

FERTILISATION MINERALE DU MAIS

I - Méthodes d'expérimentation sur le maïs et méthodes d'étude de sa nutrition

par

A. LUCIE

Ingénieur agronome
Directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.
En service détaché aux Services Agronomiques
de la Société Commerciale
des Potasses d'Alsace

EXPERIMENTATION DES ENGRAIS

Quelques particularités de l'expérimentation des engrais sur le maïs

Le but que l'on se propose ici est seulement de dégager les particularités de l'expérimentation des engrais sur maïs. Une des conditions principales de la réussite des essais de fertilisants sur maïs est le choix d'une variété, bien connue, adaptée aux conditions de milieu, qui ne soit pas en elle-même un facteur limitant grave. On se heurtera dans bien des pays tropicaux au manque de matériel végétal sélectionné réceptif aux engrais. Une des conditions indispensables à l'obtention de réponses aux engrais est l'abandon des maïs à pollinisation libre aux exigences modestes, et leur remplacement par des hybrides bien adaptés.

Ensuite l'essai doit présenter une bonne homogénéité de peuplement. En règle générale, sur les essais d'engrais on adopte le peuplement réputé comme le meilleur dans les conditions de milieu, par des essais poursuivis par ailleurs. (Ces essais ont porté à la fois sur l'étude de l'interligne et sur la distance sur la ligne). Il est assez rare de poursuivre des essais combinant les trois facteurs variétés, peuplement, fumure. Le plus souvent ces essais sont conduits séparément.

Dans un premier stade, la primauté appartient aux essais comparatifs de variétés, ensuite aux essais de densité, soit sur une seule variété, soit sur plusieurs variétés appartenant à un même groupe de précocité ou tardivité, ou à des groupes voisins. Par contre les essais combinant deux facteurs tels que :

- variétés × un facteur de fertilisation
- densités × un facteur de fertilisation

sont beaucoup plus fréquents :

- ex :
- 2 variétés × 3 ou 4 doses d'azote ou d'engrais complet
 - 2 densités × 3 ou 4 doses d'azote ou d'engrais complet.

Il serait donc très désirable que des essais culturaux préalables aient conduit à des conclusions certaines en ce qui concerne le choix des variétés et des peuplements correspondants.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

26 NOV. 1968

N° : 2.2128

Cpte : B

Ce préalable étant levé, il convient de réaliser la densité souhaitée et de la réaliser d'une manière homogène.

Le plus souvent on se heurtera en pays tropicaux d'Afrique à l'absence de semoir. Si les essais se trouvent assez proches d'une station, on pourra peut être envisager de semer tous les essais avec un semoir et le personnel de la station. Sinon il faudra semer à la main, selon des lignes et se confectionner de petits appareils marqueurs, ou utiliser des cannes à semer.

Dans un pays comme la France, en règle générale on sème 10 % plus dense que la densité recherchée sur l'essai. On peut après la levée ramener à la densité voulue si l'on dispose du personnel suffisant. La technique de faire une petite « pépinière » en bout d'essai et de repiquer les manquants est illusoire. On a toujours observé que ces pieds jouent le rôle de figurants, nettement moins développés que les deux pieds qui les encadrent.

Si malgré les précautions prises il existe à la récolte de fortes différences de densités selon les parcelles, on peut dans certains cas, procéder à une analyse de la covariation du rendement en fonction du nombre de plantes par parcelle.

L'analyse de la covariation permet, s'il existe une régression linéaire significative entre le rendement et la densité de peuplement d'éliminer de la variation totale la part qui doit être attribuée à cette régression et de faire une nouvelle analyse de la variation totale des rendements ajustés, c'est-à-dire débarrassés de l'effet dû aux différences de densité.

Le raisonnement suivi est partiellement basé sur l'hypothèse selon laquelle le peuplement d'une culture de maïs résultant de la présence de manquants plus ou moins nombreux à partir d'une densité voulue $d > d'$ peut être assimilé à une densité voulue d' en l'absence de vides.

Dans une expérimentation des fumures sur maïs, il est préférable de tout mettre en œuvre pour éviter d'avoir à recourir à ces méthodes de correction statistique. En règle générale, on aura intérêt à opérer à partir d'un niveau assez élevé de peuplement (selon les variétés cultivées bien entendu et aussi selon les conditions de sol et de pluviométrie). Il est bon que la variation de peuplement se situe dans le palier de la courbe indiquant le rendement en fonction du peuplement (Le rendement croît avec le peuplement jusqu'à un certain niveau d'indifférence).

Essais éclatés chez les paysans

La série d'essais groupe des essais dont chacun est interprétable isolément (avec une faible précision d'ailleurs car il comporte en général 2 à 3 répétitions), poursuivis dans une région.

La série de démonstrations groupe des essais simples dans les mêmes conditions.

L'essai éclaté est donc un essai en blocs dont les blocs se trouvent chez des agriculteurs différents (s'il y a un seul bloc chez chaque paysan, on a une série de démonstrations, s'il y a plusieurs blocs on a une série d'essais). La série d'essais permet en particulier de connaître l'interaction Stations X Traitements et constitue un stade évolué de l'expérimentation puisqu'en théorie, c'est grâce à elle que le risque d'extrapolation régionale des résultats obtenus est le plus faible. La série de démonstrations ne permet pas de tirer l'interaction Station X Traitements.

Inconvénients : Pour constituer une série, il faut disposer d'une dizaine d'essais ou de démonstrations au moins qui doivent être établis sur un type de sol identique, avec des antécédents culturels semblables. A nombre de parcelles égal, la précision est moindre et le prix de revient de revient de l'essai plus élevé, qu'avec un essai en blocs. Chaque essai devant être bien soigné, il faut s'attendre à un sérieux déchet.

Avantages : On peut, en théorie, envisager de nombreux points d'essais, mais il est bien rare qu'on puisse s'en remettre à l'agriculteur pour l'épandage et le contrôle. Surtout, l'effet psychologique est supérieur. Les essais de ce genre, et nommés « look and see » de certains pays anglophones (Ghana par exemple) semblent présenter une valeur réelle en vulgarisation.

En ce qui concerne le maïs, l'essai éclaté multiplie évidemment les risques inhérents aux essais maïs (le risque de peuplement variable d'un essai à l'autre sera très grand sans doute). Il semble qu'en pays tropical d'Afrique la méthode devrait être réservée aux séries de démonstrations (et non d'essais) afin de tester les formules de fumure dégagées sur les essais poursuivis en Station expérimentale.

Essais complexes, à un élément ou essais factoriels

Les schémas expérimentaux classiques peuvent être utilisés et il n'y a pas lieu de les passer en revue ici. Chaque expérimentateur choisit son dispositif en fonction des buts poursuivis.

Cependant, les dispositifs en confounding auront une place de choix en pays tropical, afin d'obtenir assez vite une masse d'informations importante sur les trois éléments N, P, K, Tel sera surtout le dispositif $3 \times 3 \times 3$ en confondu à une seule répétition qui permettra de tracer les courbes de réponse N, P, K et de dégager la partie linéaire des interactions. Son utilisation impose une grande homogénéité des peuplements parcellaires, sinon il convient d'avoir deux répétitions (54 parcelles).

Les essais portant sur le placement d'un engrais starter au semis à une certaine distance de la graine, sont très délicats et nécessitent des appareils spécialisés. En milieu tropical, on ne peut les concevoir que sur des Stations ou des fermes expérimentales.

REVUE DES METHODES D'ETUDES DE LA NUTRITION MINERALE DU MAIS

Les essais en vases de végétation

Par la méthode dite des variantes systématiques basée sur l'étude des meilleurs équilibres N-S-P et K-Ca-Mg, Homès et al. ont déterminé les pourcentages en équivalents chimiques des besoins absolus du maïs (9).

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.

La méthode des petits vases de végétation avec culture d'une plante-test mise au point par Chaminade pour diagnostiquer les carences minérales du sol, s'attaque de plus près à ce problème (2). Un de ses aspects principaux consiste à épuiser le sol par des récoltes successives de la plante-test (Ray-Grass ou autre graminée prairiale). Cet aspect disparaîtrait évidemment en cas d'application au maïs. Cette méthode devrait cependant être intéressante sur le maïs qui est un bon indicateur de fertilité. Elle fut surtout utilisée à Madagascar par Kilian et Velly et l'un de leurs essais fut contrôlé par un essai maïs au champ (10).

Il est cependant difficile dans les cultures en pots de conduire le maïs jusqu'à l'épi et la méthode devrait servir surtout dans les cas de carence grave se répercutant sur la croissance elle-même, et dans les cas où l'apport d'un élément aurait un effet starter (cas du phosphore).

Les méthodes rapides d'appréciation des besoins nutritifs

La méthode de l'analyse minérale rapide du suc provenant soit de pétioles, soit de nervures principales entre autres organes est au premier abord séduisante.

Elle fut précisément débutée et poursuivie, surtout sur le maïs, grâce aux travaux américains de Thornton à partir de 1926 (21), Hoffer (8), Gilbert (6), Drake (5), Scarseth (20), Cook (3), Pettinger (15-16). Ce dernier établit même en 1931 des teneurs limitées dans la composition de la sève de maïs. Pierre et Pohlman étudièrent la sève de maïs en vue d'une meilleure connaissance des niveaux du sol en certains éléments (17).

Certains tests rapides peuvent avoir une réelle sensibilité, en particulier le test des nitrates. Lowry montra que la détermination des nitrates dans la sève du maïs était plus suggestive que celle de l'azote total pour l'interprétation des résultats d'essais d'engrais azotés (13-14).

Si, sur la section d'une tige de maïs, près d'un nœud, on dépose quelques gouttes du réactif à la diphenylamine, il se développe une couleur bleue dont l'intensité dépend de la concentration en nitrates. Cependant, dans le cas du maïs, il a été montré que, lorsque ce test est négatif, la chlorose azotée est elle-même décelable par les seuls symptômes foliaires.

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 H₂O appliquée à ce point donne une teinte rouge-sang (8), mais l'accord avec les résultats des autres tests a été diversement jugé par Thornton (21). Welton (23).

Ces tests très étudiés sur maïs aux Etats-Unis ne donnent que des informations approximatives. On se heurte pour le moment au 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 (22). L'analyse du suc pétioleux a également été étudiée en France (11) ainsi que le problème de l'interprétation des résultats des tests rapides (4).

Les symptômes de déficiences minérales

Azote :

Les extrémités des feuilles inférieures deviennent jaunâtres. Ce jaunissement suit la côte centrale de la feuille et un jaunissement net apparaît sous forme de V renversé dont l'extrémité est tournée contre la tige. Plus tard, toute la feuille devient jaune et l'évolution continue de feuille en feuille.

Phosphore

Sur les plantes jeunes, la couleur est généralement vert foncé et parfois les feuilles et les tiges ont tendance à devenir pourpres. On enregistre un retard de croissance et une lente maturité lors de la formation des épis; il y a des parties de rangées de grains qui ne sont pas pollinisées.

Potassium

Lorsque la déficience est très grave, la croissance est plus ou moins ralentie dès les stades au début. 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.

Les symptômes foliaires 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 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 verse des tiges du maïs n'est pas un symptôme absolument caractéristique de la déficience potassique. 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. Le pourcentage de vieilles tiges à la récolte serait un meilleur critère de démonstration de l'effet de la potasse que le pourcentage de verse proprement dit.

Les épis des parcelles très déficientes en potasse sont souvent mal conformés, mal terminés.

Calcium

En cas de carence (très rare) les jeunes plantes montrent des signes caractéristiques. Les bouts des feuilles non encore aérées se gélifient et en séchant collent ensemble.

Magnésium

Le magnésium se déplace assez facilement dans la plante et les parties jeunes peuvent bénéficier du magnésium qui devient rare dans les feuilles plus vieilles, qui présentent les symptômes. Ceux-ci consistent en stries jaunes se développant parallèlement aux nervures de la feuille. Elles peuvent prendre une couleur blanchâtre et s'étendre sur toute la longueur de la feuille, produisant ainsi un aspect de rayures; dans le cas de carence très grave, les tissus peuvent sécher et mourir.

Zinc

Cette carence peut apparaître une à deux semaines après la levée. La chlorophylle se développe difficilement dans les feuilles et des bandes jaunâtres apparaissent entre les nervures. Des petites taches blanches de tissus sans chlorophylle ou même déjà morts apparaissent sur les feuilles. Les stades de la floraison et des soies sont retardés. Les plantes très déficientes sont aussi rabougries et ont des entre-nœuds courts.

Etude de la nutrition minérale au cours du cycle végétatif

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 (18-19) et plus récemment ceux de Hanway (7).

En France, Carles, Soubiès et Gauct ont étudié la répartition des éléments minéraux à trois époques (début de l'épiaison, quatre semaines après, à maturité) (1).

La méthode fut également utilisée par l'auteur pour comparer les exigences minérales de diverses variétés et les principaux résultats furent les suivants (12).

a.- Croissance et production de matière sèche.

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 G-75 A) dans deux types de sols du Sud-Ouest de la France (A1 et B) - On y constate :

- 1.- un stade de croissance lente
- 2.- un stade de croissance rapide, correspondant à peu près au mois de juillet. Le maximum du poids de matière sèche des tiges et feuilles réunies se trouve réalisé dans ces essais vers le 20 août.
- 3.- un stade de diminution lente du poids. Du milieu d'août à la maturation laiteuse, le poids de matière sèche de la partie végétative demeure sensiblement constant, ou baisse légèrement. Toute la production de matière sèche réalisée à partir de cette phase sert à la formation des grains (Fig. 2).
- 4.- Un stade de dessèchement et de diminution du poids.

La période critique du maïs par rapport aux pluies correspond à la phase de croissance rapide. Elle 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.

Il est évident qu'il y a intérêt pour toute région de culture du maïs, à faire des études préalables sur l'importance et la fréquence des pluies au cours de cette période du cycle végétatif et sur la croissance de la plante, afin de bien situer les principaux stades physiologiques dans le calendrier.

b.- Evolution de l'absorption des éléments minéraux

Azote : Les courbes de la fig. 3 indiquent les prélèvements totaux d'azote pour 40.000 pieds/hectare. La courbe d'absorption d'azote suit celle de la matière sèche. Pour les parties végétatives, l'accumulation

d'azote atteint un maximum vers le milieu d'août (maximum du poids de matière sèche de ces organes). A partir de ce moment, la quantité d'azote des parties végétatives décroît tandis que croît celle des épis. On constate qu'au moment de la floraison, l'absorption d'azote n'est encore que de 30 à 50 kg N par hectare contre 100 à 180 kg N à la récolte (donc 30 % seulement de l'absorption finale). A la récolte, résultat de la migration vers les épis, il n'y a plus que 20 à 40 kg N dans les parties végétatives.

Phosphore : Il existe un net parallélisme entre N et P₂O₅ : 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 peut dépasser plus ou moins nettement la perte par les autres organes.

ABSORPTION EN KG/ha P₂O₅ POUR 40.000 PIEDS

	Plante entière		Tiges et feuilles	Epis	Plante entière	Tiges et feuilles	Epis	Plante entière
	21 Juin	5 Juillet	18 Août					
Essai A1	4,15	15,36	14,26	45,44	59,70	11,32	63,20	74,42

Potassium : Le potassium présente chez le maïs, une évolution sensiblement différente de celle de N et de P. Au cours de la première phase de croissance lente, la teneur des plantes en K est élevée, mais très inférieure au maximum ultérieur.

C'est essentiellement entre 35 et 50 jours après la levée que les teneurs en K 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 K₂O assez voisines fin août, mais à maturité les feuilles sont beaucoup plus appauvries que les tiges.

Les courbes de la fig. 4 montrent les prélèvements totaux de potasse pour 40.000 pieds/hectare. On y remarque en particulier :

- 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 K₂O ne correspond pas à la maturité, mais se situe environ trois semaines après la floraison, au moment où les organes végétatifs présentent leur maximum de poids sec, soit du 10 au 20 août sur les courbes.
- 3.- que l'accumulation totale de K₂O décroît à partir de ce moment jusqu'à la maturité.

Calcium et magnésium :

Du début de juillet au milieu d'août, c'est-à-dire durant la phase de croissance rapide, 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 sans donner lieu à une migration vers les grains.

Les quantités effectivement présentes sur le champ à la maturité sont principalement influencées pour Mg, par les rendements en grains et le développement, pour Ca par le seul développement, les grains étant très pauvres en cet élément.

c.- La composition minérale de la plante à maturité

Elle constitue la synthèse des accumulations et migrations au cours de la croissance. Elle peut servir à la détermination des exportations d'éléments minéraux.

EXIGENCES D'UNE RECOLTE DE 60 q DE GRAINS (EN Kg)

	Epis	Tiges et feuilles	Exigences totales sans les racines
N	93	40	135
P2O5	42	10	55
K2O	36	50 à 80	90 à 120
CaO	3	30	33
MgO	13	15	28

Les exportations réelles sont différentes selon que les pailles sont effectivement exportées ou enfouies. La divergence porte surtout sur K2O. Lorsque la culture devient intensive, la fumure prend en considération les exigences de la plante entière et non l'exportation par les grains seuls.

Le diagnostic chimique de parcelles expérimentales

La nutrition du maïs peut enfin être étudiée à partir d'essais d'engrais plus ou moins complexes, sur lesquels on suit la composition chimique d'un organe par des prélèvements déterminés. 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. Elle prend le plus souvent le nom de diagnostic foliaire et fait l'objet d'une seconde communication.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1.- 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.
- 2.- CHAMINADE R. 1964 - Diagnostic des carences minérales du sol par l'expérimentation en petits vases de végétation. Science du sol 1964 - pp 157 - 167.
- 3.- COOK H.L. 1941 - Correlation of plant tissue tests with fertilizer treatments and yields of corn - Proc. Nat. Jt. Comm. Fert. Appl. 17 - 38.
- 4.- DELMAS J., ROUTHENKO W., MILLE BAUDEL C., 1959 - Contrôle de la nutrition des plantes par l'analyse minérale du suc - C - R. Acad. agric. - n° 16 - 796 - 802
- 5.- DRAKE M. 1944 - Nutrient balance in corn growing in Southern States as revealed by Purdue plant tissue test - Jnl. Amer. Soc. Agro. 36 - 1 - 9
- 6.- GILBERT B.E. 1926 - The adaptation of certain colorimetric methods to the estimation of nitrates, phosphates and potassium in plant solutions - Plant Physiol - 1 - 191 - 199

- 7.- HANWAY J.L. 1962 - Corn growth and composition in relation to soil fertility II-uptake of N, P, K and their distribution in different plant parts-during the growing season
Agrono. Jal. 54 : 217 - 222.
- 8.- 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 -
- 9.- HOMES M. 1953 - L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques -
Masson - Paris - 142 pp
- 10.- KILLIAN J., VELLY J. 1964 - Diagnostic des carences minérales en vases de végétation sur quelques
sols de Madagascar - Agron. Trop. n° 5 pp 413 - 443
- 11.- LECOMPT M. 1959 - Tests rapides pour le contrôle sur le terrain de la nutrition minérale des plantes
cultivées - R.C. Ac. Agric. Fr. 16 - 802 - 809
- 12.- LOUE A. 1963 - Exportations d'éléments fertilisants par le maïs. Exigences minérales comparées
de diverses variétés de maïs hybrides. Fertilité n° 20 10-19 et 22-32
- 13.- LOWRY M.W., TABOR-P. 1931 - Sap for analysis by bleeding corn plants - Science (N-S) - 75 - 453
- 14.- LOWRY M.W., HUGGINS W.C., FORREST L.A. 1936 - The effect of soil treatment on the mineral compo-
sition of exuded maize sap at different stages of development - Bull. Ga. Exp.
Sta. - 193 - 1 - 28
- 15.- PETTINGER N.A. 1931- The expressed sap of corn plants as an indicator of nutrient needs - J. Agric.
Res. - 43 - 95 - 119
- 16.- PETTINGER N.A. 1932-Effect of fertilizer on the chlorine content of the sap of corn plants - J. Agric.
Res. - 44 - 919 - 931
- 17.- POHLMAN G.G., PIERRE W.H. 1933 - The phosphorus concentration of the exuded sap of corn as a
measure of the available phosphorus in the soil - J. Amer. Soc. Agro. 25 - 160-
171.
- 18.- SAYRE J.D. 1955 - Mineral nutrition of corn, in « corn and corn improvement » - Amer. Soc. of Agro. •
vol. V - 293 - 314
- 19.- SAYRE J.D. 1948 - Mineral accumulation in corn-Plant Physiol vol 23-3 - 267-281
- 20.- SCAPSETH G.D. 1943 - Plant tissue testing in diagnosis of the nutritional status of growing plants -
Soil Sci. - 55 - 113 - 120.
- 21.- THORNTON S.F. 1933 - A simple and rapid chemical test on plant material as an aid in determining po-
tassium needs - J. Amer. Soc. Agron. 25 - 473-481.
- 22.- 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
- 23.- WELTON F.A., MORRIS V.H., GERDEL R.W. 1926 - Corn stalks vs field plots as a guide to the fertility
requirements of the corn crop. Bull. Ohio Agric. Exp. Sta. 397 - 285-302