membre de l'Académie d'Agriculture de France

### M. Lucien AUDIDIER

Ingénieur Général Honoraire de l'Agriculture  
Membre de l'Académie d'Agriculture de France

### M. Jean BUSTARRET

Directeur de l'Institut National de la Recherche Agronomique

### M. Raymond CHAMINADE

Directeur de Recherches à la Station Centrale d'Agronomie

### M. Albert DAUJAT

Ingénieur Agronome

### M. Henri FERRU

Inspecteur Général de l'Agriculture

### M. Pierre PREVOT

Directeur des Recherches Agronomiques  
Institut de Recherches pour les huiles et oléagineux

### M. Maurice ROSSIN

Inspecteur Général de l'Agriculture  
Président du Comité des Investissements Agricoles



◀ Signe de carence en potasse sur maïs.  
Champ de Pau-St-Léon (Basses-Pyrénées).



Essai sur maïs hybride W 355  
en 1950. Epi venu sur parcelle à  
fumure NP carencée en potasse. ▶



Essai sur maïs hybride à Pau-St-Léon (Basses-Pyrénées) 1952.  
A droite, parcelle sans potasse. A gauche, parcelle à forte dose de potasse.

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE  
DE LA NUTRITION CATIONIQUE  
ET PLUS PARTICULIÈREMENT  
POTASSIQUE DU MAÏS**

par A. LOUÉ \*  
Ingénieur Agronome

22 OCT. 1968

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 2437

\*Directeur de Recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. En service détaché à la Société Commerciale des Potasses d'Alsace.

# INTRODUCTION

## MÉTHODES D'ÉTUDES DE LA NUTRITION MINÉRALE DU MAÏS

La nutrition minérale du maïs constitue un très vaste sujet qui fut particulièrement étudié aux Etats-Unis qui produisent environ la moitié du maïs mondial. Des articles portant sur l'ensemble du problème, et passant en revue les résultats les plus substantiels de la vaste littérature en cause, y ont été publiés, en particulier ceux de **SAYRE** (60) et de **NELSON** (54).

En France, la nutrition minérale du maïs n'est guère étudiée que depuis que les maïs hybrides américains sont cultivés sur une grande échelle dans le Sud-Ouest.

Cette étude se réfère plus particulièrement au groupe des éléments majeurs qui semble avoir été le moins étudié, celui des cations K - Ca - Mg.

La distinction de l'équilibre entre anions (N - S - P) et de l'équilibre entre cations (K - Ca - Mg) a le mérite de considérer d'une part les éléments dont le rôle est principalement constructeur et ceux dont le rôle principal est autre et variable.

Cette conception n'est pas incompatible avec le fait que des proportions convenables doivent exister entre anions et cations. (Du point de vue agronomique, l'étude des interactions N x K est particulièrement importante dans l'expérimentation des fumures potassiques).

Les cations majeurs K, Ca, Mg se répartissent dans les diverses parties du végétal dans des proportions qui ne sont pas indifférentes à l'obtention de bons rendements.

La connaissance de la nutrition du maïs en K - Ca - Mg peut aider à l'établissement de fumures adaptées aux exigences de cette plante selon les conditions de milieu et de culture.

Les aspects de cette nutrition peuvent être étudiés par diverses méthodes :

- 1) En premier lieu la connaissance des **symptômes de malnutrition** est indispensable, mais cette méthode est d'une application délicate sur le terrain, sauf dans les cas de cultures carencées, assez rares dans le Sud-Ouest de la France si l'on excepte les sols sur sables des Landes (déficiences K, Mg). Les signes de la déficience en potassium sont rapportés plus loin à titre indicatif.
- 2) La nutrition peut être étudiée sur des bases physiologiques par des **essais en vases**. C'est ainsi que par la méthode dite des variantes systématiques basée sur l'étude des meilleurs équilibres N - S - P et K - Ca - Mg, **HOMES** et al. ont déterminé les pourcentages en équivalents chimiques des besoins absolus du maïs (35).

Pour 100 équivalents totaux :

NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> /2	PO <sub>4</sub> /3	K	Ca/2	Mg/2
22,6	17,0	17,0	14,3	14,8	14,3
316 g N	272 g S	390 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	672 g K <sub>2</sub> O	414 g CaO	286 g MgO

Les besoins absolus totaux sont indépendants de la concentration et sont donc exprimés en pourcentages de chacun des composants par rapport au total.

La fertilité d'un sol met à la disposition d'une culture de maïs une certaine quantité  $q_1$  d'équivalents chimiques N, S, P ; K, Ca, Mg dans des proportions qui dépendent de chaque sol.

Les besoins complémentaires du maïs, déterminés expérimentalement, apportent une certaine quantité  $q_2$  d'équivalents chimiques N, S, P ; K, Ca, Mg. Le total  $Q = q_1 + q_2$  (fertilité + fumure) met à la disposition de la culture une quantité d'équivalents chimiques dans des proportions satisfaisant aux besoins absolus du maïs.

Cette méthode pose cependant un problème délicat et inéluctable, l'appréciation exacte de la fertilité.

- 3) Certaines **méthodes rapides** d'appréciation des besoins nutritifs sont séduisantes au premier abord.

Telle est en particulier celle de l'analyse minérale rapide du suc provenant soit de pétioles, soit de nervures principales entre autres organes.

Elle fut précisément débutée et poursuivie, surtout sur le maïs, grâce aux travaux américains.

Certains tests rapides peuvent avoir une réelle sensibilité, en particulier le test des nitrates.

Pour le potassium, le test est généralement celui de la dipicrylamine qui donne avec le potassium un complexe de coloration rouge-orange stable en milieu acide.

D'autre part, **HOFFER** avait remarqué que, chez le maïs, la déficience grave en potasse se traduit par une accumulation de composés de fer insolubles, à l'insertion des feuilles. Une solution de sulfocyanure de potassium additionnée de ClH appliquée à ce point donne une teinte rouge sang (33), mais l'accord avec les résultats des autres tests a été diversement jugé (**THORNTON**) (73).

Ces tests très étudiés sur maïs aux Etats-Unis ne donnent que des informations approximatives (29). On se heurte pour le moment du point de vue recherches à la grande difficulté d'établir des normes d'interprétation. Cependant cette méthode serait utilisée couramment en Union Soviétique pour le diagnostic du besoin des plantes en engrais (75). L'analyse du suc pétioleaire a été étudiée récemment en France (18), ainsi que le problème de l'interprétation des résultats des tests rapides (47).

- 4) L'étude de la nutrition minérale du maïs comporte l'examen de la croissance de la plante et, en particulier, de **la formation de matière sèche. L'étude de l'accumulation et des mouvements des éléments nutritifs** dans la plante au cours de la croissance jusqu'à la maturité est de la plus haute importance pour la détermination des besoins en éléments nutritifs. Les graphiques de **SAYRE** sur l'accumulation de N, P, K au cours du cycle sont classiques (61).

La composition minérale de la plante à maturité constitue la résultante des accumulations et migrations au cours de la croissance. Elle peut servir à la détermination des exportations d'éléments minéraux. Tel est l'objet de la première partie de cette étude, tandis que la deuxième partie porte sur la comparaison de diverses variétés de maïs hybrides tardifs au regard de la répartition des éléments minéraux au cours du cycle.

- 5) Enfin, la nutrition du maïs peut être étudiée d'une manière classique à partir **d'essais d'engrais** plus ou moins complexes, sur lesquels on suit la composition chimique d'un organe par des prélèvements déterminés (contrôle biochimique de parcelles expérimentales, **diagnostic chimique**).

Cette méthode, basée à la fois sur la physiologie de la nutrition et sur l'expérimentation agronomique, complétée par des **études de sols**, semble la plus riche d'enseignements et la plus propice aux applications pratiques. C'est elle qui est surtout utilisée ici, dans une troisième partie consacrée à l'étude de la nutrition cationique du maïs.



# DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX AYANT SERVI DE BASES D'ÉTUDE

Les échantillons, soit de plantes entières (étude des exigences minérales et des mouvements des éléments nutritifs) soit de feuilles (diagnostic foliaire de la 3<sup>e</sup> partie), furent prélevés sur des essais d'engrais réalisés soit sur la Station Agronomique d'Aspach en Alsace, soit dans le Sud-Ouest de la France par le Service de l'expérimentation agronomique des Potasses d'Alsace (49).

Cette expérimentation axée sur l'étude de la fertilisation potassique permet précisément d'obtenir des plantes aux compositions chimiques finales et aux diagnostics foliaires parcellaires différenciés, particulièrement grâce à la poursuite des essais sur plusieurs années.

## a) Principaux essais d'engrais suivis

Les principaux essais étudiés furent : Pau (Basses-Pyrénées)

— essai complexe maïs sur maïs, de 36 parcelles, suivies en 1954, 1955, 1956  
— essai factoriel portant sur l'étude de trois niveaux d'azote ( $N_0, N_1, N_2$  soit 0, 40, 80 kg N/ha) combinés à trois niveaux de potasse ( $K_0, K_1, K_2$  soit 0, 80, 160 kg  $K_2O$ /ha) à partir de chlorure. Fumure phosphatée uniforme de 80 kg  $P_2O_5$ /ha.

Pau (Basses-Pyrénées)

— essai simple comportant à partir de 1957 quatre soles en maïs et quatre soles en prairie et pour chaque sole trois doses de potasse ( $K_0, K_1, K_2$  soit 0, 100, 150 kg  $K_2O$ /ha à partir de chlorure), soit 12 parcelles en maïs, suivies en 1955, 1956, 1957, 1958, 1961. Fumure phosphatée uniforme de 80 kg  $P_2O_5$ /ha.

Laluque (Landes)

— essai de 20 parcelles de maïs sur maïs, quatre répétitions des traitements NPK<sub>0</sub>, NPK' (150 unités  $K_2O$  du chlorure), NPK'' (150 unités  $K_2O$  du bicarbonate) NPK'Mg et NPK''Mg (50 unités MgO).

Sainte-Marthe (Lot-et-Garonne)

— essai factoriel de 30 parcelles suivies depuis 1961 - portant sur l'étude de deux niveaux d'azote  $N_1$  et  $N_2$  (soit 80 et 120 kg N/ha) combinés à trois niveaux de potasse  $K_0, K_1, K_2$  (soit 0, 80, 120 kg  $K_2O$ /ha). Fumure phosphatée uniforme de 120 kg  $P_2O_5$ /ha.

Station d'Aspach (Alsace)

— A partir de 1956, les essais sur maïs y ont été intégrés dans un ensemble d'essais factoriels  $N \times K$ , combinant trois niveaux d'azote  $N_1, N_2, N_3$  (35, 70, 105 kg/N) et trois niveaux de potasse  $K_0, K_1, K_2$  (0, 75, 150 kg/ $K_2O$ ) en présence d'un apport uniforme de  $P_2O_5$  (105 kg). Chaque année ici, le maïs occupe une sole différente de la Station, chaque essai comportant six blocs des neuf traitements.

## b) Conditions de sols des essais

Les conditions de sols de ces essais (tableau I) correspondent à des types de sols importants pour la culture du maïs dans le Sud-Ouest de la France tels que : alluvions anciennes à Pau, sables des Landes à Lалуque, brousses de terrasse de la Garonne à Sainte-Marthe (voir en page 8).

## c) Principales données sur les rendements obtenus

L'exposé détaillé des rendements enregistrés sur les essais suivis par contrôle biochimique ainsi que sur de nombreux autres essais a été rapporté ailleurs (49). De même, il ne sera pas fait état ici des rendements obtenus sur les autres cultures de l'assolement lorsque le maïs prend place dans un assolement du type maïs-herbe ou maïs, blé, herbe, comme c'est le cas fréquent (49). Il est certain que dans une expérimentation potassique de longue durée la place et l'importance du maïs dans la rotation ne sont pas sans influence sur la nutrition de cette plante.

Le tableau II rapporte les résultats pour les principaux essais commentés dans cette étude (voir en page 9).

**TABLEAU I**  
**Conditions de sols des essais**

	PAU alluvions anciennes (essai simple)		LALUQUE Sable des Landes		SAINTE-MARTHE Boulbène Lot-et-Garonne		Station ASPACH
	sol	sous-sol	sol	sous-sol	sol	sous-sol	sol
Eléments grossiers (sup. à 2 mm) %	2,8	1,0	0	0	1,0	0,6	1,1
Analyse physique de la terre fine %							
Sable grossier 2 mm à 0,2 mm	7,0	6,0	46,4	48,4	11,8	12,0	1,4
Sable fin 0,2 mm à 0,05 mm	11,1	10,7	42,1	40,1	8,4	7,1	4,4
Sable très fin 0,05 mm à 0,02 mm	19,1	18,7	2,0	1,9	34,0	29,4	40,0
Limon 0,02 mm à 0,002 mm	33,0	34,9	3,0	3,0	28,5	32,0	32,5
Argile inf. à 0,002 mm	21,7	22,8	2,0	2,0	14,3	17,0	17,4
Matière organique (perte au feu)	5,9	4,7	4,5	3,9	2,1	1,5	3,1
Analyse chimique de la terre fine (en début d'essai)							
Azote total N ‰	2,60	1,95	1,60	1,15	0,80	0,60	1,50
Acide phosphorique assim. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰	0,06	0,04	0,05	0,03	0,08	0,05	0,06
Bases échangeables ‰							
K <sub>2</sub> O	0,08	0,06	0,07	0,04	0,07	0,06	0,10
CaO	2,28	2,11	1,38	1,13	1,08	0,95	2,60
MgO	0,10	0,10	0,13	0,14	0,15	0,14	0,26
pH	6,5	6,6	6,1	6,2	5,9	6,0	6,0

Dans le Sud-Ouest de la France, les essais ont porté sur des variétés 1/2 précoces à 1/2 tardives (INRA 353, Wisconsin 355, Wisconsin 416) puis ces dernières années sur la variété tardive témoin Iowa 4417, et depuis 1960 sur des variétés plus tardives encore. Sur la Station d'Aspach, au contraire, les essais portent sur un maïs précoce : Wisconsin 240.

**TABLEAU II**

**Rendements en quintaux/hectare de grains à 15 p. 100 d'humidité**

I) Essai complexe de Pau

	Blocs sans fumier					Blocs avec fumier (en 1955)	
	1952	1953	1954	1955	1956	1955	1956
K <sub>0</sub>	57,0	47,8	23,6	43,8	18,8	62,2	45,0
K <sub>1</sub>	74,1	77,3	65,2	62,3	51,9	67,0	61,3
K <sub>2</sub>	77,8	79,9	70,8	65,1	58,5	70,8	60,7
d 5 %	7,3	11,2	13,1	5,0	10,5	3,0	6,2

II) Essai simple de Pau

	Sole 5 (pas de fumier en 10 ans)							Sole 3 (fumier en 1955)		
	1951 W 355	1953 I 4417	1954 W 416	1957 W 255	1958 INRA 353	1959 353	1960 353	1953 W 355	1955 I 4417	1956 I 4417
K <sub>0</sub>	45,5	46,4	36,5	40,4	46,4	36,8	29,2	13,1	78,9	68,8
K <sub>1</sub>	44,4	55,0	55,5	60,6	71,4	81,7	69,4	50,4	73,5	65,6
K <sub>2</sub>	60,1	60,8	60,8	63,0	73,5	84,2	80,5	56,2	81,3	70,1

III) Essai de Laluque (Landes)  
Iowa 4417

	1957	1958	1959	1960
K <sub>0</sub>	46,1	71,6	70,0	71,7
K <sub>1</sub>	51,4	77,2	77,8	80,8
KMg	52,5	79,7	80,7	81,2

IV) Essai de Sainte-Marthe  
(boulbène) U 24 I 4417

	1961	1962
K <sub>0</sub>	39,1	30,9
K <sub>1</sub>	42,0	39,8
K <sub>2</sub>	43,2	41,6
d 5 %	2,5	4,1
d 1 %	3,4	5,5

V) Station d'Aspach (Alsace)  
Essais factoriels N × K - Wisconsin 240

	1956	1957	1958	1959	1960	1961		1956	1959	1961
	K <sub>0</sub>	40,6	37,8	41,1	50,3	40,8		49,2	N <sub>1</sub>	42,2
K <sub>1</sub>	44,2	46,7	48,1	51,4	47,0	51,2	N <sub>2</sub>	42,5	50,9	51,7
K <sub>2</sub>	45,1	47,1	51,1	52,0	49,6	53,4	N <sub>3</sub>	45,3	54,1	54,6
d 5 %	2,0	3,0	2,3	1,9	3,2	2,2		2,0	1,9	2,2

# PREMIÈRE PARTIE

## LES EXPORTATIONS D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS PAR LE MAÏS

La composition chimique du maïs (grains, rafles, tiges) n'est envisagée ici que sous l'angle des exportations d'éléments fertilisants, comme aspect de la nutrition minérale de cette plante.

Les exportations d'éléments fertilisants par les maïs hybrides n'ont été étudiées en France que depuis une décennie, notamment par **DEPARDON** en Beauce (20), par **MALTERRE** (52), **SOUBIES** et **GADET**, dans le Sud-Ouest (65). La notion d'exportation d'éléments fertilisants conduit parfois à l'adoption d'une fumure NPK qui constitue un minimum, en vertu de la simple loi de restitution. Néanmoins elle constitue encore pour beaucoup d'agriculteurs un point de repère et le but était ici de tenter d'apporter des précisions, particulièrement pour les cations K, Ca, Mg.

Il a été procédé à l'analyse de nombreux échantillons de grains, rafles, tiges, issus des parcelles expérimentales de certains des essais considérés, afin de préciser les points suivants :

- 1) la composition moyenne du grain, de la rafle, des tiges ;
- 2) l'influence éventuelle de la fumure potassique sur la composition de ces organes.

### 1) LE GRAIN

La composition chimique du grain de maïs présente des variations d'assez faible amplitude qui expliquent la bonne concordance des résultats concernant les exigences du maïs, rapportées au quintal de grain.

Inversement cela explique que les auteurs ayant étudié les mérites respectifs des analyses de grains et de feuilles pour la connaissance des niveaux nutritifs du maïs ont toujours conclu à la supériorité marquée de la composition foliaire (**BENNETT** et al. 1953) (6).

#### A. — AZOTE

C'est, de loin, l'élément le plus souvent étudié dans la composition du grain de maïs, surtout en relation avec les fumures azotées, la densité de culture et la teneur en protéine (36 - 40 - 58 - 79 - 82 - 84).

On constate généralement une influence positive de la nutrition et de la fertilisation azotée sur la teneur en azote du grain. **BENNETT** et al. ont enregistré dans les essais des teneurs allant de 0,96 à 1,43 (alors que dans les feuilles la variation fut de 1,52 à 3,17

p. 100) et exprimant une bonne corrélation avec les rendements (6). Mais on constate que la teneur de 1,43 est elle-même seulement moyenne.

**SOUBIES** et **GADET** ont trouvé de leur côté des taux entre 1,10 et 2,21 p. 100 et ont relevé l'influence de la fertilisation azotée (65).

Sur les essais  $N \times K$  de la Station d'Aspach, en Alsace, les grains de W. 240 ont été trouvés riches en azote, la teneur ayant varié de 1,84 à 1,99 p. 100 en 1957, de 1,60 à 1,79 p. 100 en 1958 et de 1,64 à 1,88 p. 100 en 1959. Une influence positive significative de la fumure azotée ne fut observée qu'en 1959.

#### Station d'Aspach - 1959

	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	Effet K
K <sub>0</sub>	1,68	1,78	1,86	1,77
K <sub>1</sub>	1,64	1,75	1,87	1,75
K <sub>2</sub>	1,62	1,76	1,88	1,75
Effet N	1,65	1,76	1,87	

Sur les essais de Pau, la teneur moyenne a varié entre 1,36 et 1,75 sur l'essai complexe et de 1,42 à 1,88 sur les diverses soles de l'essai simple. Il n'y a pas eu d'influence de la fumure azotée.

L'influence de la potasse sur le taux d'azote du grain n'est décelable que lorsque, en présence d'une alimentation azotée correcte, le rendement se trouve considérablement limité par une nutrition potassique très déficitaire : ainsi, pour l'essai complexe, la moyenne générale des parcelles K<sub>1</sub> et K<sub>2</sub> est N = 1,50 p. 100 et celle des parcelles K<sub>0</sub> est N = 1,66 p. 100.

Pour le calcul des exportations dues au grain, on peut admettre une teneur moyenne de 1,45 pour le grain à 15 pour 100 d'humidité.

#### B. — ACIDE PHOSPHORIQUE

Sur l'ensemble des parcelles étudiées, la teneur a varié entre 0,40 et 0,90 p. 100.

Une influence non négligeable des traitements est à noter sur les essais de Pau :

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p. 100 de matière sèche					K <sub>2</sub> O p. 100 de matière sèche				
	Essai complexe		Essai simple			Essai complexe		Essai simple		
	1956		1956		1958	1956		1956	1958	1960
	sans fumier	avec fumier	soles 2,3	sole 8	soles 6,7	sans fumier	avec fumier	soles 2,3,8	soles 5,6,7,8	soles 5,6,7,8
K <sub>0</sub>	0,57	0,55	0,69	0,58	0,85	0,41	0,38	0,40	0,46	0,49
K <sub>1</sub>	0,51	0,53	0,62	0,50	0,64	0,36	0,36	0,37	0,41	0,42
K <sub>2</sub>	0,45	0,55	0,64	0,52	0,68	0,33	0,35	0,38	0,41	0,42

Dans les blocs de l'essai complexe qui ne reçurent pas de fumier en 1955 la teneur décroît de K<sub>0</sub> à K<sub>2</sub> alors que, dans les blocs qui en reçurent, elle est fixe sur les neuf traitements (0,55) ; sur l'essai simple, en 1956 le taux varie peu autour de 0,65 pour les soles

2 et 3 alors qu'une certaine déficience semble s'être manifestée en sole 8 pour  $K_1$  et  $K_2$ . Les teneurs de 1958 sont plus élevées.

Les sols de l'essai complexe étaient particulièrement déficients en acide phosphorique assimilable ; et sur l'essai simple, il y a un enrichissement marqué de 1950 à 1958 (0,06 à 0,18 p. 1 000).

Il est évident que la diminution de la teneur de  $K_0$  à  $K_2$  provient de l'augmentation des rendements résultant de la fumure potassique.

Sur les essais de la Station d'Aspach, les teneurs en  $P_2O_5$  ont varié de 0,68 à 0,88 en 1957, de 0,52 à 0,83 en 1958, de 0,79 à 0,90 en 1959 et de 0,80 à 0,85 en 1960, sans que l'on puisse dégager une influence quelconque des fumures.

**WEEKS** et **WALTERS**, étudiant plus particulièrement les effets de la fumure phosphatée, enregistrèrent les teneurs extrêmes de 0,46 et 0,80 ( $P_2O_5$ ) (83).

Dans les essais de **BENNETT** et al. la teneur a varié de 0,40 à 0,60 p. 100 ( $P_2O_5$ ), la déficience en phosphore étant marquée.

Bien qu'il soit parfois fait état de teneurs un peu supérieures dans la littérature, il semble que l'on doive considérer comme normale une teneur de 0,70 à 0,75 soit environ 0,65 p. 100 de grain à 15 p. 100 d'humidité.

### C. — POTASSE

Le potassium a été beaucoup moins étudié dans le grain de maïs que N et P. **BENNETT** a enregistré de très faibles variations selon les apports d'azote (6). **SOUBIES** et **GADET** indiquent comme teneurs extrêmes 0,36 et 0,52. **DEPARDON** donne un taux moyen de 0,43 p. 100 sur U 20 en précisant cependant que la teneur moyenne sur douze échantillons de U 22, U 24, U 26, W 240, W 255 a été 0,52 p. 100 (20). **COLLIER** et al. ont enregistré une variation assez ample allant de 0,36 à 0,69 p. 100 de matière sèche ; mais les teneurs supérieures à 0,54 concernaient des maïs très mal développés souffrant de la déficience en eau (15).

Les apports de potasse ont eux-mêmes très peu d'influence. **KRANTZ** et **CHANDLER**, dans des essais comportant cinq niveaux de potasse de 0 à 320 kg  $K_2O$ /ha, n'observèrent pas de différence appréciable dans la teneur des grains en potasse (0,37 à 0,39 p. 100) (43).

Dans les essais de Pau, les grains des parcelles très déficientes en potasse sont un peu plus riches en  $K_2O$  que ceux des parcelles bien pourvues ( $K_2$ ).

Sur les essais d'Aspach, la teneur a été très peu fluctuante en fonction des traitements, avec seulement l'indication d'une teneur un peu plus élevée en 1957, année à mauvais rendements (0,53 pour  $K_0$  et 0,48 pour  $K_1$  et  $K_2$ ) qu'en 1958, 1960 et surtout 1959, meilleure année (0,43 p. 100).

Pour le calcul des exportations on peut admettre une teneur de 0,40 environ pour le grain à 15 p. 100 d'humidité.

### D. — CHAUX ET MAGNÉSIE

Le grain de maïs est particulièrement pauvre en chaux. En accord avec la littérature (15 - 83) des variations extrêmement réduites furent enregistrées sur les nombreuses analyses de grains des essais, qui se résument pratiquement à attribuer une teneur moyenne de 0,025 p. 100 (CaO) aux parcelles  $K_0$  et 0,015 p. 100 (CaO) aux parcelles  $K_1$  et  $K_2$ .

Les taux de magnésie sont nettement plus élevés et également peu dispersés entre 0,18 p. 100 et 0,22 p. 100 (MgO).

## 2) LES RAFLES

Ainsi qu'il est normal au point de vue physiologique, les rafles ont une composition chimique nettement plus fluctuante que les grains.

	Essai simple Pau (moyenne des 4 soles)			Essai de Lалуque		
	1957			1957		
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	NP	NPK	NPKMg
N	0,44	0,32	0,32	0,35	0,40	0,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10
K <sub>2</sub> O	0,75	0,75	0,63	0,74	0,67	0,65
CaO	0,11	0,06	0,08	0,10	0,08	0,08
MgO	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05

### AZOTE

Les teneurs ont varié de 0,26 à 0,51 et on relève, comme pour le grain, un net enrichissement en K<sub>0</sub>.

Sur l'essai de la Station d'Aspach, en 1959, les rafles contenaient de 0,27 à 0,33 p. 100 N selon les traitements.

Ces données sont en accord avec les résultats de **SOUBIES** qui indiquent une teneur de N = 0,35.

### ACIDE PHOSPHORIQUE

Sur les essais de Pau, les teneurs ont varié de 0,07 à 0,23 p. 100 de matière sèche. Selon **SOUBIES**, la teneur moyenne serait de 0,15.

Sur l'essai de Lалуque, la variation a été de 0,08 à 0,13.

Il semble donc que les rafles soient dans les deux cas plus pauvres que la moyenne, observation à relier à la dépression de la teneur de K<sub>0</sub> à K<sub>2</sub> comme pour les grains.

### POTASSE

Les teneurs extrêmes ont été 0,53 et 0,94 p. 100 à Pau et 0,48 et 0,91 p. 100 à Lалуque. Pour les parcelles NPK<sub>0</sub> et NPK<sub>2</sub> les moyennes ont été 0,75 et 0,63 à Pau et 0,74 et 0,65 à Lалуque. Pour le calcul des exportations on peut choisir un taux moyen de 0,70 p. 100 de matière sèche.

### CHAUX ET MAGNESIE

D'une manière générale, les rafles sont pauvres en chaux et magnésie. Cependant la teneur en chaux est nettement supérieure à celle du grain. Par contre, celle de magnésie est plus faible que dans le grain. Les rafles des parcelles K<sub>0</sub> seraient légèrement plus riches en chaux. Pour le calcul des exportations, nous admettrons le taux moyen de 0,12 pour CaO et 0,09 pour MgO.

## 3) LES EXPORTATIONS D'ELEMENTS FERTILISANTS PAR LES EPIS

A partir des teneurs moyennes ci-contre, qui ont un haut degré de représentativité, on peut calculer les exportations pour une récolte moyenne de 60 quintaux de grains à 15 p. 100 d'humidité.

On trouve ainsi : 87 kg N, 39 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 24 kg K<sub>2</sub>O, 1,2 kg CaO, 12 kg MgO.

Il convient d'ajouter les exportations dues aux rafles. Une certaine variation intervient de ce fait, car pour 60 q de grains, le poids de rafles peut varier dans des limites assez larges qui dépendent notamment de la

	Teneur pour cent de	
	grain à 15 % H <sub>2</sub> O	rafle mat. sèche
N	1,45	0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65	0,15
K <sub>2</sub> O	0,40	0,70
CaO	0,02	0,12
MgO	0,20	0,09

variété cultivée, de la fumure appliquée, de la pluviométrie durant le cycle. En particulier, la carence potassique augmente significativement le pourcentage de la rafle par rapport à l'épi.

Ainsi sur l'essai simple de Pau en 1957, 1958, 1959, on remarque que 100 quintaux d'épis verts ont donné en sec 14,5 q de rafle et 64 q de grains en  $K_0$  et 12 q de rafle pour 69 q de grains en  $K_1$  et  $K_2$ .

Le rapport grain/rafles passe de 4,42 en  $K_0$  à 5,54 en  $K_1$  et 5,70 en  $K_2$ .

Ces chiffres traduisent un des symptômes de la déficience en potasse sur maïs : épis mal conformés, souvent inachevés à la pointe.

Pour une récolte de 60 quintaux de grains à 15 p. 100 d'humidité, on peut estimer à environ 10 quintaux la matière sèche de rafles dont les exportations seraient d'environ : 3,5 kg N - 1,5 kg  $P_2O_5$  - 7,0 kg  $K_2O$  - 1,2 kg CaO - 0,9 kg MgO.

Sur la Station d'Aspach, en 1959, le poids de rafles fut déterminé pour les neuf traitements et s'avéra très peu fluctuant de 9,0 q à 10,8 q/hectare pour des rendements en grains allant de 48 à 55 q.

Pour le calcul des exportations par les épis, il convient d'ajouter celles dues aux spathes : 2,5 kg N - 1 kg  $P_2O_5$  - 5 kg  $K_2O$  environ.

L'exportation globale engendrée par une récolte de 60 quintaux serait ainsi de : 93 kg N - 42 kg  $P_2O_5$  - 36 kg  $K_2O$  - 2,5 kg CaO - 13 kg MgO.

La conclusion à laquelle conduisent ces calculs est généralement la modicité des exigences du maïs, au moins en ce qui concerne  $P_2O_5$  et  $K_2O$ .

Le concept des exportations réelles (épis seuls) exprime en fait très mal les caractéristiques de la nutrition minérale du maïs qui est au contraire très dynamique au point que le maïs est considéré comme un bon indicateur de la fertilité d'un sol et que de nombreux expérimentateurs et physiologistes l'utilisent même comme plante-test.

Pour avoir une vision améliorée des besoins réels du maïs, il convient de considérer la composition des tiges à la récolte.

#### 4) LES TIGES ET LES FEUILLES A MATUREITE

Sous la dénomination de pailles on considérera l'ensemble des tiges et des feuilles adhérentes (gainés et limbes) échantillonnées au moment de la récolte. Les pailles ont surtout été étudiées dans le but de suivre la migration des éléments minéraux chez le maïs (13).

Dans les essais considérés, la composition chimique de ces parties aériennes a parfois traduit avec une certaine précision la nature des divers traitements. Nous allons considérer en particulier cette composition pour les essais de Pau et ceux de la Station d'Aspach.

##### A) COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTIES AERIENNES

###### Azote

Dans l'essai complexe de Pau, la teneur en azote des pailles a été très fluctuante : de 0,60 à 1,29 p. 100 dans les parcelles sans fumier et de 0,56 à 0,86 p. 100 dans les parcelles qui ont reçu du fumier.

1.000 g d'épis en vert (à la récolte) ont donné				
		g grain à H <sub>2</sub> O %		g rafle
1957	$K_0$	600	10,5	147
	$K_1$	655	10,7	117
	$K_2$	641	10,5	109
1958	$K_0$	686	17,0	145
	$K_1$	724	18,3	126
	$K_2$	720	19,1	125
1959	$K_0$	633	14,2	142
	$K_1$	704	13,3	133
	$K_2$	694	12,6	126



### Composition chimique des pailles des essais de Pau

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Essai complexe	1956	Moyenne des deux blocs sans fumier					Moyenne des deux blocs avec fumier				
	K <sub>0</sub>	1,14	0,26	0,33	0,72	0,45	0,74	0,12	0,42	0,72	0,42
	K <sub>1</sub>	0,84	0,12	0,77	0,75	0,38	0,67	0,10	0,99	0,62	0,36
	K <sub>2</sub>	0,71	0,09	1,33	0,62	0,36	0,69	0,11	1,80	0,57	0,31
		Sole 2 1956					Soles 6 et 7 1957				
Essai simple	K <sub>0</sub>	0,80	0,15	0,74	0,76	0,52	1,24	0,51	0,36	0,72	0,54
	K <sub>1</sub>	0,75	0,12	1,78	0,53	0,32	0,75	0,18	1,19	0,67	0,35
	K <sub>2</sub>	1,08	0,19	2,11	0,67	0,38	0,86	0,26	1,43	0,64	0,30

Dans les blocs sans fumier, on constate que la teneur est beaucoup plus élevée pour K<sub>0</sub> ; le taux moyen pour K<sub>2</sub> est identique au taux moyen des parcelles avec fumier.

Dans l'essai simple, la teneur a fluctué de 0,61 à 1,24 p. 100. Les parcelles K<sub>0</sub> des soles 6 et 7, très gravement carencées en K<sub>2</sub>O, ont de fortes teneurs en azote. La teneur en azote est sous la dépendance de la teneur en potasse dans le cas de grave déficience en K<sub>2</sub>O. Le pourcentage de verse à maturité est lié à la gravité de la déficience.

Sur les essais de la Station d'Aspach, de 1957 à 1960, la teneur a fluctué de 0,51 p. 100 à 1,10 p. 100. Les pailles des parcelles K<sub>0</sub> sont également un peu plus riches en azote que celles des parcelles K<sub>1</sub> et K<sub>2</sub>.

On est amené à considérer comme normale la teneur de 0,75 p. 100 pour l'ensemble des parties aériennes végétatives.

#### Acide phosphorique

Sur les essais de Pau, la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a varié de 0,07 à 0,51 p. 100. La teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des pailles des parcelles K<sub>0</sub> atteintes d'une déficience potassique accusée est beaucoup plus élevée que celle des parcelles K<sub>1</sub> et K<sub>2</sub>. Cela traduit le fait qu'il y avait une certaine déficience en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sur ces essais (déficience qui fut corrigée à partir de 1957 sur l'essai simple en portant la fumure de 80 à 130 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).

Sur l'essai de Lалуque, la teneur moyenne a été de 0,18 p. 100 et a très peu varié selon les traitements.

Enfin, il est intéressant de noter qu'à Aspach, où les rendements sont nettement inférieurs à ceux du Sud-Ouest, les pailles sont plus riches en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (variation parcellaire de 0,21 à 0,42 p. 100) ; les pailles les plus riches furent celles de 1957 (0,38 p. 100 en K<sub>0</sub> et 0,31 p. 100 en K<sub>2</sub>) et les moins riches celles de 1959 (0,24 p. 100 en K<sub>0</sub>).

Pour le calcul des exportations, il semble juste de prendre une teneur moyenne de 0,20.

#### Potasse

Dans l'essai complexe de Pau, la teneur en K<sub>2</sub>O a fluctué de 0,27 à 1,54 pour les parcelles sans fumier et de 0,40 à 2,49 pour les parcelles qui reçurent le fumier en 1955. Il y a un remarquable parallélisme entre les teneurs des parties aériennes en K<sub>2</sub>O et les trai-

tements  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ . Les pailles des parcelles  $K_0$  sont très pauvres en potasse ; leurs teneurs ont varié de 0,27 à 0,40 p. 100 sans fumier et de 0,39 à 0,47 p. 100 avec fumier en 1955. Ces teneurs sont absolument aberrantes, mais il est intéressant de constater que les teneurs des parcelles  $K_1$  sont très significativement inférieures à celles des parcelles  $K_2$ .

Les teneurs en  $K_1$  ont varié de 0,72 à 0,84 sans fumier et de 0,72 à 1,35 avec fumier. Il y a donc eu, en 1956, un léger effet résiduel du fumier apporté en 1955, sur la nutrition potassique.

Les teneurs en  $K_2$  ont varié de 1,16 à 1,54 sans fumier et de 1,17 à 2,49 avec fumier.

Sur l'essai simple, les variations parcellaires furent entre 0,36 et 2,15 p. 100.

En 1956, l'effet résiduel de l'apport élevé de fumier en 1955 se traduit par une teneur assez élevée en  $K_2O$ .

Sur l'essai de Lалуque, des teneurs élevées et différenciées furent enregistrées : 1,66 pour NP, 2,68 pour NPK, 2,55 pour NPKMg.

Les teneurs en  $K_2O$  des pailles des essais d'Aspach (moyennes de 3 ans, 1957 à 1959) apportent d'importantes informations sur l'influence des équilibres  $N \times K$  des traitements.

#### Pour cent de matière sèche des pailles

	$N_1$			$N_2$			$N_3$		
	$K_2O$	CaO	MgO	$K_2O$	CaO	MgO	$K_2O$	CaO	MgO
$K_0$	0,93	0,69	0,39	0,94	0,64	0,35	0,85	0,74	0,35
$K_1$	1,61	0,61	0,32	1,38	0,57	0,31	1,14	0,61	0,32
$K_2$	1,79	0,53	0,30	1,75	0,55	0,27	1,41	0,56	0,30

La variation d'ensemble des teneurs en  $K_2O$  fut de 0,75 et 1,88 p. 100. Tout comme à Pau, il y a un parallélisme très net entre teneurs et traitements  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , mais ici le niveau atteint en  $K_0$  est seulement légèrement inférieur au niveau  $K_1$  des essais de Pau. Les niveaux extrêmes des traitements  $K_1$  ont été de 0,99 et 1,74, et ceux des traitements  $K_2$  de 1,23 et 1,88 p. 100. On enregistre ici une influence très marquée des traitements azotés. D'une part, aux trois niveaux d'azote, la teneur en  $K_2O$  croît toujours de  $K_0$  à  $K_2$  ; d'autre part, le plus souvent, pour chaque niveau de potasse, la teneur en  $K_2O$  décroît de  $N_1$  à  $N_3$ .

Il n'y a pas lieu de rechercher des liaisons entre teneurs en  $K_2O$  des pailles et rendements. Néanmoins, cette influence enregistrée de l'interaction  $N \times K$  sur le chimisme de la plante peut être un facteur d'explication de cette interaction sur les rendements (tableau II, page 9).

Il semble que l'on doive considérer qu'une teneur en  $K_2O$  des pailles à maturité de 1,20 p. 100 constitue un seuil et que la moyenne doit être de 1,50 à 1,75 p. 100.

#### Chaux

A Pau, les teneurs des pailles en chaux ont été peu dispersées : de 0,53 à 0,84 sans fumier et de 0,48 à 0,90 avec fumier. La variation a été entre 0,53 et 0,76 sur l'essai simple. A Lалуque, on a enregistré 0,68 pour NP et 0,55 et 0,57 pour NPK et NPKMg. Il y aurait donc une tendance à ce que les parcelles déficientes en potasse aient des pailles plus riches en chaux (0,70 à 0,80 p. 100 en CaO).

Cette tendance est confirmée à Aspach où, sur trois ans, la teneur moyenne a varié de 0,50 à 0,84 p. 100, avec des moyennes générales de 0,69 en  $K_0$ , 0,60 en  $K_1$ , 0,54 en  $K_2$ .

### Magnésie

A Pau, les teneurs ont varié de 0,32 à 0,48 sans fumier, de 0,24 à 0,50 avec fumier, et de 0,24 à 0,54 sur l'essai simple. A Laluque, les teneurs ont été de 0,40 pour NP, 0,34 pour NPK, 0,36 pour NPKMg. A Aspach, enfin, les teneurs moyennes ont été de 0,36 pour  $K_0$ , 0,32 pour  $K_1$  et 0,29 pour  $K_2$ .

Un certain antagonisme a donc joué entre K et Mg.

En conclusion, la composition chimique des pailles à maturité pourrait difficilement servir de guide précis dans la détermination des fumures appropriées aux divers cas. Cependant, elle peut fournir des indications utiles sur les tendances. Elle peut présenter, semble-t-il, un réel intérêt dans le cas de la culture continue du maïs sur les mêmes sols.

Un problème pratique lié à la composition des pailles à maturité est celui des exportations éventuelles par les tiges.

## B) EXPORTATIONS D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS PAR LES TIGES ET LES FEUILLES

### 1) Le poids des pailles par hectare

La détermination des exportations en kg d'éléments par hectare pose les problèmes de l'échantillonnage des pailles en vue des analyses et de la connaissance exacte du poids de pailles par hectare.

Sur les essais de Pau, ces deux données ont été calculées à partir d'échantillons de dix pieds par parcelle choisis au hasard sur une diagonale.

Sur la Station d'Aspach, de 1957 à 1959, on a prélevé 10 tiges par parcelle sur les six blocs et on a constitué un échantillon moyen final de 30 tiges par traitement, sur lequel on prélevait, après hachage et homogénéisation, un échantillon final de 500 g pour l'analyse. En 1960, on a pesé la totalité des tiges correspondant à la récolte d'épis.

### Poids des pailles en quintaux/hectare (matière sèche)

	Pau - Essai complexe 1956								Station d'Aspach 1960			
	Sans fumier en 1955				Avec fumier en 1955				$N_0$	$N_1$	$N_2$	Effet K
	$N_0$	$N_1$	$N_2$	Effet K	$N_0$	$N_1$	$N_2$	Effet K				
$K_0$	17,4	15,5	22,2	18,4	26,6	23,7	29,7	26,7	16,0	17,0	16,7	16,6
$K_1$	41,1	40,2	37,2	39,5	41,1	46,4	44,3	43,9	26,9	28,4	26,2	27,2
$K_2$	36,6	42,6	43,5	40,9	44,9	48,8	47,2	47,0	27,0	25,9	28,4	27,1
Effet N	31,7	32,8	34,3		37,5	39,6	40,4		23,3	23,8	23,8	

Sur la Station d'Aspach (variété précoce Wisconsin 240), avec des densités effectives de 30 à 35.000 pieds/ha selon les années, on a régulièrement enregistré une différence de poids de paille significative pour  $K_1$  et  $K_2$  et l'absence de signification de la différence éventuelle  $K_2 - K_1$ . D'autre part, l'effet des doses d'azote a été soit inexistant (1960), soit minime.

Sur l'essai complexe de Pau, les différences  $K_1 - K_0$  et  $K_2 - K_0$  sont hautement significatives, mais  $K_2 - K_1$  n'est pas significative. Les poids de pailles sont beaucoup plus élevés qu'à Aspach, mais les conditions écologiques et culturales sont très différentes (maïs tardif Iowa 4417 à une densité effective d'environ 40.000 pieds/ha, avec un rendement d'environ 60 q en  $K_2$  en 1956).

Le poids de matière sèche des pailles à l'hectare doit être accompagné de l'indication de la variété cultivée, du peuplement, etc... Pratiquement, pour le Sud-Ouest de la France et Iowa 4417, on peut considérer que, pour 60 q de grains à 15 p. 100 d'humidité, le poids de matière sèche des pailles irait de 40 à 55 q avec une moyenne de 45 q.

## 2) Les exportations par les pailles

Sur les essais de Pau, à partir des analyses de 1956 et des poids de matière sèche des échantillons de pailles, les exportations peuvent être calculées en kg/hectare.

	Essai simple			Essai complexe					
	Moyennes soles 2 et 3			Sans fumier			Avec fumier		
	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_0$	$K_1$	$K_2$
N	39	34	50	20	33	30	20	29	32
$P_2O_5$	7	5	9	4	5	4	3	4	5
$K_2O$	49	76	109	8	30	51	12	43	85
CaO	34	26	33	13	29	25	19	27	26
MgO	22	14	22	8	14	15	11	16	15

Les exportations moyennes, si l'on excepte les parcelles  $K_0$  de l'essai complexe, seraient de 35 kg N, 5 à 10 kg  $P_2O_5$ , 30 kg CaO, 15 kg MgO.

L'exportation de potasse est la plus fluctuante. Sur la base d'un seuil de teneur en  $K_2O$  de 1,20 p. 100 et d'un poids de 45 quintaux, l'exportation la plus faible « normale » serait de 55 kg  $K_2O$ /hectare. L'exportation moyenne serait de 80 kg  $K_2O$  ( $K_2O = 1,80$  p. 100 de matière sèche).

## C) EXPORTATIONS ET EXIGENCES TOTALES DU MAÏS

Les exigences totales du maïs sont constituées des éléments présents dans les épis, les parties aériennes (tiges et feuilles) et les racines. Les exportations réelles, au contraire, sont très différentes selon que les parties aériennes sont effectivement exportées ou enfouies.

Le système racinaire du maïs a d'ailleurs été peu étudié en fonction de la nutrition minérale. **FEHREBERGER** et **SNIDER** ont étudié, sur divers types de sols, le poids de matière sèche des racines du maïs. Dans un essai comportant ou non apport de  $K_2O$  sur un sol très pauvre en potasse, la composition chimique des racines fut très peu influencée pour N, P, Ca, Mg, mais nettement modifiée vis-à-vis de K (1,61 p. 100 K au lieu de 0,34 p. 100 K de 0 à 20 cm). Les données ci-contre concernent deux sols, avec un rendement de 51 q pour le premier et 47 q pour le second (25 - 64).

### Composition chimique des racines

Les systèmes racinaires précédents renfermaient ainsi environ 22 kg N, 6 kg  $P_2O_5$  et 20 à 30 kg  $K_2O$ . Il semble donc que les racines de maïs correspondant à une récolte moyenne ont des exigences dont il conviendrait de tenir compte, particulièrement pour N et  $K_2O$ .

	Matière sèche kg/ha	% de matière sèche				
		N	P	K	Ca	Mg
0 - 25 cm	1.560	0,92	0,12	1,20	0,35	0,26
25 - 180 cm	648	1,22	0,15	1,15	0,41	0,28
0 - 20 cm	1.356	0,80	0,12	0,62	0,35	0,20
20 - 180 cm	1.090	1,10	0,19	0,65	0,39	0,26

### Exigences d'une récolte de 60 q

	Epis	Tiges et feuilles	Exigences totales (sans les racines)
N	93	37	130
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42	8	50
K <sub>2</sub> O	36	50 à 80	90 à 120
CaO	2,5	30	32
MgO	13	15	28

Les véritables exigences sont celles de la plante entière et pour le potassium, il faut considérer que le maximum du prélèvement réalisé par une culture de maïs se situe environ trois semaines après la floraison et non à la maturité.

D'autre part, les variétés tardives à haut rendement présentent des exigences supérieures aux données précédentes, au moins lorsqu'elles sont en mesure de réaliser leurs potentialités supérieures, particulièrement en cas d'irrigation.



# ANNEXE A LA 1<sup>re</sup> PARTIE

## LES SIGNES DE LA DÉFICIENCE EN POTASSIUM SUR MAÏS

Ils ont été représentés par des planches en couleurs très suggestives, notamment par **HOFFER** et **KRANTZ** (34).

Les principaux signes de la déficience potassique sur maïs sont : croissance plus faible, jaunissement du feuillage, signes caractéristiques sur feuilles, verse plus ou moins grave, épis mal conformés. Les planches présentées concernent les essais de Pau.

### Déficience potassique et croissance du maïs

Lorsque la déficience est très grave, la croissance est plus ou moins ralentie dès les stades de début (ex. : mensurations sur l'essai complexe de Pau en 1954). Les jeunes feuilles sont plus ou moins jaunissantes et leurs bords peuvent même se dessécher. Il est encore possible d'apporter une fumure potassique au stade des jeunes plantes lorsque ces signes ont été reconnus. Selon **JOHNSON**, cette application de potasse ne peut se concevoir que comme une mesure de salut lorsque la croissance est très diminuée (38).

Pau 1954 hauteur à 48 jours (cm)					Aspach 1957 hauteur à floraison (cm)					Aspach 1959 hauteur à floraison (cm)				
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Effet K		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Effet K		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Effet K
K <sub>0</sub>	12	11	12	12	K <sub>0</sub>	136	137	130	134	K <sub>0</sub>	143	128	138	136
K <sub>1</sub>	23	26	23	24	K <sub>1</sub>	147	145	151	149	K <sub>1</sub>	146	145	146	146
K <sub>2</sub>	23	29	30	27	K <sub>2</sub>	155	151	161	156	K <sub>2</sub>	147	155	150	151
Effet N	19	22	22		Effet N	146	144	147		Effet N	145	143	145	

Lorsque la déficience est modérée comme sur les essais maïs de la Station d'Aspach, les différences sont minimales au début de la végétation puis elles grandissent. Il n'y a généralement pas de signes foliaires. A Aspach, l'effet des fumures est hautement significatif sur la croissance mesurée à la floraison. Cette influence du potassium sur la phase de croissance du maïs est à relier à l'étude de l'accumulation et des mouvements des éléments nutritifs au cours de la croissance.

### Symptômes foliaires

Ce sont les plus caractéristiques. On les rencontre sur les feuilles plus âgées en raison de la facile migration du potassium vers les points de croissance. Ils n'apparaissent pas d'une manière généralisée sur les feuilles du diagnostic foliaire (feuille au-dessous de l'épi), mais plutôt sur les feuilles de rangs 1, 2, 3, 4, 5 au-dessus du sol. Les symptômes consistent en décolorations marginales qui évoluent en taches brunes puis en nécroses tout le long des marges des feuilles.

Puis les feuilles se dessèchent sur toute la longueur des marges et le dessèchement de la totalité de la feuille devient prématuré. La gravité de la chute des feuilles et leur inactivité sont en liaison inverse avec les doses de potasse appliquées sur les essais. La perte du rôle physiologique de nombreuses feuilles est évidemment préjudiciable lorsqu'elle survient

assez tôt. Il est préférable que de nombreuses feuilles restent fonctionnelles le plus longtemps possible.

### Le système racinaire

Il y a eu très peu d'études sur le développement du système racinaire du maïs en fonction de la déficience en potasse. Il peut varier dans de grandes proportions selon les traitements appliqués (25 - 64). Il est plus important lorsque la nutrition potassique est correcte, et les racines ne brunissent pas prématurément et sont moins atteintes de pourriture. Un système racinaire plus développé a deux avantages :

- 1) l'exploration du sol est meilleure et l'alimentation hydrique peut être mieux satisfaite en année sèche,
- 2) la tige risque moins de se coucher.

### La verse

La verse des tiges du maïs n'est pas un symptôme absolu caractéristique de la déficience potassique. Elle peut provenir d'autres causes (hauteur de la nappe aquifère et maladies diverses en particulier). Il a d'ailleurs été montré que la gravité de la verse parasitaire (*Gibberella zeae*) pouvait dépendre elle-même du rapport N/K de la nutrition et décroître avec les doses croissantes de potasse (55). **YOUNTS** et **MUSGRAVE** précisent d'autre part que le chlore de KCl contribue à la diminution de la pourriture des tiges, et que l'ion K n'interviendrait pas dans ce rôle (88).

La verse est cependant liée, dans de nombreux cas, à la déficience potassique qu'il s'agisse soit d'un mauvais enracinement par pourriture précoce de racines, soit de cassures de la tige vers les nœuds inférieurs. **HOFFER** a montré qu'en cas de grave déficience potassique, des accumulations de fer obturent en partie les vaisseaux conducteurs (33).

La fumure potassique s'accompagne d'une baisse du pourcentage de tiges versées. Ainsi on a enregistré sur les essais de Pau une diminution régulière du pourcentage moyen de pieds versés, avec les doses croissantes de  $K_2O$ .

Essai de Pau : pourcentage de pieds versés						
		1954	1955		1956	
			sans fumier	avec fumier	sans fumier	avec fumier
N <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	31,5	56,0	5,0	16,0	1,2
	K <sub>1</sub>	2,3	4,4	1,6	1,2	0,8
	K <sub>2</sub>	1,0	1,6	0,4	0,4	0
N <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	47,2	60,8	11,6	20,4	4,4
	K <sub>1</sub>	3,7	2,4	2,8	0	0,4
	K <sub>2</sub>	0,2	1,2	1,6	0	0,8
N <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	47,4	46,4	14,0	17,2	11,2
	K <sub>1</sub>	2,8	9,6	4,2	0,8	0,4
	K <sub>2</sub>	2,6	3,6	2,1	0	1,2

L'équilibre N/K de la fumure intervient ici. Ainsi en 1955, avec fumier, le pourcentage de verse croît de N<sub>0</sub> à N<sub>2</sub> pour les trois niveaux K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>. **BOSWELL** et **PARKS** ont montré qu'un pourcentage de verse de 18,5 sans apport de potasse n'était plus que de 6,1 p. 100 avec 85 kg  $K_2O$ /ha. Pour des apports supérieurs jusqu'à 300 kg  $K_2O$  le pourcentage de verse n'était pas réduit d'une manière significative (7). **WITTELS** et **SEATZ**, étu-

diant le rapport N/K de la fumure pour un maïs sujet à la verse, ont trouvé que pour un apport de 130 kg N/hectare, il fallait au moins 50 kg K<sub>2</sub>O pour ramener le pourcentage de verse au niveau normal dans les conditions de l'essai (86).

Des résultats semblables ont été obtenus par **FISHER** étudiant quatre niveaux d'azote (0-40-80-120) et trois niveaux de potasse (0-40-80) (26).

Des données récentes du Tennessee indiquent que le pourcentage de vieilles tiges à la récolte pourrait constituer un meilleur critère de démonstration de l'effet de la potasse que le pourcentage de verse proprement dit (41). Pour les hybrides hauts producteurs, il est important d'avoir le plus de tiges fonctionnelles possible jusqu'à la récolte.

#### **Les épis mal conformés**

Comme le montre la planche en couleurs, les épis des parcelles très déficientes en potasse sont souvent mal conformés, mal terminés. Inversement, dans une expérimentation précise sur engrais potassiques il est nécessaire de connaître les rendements en grains secs et non seulement en épis.

## **DEUXIÈME PARTIE**

# **EXIGENCES MINÉRALES COMPARÉES DE DIVERSES VARIÉTÉS DE MAÏS HYBRIDES**

### **INTRODUCTION**

Dans le cas du maïs, la plupart des essais de fumure, réalisés depuis quelques années dans le Sud-Ouest de la France, l'ont été sur la variété Iowa 4417, et l'on considère les résultats comme valables pour les autres variétés cultivées dans les mêmes conditions. L'apparition de nouveaux hybrides plus tardifs et de plus haute productivité tend de plus en plus à conférer à Iowa 4417 la qualité de variété-témoin. Aussi est-il apparu intéressant de procéder à une étude comparée des exigences minérales de diverses variétés par des analyses en cours de végétation.

La répartition des éléments minéraux dans le maïs au cours de sa végétation a d'abord été étudiée par **SAYRE** (61) et récemment par **HANWAY** (31).

En France, **SOUBIES** et al. ont étudié la répartition des éléments minéraux à trois époques chez Iowa 4417 :

- 1) début de l'épiaison,
- 2) quatre semaines après,
- 3) à maturité, axant particulièrement leur étude sur l'influence de l'intensité de la nutrition azotée sur la pénétration et la migration des éléments minéraux (13).

Les données établies ne seront envisagées à nouveau ici que sous l'aspect de la comparaison des variétés étudiées.

### **MATERIEL ET METHODES**

Une méthode d'étude comparée des exigences en N, P, K, pourrait consister en l'étude d'essais mixtes fumures × variétés.

On s'est limité ici à étudier de mai à octobre 1961 la nutrition minérale sur divers champs d'essais comparatifs de variétés.



Ces champs étaient situés en Lot-et-Garonne, deux sur alluvions de la Garonne dans la région de Port-Sainte-Marie. (A<sub>1</sub> irrigué, A<sub>2</sub> non irrigué) un sur boulbène de terrasse, à Caumont, au sud de Marmande (B), un sur terrefort (T) au nord de Marmande.

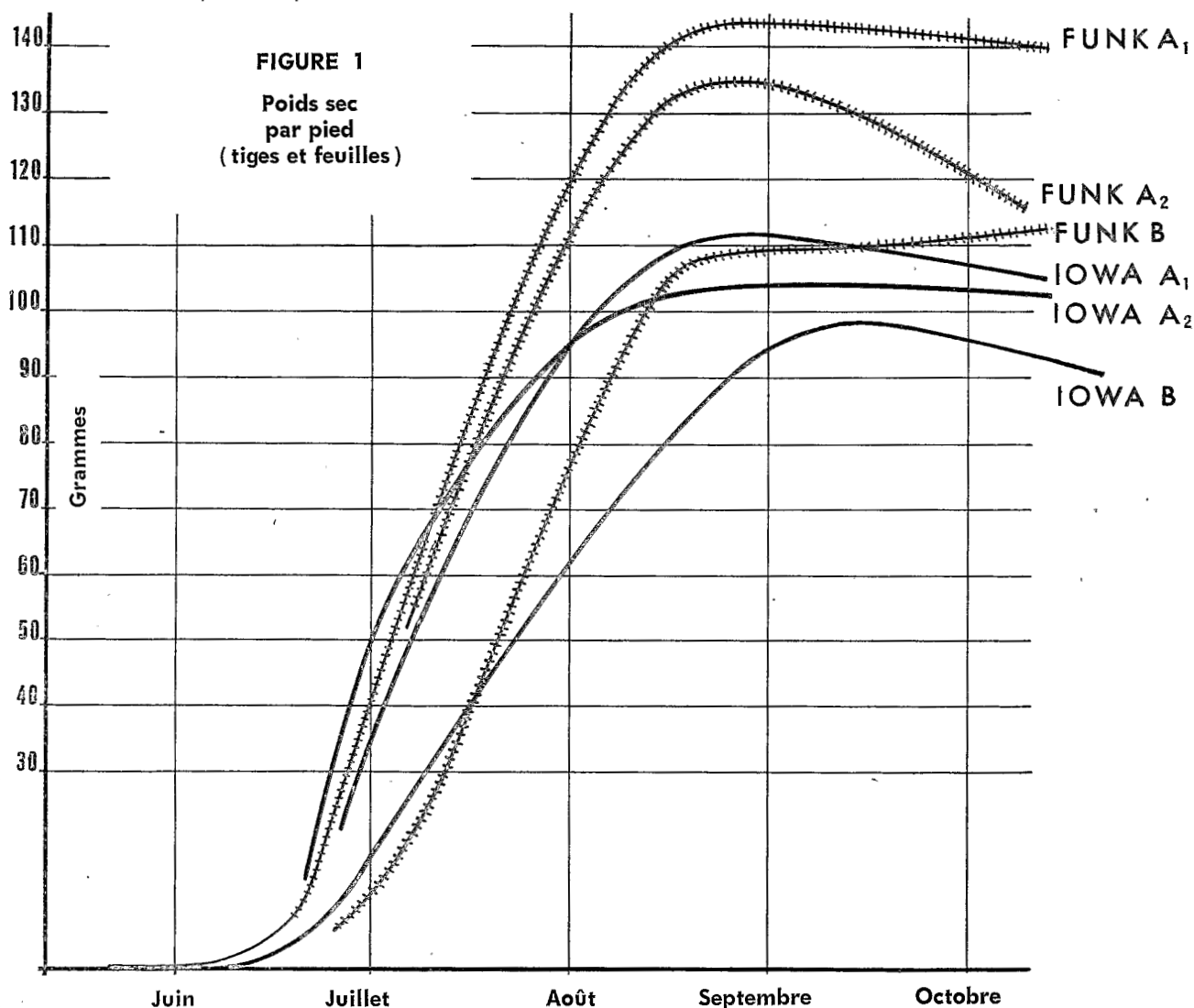
Les cinq variétés suivantes : Iowa 4417, United 32, Funk-G-75 A, Wisconsin 690, INRA 640 figuraient sur les essais A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, cependant que W 690 ne figurait pas sur T, et INRA 640 sur B.

Du semis (25 avril pour A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, 10 mai pour 7, 16 mai pour T) à la récolte, six prélèvements de pieds entiers furent opérés à raison de 50 pieds pour les trois premiers, 25 pieds pour les trois derniers, par champ et par variété. Les déterminations de N, P, K, Ca, Mg p. 100 de matière sèche furent faites sur les plantes entières pour les trois premiers prélèvements et sur les diverses parties (tiges, feuilles, inflorescences, rafles, grains) ensuite.

## RESULTATS OBTENUS

### I) CROISSANCE ET PRODUCTION DE MATIERE SECHE

La figure 1 représente l'évolution du poids de matière sèche par pied pour le total de la tige et des feuilles et pour deux variétés (Iowa 4417 et Funk 75 A) sur alluvions et boulbène. Jusqu'aux prélèvements de juillet inclus les variétés ne se différencient pratiquement pas.



La différenciation des variétés s'est produite vers le 15 juillet au moment de la sortie des panicules mâles chez Iowa 4417 et s'est accrue jusqu'aux environs du 20 août.

Les prélèvements d'août accusent, pour les 4 essais, une différenciation entre Iowa 4417 d'une part et les quatre autres variétés d'autre part. Le premier présente un poids sec des parties végétatives nettement inférieur aux autres ; cela a particulièrement joué sur l'essai irrigué sur alluvions (A<sub>1</sub>).

Le maximum du poids de matière sèche des tiges et feuilles réunies se trouve précisément réalisé vers ce moment-là.

Le maximum du poids frais de la plante entière est atteint lui aussi vers le 20 août et permet de classer les variétés dans un ordre de poids croissant qui correspond approximativement à l'ordre de tardivité croissante.

	Poids frais d'un pied entier (17-23 août) en g				Matière sèche d'un pied (tiges + feuilles) (5-12 octobre) en g			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T
Iowa 4417	1270	1092	966	904	106,0	104,5	93,3	94,7
U - 32	1360	1286	1233	1046	140,4	117,9	105,4	98,6
INRA 640	1417	1324	—	1267	136,8	119,5	—	110,5
Funk 75	1438	1316	1070	1156	140,6	115,7	112,7	127,5
Wis. 690	1510	1436	1158	—	142,3	121,9	101,7	—

Du milieu d'août à la récolte, le poids de matière sèche de la partie végétative demeure sensiblement constant.

Comme l'avait indiqué **SAYRE**, toute la production de matière sèche réalisée à partir de cette phase sert à la formation des grains (61). C'est ce qu'expriment les courbes de la figure 2. Le gain de poids sec sur cette période est plus faible pour Iowa 4417 que pour les autres variétés qui comblent leur retard et réalisent en général un gain supplémentaire qui correspond à leur supériorité de rendement.

Pour que celle-ci se concrétise il faut que cette production de matière sèche soit possible. Ce ne fut pas le cas pour toutes les variétés sur les essais A<sub>2</sub> et B et moins encore sur le terrefort T où Iowa 4417 avait une avance relative marquée que les autres variétés ne purent combler en raison de la grave sécheresse.

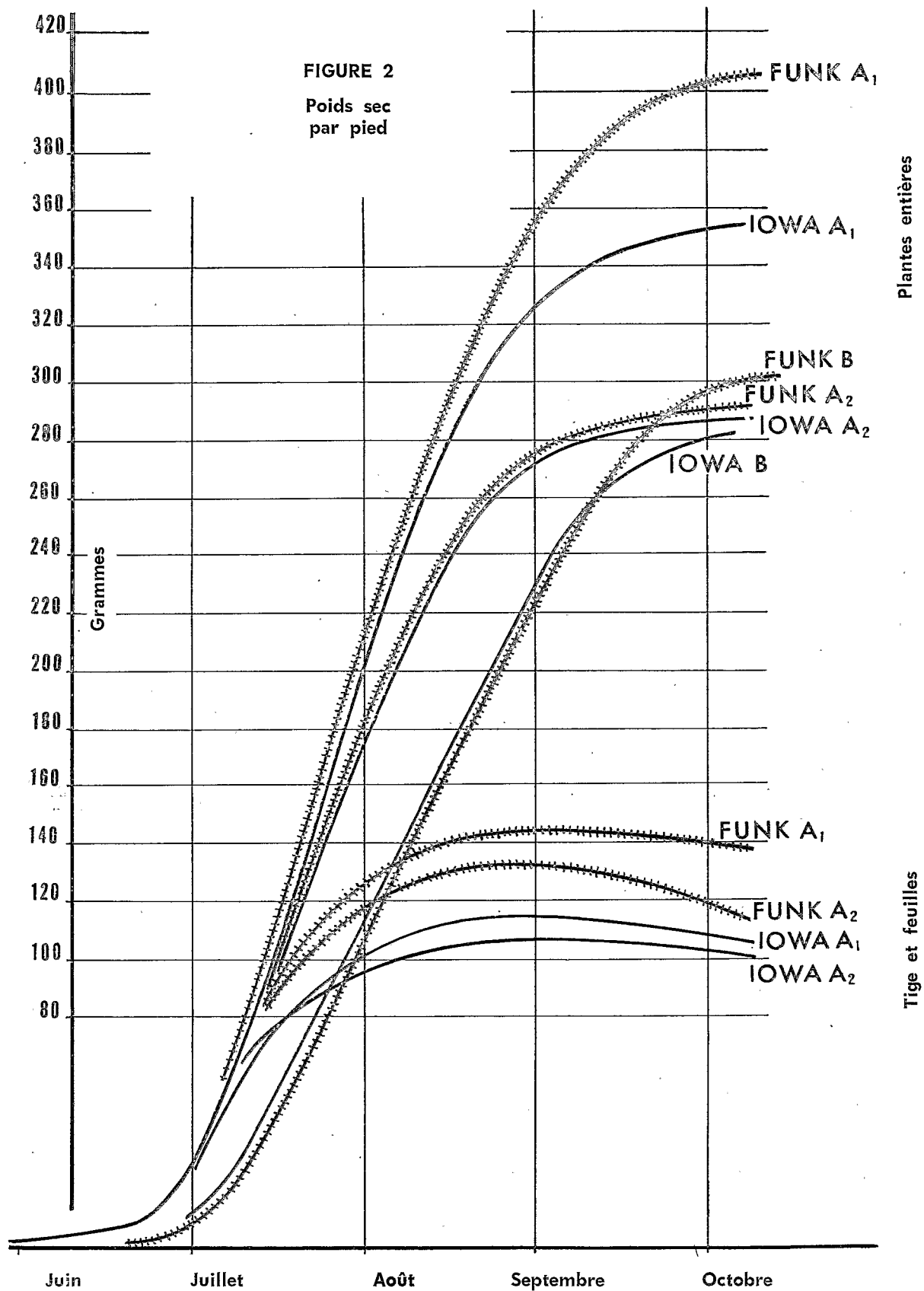
Les différences enregistrées, entre l'essai irrigué et les trois autres essais, illustrent l'importance, trop souvent sous-estimée, de l'alimentation hydrique pour le maïs.

La période critique, déterminée par **KIRIAKOV**, va de 15 jours avant la floraison mâle à 15 jours après. La lame d'eau tombée sur ces trois décades est celle qui influe le plus sur les rendements (2). Mais, il apparaît que la réalisation des potentialités élevées de certaines variétés nécessite une certaine quantité d'eau, du 10 au 30 août par exemple. L'évapotranspiration d'une bonne culture de Funk par exemple est sans doute supérieure de 15 à 25 p. 100 à celle d'une culture de Iowa 4417 pour une période que l'on peut fixer approximativement du 20 juillet au 20 août.

	Quintaux grains secs/40.000 pieds			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T
Iowa 4417	80,9	61,7	63,8	62,5
U 32	88,6	55,2	76,2	59,5
INRA 640	77,7	67,7	—	58,3
Funk 75	87,9	58,1	62,5	58,9
Wis. 690	86,0	62,9	75,2	—

## II) EVOLUTION DE L'ABSORPTION DES ELEMENTS MINERAUX

Tous les calculs d'absorption des éléments minéraux ont été faits sur la base d'un peuplement de 40.000 pieds/hectare à partir des teneurs en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO p. 100 de matière sèche et des poids de matière sèche des diverses parties de plantes analysées. (Tableau page 26).



### Absorption de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O par hectare

	21-6	5-7	18-8			5-10		
			Tiges et feuilles	Epis	Plante entière	Tiges et feuilles	Epis	Plante entière
Evolution des prélèvements en azote : Kg N pour 40.000 pieds								
lowa 4417	15,3	52,6	57,6	103,2	160,8	38,1	145,8	183,9
INRA 640	16,6	46,0	69,0	94,2	163,2	44,8	149,7	194,5
lowa 4417	18,6	47,7	32,2	75,6	107,8	19,4	84,1	103,5
INRA 640	17,3	47,2	41,0	67,9	108,9	19,1	91,5	110,6
Evolution des prélèvements en potasse : Kg K <sub>2</sub> O pour 40.000 pieds								
lowa 4417	16,9	60,8	66,4	51,2	117,6	41,4	47,0	88,4
INRA 640	31,9	87,6	124,6	55,6	180,2	91,4	47,2	138,6
lowa 4417	38,2	95,0	69,4	42,6	112,0	49,5	37,3	87,2
INRA 640	41,4	130,4	103,0	40,9	143,9	85,6	40,4	126,0
Evolution des prélèvements en acide phosphorique : Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pour 40.000 pieds								
lowa 4417 A <sub>1</sub>	4,2	15,4	14,3	45,4	59,7	11,3	63,2	74,4
lowa 4417 A <sub>2</sub>	5,2	14,9	11,0	37,1	48,1	8,7	47,7	56,4

#### A) Absorption d'azote

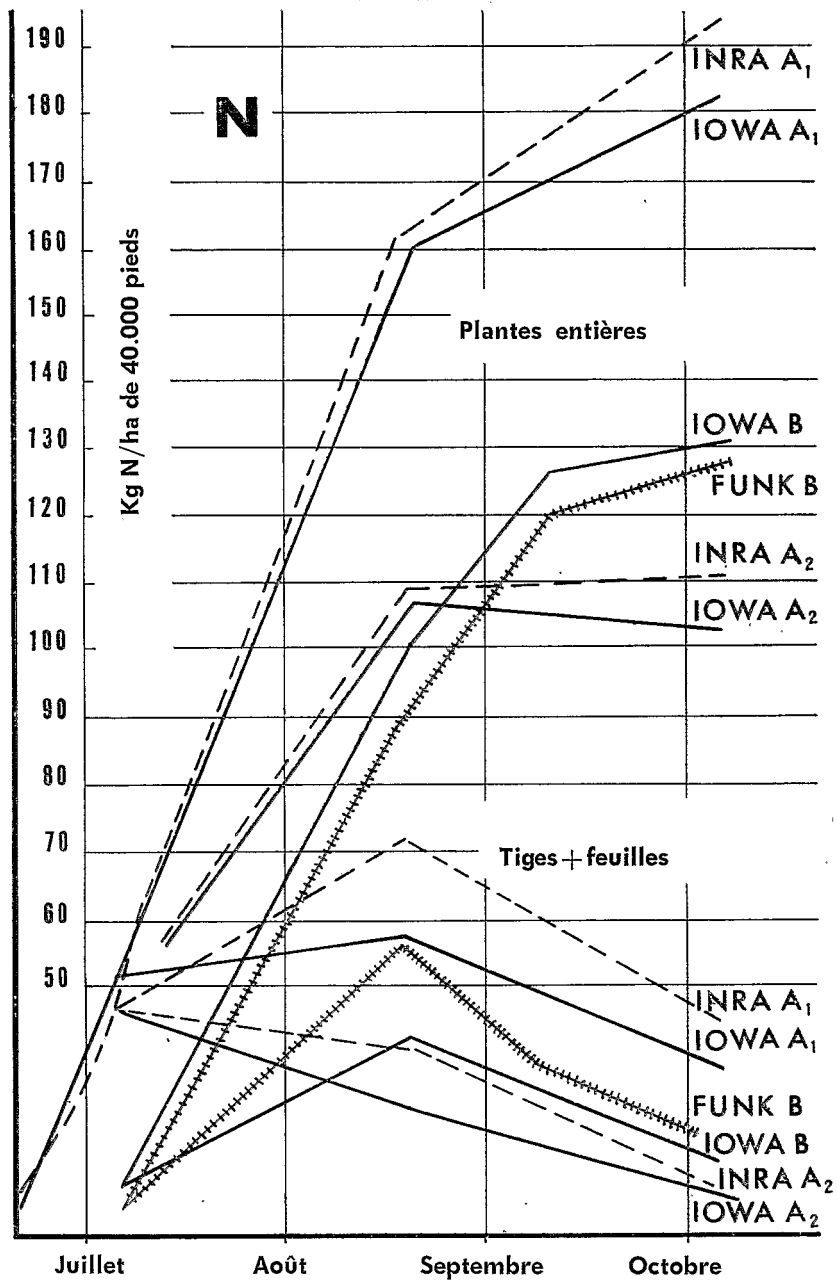
##### a) TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VEGETATIFS

- 1) Les teneurs en azote décroissent d'une manière continue depuis le premier prélèvement, mais demeurent élevées jusqu'à la fin de juin (3 à 4 p. 100).
- 2) A un même moment, sur un même champ, les teneurs des diverses variétés sont bien groupées. En début de végétation lowa 4417 présente des teneurs généralement un peu plus élevées que celles des autres variétés.

		Plantes entières			Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles
		16 mai	6 juin	21 juin	5 juillet	18 août	5 octobre			
A <sub>1</sub>	lowa 4417	4,90	4,23	3,88	1,73	2,62	0,69	1,91	0,82	0,97
	Autres variétés	4,40	4,07	3,63	1,82	2,60	0,68	1,82	0,60	0,90
A <sub>2</sub>	lowa 4417	5,22	3,45	3,56	1,12	2,42	0,29	1,31	0,32	0,56
	Autres variétés	4,80	3,74	3,13	1,03	1,93	0,28	1,34	0,25	0,51
B	lowa 4417	4,69	3,55	2,15	0,80	1,72	0,48	1,20	0,61	0,66
	Autres variétés	4,22	3,85	2,24	0,69	1,62	0,47	1,18	0,53	0,63

- 3) A un même moment, les différences entre les variétés sont très nettement moins grandes que celles des lieux. Ainsi la différence entre A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> ou B est très marquée et se maintiendra jusqu'à la récolte, en liaison avec l'irrigation pratiquée en A<sub>1</sub>.

FIGURE 3



**b) TENEURS EN AZOTE DES GRAINS**

Elles présentent des fluctuations importantes, plus entre essais qu'entre variétés sur un même essai. Sur l'essai A<sub>2</sub>, en particulier, les bas niveaux de nutrition azotée se sont gravement répercutés sur la formation des grains.

**c) ABSORPTION TOTALE D'AZOTE**

Dans ses graphiques, SAYRE avait indiqué que l'accumulation d'azote cessait nettement vers la fin août. Les courbes de la fig. 3 expriment sensiblement le même fait, avec cependant quelque différence.

	N p. 100 de matière sèche			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T
Iowa 4417	1,69	1,32	1,62	1,84
U 32	1,52	1,15	1,82	1,53
F 75	1,61	1,20	1,52	1,58
INRA 640	1,84	1,31	—	1,69
W 690	1,62	1,18	1,55	—

L'absorption d'azote croît rapidement jusqu'au 20 août (essais A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>) ou 7 septembre (essai B), puis très lentement ensuite pour A<sub>2</sub> et B et nettement encore sur l'essai irrigué A<sub>1</sub>.

Il est cependant difficile de différencier les variétés étudiées au cours des six semaines précédant la maturité.

## B) Absorption de phosphore

### a) TENEUR EN P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> DES ORGANES VEGETATIFS

Les différences intervariétales sont négligeables à côté des différences entre les essais.

#### Teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> p. 100 de matière sèche (moyennes des variétés)

	Plantes entières			Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles
	16 mai	6 juin	21 juin	5 juillet		18 août		5 octobre	
A <sub>1</sub>	0,73	0,96	1,01	0,53	0,78	0,20	0,43	0,14	0,20
A <sub>2</sub>	0,98	0,89	0,96	0,43	0,64	0,23	0,36	0,23	0,16
B	2 juin	23 juin	5 juil.	17 août		6 septembre		12 octobre	
	1,27	1,03	0,53	0,20	0,40	0,07	0,23	0,10	0,12
T	19 juin	27 juin	8 juil.	23 août		7 septembre		4 octobre	
	0,55	0,92	0,68	0,10	0,30	0,07	0,21	0,07	0,12

Il existe un net parallélisme entre N et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : teneurs élevées durant les deux premiers mois de la croissance environ, puis baisse continue jusqu'à la maturité. Les tiges et les feuilles se vident progressivement de leur phosphore au profit des grains, mais le gain par les épis dépasse plus ou moins nettement la perte par les autres organes ; ceci confirme les indications antérieures selon lesquelles l'absorption de phosphore à partir du sol se poursuit après la fin de la croissance de la plante (61).

Mais on constate des différences marquées entre les essais : nutrition phosphorée correcte sur les alluvions A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, nutrition déficitaire sur boulbène et très déficiente sur terrefort.

La sécheresse accusée sur août-septembre a donc permis de mettre en évidence des différences sans doute moins nettes en année favorable.

### b) TENEUR EN PHOSPHORE DES GRAINS

La répercussion sur la teneur des grains en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été considérable. Les grains de A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> sont très normaux, ceux de B sont un peu pauvres, et ceux de l'essai sur terrefort sont très déficients.

#### e) ABSORPTION TOTALE D'ACIDE PHOSPHORIQUE

Ces différences de nutrition phosphorée se répercutent directement sur les quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> consommées sur les quatre essais respectivement 74,4 - 56,4 - 43,5 - 36,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, T à maturité.

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p. 100 de matière sèche			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T
Iowa 4417	0,76	0,75	0,60	0,42
U 32	0,66	0,75	0,66	0,43
INRA 640	0,78	0,75	—	0,48
F 75	0,66	0,70	0,62	0,46
W 690	0,68	0,70	0,60	—

L'absorption de  $P_2O_5$  s'est poursuivie jusqu'à maturité sur l'essai  $A_1$  irrigué ; elle fut au contraire très modeste sur boubène et inexistante sur le terrefort au cours du dernier mois.

### C) Absorption de potassium

#### a) TENEUR EN POTASSE DES ORGANES VEGETATIFS

Dès le premier prélèvement la teneur des plantes en K est élevée mais très inférieure au maximum ultérieur. C'est essentiellement du 6 au 21 juin que les teneurs en  $K_2O$  sont les plus élevées. Elles décroissent ensuite progressivement jusqu'à la maturité.

Les tiges et les feuilles ont un comportement différent. Elles ont des teneurs en  $K_2O$  assez voisines fin août à début septembre. Mais à maturité les feuilles se sont beaucoup plus appauvries que les tiges dont les teneurs sont même en augmentation (aux variations près dues à l'échantillonnage). **SOUBIES** et al. avaient signalé cette prédilection du potassium pour la tige (13), et **HANWAY** a montré nettement l'accumulation de K dans les tiges, à partir des feuilles (31). D'importantes différences entre variétés furent enregistrées.

#### Evolution des teneurs en potassium dans les organes végétatifs

( $K_2O$  p. 100 de matière sèche)

	Plantes entières			Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles
	16 mai	6 juin	21 juin	5 juillet		18 août		5 octobre	
$A_1$ Iowa 4417	4,58	4,52	4,28	2,84	2,98	1,58	1,44	1,06	0,90
INRA 640	3,95	6,12	6,80	6,12	4,17	3,10	2,12	2,30	1,17
$A_2$ Iowa 4417	2,58	5,86	7,20	4,22	3,74	1,69	1,76	1,69	0,76
INRA 640	5,40	6,63	8,62	5,67	4,52	2,08	2,16	2,50	1,18

- 1) Le Iowa 4417 présente régulièrement à maturité les plus faibles teneurs en  $K_2O$  pour les tiges et les feuilles. On peut en rechercher plusieurs causes telles que : maturité plus avancée s'accompagnant d'un lessivage plus intense par les pluies, migration de K plus accusée pour satisfaire une production proportionnellement plus élevée par rapport au stock de potassium emmagasiné antérieurement.
- 2) La variété INRA 640 est plus riche en potassium que toutes les autres et conserve sa supériorité jusqu'à maturité.
- 3) Il est difficile de séparer les autres variétés étudiées U 32, F 75, W 690 qui constituent un groupe intermédiaire.

#### b) TENEURS EN POTASSIUM DES GRAINS

L'influence de ces variations sur les teneurs des grains en  $K_2O$  a été très minime, car ces teneurs sont très groupées.

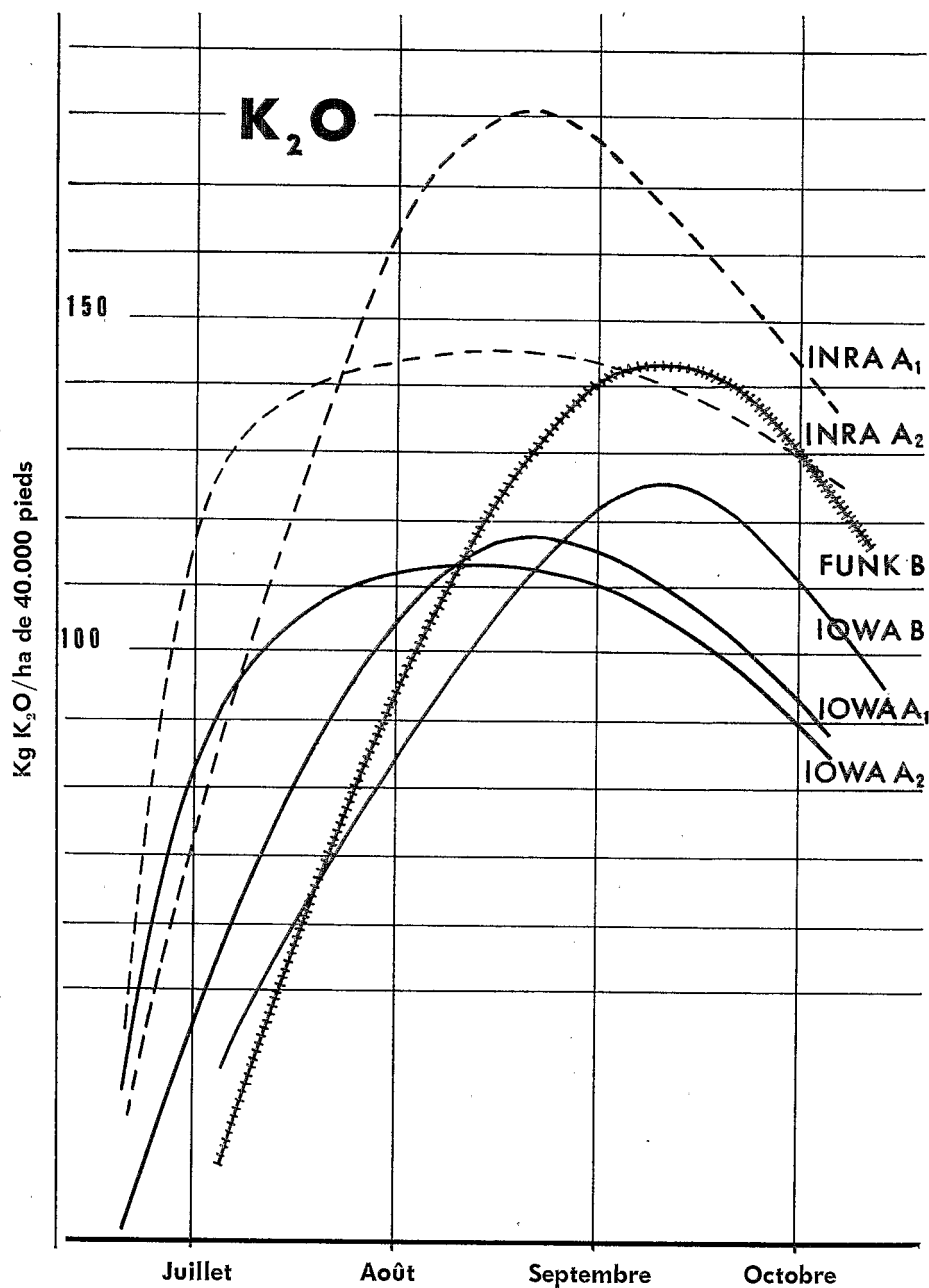
#### c) ABSORPTION TOTALE DE POTASSE

Les courbes de la fig. 4 (voir p. 30) montrent bien :

- 1) que le potassium est aussi abondant vers le 20 juillet environ qu'il le sera à maturité,
- 2) que le maximum d'absorption de  $K_2O$  ne correspond pas à la maturité mais se situe environ trois semaines après la

	$K_2O$ p. 100 de matière sèche			
	$A_1$	$A_2$	B	T
Iowa 4417	0,43	0,46	0,41	0,42
U 32	0,41	0,48	0,42	0,40
INRA 640	0,46	0,48	—	0,41
F 75	0,41	0,48	0,49	0,41
W 690	0,43	0,46	0,42	—

FIGURE 4



floraison, au moment où les organes végétatifs présentent leur maximum de poids sec, soit du 10 au 20 août dans le cas présent,

3) que l'accumulation totale de K<sub>2</sub>O décroît à partir de ce moment jusqu'à la maturité.

Les trois groupes de variétés signalés ci-dessus se retrouvent dans le calcul des prélèvements par hectare : sur la fig. 4 les courbes correspondant à Iowa 4417 sont les plus basses tandis que celles de INRA 640 sont les plus hautes, représentant une consommation de 30 à 50 kg K<sub>2</sub>O de plus par hectare à partir des maximum des courbes.

Si, pour situer les variétés étudiées, en fonction de leurs exigences en K<sub>2</sub>O, on considère la variation de consommation par hectare comprise entre le maximum de la courbe



et la consommation brute finale à la récolte, on obtient le classement approximatif suivant :

Iowa 4417 .....	90 à 125 kg K <sub>2</sub> O/40.000 pieds
U 32, Funk 75 A, W 690 .....	110 à 150 kg K <sub>2</sub> O/ »
INRA 640 .....	130 à 180 kg K <sub>2</sub> O/ »

Le tableau de la page 29 permet la comparaison des absorptions de N et K<sub>2</sub>O pour Iowa 4417 et INRA 640.

#### D) Absorption de calcium et magnésium

Dans cette étude, il n'a pas été possible de dégager de différence notable entre les variétés vis-à-vis d'une plus ou moins grande affinité pour les alcalino-terreux.

Pour suivre les migrations, on peut considérer seulement les données pour Iowa 4417 sur l'essai A<sub>1</sub>.

	16 mai 6 juin 21 juin Plantes entières			5 juillet		18 août			5 octobre			
				Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Epis	Tiges	Feuilles	Rafle	Grains
CaO % mat. sèche	1,16	1,64	1,23	0,92	1,08	0,62	1,58	0,06	0,59	1,16	0,06	0,03
MgO % mat. sèche	0,53	0,66	0,80	1,02	0,80	0,58	0,76	0,30	0,57	0,70	0,13	0,23

Du 5 juillet au 18 août, c'est-à-dire durant la grande croissance, le calcium décroît dans les tiges et croît dans les feuilles, le magnésium décroît dans les tiges et se stabilise dans les feuilles.

En allant vers la maturité, Ca décroît dans les tiges et les feuilles sans donner lieu à une migration vers les grains tandis que Mg est stable dans les tiges, un peu décroissant dans les feuilles.

Les quantités absorbées au moment de la maturité (exprimées en CaO et MgO) sont principalement influencées, pour MgO, par les rendements en grains et le développement, pour CaO par le seul développement et le degré de siccité.

Absorption finale  
par variété  
en kg/40.000 pieds

	CaO	MgO
Iowa 4417	38,2	35,4
U 32	41,7	36,3
INRA 640	46,9	38,9
F 75	43,0	40,0

MgO p. 100 de mat. sèche  
(grains)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	T
Iowa 4417	0,23	0,20	0,20	0,18
U 32	0,23	0,22	0,22	0,17
INRA 640	0,26	0,20	—	0,18
F 75	0,26	0,18	0,22	0,17
W 690	0,23	0,22	0,20	—

Les hybrides plus tardifs absorbent donc un peu plus de CaO et MgO que Iowa 4417 soit en raison d'un développement plus important (CaO) soit du fait d'un rendement en grains un peu supérieur (MgO).

Mais ici encore, les conditions écologiques ont une influence plus grande que les variétés. Sur terrefort (T) par exemple, l'absorption de CaO est plus forte et celle de MgO plutôt moindre.

Enfin, notons qu'à l'inverse de ce qui se passe pour le potassium dont la teneur dans le grain est assez rigide, le taux de magnésium reflète ici les niveaux de nutrition magnésienne.

## CONCLUSIONS

On admet généralement que les nouvelles variétés de maïs hybrides, plus tardives que la variété témoin Iowa 4417, doivent fournir des rendements dépassant ceux de ce dernier de 15 à 20 p. 100, entraînant des exigences plus élevées en matière de fertilisation.

Mais, une alimentation hydrique correcte est la condition première de la réalisation de ces potentialités supérieures.

Les différences entre variétés se relient à deux sortes de considérations :

- 1) La majoration du rendement entraîne des exigences supérieures en N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , MgO. Les exigences en azote sont de loin les plus majorées.
- 2) La réalisation de ces potentialités supérieures est conditionnée par un développement végétatif supérieur (tableau de la page 24). Les différences entre variétés portent ici surtout sur  $K_2O$ . Les variétés tardives sont plus exigeantes en  $K_2O$  que Iowa 4417 (25 à 40 kg  $K_2O$  de plus par hectare dans cette étude). Ce sont de meilleurs utilisateurs d'azote et de moins bons utilisateurs de potasse. (Tableau ci-après des exigences moyennes par quintal de grain).

Les exigences globales en N et  $K_2O$  résultent de ces deux considérations. Si les rendements obtenus sont élevés, l'accroissement d'exigence en N est plus élevé que celui en  $K_2O$ . Pour un accroissement de fertilisation azotée de 30 à 40 kg N/hectare il semble que l'on doive envisager d'accroître les apports potassiques de 25 à 30 kg  $K_2O$ /hectare. Notons enfin que les exigences en acide phosphorique peuvent atteindre 75 kg  $P_2O_5$ /hectare et que les exigences en CaO et MgO indiquées en première partie doivent être portées à 42 kg et 35 kg respectivement.

	Par quintal de grain	
	Kg N	Kg $K_2O$
Iowa 4417	2,161	1,373
U 32	1,943	1,650
INRA 640	2,146	1,852
F 75	2,015	1,679
W 690	1,893	1,635

# TROISIÈME PARTIE

## LA NUTRITION CATIONIQUE DU MAÏS

### ET LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

#### LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE DU MAÏS

La méthode du diagnostic foliaire fut inaugurée sur le maïs par **THOMAS**, aux Etats-Unis en 1938 (68) puis poursuivie par **THOMAS** et al. en 1939, 1943, 1944 (69-70-71-72). La feuille échantillonnée était alors la 3<sup>e</sup> ou la 4<sup>e</sup> feuille à partir de la base.

Puis ces études se sont développées, surtout aux Etats-Unis. En 1946, **TYNER** opère sur la sixième feuille à partir de la base, sur dix plantes, au moment de la pleine floraison. Les avantages de ce prélèvement seraient les suivants :

- 1) c'est un stade facile à reconnaître,
- 2) les variétés mûrissent en un nombre de jours identique après ce stade,
- 3) le poids des parties végétatives (tiges et feuilles) est très près du maximum à ce moment,
- 4) la demande d'éléments nutritifs est très élevée.

Les teneurs des feuilles au stade floraison sont donc les plus typiques, car c'est la période critique pour toutes les variétés.

Ce mode de prélèvement fut également utilisé en 1953 par **BENNETT** et al. qui récoltaient cependant 20 feuilles par parcelle expérimentale (6).

En France, le diagnostic foliaire du maïs a été abordé dans la période récente, notamment par **DULAC** (22).

Ces prélèvements concernaient les feuilles à l'aisselle desquelles apparaît l'épi principal, en ne conservant que le tiers central, et à quatre époques physiologiques :

- 1) début de la floraison mâle,
- 2) début dessiccation des soies,
- 3) quinze jours plus tard,
- 4) début du jaunissement des spathes.

#### METHODE DE DIAGNOSTIC FOLIAIRE PRATIQUEE

Les prélèvements effectués dans cette étude concernaient aussi la feuille de l'épi, récoltée sur 60 pieds par parcelle. On ne conservait également que le tiers central de la feuille, la nervure étant éliminée. L'époque fut uniquement celle de la floraison.

Sur la plupart des variétés, la sixième feuille est la seconde feuille au-dessous de l'épi le plus élevé. Il intervient donc de ce fait une petite différence par rapport aux prélèvements des auteurs américains.

Les échantillons foliaires ont été prélevés sur les essais cités plus haut.

#### EXPRESSION DES RESULTATS

Les teneurs foliaires seront exprimées en éléments N, P, K, Ca, Mg p. 100 de matière sèche (tableau page 36) et ce mode d'expression sera seul utilisé pour les notions de niveaux critiques, de consommation de « luxe ».

Par contre pour les concepts mettant en jeu des sommes et des rapports (cations totaux  $S = K + Ca + Mg$ , équilibres des cations 100 K/S, 100 Ca/S, 100 Mg/S) il serait préférable d'utiliser l'expression en nombre de milliéquivalents (50). Il n'y sera cependant fait appel que pour des comparaisons.

## I) LA NUTRITION ANIONIQUE DU MAÏS ET LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Il ne s'agit ici que d'un examen séparé des teneurs de la feuille en N et P. **COIC** et al. (1961) ont étudié l'influence comparée de la déficience en phosphore sur l'absorption des anions-cations en présence d'une alimentation azotée ammoniacale ou nitrique (14). **BENNETT** et al. ont envisagé l'effet de l'azote sur la nutrition phosphorée du maïs (5).

### a) Les niveaux azotés

Les études de diagnostic foliaire du maïs ont surtout concerné les niveaux azotés.

**TYNER** (1946) (77-78), **BENNETT** et al. 1953 (6), **ANDHARIA** et al. (1), **VIETS** et al. (1954) (80), **DULAC** (22), **SOUBIES** (66), **DUMENIL** (23), **BRUCE** et al. (11) ont mis en lumière la liaison nette existant entre les rendements et le taux d'azote de la feuille à l'époque des floraisons.

**TYNER** a proposé comme niveau critique (au-dessus duquel la réponse à l'azote serait douteuse et faible), 3,10 p. 100.

**BENNETT** et al. ont montré que la teneur critique peut varier à l'intérieur d'une zone étroite (2,80 à 3,00 p. 100).

**VIETS** et al. ont trouvé de leur côté 2,83 p. 100 pour niveau critique et 2,20 p. 100 pour le seuil d'apparition des signes du manque d'azote.

**DULAC** a vérifié la liaison azote-rendement pour un intervalle de rendement de 48 à 93 quintaux couvert par une variation de teneurs s'étalant de 2,3 à 3,5 p. 100.

Chez le maïs l'azote contrôle le développement et les majorations de rendements à attendre de l'usage des engrais phosphatés et potassiques. Pour apprécier les niveaux potassiques en liaison avec les rendements, il est nécessaire de se placer à l'optimum de nutrition azotée. Cette condition fut remplie dans les essais étudiés (même au niveau  $N_0$  de l'essai de Pau, en liaison avec la richesse du sol de cet essai à cet égard).

### b) Les niveaux phosphorés

**TYNER** avait proposé comme niveau critique une teneur de 0,315 p. 100 (en P) et ses observations s'échelonnaient de 0,19 à 0,38 p. 100 P.

Ici la variation s'est inscrite entre 0,28 et 0,70 p. 100 de P pour les traitements  $K_0$  et entre 0,26 et 0,42 p. 100 P pour les divers traitements  $K_1$  et  $K_2$  (avec un très petit nombre d'observations entre 0,26 et 0,30 p. 100 P).

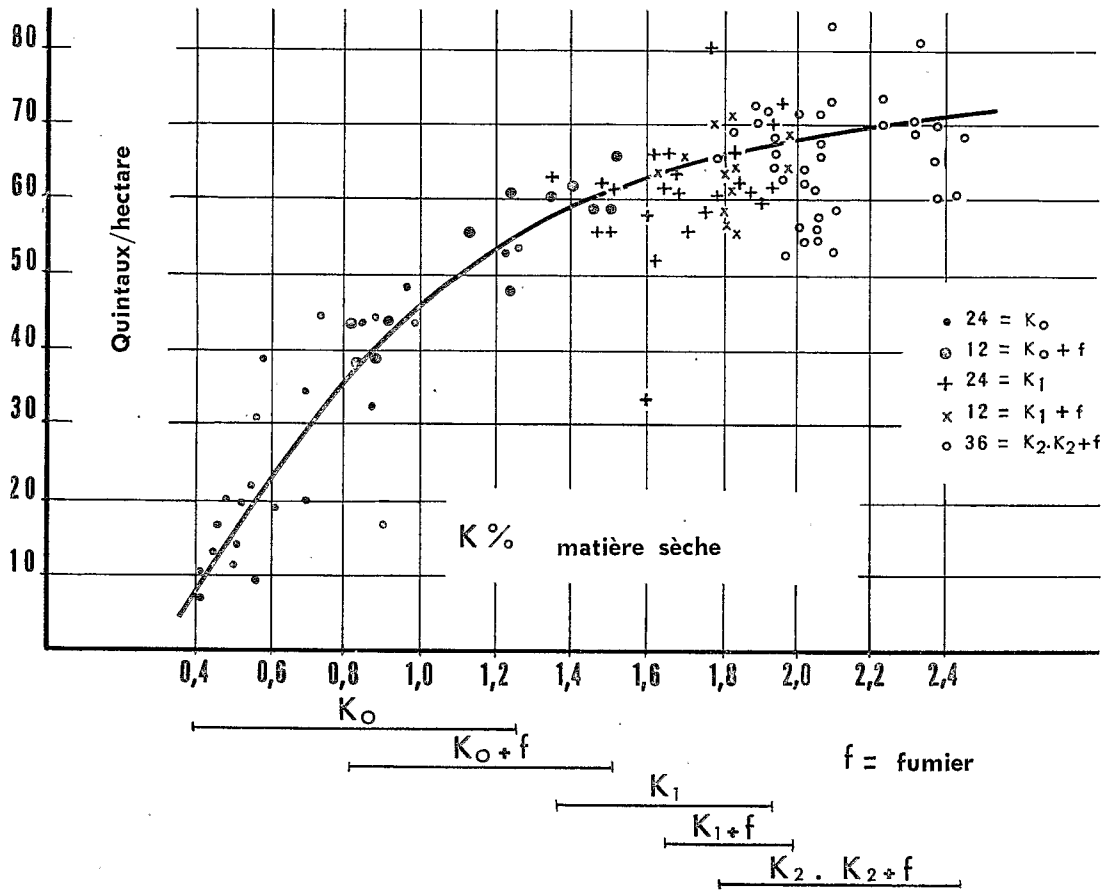
La nutrition phosphorée a donc pratiquement été très correcte (si l'on excepte les teneurs excessives notées sur certaines parcelles très carencées en potasse).

### Essais de Pau maïs.



FIGURE 5

Essai complexe Pau - Relation entre les rendements en grains (15 % d'humidité) et la teneur en K de la feuille au-dessous de l'épi à la floraison



## II) LA NUTRITION CATIONIQUE DU MAIS ET LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

### A) ETUDE DES NIVEAUX POTASSIQUES FOLIAIRES

#### 1) Sur les divers essais

##### a) ESSAI COMPLEXE DE PAU

La figure 5 rapporte la dispersion des 108 rendements parcelaires correspondant aux trois années 1954, 1955, 1956, en fonction des 108 teneurs potassiques foliaires.

#### 1) Parcelles $K_0$

Les teneurs en potassium des plantes des parcelles  $K_0$  sont très faibles. Il convient de rapprocher les rendements moyens aberrants des traitements  $K_0$ , en 1954 (24 q) et 1956 (19 q) des teneurs foliaires moyennes en potassium correspondantes (0,60 et 0,61).

L'élévation du rendement moyen en 1955 (44 q) correspond à une amélioration très marquée de la nutrition potassique ( $K_{moyen} = 0,96$ ).

Les teneurs inférieures à 0,70 p. 100 sont des teneurs de très grave déficience, accompagnées de rendements moyens inférieurs à 25 q.

**TABLEAU**  
**Diagnostic foliaire maïs**

		% de matière sèche						% de K + Ca + Mg			Quintaux grains secs hectare
		N	P	K	Ca	Mg	K + Ca + Mg	K	Ca	Mg	
<b>Essai complexe de Pau</b>											
1954	K <sub>0</sub>	3,84	0,49	0,60	1,21	0,83	2,64	22,7	45,4	31,9	23,6
	K <sub>1</sub>	4,00	0,34	1,81	0,85	0,34	3,00	60,3	28,3	11,4	65,2**
	K <sub>2</sub>	3,99	0,33	2,29	0,77	0,23	3,29	69,6	23,4	7,0	70,8**
1955 sans fumier	K <sub>0</sub>	3,44	0,39	0,96	0,85	0,65	2,46	39,0	34,5	26,5	43,8
	K <sub>1</sub>	3,58	0,39	1,56	0,60	0,42	2,58	60,4	23,2	16,4	62,3**
	K <sub>2</sub>	3,56	0,39	1,94	0,50	0,34	2,78	69,7	17,9	12,4	65,1**
1955 avec fumier	K <sub>0</sub>	3,56	0,39	1,41	0,62	0,53	2,56	55,0	24,2	20,8	62,2
	K <sub>1</sub>	3,40	0,38	1,85	0,51	0,38	2,74	67,5	18,6	13,9	67,0**
	K <sub>2</sub>	3,51	0,41	1,93	0,50	0,35	2,78	69,4	17,9	12,7	70,8**
1956 sans fumier en 1955	K <sub>0</sub>	3,49	0,33	0,61	1,30	0,70	2,61	23,3	50,0	26,7	18,8
	K <sub>1</sub>	3,51	0,28	1,57	0,86	0,36	2,79	56,2	30,8	13,0	51,9**
	K <sub>2</sub>	3,64	0,29	2,03	0,70	0,33	3,06	66,3	22,8	10,9	58,5**
1956 avec fumier en 1955	K <sub>0</sub>	3,45	0,29	0,97	1,16	0,56	2,69	36,0	43,1	20,9	45,0
	K <sub>1</sub>	3,45	0,28	1,79	0,84	0,32	2,95	60,6	28,4	11,0	61,3**
	K <sub>2</sub>	3,66	0,28	2,04	0,72	0,28	3,04	67,1	23,6	9,3	60,7**
<b>Essai simple de Pau - sole 3</b>											
1955	K <sub>0</sub>	3,89	0,35	1,79	0,59	0,31	2,69	66,5	21,9	11,6	78,9
	K <sub>1</sub>	3,89	0,35	1,99	0,67	0,25	2,91	68,3	23,0	8,7	73,5
	K <sub>2</sub>	3,82	0,34	2,05	0,69	0,36	3,10	66,1	22,2	11,7	81,3
1956	K <sub>0</sub>	4,16	0,34	1,28	1,11	0,44	2,83	45,2	39,2	15,6	68,8
	K <sub>1</sub>	4,18	0,35	1,99	0,76	0,29	3,04	65,4	25,0	9,6	65,6
	K <sub>2</sub>	4,19	0,35	2,35	0,72	0,24	3,31	71,0	21,7	7,3	70,1
1961	K <sub>0</sub>	3,44	0,60	0,48	1,28	0,79	2,55	18,8	50,2	31,0	
	K <sub>1</sub>	3,68	0,34	1,20	1,20	0,44	2,84	42,2	42,2	15,6	
	K <sub>2</sub>	3,56	0,29	1,43	1,06	0,34	2,83	50,5	37,4	12,1	
<b>Essai de Lалуque (Landes)</b>											
1957	K <sub>0</sub>	3,84	0,30	1,57	1,09	0,34	3,00	52,3	36,3	11,4	46,1
	K	4,00	0,31	1,92	0,87	0,28	3,07	62,5	28,3	9,2	51,4*
	KMg	3,88	0,33	1,90	0,78	0,29	2,97	63,9	26,2	9,9	52,5*
<b>Essai de Sainte-Marthe (Boullène en Lot-et-Garonne)</b>											
1961	K <sub>0</sub>	3,39	0,30	1,12	1,15	0,74	3,01	37,2	38,2	24,6	39,1
	K <sub>1</sub>	3,38	0,29	1,33	1,05	0,59	2,97	44,7	35,3	20,0	42,0*
	K <sub>2</sub>	3,45	0,30	1,51	0,98	0,57	3,06	49,3	32,0	18,7	43,2**

La dispersion des points K<sub>0</sub> (0,41 à 1,27 K p. 100 et 8 à 54 q) exprime bien tous les degrés de la déficience, depuis la carence (K < 0,60 p. 100), la très grave déficience (K entre 0,60 et 1,00), la déficience nette (K entre 1,00 et 1,30 p. 100).

## 2) Parcelles K<sub>0</sub> + fumier

En 1955, on a apporté du fumier sur 2 des 4 blocs de l'essai, à raison de 25 t/ha.

En 1955, le rendement moyen des parcelles  $K_0 + \text{fumier}$  a été de 62 q avec une teneur moyenne de  $K = 1,41$  p. 100.

En 1956, le rendement moyen est retombé à 45 q tandis que la teneur moyenne retombait à  $K = 0,97$  p. 100 (données comparables à  $K_0$  1955 sans fumier).

### 3) Parcelles $K_1$

L'amélioration de la nutrition potassique avec l'apport  $K_1$  de 80 kg  $K_2O$  a été considérable. Sur les trois ans, les teneurs extrêmes ont été de 1,37 et 1,97 p. 100 ; la moyenne générale des parcelles  $K_1$  est de 1,65 p. 100 avec un rendement moyen sur cinq ans de 66 q.

Il est donc certain que pour des teneurs allant de 1,25 à 1,65 p. 100 les rendements s'accroissent en fonction du taux de potassium dans la feuille.

Ici se pose un problème d'une grande importance théorique et pratique. Il convient de savoir si la dose de 80 kg  $K_2O$  a permis une nutrition potassique optimale ou si ce point n'a pas été atteint. Ce problème est lié à celui de la détermination d'un seuil critique de teneur foliaire potassique.

### 4) Parcelles $K_1 + \text{fumier}$

La comparaison des parcelles  $K_1$  et  $K_1 + \text{fumier}$  suggère que l'optimum nutritif en potassium n'a pas été atteint en  $K_1$ .

En 1955, les rendements moyens ont été de 62,3 et 67 q avec des teneurs foliaires  $K = 1,56$  et 1,85 p. 100.

En 1956, les rendements moyens ont été de 51,9 et 61,3 q avec des teneurs foliaires  $K = 1,57$  et 1,79 p. 100.

Donc abstraction faite des autres effets du fumier sur les rendements, à la supériorité de ( $K_1 + \text{fumier}$ ) correspond une nutrition potassique plus intense. Le fumier a apporté au niveau d'apport  $K_1 = 80$  kg  $K_2O$  un supplément de potassium utilisé avec profit par le maïs.

### 5) Parcelles $K_2$

Les teneurs des parcelles  $K_2$  sont régulièrement supérieures à celles des parcelles  $K_1$ , la variation étant de 1,80 à 2,43 p. 100. Les écarts sont suffisamment amples pour, en premier lieu, être significatifs et en second lieu ne pas correspondre, au moins dans leur totalité, à une sorte de « consommation de luxe ». L'apport de 160 kg  $K_2O$  a donc amélioré la nutrition potassique par rapport au niveau  $K_1$ .

Les écarts moyens des teneurs foliaires ( $K_2 - K_1$ ) ont été respectivement de + 0,48 en 1954, + 0,38 en 1955, + 0,46 en 1956.

### 6) Parcelles $K_2 + \text{fumier}$

La comparaison des traitements  $K_2$  et  $K_2 + \text{fumier}$  est instructive.

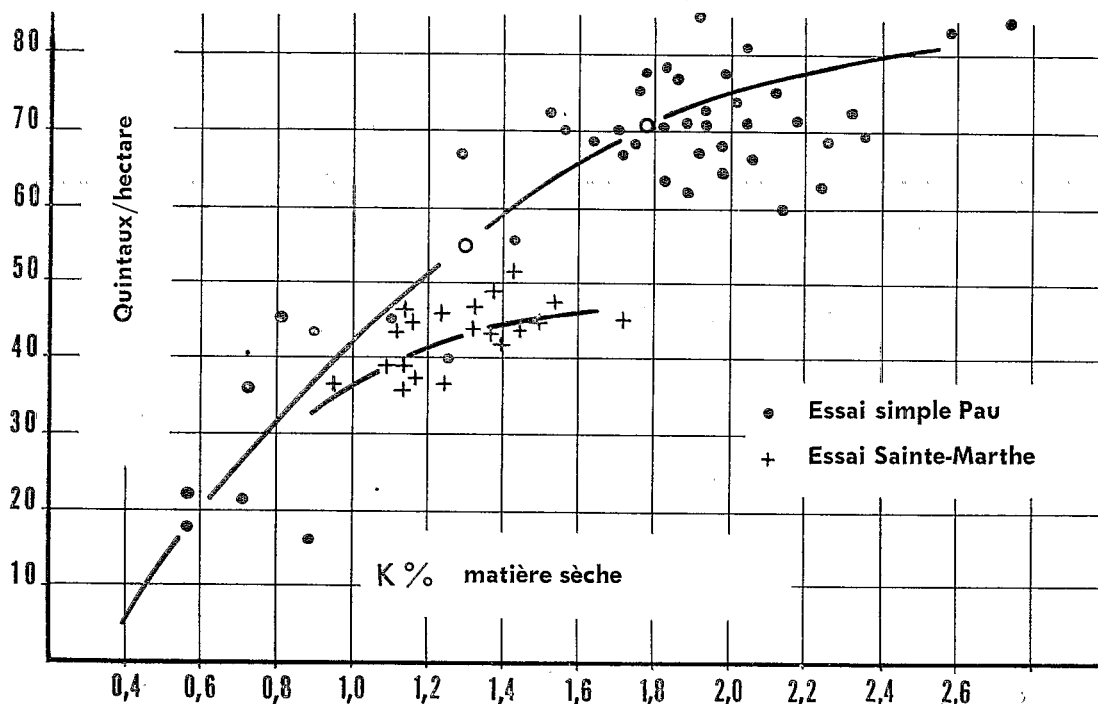
En 1955 et 1956, il n'y a aucune différence dans les teneurs foliaires.

Cela tend à montrer, en opposition avec l'observation faite au niveau d'apport  $K_1$ , que la nutrition potassique avait atteint le maximum avec l'apport  $K_2$ .

On remarque d'autre part que les niveaux foliaires atteints avec ( $K_1 + \text{fumier}$ ) n'atteignent pas les niveaux ( $K_2$  sans fumier). Or en 1955, les rendements moyens ( $K_1 + \text{fu}$

FIGURE 6

Relation entre les rendements en grains (15 % d'humidité)  
et la teneur en K de la feuille au-dessous de l'épi à la floraison



mier) (67,0 q) et ( $K_2$  sans fumier) (65,1 q) ont été à peu près identiques, avec des teneurs respectives de 1,85 et 1,94 p. 100 très voisines. En 1956, ces rendements ont été 61,3 q et 58,5 q. Cela semble montrer que les niveaux potassiques atteints en ( $K_1$  + fumier) correspondaient sensiblement à l'optimum (1,80 p. 100).

#### b) ESSAI SIMPLE $K_0$ , $K_1$ , $K_2$ DE PAU

Le diagnostic foliaire effectué sur l'essai simple de Pau depuis 1955 confirme ces observations (fig. 6). Sur le tableau figurent seulement les données relatives à la sole 3 (en maïs en 1955 et 1956, en prairie temporaire de 1957 à 1960, à nouveau en maïs en 1961).

En 1955, un apport élevé de fumier avait résorbé la carence potassique des parcelles  $K_0$  (teneur en K = 1,79 p. 100 donc optimum). En 1956, le niveau tombe à 1,30 p. 100 traduisant l'arrière-action du fumier précédent. L'épuisement dû à la prairie a été considérable et le maïs de 1961 est très gravement carencé pour  $K_0$ , nettement déficient pour  $K_1$ , et déficient pour  $K_2$ .

#### c) ESSAI DE LALUQUE (SABLES DES LANDES)

Les diagnostics chimiques ont montré qu'en 1957, les niveaux potassiques des traitements  $K_0$  étaient légèrement faibles (1,61 p. 100 contre 1,90 p. 100 pour les traitements K et KMg). En 1958, la moyenne des parcelles  $K_0$  tombe à 1,30 p. 100 contre 1,75 p. 100 pour K et KMg. Cependant le rendement put se maintenir à un niveau très correct en 1959.

#### d) ESSAI DE SAINTE-MARTHE (BOULBENE DU LOT-ET-GARONNE)

Les doses de  $K_2O$  appliquées ont eu un effet très marqué sur les rendements (tableau II, page 9) et sur les niveaux potassiques foliaires (tableau page 36).



Un facteur limitant primordial, l'alimentation hydrique, a joué ici en 1961 et plus encore en 1962 ; et les rendements, tout en exprimant une liaison nette avec les teneurs potassiques foliaires (fig. 6), se situent dans une zone nettement plus basse que celle des courbes de Pau.

## 2) Relations entre les niveaux potassiques foliaires et les rendements

Les études sur la nutrition potassique du maïs en fonction de niveaux foliaires sont très peu nombreuses. **PENSTON**, en 1935 avait étudié la variation diurne du potassium dans les feuilles de maïs (56).

**TYNER** étudiant une gamme de teneurs allant de 0,7 à 2,0 p. 100 a trouvé une corrélation hautement significative et proposé une concentration critique en K, de la sixième feuille à la floraison, de 1,30 p. 100 en précisant que ce niveau pourrait être révisé, car il n'y avait pas d'indication nette de l'existence d'un point à partir duquel la tendance de liaison linéaire entre les rendements et les teneurs en K disparaîtrait (77).

**KRANTZ** et **CHANDLER** en 1951 observèrent une liaison étroite entre les teneurs des feuilles en potassium et les apports, allant de 0 à 320 kg K<sub>2</sub>O/hectare sur des sols diversément dotés en K échangeable. Les rendements furent accrus avec les doses de 80 kg K<sub>2</sub>O sur les sols mieux pourvus et par les doses 60 et 120 kg K<sub>2</sub>O sur le sol pauvre. Ces auteurs considèrent les teneurs enregistrées avec les doses 120 kg K<sub>2</sub>O comme « consommation de luxe » sur les sols 0,23 et 0,28 meq (43).

0,10 meq K		0,23 meq K		0,28 meq K	
Kg K <sub>2</sub> O	K p. 100	Kg K <sub>2</sub> O	K p. 100	Kg K <sub>2</sub> O	K p. 100
0	0,51	0	1,65	0	1,26
60	1,18	80	1,76	80	1,74
120	1,56	120	2,00	120	1,90
		160	2,04	320	2,14
		320	2,18		

**WITTELS** et **SEATZ**, en 1953, ont établi que le niveau critique de potassium nécessaire dans les feuilles était de 1,5 p. 100, 60 jours après la plantation et 1,7 p. 100 dans les stades ultérieurs de la croissance. Ces auteurs considèrent les teneurs supérieures à 1,7 p. 100 comme de « consommation de luxe » (86).

**BENNETT**, **STANFORD** et **DUMENIL** enregistrèrent un petit nombre de données comprises entre 1,42 et 2,12 p. 100 K pour la sixième feuille (6).

**DELONG**, **MAC KAY** et **STEPPLER** obtinrent des teneurs moyennes en potassium comprises entre 2,04 et 3,15 p. 100 pour la feuille de même position que celle ici étudiée, donc des teneurs élevées dans une zone d'indifférence au moins relative (19).

**VIETS**, **NELSON** et **CRAWFORD**, en 1954, enregistrèrent des variations de teneurs entre 1,90 et 2,79 p. 100, et par suite peu de relation avec les rendements (80).

**ELLIS** et al., en 1956, associèrent les teneurs foliaires inférieures à 1,30 p. 100 K aux sols présentant moins de 200 livres par acre de potasse échangeable (soit 0,10 p. 1 000 de sol) et notèrent que l'application de 90 kg K<sub>2</sub>O par hectare à de tels sols amenait les teneurs au-dessus du seuil critique de **TYNER**.

Enfin, **BOSWELL** et **PARKS**, en 1957, étudiant l'effet de divers niveaux potassiques du sol sur la composition minérale du maïs, indiquent pour les traitements sans K<sub>2</sub>O les teneurs foliaires suivantes : K = 1,2 p. 100 ; Ca = 0,8 p. 100 ; Mg = 0,9 p. 100 et pour les traitements à forte fertilisation K<sub>2</sub>O, K = 3,5 p. 100 ; Ca = 0,5 p. 100 ; Mg = 0,2 p. 100, sans précision sur une zone critique pour K (7).

La présente étude semble permettre une approche plus poussée de ce problème.

L'examen des figures 5 et 6 suggère qu'en fait la relation plus générale entre les rendements et les teneurs potassiques foliaires n'est pas linéaire, mais curvilinéaire.

En première approximation, la méthode graphique montre que pour les teneurs allant de 0,4 à 1,0 p. 100 environ, zones de carence et de grave déficience, la corrélation est très forte. Pour un accroissement de la teneur de 0,1 p. 100 K le rendement s'accroît d'environ 5 quintaux/hectare.

On observe ensuite une seconde zone, pour des teneurs allant de 1,0 p. 100 à environ 1,6 p. 100 dans laquelle la corrélation demeure nette, mais où une augmentation de 0,1 p. 100 K ne provoque plus une élévation de rendement que de 2,5 quintaux/hectare environ.

La teneur de 1,3 p. 100 est certainement inférieure au niveau critique. Le rendement moyen correspondant à cette teneur serait d'environ 55 quintaux, nettement inférieur au rendement moyen de l'essai complexe (66 q sur 5 ans pour  $K_1$ ). On remarque par contre que l'obtention de rendements de 65 quintaux apparaît pratiquement pour des teneurs comprises entre 1,7 et 1,8 p. 100 K. D'autre part la feuille considérée par **TYNER** (seconde feuille au-dessous de l'épi supérieur) étant ainsi plus âgée que celle échantillonnée, il peut exister de ce fait une différence de niveaux.

Au-delà de 1,6 p. 100 à 1,7 p. 100, on entre dans un nuage de points. Graphiquement on peut fixer à 1,7 p. 100 le niveau critique, teneur au-dessus de laquelle il n'y a pas de liaison nette entre les teneurs en K de la feuille considérée (la première au-dessous de l'épi supérieur) et les rendements.

L'étude précédente des niveaux potassiques en fonction des traitements avait conduit à considérer la teneur moyenne des plantes  $K_1$  (1,65) comme un peu inférieure à l'optimum qui peut être proposé à 1,80 p. 100 environ.

En fait, quelle que soit la méthode utilisée, il est très difficile d'indiquer une teneur précise qui serait un véritable niveau critique. En ce qui concerne le potassium, en effet, cation d'absorption préférentielle, il est général qu'au-delà de certaines teneurs, tout calcul de liaison rendements  $\times$  teneurs deviendrait illusoire. Il serait préférable d'indiquer une zone critique, de 1,7 à 2,0 p. 100 par exemple. Pour les teneurs supérieures à 2,0 p. 100 environ, il y aurait consommation indifférente. A partir de cette zone, les cations dont le rôle principal est constructeur, doivent être considérés également sous l'aspect qualitatif de l'équilibre des trois cations majeurs entre eux.

Remarquons enfin que **TYNER** avait émis l'hypothèse que le sodium pourrait sous certaines conditions se substituer en partie au potassium dans la nutrition de la plante, ce qui pourrait entraîner une baisse du niveau critique en K (77). Cela ne fut pas observé sur les essais suivis. Les teneurs en sodium furent toujours infimes, de 0,01 à 0,02 Na p. 100 à Pau, et de 0,03 à 0,04 Na p. 100 à Lalucque sur les sables des Landes. Ces teneurs corroborent les études de **TRUOG, BERGER, ATTOE** (74), **LARSON** et **PIERRE** (44), **COPE** et al. (16) qui montrèrent en 1953 que le maïs absorbe très peu de sodium même si le milieu en est bien pourvu. Les mouvements de Na sont négligeables, en comparaison de ceux de K (3).

## B) ETUDE DES NIVEAUX CALCIQUES ET MAGNESIENS

La plupart des auteurs précités ont étudié également les teneurs foliaires en Ca et Mg.

**VIETS** et al. indiquent que les engrais appliqués ont eu sur les niveaux Ca et Mg un effet inverse de celui sur K, la somme des trois cations demeurant sensiblement constante, vers 100 meq pour 100 g. Ca a varié entre 0,36 et 0,55 p. 100 et Mg entre 0,14 et 0,21 p. 100 (80).

**DE LONG** et al. enregistrent de fortes corrélations négatives significatives entre les teneurs K et Mg ; Mg variant de 0,31 à 0,66 p. 100 et Ca étant très peu dispersé entre 0,52 et 0,58 p. 100 (19).

**WITTELS** et **SEATZ** font remarquer que durant les premiers stades de la croissance, la teneur des plantes en Ca présente peu de variation en fonction des apports potassiques, traduisant cependant dans les feuilles une liaison inverse avec K. En particulier, 60 jours après la plantation, la teneur calcique foliaire varie de 0,3 à 0,6 p. 100 selon les traitements  $K_2O$  (86).

**BOSWELL** et **PARKS** ont également montré qu'avec l'élévation de la fumure potassique, les niveaux foliaires Ca et Mg décroissent.

**ELLIS** et al. notèrent aussi que l'addition de K à des sols pauvres en K échangeable engendrait une baisse des teneurs magnésiennes des feuilles, tandis que le calcium était moins influencé (24).

Ici même sur les essais de Pau, on a enregistré des corrélations négatives élevées entre les teneurs en K et celles en Ca et Mg.

Les échantillons foliaires des parcelles  $K_0$  sont régulièrement nettement plus riches en Ca et Mg que ceux des parcelles  $K_1$ , eux-mêmes légèrement plus riches que ceux des parcelles  $K_2$ .

La feuille de maïs échantillonnée (feuille de l'épi) est elle-même le siège de mouvements très remarquables des cations, ainsi que le montrent les dosages de K, Ca, Mg effectués sur les trois tiers de la feuille sur les trente échantillons de l'essai de Sainte-Marthe en 1962 (prélèvement du 31 juillet 1962).

	Tiers basal			Tiers central			Tiers apical		
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
$K_0$	1,125	0,660	0,693	1,019	0,802	0,683	0,884	1,010	0,671
$K_1$	1,755	0,588	0,538	1,524	0,694	0,522	1,306	0,850	0,499
$K_2$	1,979	0,576	0,493	1,740	0,646	0,437	1,455	0,764	0,437
d 5 %	0,121	0,038	0,053	0,120	0,039	0,047	0,117	0,048	0,037
d 1 %	0,165	0,052	0,073	0,165	0,053	0,064	0,160	0,065	0,051

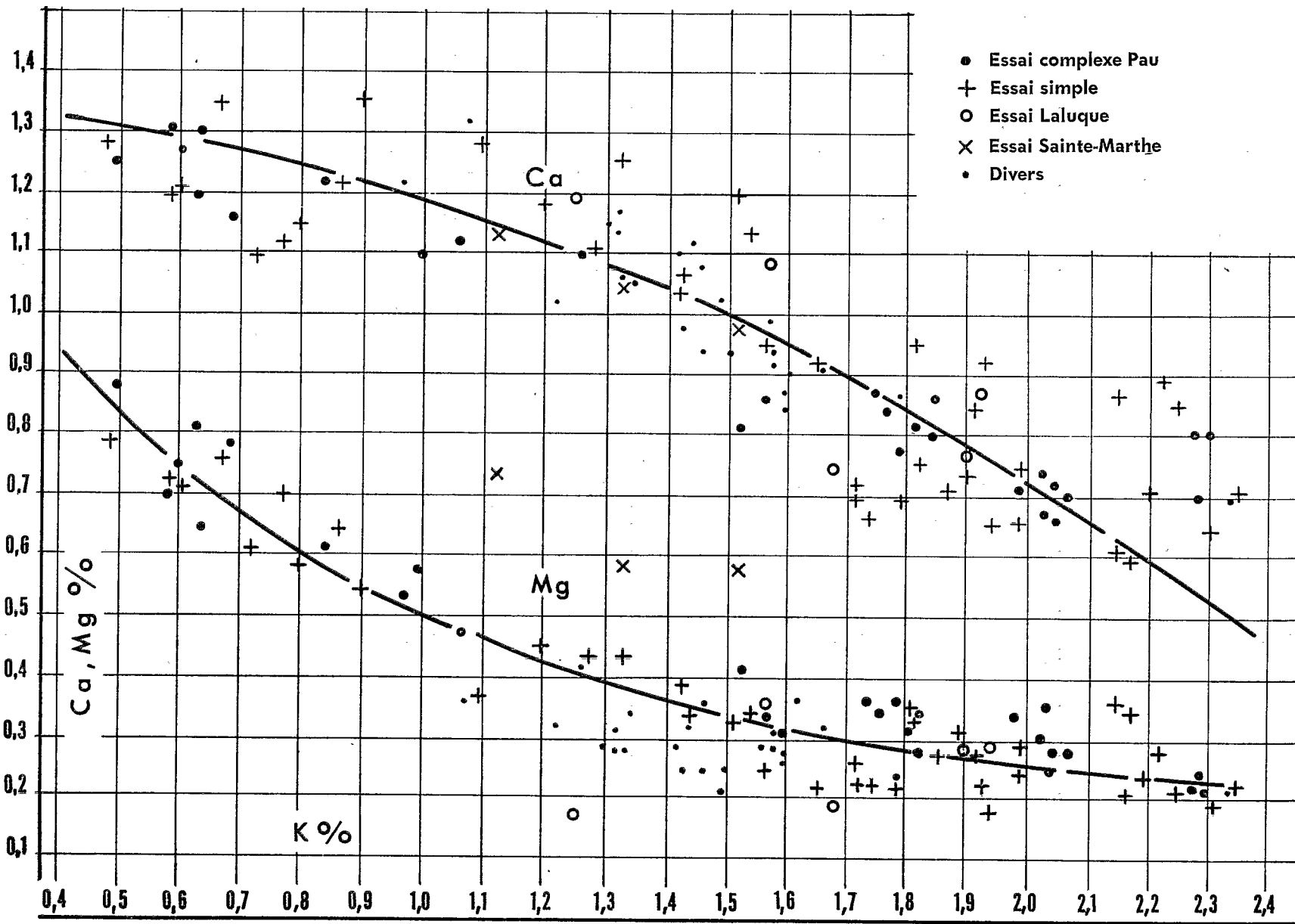
Les teneurs en K et Ca évoluent en sens inverse du tiers basal au tiers apical. Les écarts dus aux traitements décroissent du tiers basal au tiers apical pour K et croissent pour Ca. L'adoption du tiers central pour les analyses semble satisfaisante.

Sur la figure 7 ont été reportées les teneurs en Ca et Mg en fonction des teneurs en K. En considérant les tangentes aux courbes approchées, on constate facilement que la zone de déficit en K est celle de l'antagonisme  $K - Mg$  ; que la zone des hauts niveaux potassiques est celle de l'antagonisme  $K - Ca$  ; et que la zone intermédiaire correspond à une forte corrélation positive entre Ca et Mg qui décroissent avec K croissant.

**STANFORD**, **KELLY** et **PIERRE** étudièrent en 1942 la balance des cations chez le maïs, en relation avec la déficience potassique, en se servant comme indice du rapport  $\frac{Ca+Mg}{K}$  (dans la plante jeune), exprimé en milliéquivalents.

FIGURE 7

Evolution des pourcentages de Ca et de Mg en fonction du pourcentage de K



- Essai complexe Pau
- + Essai simple
- Essai Lалуque
- × Essai Sainte-Marthe
- Divers

Pour les valeurs inférieures à 3,5 la nutrition serait normale et pour les valeurs supérieures à 5,0 la déficience serait plus ou moins sévère (67). Ces valeurs ne peuvent pas être transposées aux échantillons de diagnostic foliaire, mais ce rapport peut donner des indications utiles. Pour les points K/Ca/Mg suivants des courbes de la figure : (0,78-1,26-0,62) ; (0,90-1,24-0,55) ; (1,17-1,15-0,44) ; (1,60-0,98-0,30) on trouve les valeurs suivantes : 5,75 ; 4,60 ; 3,13 ; 1,80.

En liaison avec l'existence de niveaux potassiques très élevés, peut se poser le problème des déficiences calciques ou magnésiennes induites par ces excès éventuels :

**Calcium** : dans les essais considérés, les teneurs en calcium ne sont jamais tombées dans une zone de déficience.

La déficience calcique sur maïs a été étudiée en particulier par **MELSTED** (53). Les plantes montrant les symptômes typiques contenaient moins de 0,2 p. 100 Ca (plante entière). La teneur du sol était de moins de 2 meq Ca échangeable pour 100 g.

**Magnésium** : l'opinion doit être plus nuancée ; la teneur moyenne inférieure (0,22 p. 100) est exclusive de symptômes magnésiens. Mais sur certaines parcelles, la teneur a été réellement faible (0,16 à 0,18 p. 100), et les observateurs crurent déceler des symptômes typiques de la déficience Mg.

La déficience magnésienne sur maïs a été, semble-t-il, très peu étudiée.

**JONES** en 1929 avait indiqué l'absence de symptômes pour des teneurs foliaires de 0,20 p. 100, leur gravité vers 0,07 p. 100 (39).

Récemment, **FOY** et **BARBER** ont montré que certaines lignées de maïs diffèrent plus ou moins dans leur faculté d'accumulation de magnésium dans les feuilles. Ils ont indiqué que les faibles concentrations de Mg des feuilles de certaines variétés étaient surtout dues à une immobilisation de Mg dans les tiges (27). D'autre part, ces auteurs étudièrent des essais combinant deux doses de potasse 100 et 500 kg  $K_2O$ /hectare et deux doses 0 et 75 kg Mg/hectare. Sur certains sols, les deux traitements potassiques ont induit une déficience magnésienne très typique (feuilles à hauts niveaux K ; à très bas niveau Mg). Mais la manifestation de cette déficience Mg ne fut pas accompagnée d'une baisse de rendements. Les apports de Mg prévinrent contre la manifestation des symptômes, accrurent significativement la teneur en Mg, diminuèrent celle en K, mais n'affectèrent pas les rendements.

La teneur en Mg, associée aux symptômes catégoriques, serait de 0,06 p. 100 pour la sixième feuille. Avec les apports de 75 kg Mg et 100 kg  $K_2O$  les symptômes devinrent moins nets et la teneur était de 0,13 p. 100 (28).

Les teneurs associées aux symptômes seraient, semble-t-il, inférieures à 0,10 p. 100 pour la première feuille au-dessous de l'épi.

L'explication du manque d'effet sur les rendements serait la suivante selon les mêmes auteurs : la nutrition magnésienne des plantes déficientes fut suffisante pour satisfaire aux fonctions de Mg non liées à la fonction chlorophyllienne, mais insuffisante pour la production normale de chlorophylle. La pleine production chlorophyllienne ne fut pas nécessaire pour atteindre le niveau de rendement permis par les autres facteurs et les rendements ne furent pas réduits par l'existence des symptômes.

L'antagonisme K-Mg, qui concerne la fonction « catalytique » du magnésium, fut étudié par **CALMES**, d'un point de vue physiologique (12). Ayant constaté cet antagonisme, **CALMES** se demande s'il ne vaudrait pas mieux parler de complémentarité. En effet, calculant la somme K + Mg en milliéquivalents, il lui trouve une assez bonne constance qu'il explique en supposant que le potassium et le magnésium assurent en majeure partie l'équilibre ionique des liquides contenus dans les limbes. **CALMES** montre également que les quantités totales de K et Mg contenues dans les limbes sont proportionnelles aux poids

frais des limbes. La plante absorberait au fur et à mesure de ses besoins ces deux cations qui assurent son équilibre ionique.

Sur la figure 7 on remarque que la liaison inverse K-Mg est plus nette et plus régulière que la liaison inverse K-Ca. D'autre part on observe généralement une moins grande amplitude de variation pour les teneurs calciques. Cependant ce remplacement joue nettement au profit de Ca pour les teneurs en K supérieures à environ 1,30 p. 100 ainsi que le montrent les équilibres K/Ca/Mg.

### C) LA SOMME S = K + Ca + Mg

La somme S = K + Ca + Mg des cations majeurs absorbés présente pour la feuille considérée des variations d'amplitude assez faibles.

Certains des auteurs précités ont mis l'accent sur la constance relative de S pour la sixième feuille, avec une valeur moyenne de 100 à 105 meq pour 100 g.

Ici S fut trouvée d'une bonne stabilité pour les parcelles K<sub>1</sub> et K<sub>2</sub>. Pour les parcelles K<sub>1</sub>, la variation a été de 2,58 à 3,00 p. 100 sur l'essai complexe et de 2,83 à 3,25 sur l'essai simple ; pour les parcelles K<sub>2</sub> ces limites furent 2,78 à 3,29 et 2,78 à 3,40. En milliéquivalents S fut trouvée de 100 à 115 meq.

Cependant S a reflété des anomalies de la nutrition sur les parcelles K<sub>0</sub> gravement déficientes. Les feuilles des parcelles K<sub>0</sub> ont des valeurs de S inférieures à la normale, comprises en moyenne entre 2,46 et 2,69 pour l'essai complexe et 2,69 à 3,13 pour l'essai simple. En milliéquivalents S est au contraire supérieure à la moyenne (120 à 140 meq).

Si on s'exprime en éléments on dira que pour les traitements K<sub>0</sub> les bas niveaux potassiques ne sont pas compensés par l'absorption accrue du calcium et magnésium. Pour les maïs de K<sub>1</sub>, S est accrue car les antagonismes K - Ca et K - Mg sont inférieurs à l'absorption préférentielle de K. Pour les maïs K<sub>2</sub> enfin, l'absorption potassique se poursuit et a tendance à dépasser les sous-absorptions de Ca et Mg.

### D) LES EQUILIBRES K/Ca/Mg

La somme S = K + Ca + Mg présentant pour l'échantillon foliaire considéré une variation relativement modérée et non désordonnée, il est intéressant d'étudier la qualité de la nutrition cationique au moyen du calcul des pourcentages de K, Ca, Mg au sein de la somme S supposée constante et égale à 100.

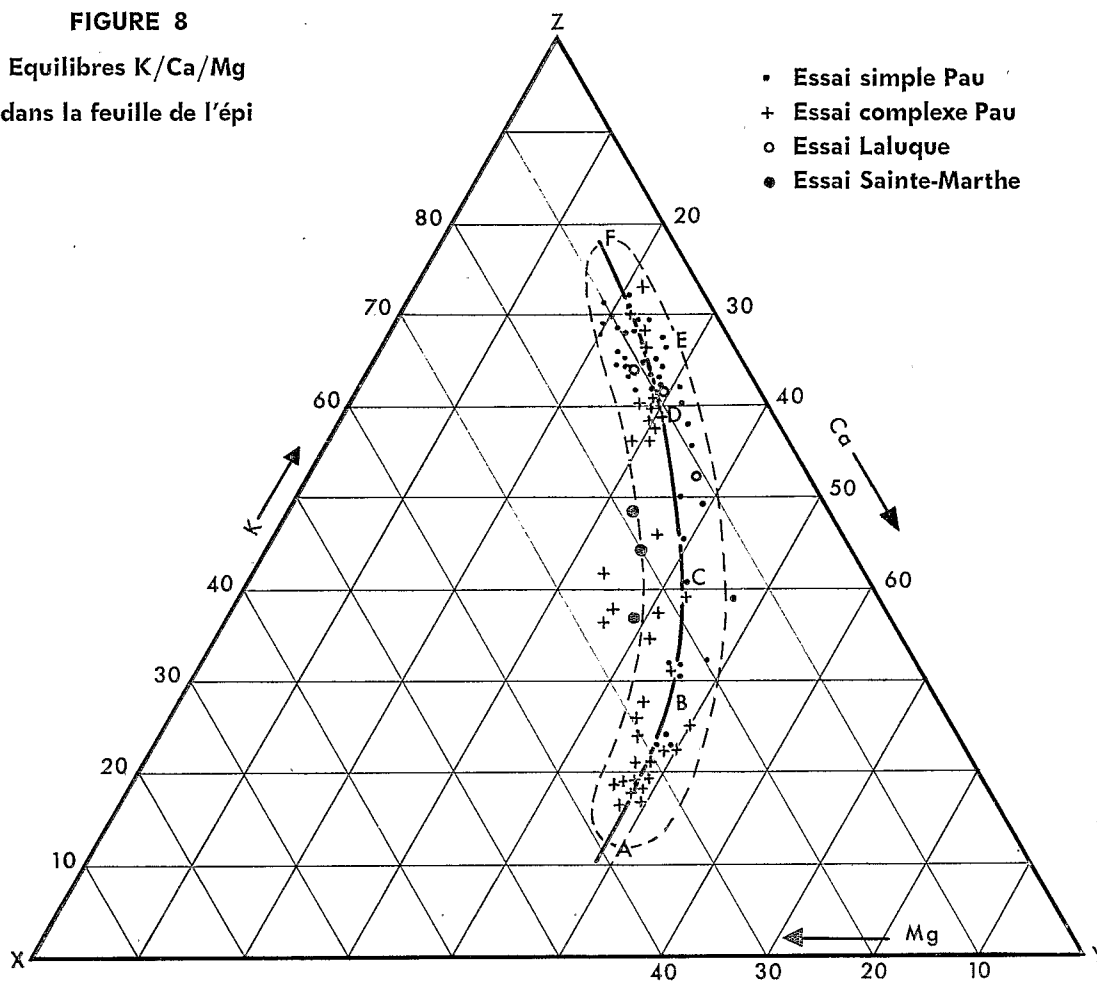
Sur l'essai complexe de Pau, en 1956, on a enregistré cinq sortes d'équilibres qui recouvrent un grand nombre d'éventualités possibles dans la nutrition du maïs.

1) Parcelles K <sub>0</sub> .....	équilibre moyen 23 - 50 - 27
2) Parcelles K <sub>0</sub> + fumier 1955 .....	» 36 - 43 - 21
3) Parcelles K <sub>1</sub> .....	» 56 - 31 - 13
4) Parcelles K <sub>1</sub> + fumier 1955 .....	» 61 - 28 - 11
5) Parcelles K <sub>2</sub> et K <sub>2</sub> + fumier 1955 .....	» 66 - 23 - 11
	» 67 - 24 - 9

Le diagramme triangulaire de la figure 8 synthétise la nutrition K/Ca/Mg du maïs en rapportant de nombreux équilibres K/Ca/Mg allant de la carence potassique à la déficience magnésienne modérée.

Ces équilibres ne sont pas quelconques selon les conditions du milieu sol ou l'effet de la fumure. Au contraire les équilibres possibles dans la feuille de premier rang au-dessous de l'épi se trouvent groupés dans une zone allongée représentée en traits discontinus et qui peut se diviser en cinq parties.

**FIGURE 8**  
**Equilibres K/Ca/Mg**  
**dans la feuille de l'épi**



La partie AB correspond aux équilibres où K représente moins de 25 p. 100, Mg de 25 à 40 p. 100 et où Ca est très peu dispersé entre 45 et 50 p. 100. Dans cette partie la courbe d'ajustement est à peu près parallèle à l'axe xz, d'où la constance relative du pourcentage de Ca. C'est la zone de la déficience potassique aiguë, caractéristique des parcelles K<sub>0</sub> des essais considérés en l'absence de fumure organique. Il est peu probable que des équilibres de cette zone puissent se rencontrer en grande culture dans le Sud-Ouest de la France. Cette zone est par excellence celle de l'antagonisme K — Mg.

La partie BC correspond aux équilibres où K représente entre 25 et 40 p. 100. C'est une zone où il y a à la fois antagonisme K — Mg et antagonisme K — Ca et une liaison Ca-Mg.

Remarquons que les valeurs du rapport  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$  (en milliéquivalents) sont de C en A sous l'influence de Mg et K. Dès que l'antagonisme K — Mg joue avec intensité, le rapport croît très vite. (Du point 30-50-20 au point 20-50-30, il passe de 5,4 à 9,8). Le point important dans l'étude du déséquilibre  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$  semble bien être dans la zone voisine de C.

La partie CD correspond aux équilibres où K représente de 40 à 60 p. 100 de S, Ca de 42 à 30 p. 100 et Mg de 18 à 10 p. 100. (C'est la zone typique de déficience, nette vers le point C à modérée vers le point D).

Dans la partie CD, le pourcentage de K augmente surtout au détriment de Ca. C'est une zone d'antagonisme K — Ca marqué et d'antagonisme K — Mg moins accusé.

La partie DE correspond aux équilibres où K représente de 60 à 70 p. 100 de S, Ca de 30 à 22 p. 100 et Mg de 12 à 8 p. 100. Théoriquement cette zone est la plus favorable aux rendements en ce qui concerne la nutrition cationique. L'optimum lui-même pourrait correspondre à des équilibres compris entre 60-28-12 et 68-22-10.

La partie EF enfin correspond aux équilibres où K représente plus de 70 p. 100, Ca moins de 22 p. 100 et Mg plutôt moins de 8 p. 100.

Pour la partie DF, la courbe d'ajustement est à peu près parallèle à l'axe yz, aussi dans cette zone le pourcentage de Mg reste-t-il sensiblement constant. C'est principalement la zone des antagonismes K — Ca. Cependant au-delà de E apparaît le risque d'une déficience magnésienne au moins relative pour les équilibres où Mg représente moins de 6 p. 100.

### III) RELATIONS ENTRE LES CONDITIONS DE SOLS ET LA NUTRITION CATIONIQUE DU MAÏS

Les conditions de sols doivent intervenir directement sur la nutrition cationique du maïs et par suite sur les solutions à apporter au problème de la fumure potassique, et à celui des apports calco-magnésiens.

Les relations entre les conditions de sols et les rendements du maïs en ce qui concerne la nutrition cationique mettent surtout en cause les éléments suivants :

- teneurs en cations échangeables K, Ca, Mg
- capacité d'échange et taux de saturation
- rapport Ca/K (exprimé en milliéquivalents).

Mais d'autres caractéristiques du sol peuvent intervenir. Selon **LAWTON**, la mauvaise aération du sol pourrait réduire l'efficacité des engrais potassiques (45).

De même, **BOWER** et al., étudiant la nutrition du maïs dans différentes pratiques culturales ont également noté une sous-absorption de K dans les conditions de mauvaise aération du sol (8).

#### a) Teneurs du sol en potassium échangeable

Les corrélations entre les rendements du maïs d'une part et les teneurs du sol en potassium échangeable, et les apports d'engrais potassiques d'autre part, ont été étudiées surtout aux Etats-Unis.

**BRAY** a montré que la relation entre la teneur en K échangeable du sol et les accroissements de rendement du maïs par l'apport de  $K_2O$  n'était pas très nette (au moins pour des teneurs supérieures à environ 250 kg  $K_2O$  échangeable/hectare). Par contre, la teneur en potassium échangeable est en relation plus étroite avec les rendements obtenus sans apports potassiques exprimés en pourcentages des rendements obtenus lorsque le sol reçoit la meilleure dose de  $K_2O$  (9).

**BRAY** a proposé de représenter cette relation par l'équation :

$$\text{Log } (A - y) = \text{Log } A - c_1 b_1 \quad \text{où :}$$

A = rendement en l'absence de déficience potassique

y = rendement obtenu lorsque la teneur du sol en K échangeable est  $b_1$ , donc sans apport de potasse

$c_1$  = constante de proportionnalité

$b_1$  = niveau de potasse échangeable mesuré par un test approprié.



La valeur de  $c_1$  a été trouvée assez constante pour une plante donnée, pour des sols assez variables. Pour K échangeable et pour le maïs dans les sols du Corn Belt  $c_1$  serait approximativement de 0,0065.

**BRAY** a montré ensuite (10) que le besoin du maïs serait de 400 kg  $K_2O$  échangeable par hectare ; cette valeur serait une constante pour le maïs dans certaines limites et ne changerait pas d'une manière notable dans les conditions du Corn Belt. Pour toutes les valeurs de  $b_1$  inférieures à 400 kg  $K_2O$ /hectare le rendement sera inférieur. Par exemple on aura :  $\text{Log}(100 - y) = \text{Log} 100 - 0,0065 \times b_1$ . Si  $b_1 = 60$  kg  $K_2O$ /hectare,  $y = 50$  p. 100 du rendement. Un tel sol, à 60 kg  $K_2O$  peut devenir un sol produisant 98 p. 100 (maximum pratique à rechercher) par la fumure potassique, qui peut être déterminée.

**LONG** et **SEATZ**, en 1953, étudièrent les corrélations entre les réponses aux engrais potassiques et la teneur du sol en potassium assimilable pour 72 essais sur maïs dans le Tennessee (48). Au-delà de 240 kg  $K_2O$  assimilable par hectare il n'y eut pas de réponse aux engrais potassiques. La corrélation entre les rendements et la potasse assimilable fut  $= + 0,435$  et hautement significative. Les auteurs estiment qu'en tenant compte également de la texture, du pH, du drainage, du type d'argile, on réaliserait une meilleure approche du problème.

**WINTERS**, dans le Tennessee, propose un seuil de 175 kg  $K_2O$  échangeable (85). **KRANTZ** et **CHANDLER** (1951) ont étudié plusieurs niveaux de fumure potassique sur plusieurs types de sols ayant respectivement 0,10 - 0,16 - 0,23 - 0,28 méq K échangeable. Une réponse jusqu'au niveau d'apport de 120 kg  $K_2O$  ne fut enregistrée que pour les sols de 0,10 et 0,16 méq et jusqu'au niveau de 80 kg  $K_2O$  pour les sols à 0,28 méq K (43).

**HUTTON**, **ROBERTSON** et **HANSON**, en 1956, déterminèrent, sur un essai comportant cinq niveaux de  $K_2O$  (0 - 17,5 - 35 - 70 - 140 kg  $K_2O$ /hectare environ), la dose de potasse requise pour l'obtention du rendement maximum, dans les conditions de milieu de l'essai (37).

	Potasse requise pour le rendement maximum ( $K_2O$ /ha)	Rendement maximum (q/ha)	Rendements $K_2O = 0$	Kg $K_2O$ ajoutés chaque année	$K_2O$ échangeable kg/ha	
					1950	1954
1950	96	47	42			
1951	100	56	52	0	136	100
1953	110	43	33	70	136	145
1954	95	32	23	140	136	172

Sur ce sol présentant au départ 136 kg  $K_2O$  échangeable par hectare, on enregistre un appauvrissement marqué par les cinq maïs successifs ; une application annuelle de 70 kg  $K_2O$  est nécessaire pour maintenir le stock initial de potassium échangeable. Même avec l'application de 140 kg  $K_2O$ , l'enrichissement n'est pas considérable.

Il est cependant difficile de transposer les données du Corn Belt en France. En particulier les quantités de  $K_2O$  échangeable/hectare, ci-dessus rapportées résultent du produit de  $K_2O$  échangeable déterminé sur échantillon par certains tests (utilisation de perchlorate de sodium comme réactif d'extraction) par une quantité de terre fixée aux Etats-Unis à 2.000.000 livres à l'acre, soit environ 2.250 tonnes/hectare.

Les données de **BRAY** concernaient 22 sols ayant de 66 à 425 kg  $K_2O$  échangeable/hectare (soit environ 0,03 à 0,19 p. 1 000 en  $K_2O$ ) et 22 rendements sans potasse allant de 13 à 64 q/ha, dont 8 rendements moyens inférieurs à 25 quintaux correspondaient à des sols ayant moins de 120 kg  $K_2O$ /hectare (moins de 0,06 p. 1 000) (10).

Il existe cependant une concordance acceptable entre ces résultats et ceux ici obtenus sur l'effet des fumures potassiques sur la teneur du sol en potassium échangeable, sous culture de maïs.

Sur l'essai complexe de Pau, en quatrième année, on enregistre un enrichissement léger avec  $K_1$ , net avec  $K_2$ , le taux initial étant de 0,06 p. 1 000.

#### Evolution de la teneur du sol en $K_2O$ échangeable p. 1 000, sous maïs

	Pau essai complexe 1954	Pau - essai simple		
		1958	1961 soles 1, 2, 3, 4	1961 soles 5, 6, 7, 8
$K_0$	0,07	0,05	0,06	0,06
$K_1$	0,09	0,08	0,07	0,11
$K_2$	0,14	0,12	0,07	0,15

Pour l'essai simple de Pau, le prélèvement de 1958 indique en huitième année d'essai, l'équilibre avec la dose  $K_1$  et un certain enrichissement avec  $K_2$ . En 1961, on considère séparément les teneurs moyennes des soles 1, 2, 3, 4 qui viennent de porter quatre années de mélange fourrager, et celles des soles 5, 6, 7, 8 en maïs depuis quatre ans. Les quatre soles à prairie intensive sont également pauvres pour  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , les exportations ayant été fortement croissantes de  $K_0$  à  $K_2$ . Sous maïs, au contraire, il y a un gain accusé avec la dose  $K_2$ .

Il est certain que les sols ayant moins de 0,22 méq K échangeable pour 100 grammes de sol (détermination par spectrophotométrie de flamme après extraction par l'acétate d'ammonium neutre) soit 0,10 p. 1 000 en  $K_2O$  ou 225 kg  $K_2O$  échangeable/ha (2.250 tonnes de terre) peuvent être considérés comme nettement pauvres à cet égard, et dans la zone de forte probabilité de réponse aux engrais potassiques. Rentrent en particulier dans cette catégorie les sols des Landes, les sols sur sables fauves, les boubènes des terrasses.

Les sols sableux des Landes présentent des teneurs en potasse échangeable qui vont de 0,03 à 0,20 p. 1 000 ( $K_2O$ ) mais, le plus souvent, le taux est de 0,06 à 0,12 p. 1 000 (ou de 0,13 à 0,25 méq p. 100).

Sur les boubènes des terrasses de la Garonne, la teneur en potasse échangeable a été trouvée entre 0,04 et 0,12 p. 1 000 ( $K_2O$ ) soit 0,08 et 0,25 méq.

Sur tous ces types de sols, très importants pour la culture du maïs dans le Sud-Ouest de la France, la teneur en potassium échangeable constitue un critère satisfaisant, malgré ses insuffisances. La corrélation rendements  $\times$  teneurs foliaires en K est généralement meilleure que la corrélation rendements  $\times$  K échangeable.

Notons que dans une étude récente, **HANWAY** et al. ont remarqué que l'introduction de la teneur du sous-sol en K échangeable dans les équations de régression multiple exprimant les teneurs foliaires en K et le rendement en grains en fonction de la teneur du sol en K échangeable améliorerait le degré de corrélation (32).

#### b). Autres déterminations concernant le potassium

Il se produit une libération progressive du potassium sous forme non échangeable qui permet de renouveler les disponibilités en K échangeable.

**DE TURK, WOOD et BRAY** signalent à cet égard que sur un sol de l'Illinois le taux de potassium échangeable diminua de 40 p. 100 de mai à octobre au cours d'une culture de maïs, mais le niveau d'origine fut rétabli au mois de mai suivant (76).

Selon **SCHMITZ et PRATT**, les quantités de K extraites par  $\text{NO}_3\text{H}$  fournissent un meilleur indice que la teneur en K échangeable pour estimer la réponse du maïs aux fumures potassiques. Le meilleur indice de K absorbé dans les sols sans apport de potasse serait une régression multiple dans laquelle l'absorption de K est calculée en fonction de K échangeable au début de la culture et de K libéré des formes non échangeables par l'extraction par  $\text{NO}_3\text{H N}$  (62).

Pour une plante à croissance rapide comme le maïs, la détermination du potassium échangeable peut être considérée comme relativement suffisante. La presque totalité du prélèvement de  $\text{K}_2\text{O}$  s'opère en effet entre le 15 juin et le 15 août (deuxième partie).

Il serait cependant intéressant d'évaluer l'aptitude des principaux types de sols à maïs, à céder du potassium assimilable au cours de la culture, par des extractions successives, par  $\text{Ca Cl}_2$  0,01 N par exemple, selon les récents travaux d'agronomes israéliens (30).

**SCOTT et WELCH** ont montré récemment, par des expériences sur courtes périodes, que le maïs absorbait des quantités de K fort variables de sols cependant identiques au départ en K échangeable (63).

#### c) Teneur du sol en magnésium échangeable

Les liaisons éventuelles entre les rendements du maïs et la teneur du sol en magnésium échangeable et la teneur de la plante en Mg, n'ont pratiquement été envisagées que dans les cas de déficience grave en cet élément. Dans le Sud-Ouest de la France, cette déficience est très fréquente sur les défriches des sols sableux des Landes et assez fréquente sur les terres de touyas du Pays Basque (17-51-81).

Sur certaines landes défrichées en vue du maïs, on se trouve en présence d'une triple déficience K, Ca, Mg. Pour améliorer l'état calcique et corriger, en partie, la déficience magnésienne, il est généralement conseillé d'effectuer un apport de fond par un labour peu profond de 1.000 à 1.500 kg/ha de chaux magnésienne ; d'autre part, on apporte 350 kg de chlorure de potassium, la seconde année 300 kg, puis ensuite 250 kg de chlorure.

Le problème du rapport K/Mg dans de tels sols est abordé sur la base des apports potassiques nécessaires qui peuvent en certains cas demander des apports magnésiens pour se prémunir contre le déficit magnésien induit.

Le rapport Ca/Mg des bases échangeables est moins important pour le maïs bien qu'il ait été montré dans des cultures en pots que ce rapport devait être supérieur à 1 (42).

#### d) Rapports K/Ca, K/Ca + Mg, K/CE

Mais sur certains types de sols, la considération de la seule teneur en K échangeable est insuffisante pour rendre compte de la nutrition cationique du maïs.

**DE LONG** et al. ont indiqué que le rapport Ca/K était un meilleur indice des niveaux potassiques foliaires du maïs que la seule teneur en K échangeable. Le rapport Ca/K présente une corrélation négative hautement significative avec la teneur des feuilles en potassium (19).

**YORK, BRADFIELD et PEECH** ont expérimenté, sur maïs, sur des sols à pH 5, des applications d'environ 4-8-20 tonnes de chaux/ha avec deux niveaux de  $\text{K}_2\text{O}$  (0 et 200 kg). Seule la plus faible application de chaux accrut les rendements ; au-delà de 8 tonnes, la chaux devenait très nettement dépressive. La potasse augmentait significativement les rendements à tous les niveaux de chaulage, mais davantage au niveau 0 (87).

**PIERRE** et **BOWER** ont montré qu'un rapport élevé  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$  dans la solution du sol, cas fréquent dans l'Etat d'Iowa, peut être un facteur important de déficience potassique, en particulier sur maïs (57).

En France, nous ne disposons pas d'études précises en ce sens sur maïs. Sur les terreforts au nord de la Garonne, par exemple, les teneurs en potasse échangeable sont très fluctuantes, de 0,10 à 0,50 p. 1 000 (0,22 à 1,10 méq p. 100) avec un rapport Ca/K très élevé, souvent compris entre 50 et 75. Ici l'interprétation des besoins du maïs en potasse doit faire intervenir non seulement K échangeable, mais aussi la capacité d'échange (CE). Pour les terreforts, celle-ci est souvent comprise entre 20 et 25 méq p. 100 avec un taux de potassium échangeable entre 0,30 et 0,40 méq p. 100. Le rapport K/CE est donc souvent compris entre 1,2 et 2,0 p. 100.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Des facteurs très divers interviennent en matière de fertilisation potassique du maïs : conditions de sols, pluviométrie juin-juillet-août, variétés cultivées, densité, antécédents culturaux, fumures organiques, degré d'évolution de la région de culture, etc.

### REPONSE ET PLUVIOSITE

La réponse du maïs aux engrais potassiques est limitée dans les régions arides et sub-arides. Par contre, les réponses sont marquées et fréquentes dans la plupart des zones humides et, particulièrement, sur les sols légers ou pauvres en bases échangeables.

La fertilisation du maïs dans les conditions méditerranéennes se heurte aux mêmes difficultés (59).

En France et spécialement dans le Sud-Ouest, on observe les mêmes faits. Les difficultés de la fertilisation azotée du maïs en culture sèche ont surtout retenu l'attention (66).

Dans le Kentucky, **DOLL** et **ENGELSTAD** estiment que la réponse du maïs aux engrais potassiques peut être déterminée avec une sécurité suffisante malgré les variations de pluviosité selon les localités et les années (21).

En fait, les années de grande sécheresse (lorsque l'équivalent de la sécheresse pour le maïs n'a pas été atteint pour la période critique), on peut enregistrer sur maïs un effet de  $\text{K}_2\text{O}$  important en valeur relative, mais il ne semble pas possible d'en dégager la dose de  $\text{K}_2\text{O}$  optimale en année moyenne. Or la notion d'équivalent de la sécheresse n'est pas une notion purement académique. En 1962 par exemple et, à un moindre degré, en 1961 cette lame d'eau n'a pas été atteinte dans de nombreuses régions de grande culture du maïs en France, pratiquement dans tout le Sud-Ouest, sauf certaines zones favorisées des Landes et des Basses-Pyrénées.

A l'opposé, des cas de fortes réponses du maïs à  $\text{K}_2\text{O}$  ont été enregistrés en année très humide par **BARBER** qui les explique par l'influence d'une mauvaise aération du sol sur l'assimilabilité du potassium (4).

## REPONSE ET VARIETES CULTIVEES

Une des conditions indispensables à l'obtention de réponses aux engrais potassiques est l'abandon des maïs « de pays », à pollinisation libre, aux exigences modestes, et leur remplacement par des hybrides bien adaptés.

Dans la seconde partie, on a tenté de montrer jusqu'où pouvaient aller les exigences minérales des hybrides tardifs.

## REPONSE ET FUMURES ORGANIQUES

En l'absence de fumure organique, les essais étudiés ici indiquent généralement une supériorité des fortes doses (150 et 160 kg  $K_2O$ /ha) par rapport aux doses moyennes (100 et 120 kg  $K_2O$ ) et faibles (80 kg).

Lorsqu'il y a apport de 25 tonnes de fumier sur maïs, la dose forte est inutile, la dose faible de 80 kg conduisant à un rendement assez proche du rendement maximum.

En dernière analyse, la meilleure fumure potassique doit à la fois :

- 1) Procurer la plus haute rentabilité de la fumure — cela dépend évidemment des données économiques :  
Au Brésil en 1960, 1 q de maïs représentait 50 à 65 kg de  $K_2O$ .  
En France en 1962, 1 q de maïs représentait 80 à 90 kg de  $K_2O$ .  
En Turquie en 1962, 1 q de maïs représentait 50 kg de sulfate de potasse.
- 2) Contribuer au moins au maintien de la fertilité du sol, ce qui peut être apprécié par des dosages périodiques de K échangeable au cours de la rotation.  
Le plus souvent, si la forte dose de 150 kg  $K_2O$  est bénéfique, elle réalise un certain enrichissement du sol. Par contre, la dose de 100 kg semble bien être une dose d'équilibre du bilan de la potasse.
- 3) Conduire à la nutrition potassique la plus élevée n'engendrant ni « consommation de luxe » ni déséquilibres nutritifs.

On peut admettre que les données d'ordre physiologique complètent utilement les données purement expérimentales qui leur ont servi de base. Les doses de fumure potassique préconisées pour satisfaire aux trois principes précédents vont de 80 kg à 150 kg  $K_2O$ /ha dans la majorité des cas. Elles sont étayées par les considérations sur la nutrition potassique, basées sur l'absorption des éléments minéraux par le maïs et sur le diagnostic chimique de la feuille de l'épi.

La valeur du diagnostic est évidemment la plus grande vers les basses teneurs foliaires en K (<1,30 % K, seuil critique des conditions défavorables) et secondairement vers les fortes teneurs (>2,00 % K) en liaison avec les niveaux calciques et magnésiens.

Mais entre  $K = 1,30$  % et  $K = 2,00$  % on peut estimer qu'il y a intérêt à obtenir le plus haut niveau nutritif : si un supplément de x kg  $K_2O$ /ha à une dose X kg  $K_2O$ /ha provoque un accroissement significatif de la teneur de la feuille de l'épi en K, et si cette teneur est  $\leq 2,0$  on devrait avoir intérêt à appliquer la dose (X+x).

En matière de nutrition cationique, le diagnostic chimique apparaît enfin comme le complément nécessaire et vivant des déterminations relatives aux cations échangeables.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 — **ANDHARIA (R.M.), STANFORD (G.), SCHALLER (F.W.)** (1953) — Nitrogen Status of Marshall silt loam as influenced by different crop rotations - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17 - 247-251.
- 2 — **AZZI (G.)** (1954) — Ecologie agricole - Lib. Baillière - Paris.
- 3 — **BANGE (G.G.J.), VAN VLIET (E.)** (1961) — Translocation of potassium and sodium in intact maize seedlings - Plant and Soil XV - 4 - p. 312-328.
- 4 — **BARBER (S.A.)** (1960) — The influence of moisture and temperature on phosphorus and potassium availability - 7th Intern. Cong. Soil Science U.S.A. - IV. 55 - 435-442.
- 5 — **BENNETT (F.), PESEK (J.), HANWAY (J.)** (1962) — Effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. Agron. J. 54 - p. 437-442.
- 6 — **BENNETT (F.), STANFORD (G.), DUMENIL (L.)** (1953) — Nitrogen, Phosphorus and Potassium content of the corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization and yield - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17 - 252-258.
- 7 — **BOSWELL (F.C.), PARKS (W.L.)** (1957) — The effect of soil potassium levels on yield, lodging and mineral composition of corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21 - 301-305.
- 8 — **BOWER (C.A.), BROWNING (G.M.), NORTON (R.A.)** (1944) — Comparative effects of plowing and other methods of seedbed preparation on nutrient element deficiencies in corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 9 - 142-146.
- 9 — **BRAY (R.H.)** (1944) — Soil Plant Relations I - The quantitative relation of exchangeable Potassium to crop yields and to crop response to potash additions - Soil Sci. 58 - 305-324.
- 10 — **BRAY (R.H.)** (1945) — Soil Plant Relations II - Balanced Fertilizer use through soil tests for potassium and phosphorus - Soil Sci. 60 - 463-473.
- 11 — **BRUCE L. BAIRD, FITTS (J.W.), MASON (D.D.)** (1962) — The relationship of nitrogen in corn leaves to yield - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26 - 378-381.
- 12 — **CALMES (J.)** (1959) — Le potassium et le magnésium dans les limbes du maïs - C.R. Ac. Sci. Paris - 292-294.
- 13 — **CARLES (J.), SOUBIES (L.), GADET (R.)** (1957) — Répartition des éléments minéraux dans le maïs au cours de sa végétation. Influence d'une fourniture plus ou moins abondante d'engrais azotés sur la pénétration et la migration des éléments minéraux chez le maïs - C.R. Acad. Agric. France - 43 - 523-544.
- 14 — **COIC (Y.), LESAIN (C.), LE ROUX (F.)** (1961) — Comparaison de l'influence de la nutrition nitrique et ammoniacale combinée ou non avec

une déficience en acide phosphorique sur l'absorption et le métabolisme des anions - cations et plus particulièrement des acides organiques chez le maïs. Comparaison du maïs et de la tomate - Ann. Physiol. Veg. 3 - 141-163.

- 15 — **COLLIER (D.), GACHON (L.), ROBELIN (M.)** (1958) — Réaction des plantes cultivées aux conditions de sous-sol : essais sur maïs-grain - C.R. Acad. Agric. Fr. 44 - 610-616.
- 16 — **COPE (J.T.), BRADFIELD (R.), PEECH (M.)** (1953) — Effect of sodium fertilization on yield and cation content of some field crops - Soil Sci. 76 - 65-74.
- 17 — **DELMAS (J.)** (1958) — Recherches sur la fertilisation des sols sableux sur défriches de Landes - Bull. A.F.E.S. - Août - 361-389.
- 18 — **DELMAS (J.), ROUTCHENKO (W.), Mlle BAUDEL (C.)** (1959) — Contrôle de la nutrition des plantes par l'analyse minérale du suc - C.R. Acad. Agric. - n° 16 - 796-802.
- 19 — **DE LONG (W.A.), MAC KAY (D.C.), STEPLER (H.A.)** (1953) — Coordinated Soil plant analysis I/Nutrient cations - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17 - 262-266.
- 20 — **DEPARDON-MAUVISSEAU (Mlle), BURON** (1952) — Besoins en éléments fertilisants des maïs hybrides - C.R. Ac. Agric. 38 - 143-145.
- 21 — **DOLL (E.C.), ENGELSTAD (O.P.)** (1962) — Effect of rainfall on corn yield response to applied potassium - Agron. J. 54 - 276.
- 22 — **DULAC (J.)** (1955) — Diagnostic foliaire des céréales. III - Application de la relation azote-rendement au maïs. - IV - Relation entre la teneur en azote de la feuille de l'épi, le rendement à l'hectare, le rendement par pied et la densité chez le maïs - C.R. Acad. Agric. - 500-507.
- 23 — **DUMENIL (L.)** (1961) — Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and Corn yields in relation to critical levels and nutrient balance - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25 - 295-298.
- 24 — **ELLIS (B.G.), KNAUSS (C.J.), SMITH (F.W.)** (1956) — Nutrient Content of Corn as related to Fertiliser Application and Soil fertility - Agronomy Journal 48 - 455-459.
- 25 — **FEHRENBACHER (J.B.), SNIDER (H.J.)** (1954) — Corn root penetration in Muscatine, Elliott and Cisne Soils - Soil Sci. 77 - 281-291.
- 26 — **FISHER (F.L.)** (1954) — Nutrient balance affects corn yield and stalk strength Tex. Agric. Exp. Sta. - Better Crops - 38.4.15.17 et 40.
- 27 — **FOY (C.D.), BARBER (S.A.)** (1958) — Magnésium absorption and utilization by two inbred lines of corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22 - 57-62.
- 28 — **FOY (C.D.), BARBER (S.A.)** (1958) — Magnésium deficiency and corn yield on two acid indiana soils - Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 22 - 145-148.
- 29 — **GOODALL (D.W.), GREGOORY (F.C.)** (1947) — Chemical composition of plants as an index of their nutritional status - Imp. Bur. or Hort. and Plant crops.

- 30 — **HAGIN (J.), FEIGENBAUM (S.)** (1962) — Estimation of Available Potassium Reserves in soils - Intern. Potash Inst. - 7th Congress Potassium Symposium, 219-227.
- 31 — **HANWAY (J.J.)** (1962) — Corn growth and composition in relation to soil fertility. II - Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. III - Percentages of N, P, K in different plant parts in relation to stage of growth - Agron. J. 54 - II 217-222 - III 222-229.
- 32 — **HANWAY (J.J.), BARBER (S.A.), BRAY (R.H.)** et al. (1962) — North Central regional potassium studies. III Field studies with corn. - Iowa Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 503 pp. 32.
- 33 — **HOFFER (G.N.)** (1926-1930) — Testing corn stalks chemically to aid in determining their plant food need - Bull. Ind. Agric. Exp. Sta. - et Bull. Exp. Sta. Univ. Purdue.
- 34 — **HOFFER (G.N.), KRANTZ (B.A.)** (1949) — Deficiency symptoms of corn and small grains, in « hunger signs in crops » - 59-105.
- 35 — **HOMES (M.)** (1953) — L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques - Masson - Paris - 142 pp.
- 36 — **HUNTER (A.S.), YUNGEN (J.A.)** (1955) — The influence of variations in fertility levels upon the yield and protein content of field corn in Eastern Oregon - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19 - 214-218.
- 37 — **HUTTON (C.E.), ROBERTSON (W.K.), HANSON (W.D.)** (1956) — Crop Response to different soil fertility levels in a 5 by 5 by 5 by 2 factorial experiment : I - Corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 531-537.
- 38 — **JOHNSON (P.E.)** (1952) — Potassium-nitrogen balance for high corn yields Univ. of Illinois Urbana - Better Crops 36 - n° 5 - 6-12 et 47-50.
- 39 — **JONES (J.P.)** (1929) — Deficiency of magnesium, the cause of a chlorosis in corn - J. Agric. Res. 39 - 873-892.
- 40 — **JORDAN (H.V.), LAIRD (K.D.), FERGUSON (D.D.)** (1950) — Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer spacing experiment - Agro J. - 42-6 - 261-268.
- 41 — **JOSEPHSON (L.M.)** (1962) — Effect of potash on premature stalk dying and lodging of corn. Agron. J. 54-2 - p. 179.
- 42 — **KEY (J.L.), KURTZ (L.T.), TUCKER (B.B.)** (1962) — Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn - Soil. Sci. 93 - 265-270.
- 43 — **KRANTZ (B.A.), CHANDLER (W.V.)** (1951) — Lodging, leaf composition, and yield of corn as influenced by heavy applications of nitrogen and potash - Agro. Journal - 43 - 547-552.
- 44 — **LARSON (W.E.), PIERRE (W.H.)** (1953) — Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops - Soil Sci. 76 - 51-64.
- 45 — **LAWTON (K.)** (1945) — The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 10 - 263-268.



- 46 — **LAWTON (K.), BROWNING (G.M.)** (1948) — The effect of tillage practices on the nutrient content and yield of corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 311-317.
- 47 — **LECOMPT (M.)** (1959) — Tests rapides pour le contrôle sur le terrain de la nutrition minérale des plantes cultivées - C.R. Ac. Agric. Fr. 16 - 802-809.
- 48 — **LONG (O.H.), SEATZ (L.F.)** (1953) — Correlation of Soil Tests for Available Phosphorus and Potassium with crop yield responses to fertilization - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 258-262.
- 49 — **LOUE (A.)** (1961) — La fumure potassique et la nutrition minérale du maïs - Sté Comm. Potasses-Alsace - Bull. sp. 113 p.
- 50 — **LOUE (A.)** (1962) — La nutrition cationique du maïs et le diagnostic foliaire - Ann. Physiol. Vég. 4(2) 127-148.
- 51 — **LOUE (A.)** (1963) — Etude sur les principales caractéristiques (en particulier sur les teneurs en cations échangeables et sur la capacité d'échange) de quelques sols de landes et de touyas - Rapp. non publié.
- 52 — **MALTERRE (H.)** (1953) — La fumure du maïs-grain - Bull. Techn. Inf. n° 81 - Août - 583-592.
- 53 — **MELSTED (S.W.)** (1953) — Some observed calcium deficiencies in corn under field conditions - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17 - 52-54.
- 54 — **NELSON (L.B.)** (1956) — The Mineral nutrition of corn as related to its growth and culture - Advances in Agro. 8 - 321-375.
- 55 — **OTTO (Harley J.), EVERETT (Hubert L.)** (1956) — Influence of nitrogen and potassium fertilization on the incidence of stalk rot of corn - Agron. J. 48 - 301-305.
- 56 — **PENSTON (N.L.)** (1935) — Studies of the physiological importance of the mineral elements in plants - The variation in potassium content of maize leaves during the day - New Phytol. 37 - 1-14.
- 57 — **PIERRE (W.H.), BOWER (C.A.)** (1943) — Potassium absorption by plants as affected by cationic relationships - Soil Sci. - 55 - 23-36.
- 58 — **PRINCE (A.L.)** (1954) — Effects of nitrogen fertilization, plant spacing and variety on the protein composition of corn - Agron. J. 46 - 185-186.
- 59 — **SANCHEZ-MONGE (E.)** (1962) — Corn manuring under mediterranean conditions. 7. Cong. Int. Potasse - Athènes - Potassium Symposium - 463-468.
- 60 — **SAYRE (J.D.)** (1955) — Mineral nutrition of corn, in « corn and corn improvement » - Amer. Soc. of Agro. - vol. V - 293-314.
- 61 — **SAYRE (J.D.)** (1948) — Mineral accumulation in corn - Plant. Phys. - vol. 23 3 - 267-281.
- 62 — **SCHMITZ (G.W.), PRATT (P.F.)** (1953) — Exchangeable and nonexchangeable potassium as indexes to yield increases and potassium absorption by corn in the greenhouse - Soil Sci. 76 - 345-353.
- 63 — **SCOTT (A.D.), WELCH (L.F.)** (1961) — Release of Nonexchangeable Soil Potassium during short periods of cropping and Sodium tetraphenylboron extraction - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 25 - 128-132.

- 64 — **SNIDER (H.J.)** (1953) — Strong roots make high corn yields - Univ. of Illinois - Urbana - Better Crops 37 - n° 7 - 17-19.
- 65 — **SOUBIES (L.), GADET (R.)** (1953) — L'exportation d'éléments fertilisants par le maïs - C.R. Ac. Agric. 39 - 176-178.
- 66 — **SOUBIES (L.), GADET (R.), LENAIN (M.)** (1956) — Une difficulté particulière à la fertilisation azotée du maïs et le moyen d'y remédier - Ac. Agric. 42 - 246-250.
- 67 — **STANFORD (G.), KELLY (J.B.), PIERRE (W.H.)** (1942) — Cation balance in corn grown on high lime soils in relation to potassium deficiency - Proc. Soil Sci. Soc. Amer. - 6 - 335-341.
- 68 — **THOMAS (W.)** (1938) — Foliar diagnosis - Mathematical expression of equilibrium between lime, magnesia and potash in plants - Science (N-S) 88 - 222-3.
- 69 — **THOMAS (W.), MACK (W.B.)** (1939) — The foliar diagnosis of Zea mays subjected to differential fertilizer treatment - Jal. Agric. Res. 58 - 477-491.
- 70 — **THOMAS (W.), MACK (W.B.)** (1939) — Foliar diagnosis : physiological balance between the bases lime, magnesia and potash - Plant Physiol. - 14 - 699-715.
- 71 — **THOMAS (W.), MACK (W.B.)** (1939) — A foliar diagnosis study of the effect of three nitrogen carriers on the nutrition of Zea mays - Jal. Agric. Res. - 59 - 303-313.
- 72 — **THOMAS (W.), MACK (W.B.)** (1943) — Foliar diagnosis in relation to plant nutrition under different conditions of weather and soil-reaction - Soil Sci. - 56 - 197-212.
- 73 — **THORNTON (S.F.)** (1933) — A simple and rapid chemical test on plant material as an aid in determining potassium needs - J. Amer. Soc. Agron. 25 - 473-481.
- 74 — **TRUOG (E.), BERGER (K.C.), ATTOE (O.J.)** (1954) — Response of nine economic plants to fertilization with sodium - Soil Sci. 76 - 41-50.
- 75 — **TSERLING (Mme V.)** (1956) — Le diagnostic des besoins des plantes en engrais - Analyse des plantes et problèmes des fumures minérales - I.R.H.O. - 140-141.
- 76 — **TURK DE (E.E.), WOOD (L.K.), BRAY (R.H.)** (1943) — Potash fixation in corn - Belt soils - Soil Sci. 55 - 1-12.
- 77 — **TYNER (E.H.)** (1946) — The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 317-323.
- 78 — **TYNER (E.H.), WEBB (J.W.)** (1946) — The relation of corn yields to nutrient balance as revealed by leaf analysis - Jal. Amer. Soc. Agro. - 38 - 173-185.
- 79 — **VIETS (F.C.), DOMINGO (C.E.)** (1948) — Yields and nitrogen content of corn hybrids as affected by nitrogen supply - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 303-306.

- 80 — **VIETS (F.G.), NELSON (C.E.), CRAWFORD (C.L.)** (1954) — The relationships among corn yields, leaf composition and fertilizers applied - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 18 - 297-301.
- 81 — **VINEL (J.)** (1961) — Le défrichement des Landes dans les Basses-Pyrénées - Bull. Tech. Inf. n° 162 - 745-754.
- 82 — **WEEKS (M.E.), FERGUS (E.N.), KARRAKER (P.E.)** (1940) — The composition of corn plant grown under field conditions in relation to the soil and its treatment - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5 - 140-146.
- 83 — **WEEKS (M.E.), WALTERS (A.)** (1946) — The effect of phosphorus fertilization on chemical composition and forms of phosphorus in mature corn-crops - Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 11 - 189-194.
- 84 — **WEINMANN (H.)** (1956) — Studies on the chemical composition and nutrient uptake of maize - Rhod. Agric. Jal 53 - 168-181.
- 85 — **WINTERS (E.)** (1945) — Crop response to potassium fertilization - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 8 - 162.
- 86 — **WITTELS (H.), SEATZ (L.F.)** (1953) — Effect of potash fertilization on yield, stalk breakage and mineral composition of corn - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 17 - 369-371.
- 87 — **YORK (E.T.), BRADFIELD (R.), PEECH (M.)** (1954) — Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants - Soil Sci. 77 - 53-63.
- 88 — **YOUNTS (S.E.), MUSGRAVE (R.B.)** (1958) — Chemical composition, nutrient absorption and stalk rot incidence of corn as affected by chloride in potassium fertilizer - Agro. Jal. 8 - 50 - 426-429.

