

RESISTANCE VARIETALE DU COTONNIER
A LA TOXICITE DU MANGANESE

premières observations

Mme J. Didier de Saint-Amand

RESISTANCE VARIETALE DU COTONNIER A LA
TOXICITE DU MANGANESE

PREMIERES OBSERVATIONS

Janine DIDIER de SAINT-AMAND

avec la collaboration de L. ZUCKERMAN

D.R.S.T.O.M.
PARIS
1 9 6 4

RESISTANCE VARIETALE DU COTONNIER

A LA TOXICITE DU MANGANESE

PREMIERES OBSERVATIONS

Des phénomènes de toxicité provoqués par le Manganèse ont été observés sur divers sols africains, notamment dans la région du Logone, au Tchad, et dans la vallée du Niari, en République du Congo, où la présence d'un taux excessif de Manganèse associé à un pH très acide représente un écueil important auquel se heurte l'agriculture locale. Des observations ont été faites sur divers essais variétaux de Coton par C. POISSON, génétiste de l'I.R.C.T., qui estime que la susceptibilité du Coton à l'égard du Manganèse paraît être différente selon les variétés. Pour des taux de Manganèse assimilable, équivalents dans le sol, les variétés en observation peuvent présenter des symptômes de maladie statistiquement différents. Ces symptômes tendent à s'atténuer au fur et à mesure de la croissance de la plante, et ce, plus ou moins rapidement selon les variétés. L'observation de ces essais, et les analyses effectuées, n'ont toutefois pas pu confirmer si la variabilité de la résistance à la toxicité était due à des possibilités différentes dans la faculté d'absorption de l'élément de la part de la plante, ou si pour un taux d'absorption identique, les réactions de la plante s'avéraient différentes. Ainsi est apparu l'intérêt d'essayer de préciser ces points.

L'étude de la nutrition minérale sous l'angle variétal, paraît effectivement présenter un intérêt nouveau. Les récents travaux de D.N. MUNNS, C.M. JOHNSON et L. JACOBSON sur l'avoine, en donnent un exemple.

Ces auteurs indiquent que le mouvement principal du passage du Manganèse, du milieu nutritif vers la jeune pousse, peut être considéré comme passant par une fraction labile. Les différences variétales observées sur deux avoines mises en culture, peuvent être attribuées aux variations quantitatives et de répartition de cette fraction instable du Manganèse, les variations de pH et de température du substrat intervenant elles aussi dans les quantités retrouvées. Mais dans la partie racinaire des plantes, on retrouve une fraction de Manganèse non labile, qui varie elle aussi suivant les variétés, et qu'on retrouve en particulier en quantité beaucoup plus importante dans l'une des variétés que dans l'autre. C'est cette fraction racinaire du Manganèse total qui serait le propre de la variété, et varierait ainsi sans rapport avec le manganèse des jeunes pousses.

Une expérience en milieu contrôlé a été exécutée de Mai à Septembre. Elle permettra de tester le comportement de 4 variétés de coton soumises à des apports croissants de Manganèse dans la solution nutritive. Trois récoltes ont été effectuées, à trois stades successifs du développement de la plante. Ces récoltes permettront de suivre l'évolution de la composition minérale des racines, des tiges et des feuilles, en fonction de la croissance du végétal et de l'importance de la toxicité provoquée. Mais avant que l'ensemble des analyses puisse permettre de faire un rapport de synthèse des résultats, quelques observations effectuées au cours d'un essai préliminaire réalisé sur sol, sont présentées dans les pages suivantes. Ce travail a été fait de Février à Avril, alors que l'expérimentation en serre n'était pas encore réalisable, par suite de l'impossibilité d'apporter un éclairage d'appoint aux cultures.

CONDITIONS DE L'EXPERIENCE.

A. Conditions d'ensemble.

Matériel de culture.

Les pots utilisés sont des pots en terre de 13 cm de diamètre sur 13 cm de hauteur, posés sur un récipient de verre. Ils sont remplis d'1 Kg de sol, de type dit sol de Bruyère, dont le pH est théoriquement voisin de 4,8.

Au cours des 2 séries d'expériences exécutées (une série pour l'étude du comportement de 2 variétés, une autre série pour l'étude du comportement de 2 autres), des contrôles du pH du sol ont montré que la valeur de 4,8 était exacte pour la première série, tandis qu'elle passait à 5,6 pour la série suivante, par suite d'une différence dans la composition du mélange de terre, tel qu'il est fourni par la Société H.M.T.

Conditions de culture.

Chaque pot est ensemencé de 10 graines de coton non délintées. *
Germination et développement des plantules ont lieu sous un montage de tubes lumineux Philips, 10 tubes couvrant environ $0m^2,75$, surface de l'ensemble. Les pots sont placés à 25 cm environ des tubes, la luminosité reçue donnant 5.000 à 8.000 lux. L'ensemble est maintenu à environ 23°. Dans ces conditions, la levée est un peu tardive, mais les plantules sont vigoureuses et bien vertes. Après la levée, 6 plantes sont conservées par pot. Les récoltes sont faites après un mois de culture.

Variétés étudiées.

Toutes les variétés étudiées sont du type hirsutum, et nous ont été fournies

* Il apparait que dans nos conditions de travail, leur germination est plus favorable que celle des graines traitées à l'acide sulfurique.

par diverses Stations expérimentales de l'I.R.C.T.

• Variété Acala 442.

Graines en provenance de la Station de Bône (Algérie). C'est un hirsutum d'origine américaine (Californie), nécessitant une culture irriguée et produisant un coton de belle qualité.

• Variété M⁶.S.306.

Graines en provenance de la Station de Bebedjia (Tchad). Cette variété est issue du croisement d'un Allen originaire du Nigéria et de N^oKourala 47.6 originaire du Mali. C'est un hirsutum du type semi-cluster à branches fructifères courtes et entre-noeuds courts.

• Variété Allen 151.

Graines en provenance de la Station de Bebedjia (Tchad). C'est une variété sélectionnée dans de l'Allen introduit du Nigéria. Plante assez précoce, son développement végétatif est faible, et ses capsules sont de grosseur moyenne.

• Cooker 100.

Graines en provenance de la Station de Bône (Algérie). C'est une variété de culture sèche, d'origine américaine.

Doses apportées et dispositif d'ensemble.

Chacune des 4 variétés indiquées ci-dessus a fait l'objet de 5 traitements.

Chaque traitement est répété dans 7 pots :

1. Traitement témoin sol seul.
2. Sol + 50 ppm de Manganèse.
3. Sol + 100 ppm de Manganèse.
4. Sol + 200 ppm de Manganèse.
5. Sol + 500 ppm de Manganèse.

Le Manganèse est apporté sous forme de SO^4 Mn en solution, de telle sorte que la quantité de liquide ne dépasse pas la capacité de rétention pour l'eau du sol.

Les traitements sont appliqués, peu après la levée des plantules, soit environ 10 à 12 jours après le semis des graines. Les récoltes ayant lieu après un mois de végétation, la durée totale du traitement est donc d'environ 18 à 20 jours.

Deux variétés, Acala 442 et M6-S-306 ont été cultivées en Février-Mars, les deux autres, Allen 151 et Cooker 100, en Mars-Avril.

Les cultures reçoivent un arrosage quotidien de 50^{cc} d'eau bipermutée.

B. Symptômes de toxicité observés.

1°/ - Les traitements ayant apporté 500 ppm de Manganèse ont induit, pour toutes les variétés, des symptômes de toxicité se traduisant par le développement de taches brunes, rondes, d'aspect desséché, sur les jeunes feuilles et sur les feuilles cotylédonnaires. Le brunissement des taches paraît précédé par une zone de décoloration arrondie sur les limbes. La présence de taches est accompagnée d'un recroquevillement des bordures foliaires, tel que celui que certains auteurs américains qualifient de "Crinkle leaf". A la dose de 500 ppm, quelques plantules ont subi un dessèchement à peu près total, ceci uniquement pour les variétés cultivées dans les conditions où le contrôle du pH a donné une valeur de 4,8 pour le sol, et particulièrement pour la variété M6-S-306.

2°/ - Les traitements ayant apporté 200 ppm de Manganèse ont affecté seulement la variété M6-S-306. Pour les autres variétés, seules quelques plantules isolés ont présenté, de façon atténuée, des symptômes de toxicité tels que ceux décrits ci-dessus.

3°/ - Les traitements apportant 100 ppm de Manganèse n'ont apparemment pas induit de toxicité. L'aspect des plantules est resté pendant la durée des cultures sensiblement analogue à celui des cultures témoins; même pour les deux variétés ayant végété sur le substrat le plus acide.

Ces considérations peuvent se résumer dans le tableau ci-après où les symboles prennent les significations suivantes :

- 0 = pas de toxicité.
- + = symptômes de toxicité sur plantules isolés.
- ++ = symptômes de toxicité affectant 20 à 30 % des plantules.
- +++ = symptômes de toxicité sur l'ensemble ou le quasi-ensemble des plantules.

T A B L E A U 1

Traitement	pH contrôlé à 4,8		pH contrôlé à 5,6	
	Var. Acala 442	Var. M6-S-306	Var. Allen 151	Var. Cooker 100
50 ppm	0	0	0	0
100 ppm	0	0	0	0
200 ppm	+	++	0	+
500 ppm	+++	+++	++	+++

L'acidité du substrat paraît accélérer l'apparition des symptômes de toxicité pour la variété M6-S-306, tandis que la variété Acala 442 se différencie peu des deux autres variétés cultivées sur milieu moins acide.

ETUDE DU POIDS DES RECOLTES.

Pour chaque traitement, l'ensemble des plantules des 7 pots est réuni au moment de la récolte. Le poids total de la récolte et le nombre total de plantules permet de déterminer le poids moyen d'une plantule, pour chacun des traitements appliqués. Il est indiqué dans le tableau suivant :

T A B L E A U 2

Trait. Var.	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	1,55	1,72	1,30	1,60
50 ppm	1,62	1,80	1,60	1,80
100 ppm	1,30	1,90	1,88	1,80
200 ppm	1,26	1,60	1,95	1,30
500 ppm	1,15	1,44	1,88	1,10

Poids frais moyen d'1 plantule (en grammes).

L'examen de ces résultats et le graphique n° 1 à la page suivante, permettent de constater l'effet favorable sur le poids moyen d'une plantule, de l'addition d'une quantité peu élevée de Mn dans le milieu de culture. Pour la variété Acala 442, cette quantité est de 50 ppm, elle est de 100 ppm pour les variétés

M6-S-306 et Cooker 100 et atteint 200 ppm pour l'Allen 151. On constate ainsi que, dans le cas de cette dernière variété, qui peut être considérée comme la plus résistante, l'élaboration de matière végétale n'est pas perturbée mais augmentée quand le substrat comporte des quantités de Mn qui, pour les trois autres variétés, interviennent dans un sens défavorable. Remarquons également que l'apparition des symptômes visibles de toxicité et la diminution sensible du poids frais des plantules coïncident assez exactement.

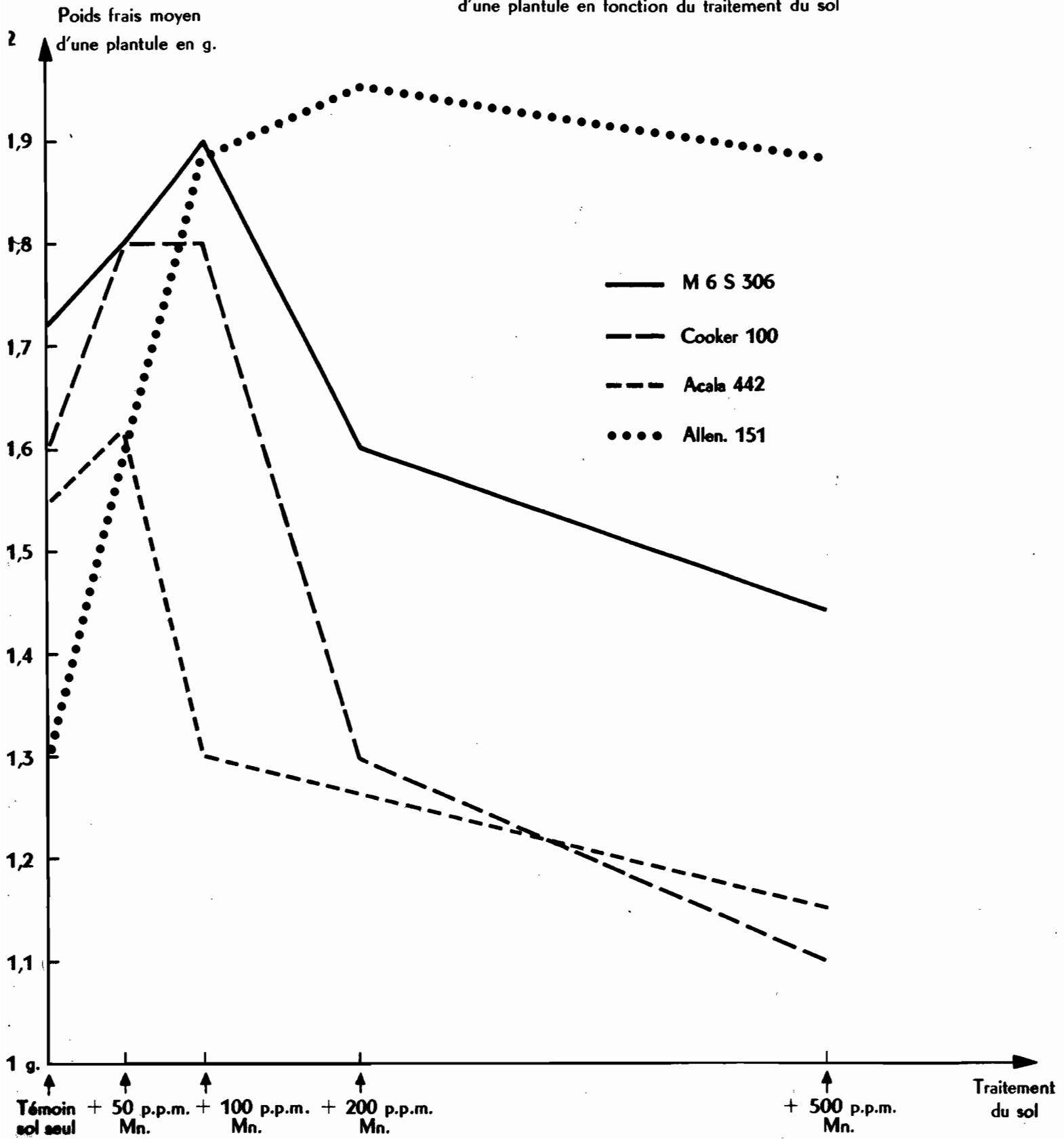
L'effet favorable de l'augmentation d'un oligo-élément dans des limites données, sur une variable telle que le rendement pondéral d'un végétal est bien connu. DIDIER BERTRAND établit une "loi de l'optimum de concentration", pour certains oligo-éléments tels que Soufre-Manganèse-Molybdène. Cette concentration est évidemment en relation directe avec la nature du végétal étudié, mais les limites quantitatives sont toutefois peu éloignées d'un végétal à l'autre.

L'auteur indique que la courbe traduisant par exemple le rendement d'une culture donnée, en fonction de l'augmentation d'un oligo-élément dans le milieu, tels que ceux cités plus haut, passe par un maximum qui correspond à une dose optimale de cet oligo-élément dans le milieu pour le meilleur rendement, avant de descendre très rapidement cette dernière partie de la courbe correspondant à une zone d'apparition de phénomènes de toxicité et à une diminution du rendement pondéral par exemple.

Le graphique n° 1 correspond bien à cette constatation.

GRAPHIQUE N° 1

Evolution du poids frais moyen
d'une plantule en fonction du traitement du sol



COMPOSITION MINERALE DES FEUILLES DES PLANTULES.

A la récolte, les plantules ont été fractionnées en racines, tiges avec pétioles et feuilles. Les valeurs données ci-après concernent la composition des feuilles, l'analyse portant sur un échantillonnage moyen de la totalité de chaque récolte par traitement.*

A. Evolution des teneurs en Manganèse.

Ces teneurs sont représentées dans le tableau ci-après, et schématisées par le graphique n° 2.

	Sol contrôlé à pH = 4,8		Sol contrôlé à pH = 5,6	
Var. Trait.	Acala 442	M6.S. 306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	1.080	978	110	155
+ 50 ppm	1.457	2.000	134	300
+ 100 ppm	2.527	2.225	235	622
+ 200 ppm	3.154	4.350	517	1.356
+ 500 ppm	5.338	8.300	1418	2.762

Teneurs en manganèse dans les feuilles des plantules
exprimées en ppm.

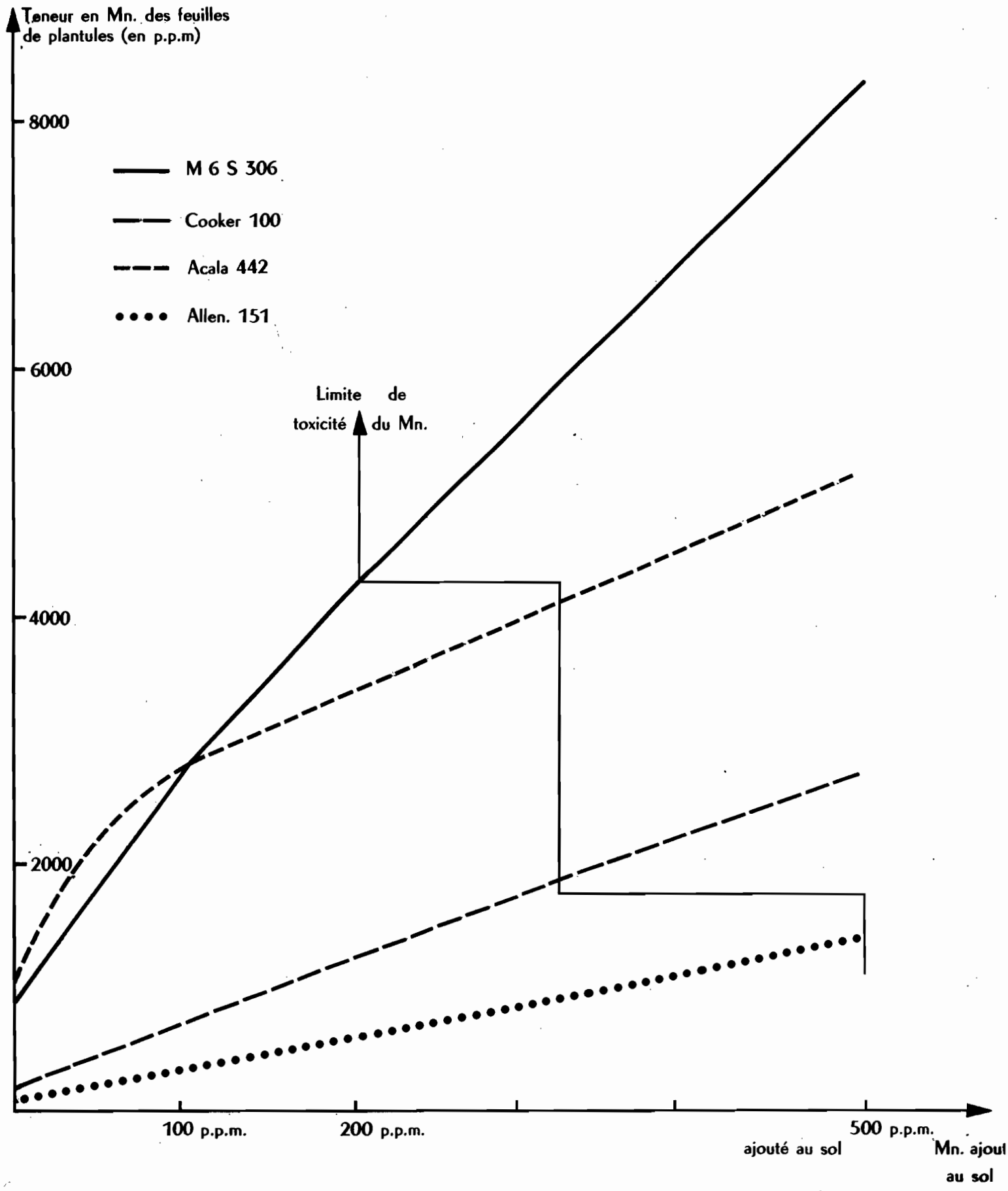
Le Manganèse est déterminé par colorimétrie après oxydation par le périodate de Potassium.

* Quelques déterminations de Mn, N, P, K, Ca et Mg ont été faites sur les tiges. Toutefois, les résultats obtenus ne paraissant pas présenter un intérêt particulier et suivant assez fidèlement ceux indiqués pour les feuilles, il n'en sera pas fait mention.

- Ces résultats mettent en évidence que l'enrichissement en Manganèse des feuilles des plantules peut être extrêmement important. Il croît de façon à peu près linéaire jusque dans les traitements qui se sont avérés toxiques. La faculté d'absorption est donc très élevée. Ceci a pu être contrôlé sur quelques plantes qui ont été soumises à un traitement de 800 ppm de Manganèse, puis analysées. On a pu observer alors, que dans le cas de la variété M6-S-306, la toxicité est très importante, beaucoup plus accentuée que dans le cas du traitement à 500 ppm. L'analyse des feuilles donne une valeur de 4.800 ppm de Mn, alors qu'elle est de 8.300 dans le cas du traitement à 500 ppm. Il faut donc arriver à l'induction d'une toxicité très poussée, qui est en quelque sorte une dose létale, pour arriver à un point d'inflexion de la courbe représentant l'absorption de l'élément. Les cultures d'Allen 151 et de Cooker 100, soumises au même traitement de 800 ppm de Mn ont, elles aussi, présenté des symptômes poussés de toxicité, alors que l'analyse de leurs feuilles traduit une augmentation de la quantité de Manganèse présente. Ces valeurs atteignent 2.270 ppm pour l'Allen 151 et 3.070 ppm pour le Cooker 100, soit des taux nettement plus élevés que dans le cas des cultures ayant reçu 500 ppm de Mn, et où déjà les symptômes de toxicité étaient bien marqués.
- L'influence du pH du sol de culture apparaît aussi très nettement. Les cultures témoins présentent jusqu'à 10 fois plus de Manganèse dans les feuilles, pour celles effectuées sur le sol de bruyère de pH = 4,8.

Rappelons que le Manganèse est présent dans le sol sous forme d'oxydes. Les composés de Manganèse à la valence 4, essentiellement MnO_2 , paraissent être à peu près inassimilables par les végétaux. Le Manganèse à la valence 2 est au contraire directement assimilable. C'est l'état d'oxydation du Manganèse échangeable dans le sol. En ce qui concerne l'influence de la réaction, l'acidité du milieu augmente l'assimilabilité de cet élément, comme elle augmente aussi, par exemple,

GRAPHIQUE N° 2



Sur le graphique n° 2 qui montre l'évolution des teneurs en Manganèse pour les feuilles des quatre variétés, la ligne brisée figure les limites d'apparition des symptômes de toxicité.

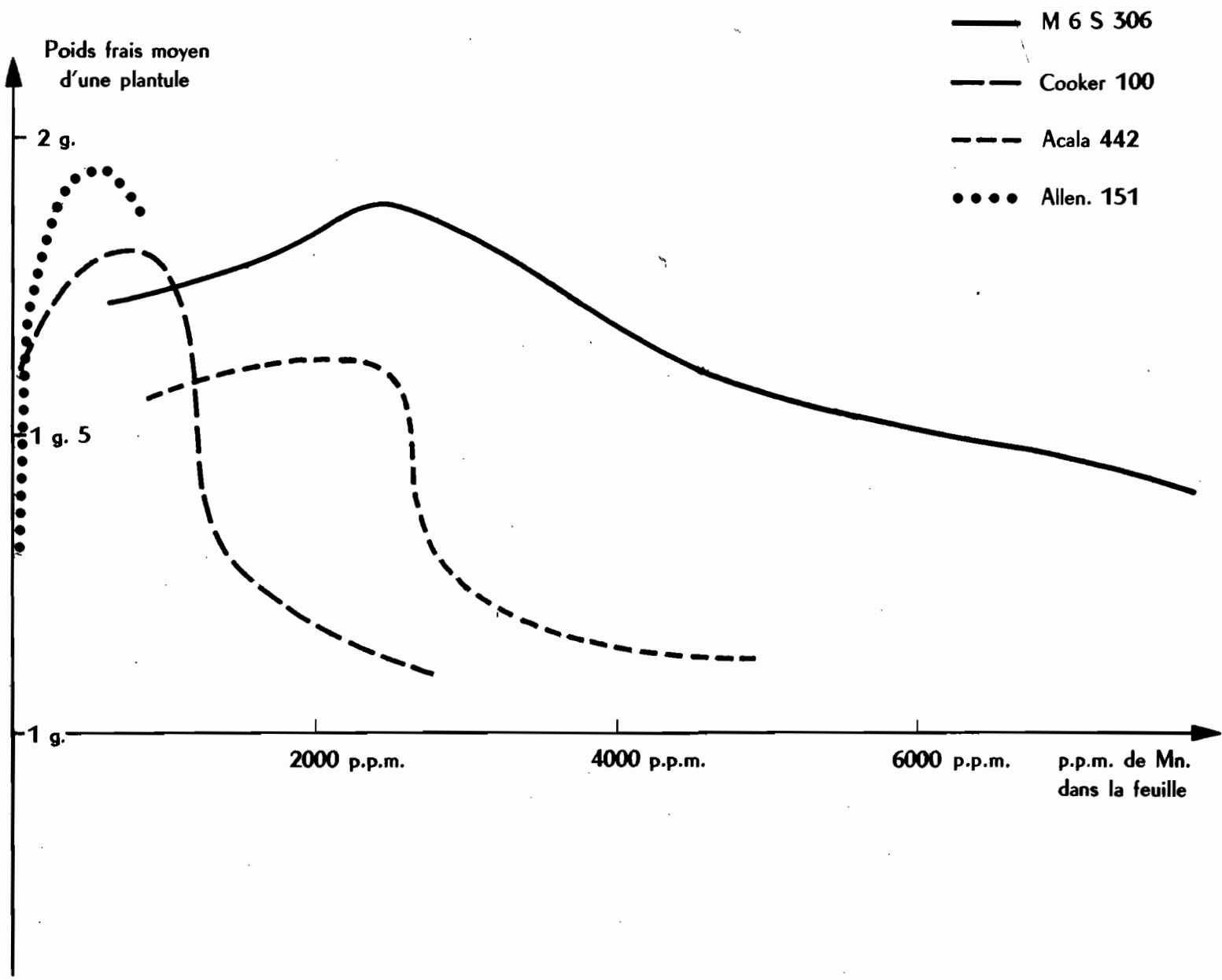
A gauche de cette ligne, les valeurs indiquées correspondent aux plantes saines. A droite, aux plantes malades. Il est important de souligner, une fois encore, que l'absorption du manganèse se poursuit même au-delà de la limite de toxicité visible. La variété M6.S.306, qui a été la plus sensible à l'enrichissement en Manganèse du sol, est aussi celle qui a absorbé le plus de manganèse. La variété Allen 151, qui a le mieux résisté à la toxicité, est aussi celle qui en a le moins absorbé. Mais ce fait n'est pas suffisant pour discriminer une variété plus résistante que l'autre puisque Acala 442, qui présente un taux important de Mn foliaire, et Cooker 100, qui se rapproche plutôt d'Allen 151, ont un comportement sensiblement analogue, en ce qui concerne la sensibilité à la toxicité.

Si nous nous reportons par ailleurs au graphique n° 1 qui représente l'évolution du poids frais moyen d'1 plantule, en fonction du traitement du sol, nous observons que la variété Allen 151, estimée être la plus résistante, est celle dont la perte de poids a été la moins importante, alors que Cooker 100, Acala 442 et M6-S-306 ont un comportement à peu près analogue.

Le graphique 3, qui traduit la corrélation entre le taux de manganèse dans les feuilles et le poids frais moyen d'une plantule, confirme cette remarque. L'examen des courbes, comme sur le graphique n° 1, indique l'effet favorable d'une addition donnée de Mn au substrat de culture, sur la quantité de matière végétale élaborée. La perte de poids observée ensuite coïncide sensiblement avec l'apparition des symptômes de maladie, même atténués, tels qu'on les observe pour les quantités de 200 ppm de Mn ajoutés au sol, ceci pour les variétés Acala 442, M6-S-306, et Cooker 100, tandis qu'Allen 151 présente une courbe ascendante du poids de matière fraîche jusqu'au traitement apportant 500 ppm de Mn.

GRAPHIQUE N° 3

Relations entre poids moyen
d'une plantule et teneur en Mn. des feuilles



B. Evolution des teneurs en azote.

La composition des feuilles en azote total titré, suivant la méthode de Kjehldahl, est la suivante :

Traitement	Sol à pH = 4,8		Sol à pH = 5,6	
	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	5,77	5,44	5,82	5,07
+ 50 ppm	5,32	5,25	5,59	4,38
+ 100 ppm	5,40	5,02	5,29	4,23
+ 200 ppm	5,56	5,00	5,30	5,18
+ 500 ppm	5,29	4,53	5,21	4,65

N total exprimé en grammes pour 100 g. de matière sèche.

La diminution du taux d'Azote est très nette, et plus particulièrement dans le cas de la variété M6-S-306. Entre les traitements témoins et les traitements apportant 500 ppm de Mn, les variations du pourcentage en Azote foliaire prennent les valeurs suivantes :

Variété M6-S-306	- 18 %
Variété Acala 442	- 10 %
Variété Allen 151	- 12 %
Variété Cooker 100	- 8 %

Signalons qu'en dépit de l'antagonisme d'absorption entre Mn et N, apparemment bien mis en évidence, le pH du milieu de culture intervient lui aussi vraisemblablement sur l'assimilabilité de cet élément qui, en fait, pour la plupart des végétaux, est optimum entre des limites de pH variant de 6 à 8, et diminue ensuite de part et d'autre de ces valeurs.

La diminution du taux d'azote foliaire est notable aussi en ce qui concerne les traitements apportant 50 et 100 ppm de Mn (à une exception près pour Acala 442) qui n'ont pas induit de symptômes de toxicité.

Il pourrait ainsi y avoir une sensibilisation à la sélectivité de la part de la plante, pour cet élément, en présence de quantités de Mn même non toxiques, dans le milieu de culture.

C. Evolution des teneurs en Phosphore.

Les graphiques n° 4, 5, 6 et 7 indiquent le bilan minéral d'ensemble des feuilles pour les 4 variétés. On voit que l'enrichissement en manganèse induit de façon très sensible une diminution du phosphore. Phosphore et azote présentent ainsi une forte corrélation positive.

Les valeurs du phosphore dosé par la méthode colorimétrique au nitrovanado-molybdate d'ammonium sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

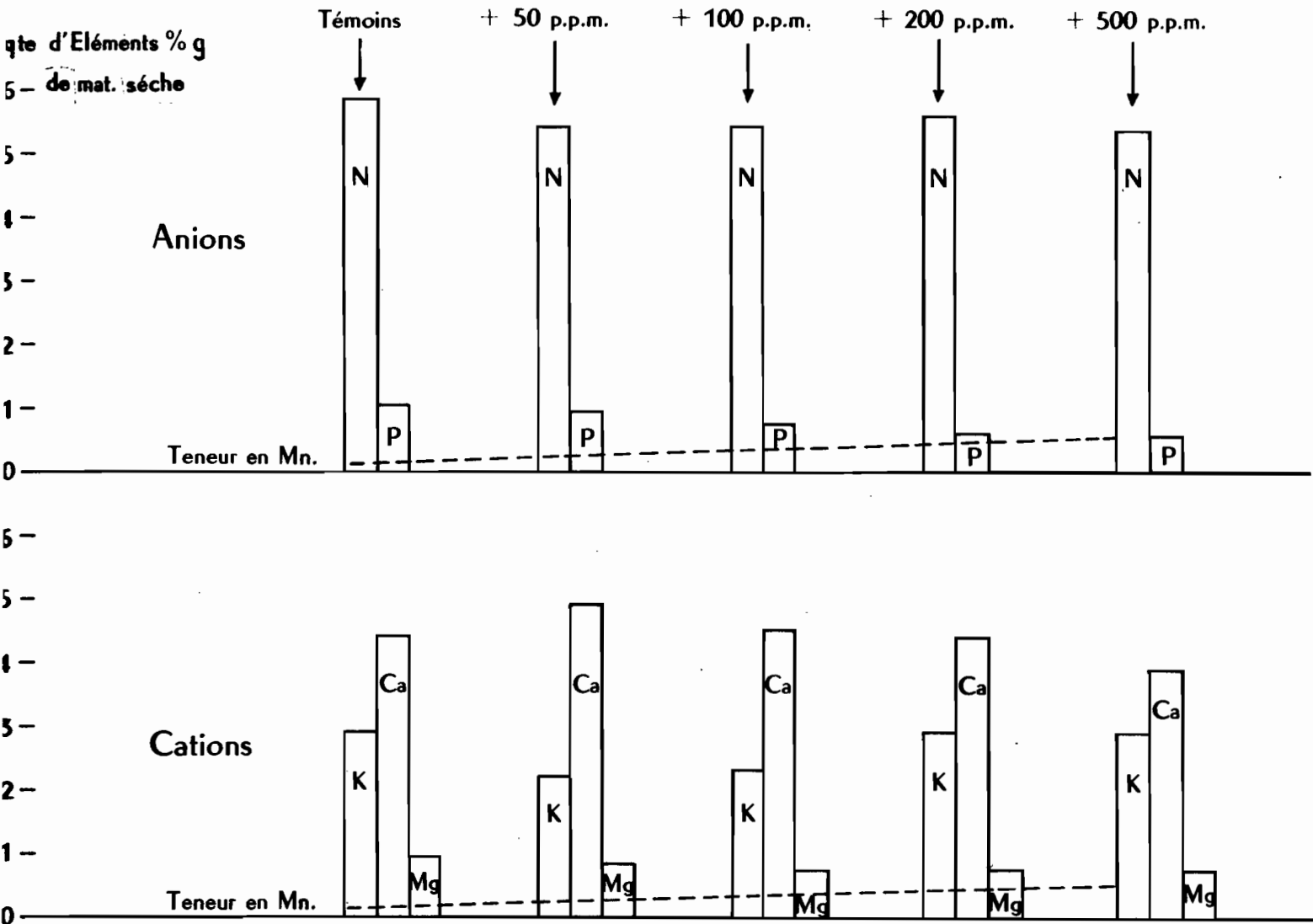
Traitement	Sol à pH = 4,8		Sol à pH = 5,6	
	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	0,896	1,164	1,450	1,059
+ 50 ppm	0,880	1,100	1,303	0,969
+ 100 ppm	0,700	1,035	1,171	1,055
+ 200 ppm	0,650	1,000	1,165	0,929
+ 500 ppm	0,620	0,933	1,154	0,920

T total exprimé en g. pour 100 g. de matière sèche

GRAPHIQUE N 4°

Variété Acala 442

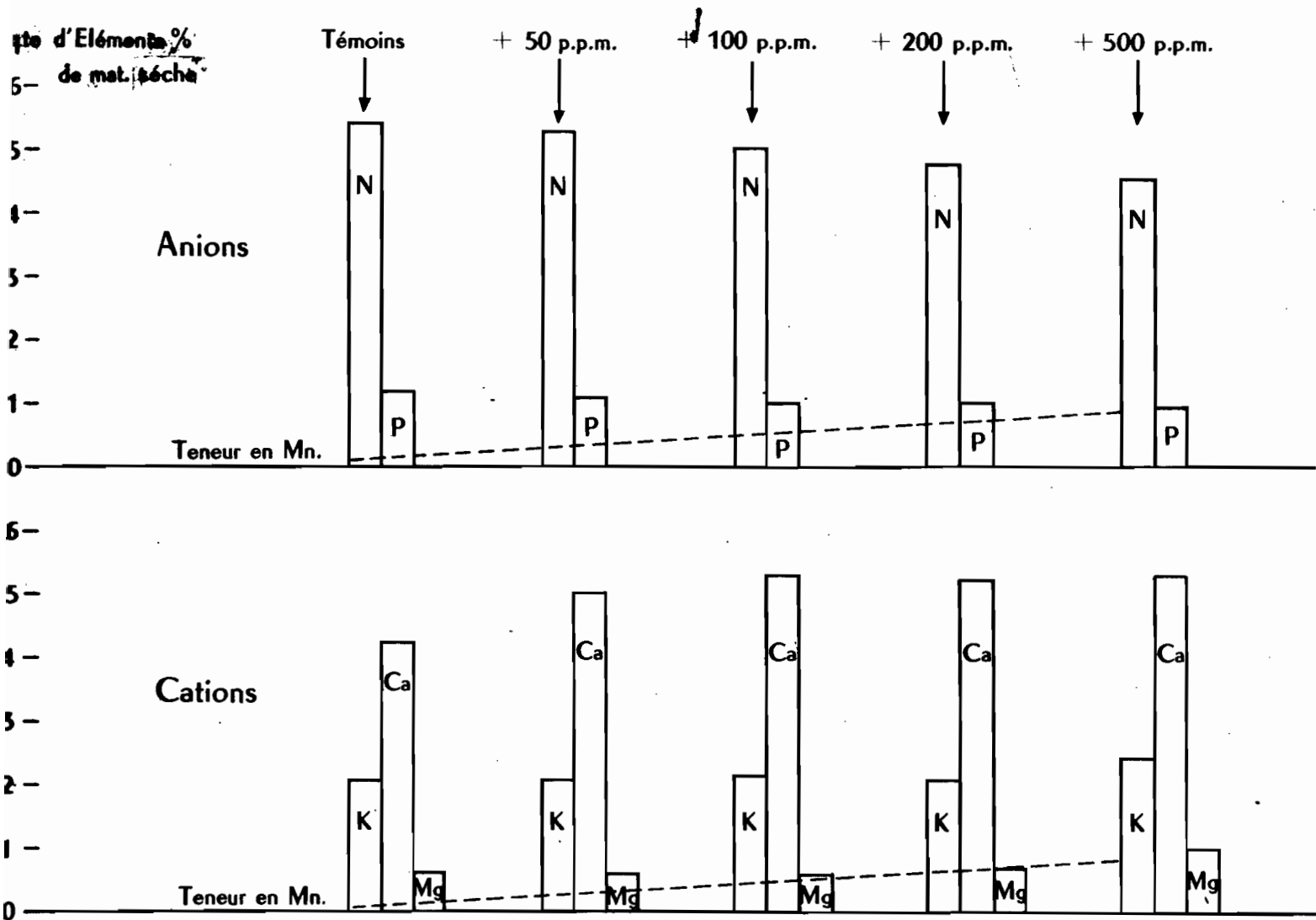
Variations de la composition minérale des feuilles



GRAPHIQUE N° 5

Variété M 6 S 306

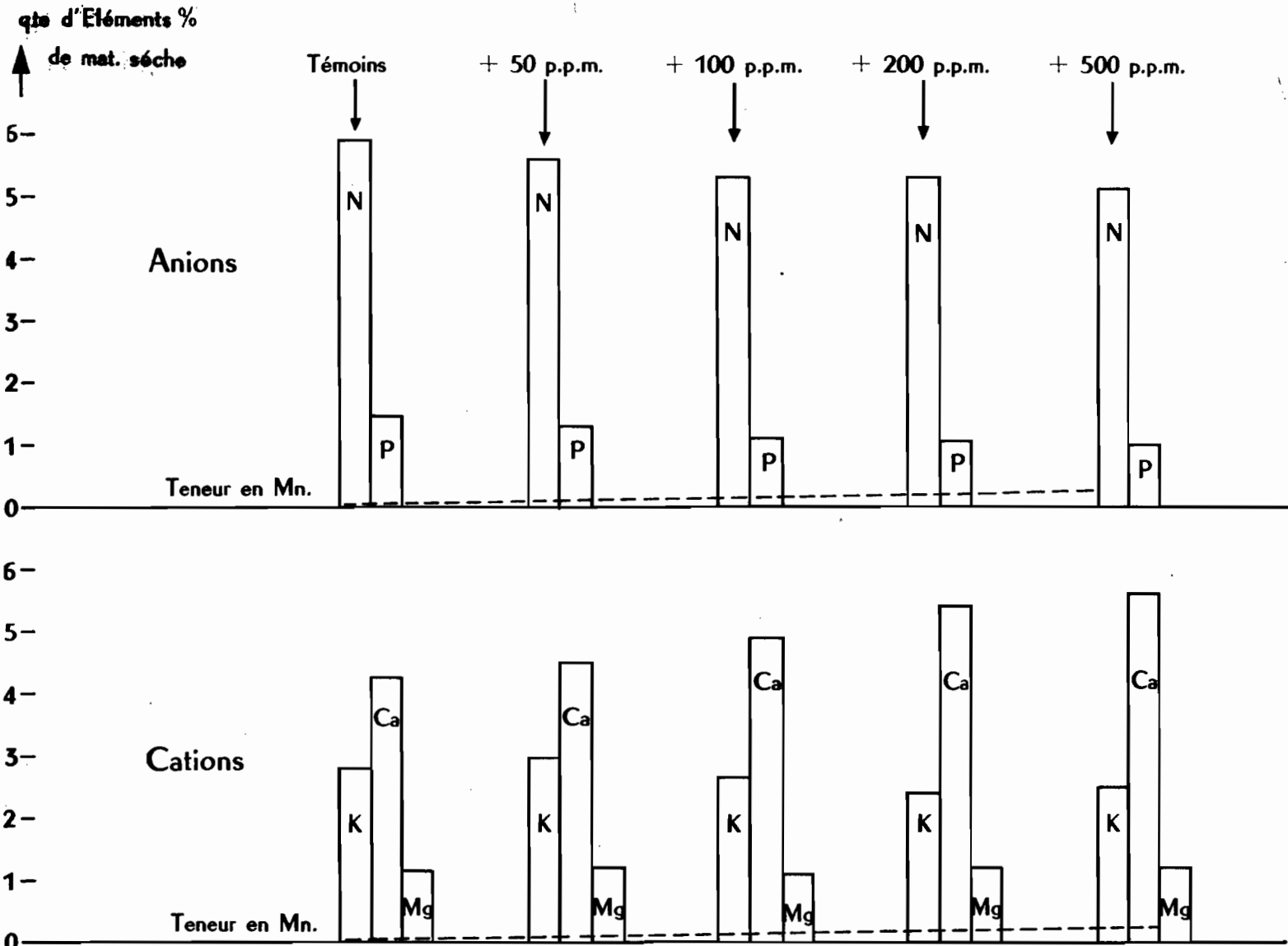
Variations de la composition minérale des feuilles



GRAPHIQUE N° 6

Variété Allen. 151

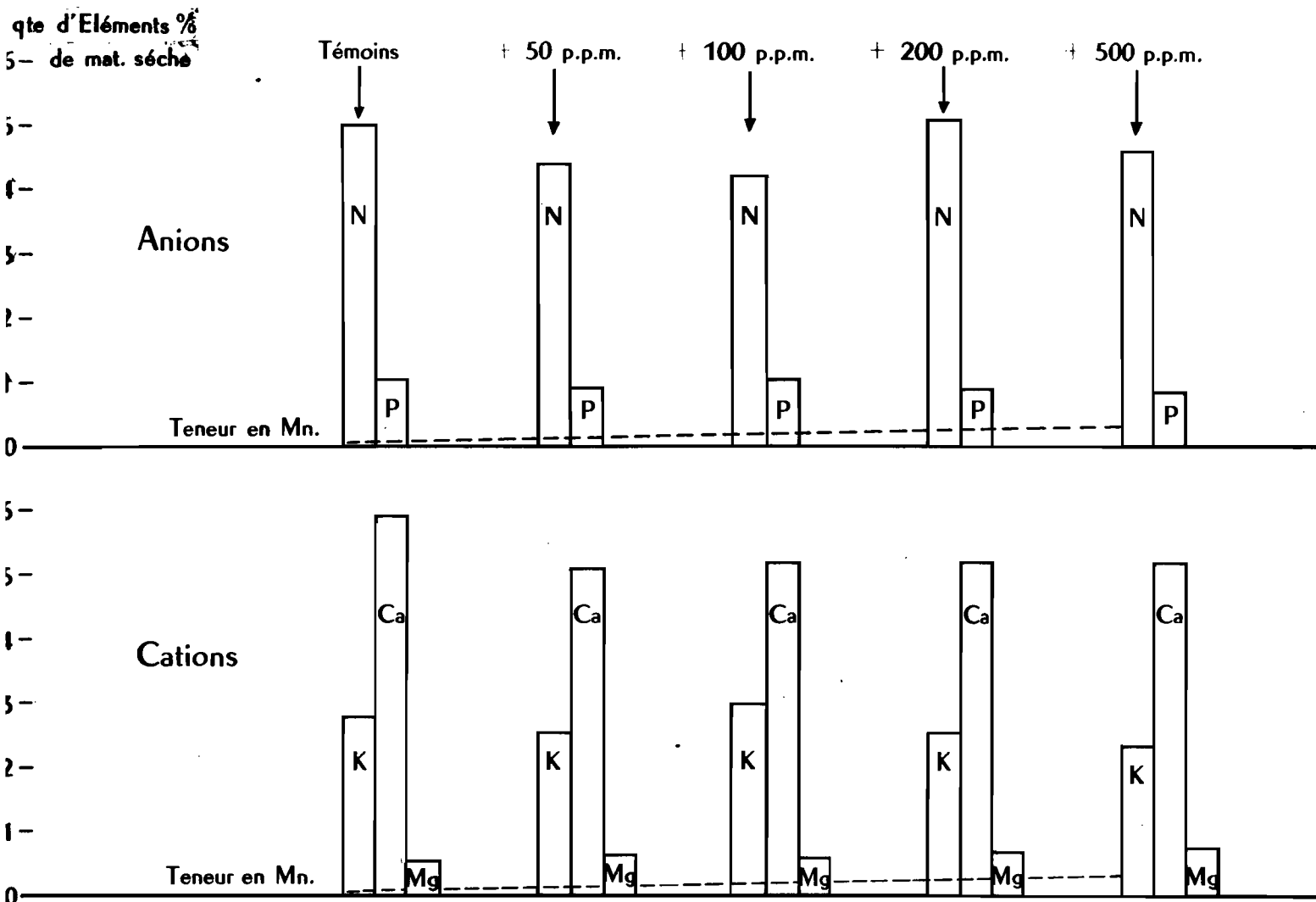
Variations de la composition minérale des feuilles



GRAPHIQUE N° 7

Variété Cooker 100

Variations de la composition minérale des feuilles

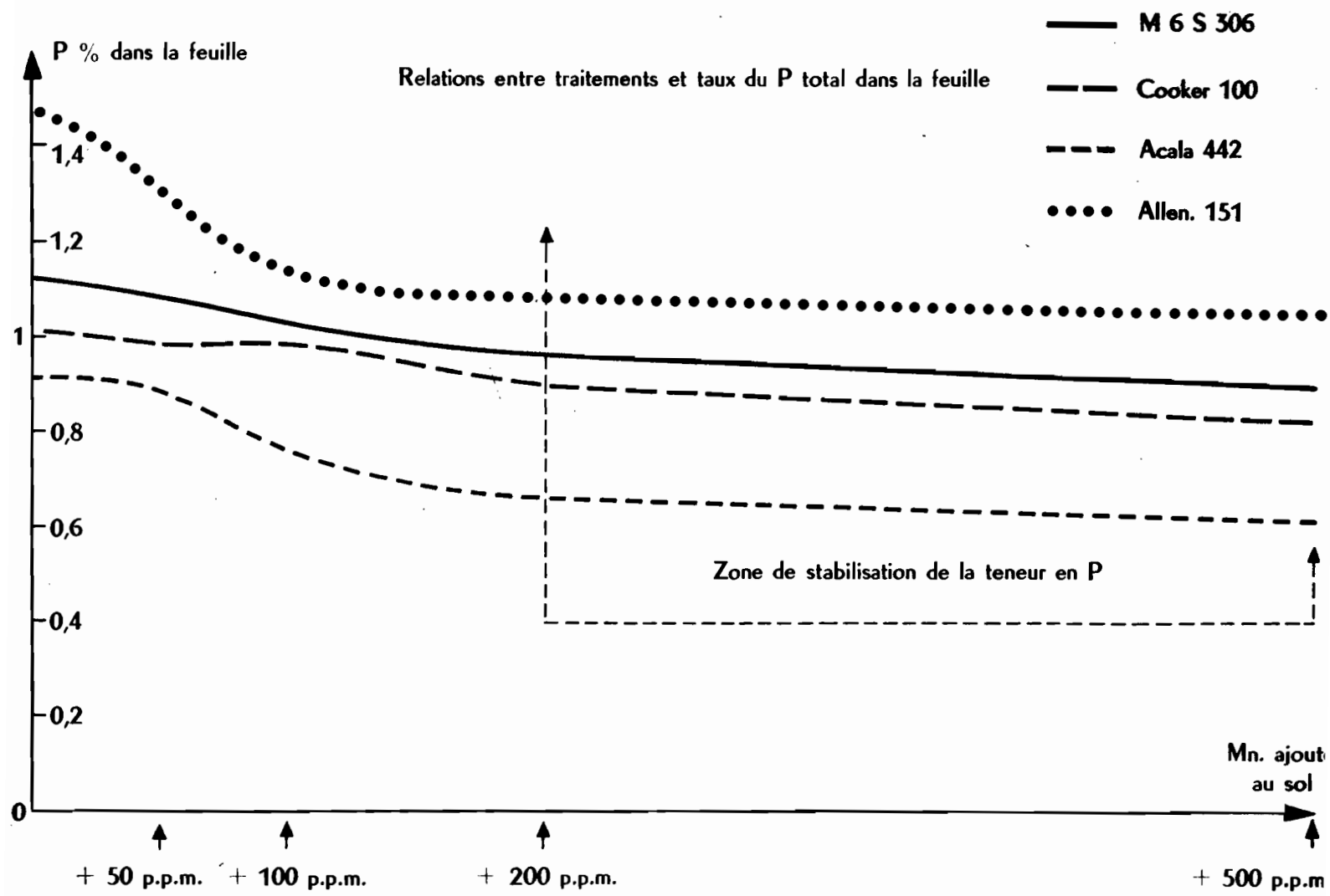


La diminution du taux de P en fonction des traitements, est importante. Entre des traitements extrêmes, soit les cultures témoins et les cultures ayant reçu 500 ppm de Mn, l'abaissement du taux de P atteint les valeurs suivantes :

Acala 442	- 30 %
M6-S-306	- 20 %
Allen 151	- 20 %
Cooker 100	- 12 %

Le graphique 8 montre la relation entre les variations de la teneur en P dans les feuilles, et le traitement manganique du sol. On peut observer sur les courbes, pour les 4 variétés, deux zones différenciées. La première représente une chute rapide du taux de P jusqu'aux traitements correspondant à un apport de 200 ppm de Mn au sol. Cet abaissement est plus brutal que celui observé pour l'azote; il est sensible même pour un faible apport de Mn dans le milieu. La deuxième zone a été qualifiée de zone de stabilisation de la teneur en P. Elle correspond toujours en fait à une diminution du Phosphore mais plus progressive que pour la première partie de la courbe. Cette zone coïncide sensiblement avec la zone de toxicité pour les quatre variétés. L'excès de Manganèse dans le milieu nutritif jouerait ainsi, au stade plantule, soit sur une diminution de la faculté d'absorption des ions PO_4 , soit la sélectivité d'absorption, ou sur la vitesse d'absorption du Mn par rapport à celle du P, dans les conditions de cette expérience, et pour le stade de croissance envisagé ici. Ce fait paraît devoir être étudié plus avant et nous essayons actuellement de déterminer la fraction du Phosphore qui, par rapport au Phosphore total, pourrait être plus particulièrement en cause en l'occurrence. Toutefois, comme dans le cas de l'azote, il faut signaler que cette diminution du taux de Phosphore peut aussi être en partie imputable aux conditions d'acidité du milieu, puisque un pH inférieur à 6 constitue déjà un facteur diminuant l'assimilabilité de cet élément par la plante, mais ceci ne saurait en être la raison principale, puisqu'il n'y a en fait pas de différences sensibles entre les deux variétés cultivées à pH 4,8, et les deux cultivées à pH 5,6.

GRAPHIQUE N° 8



GRAPHIQUE N° 9

P % dans les feuilles

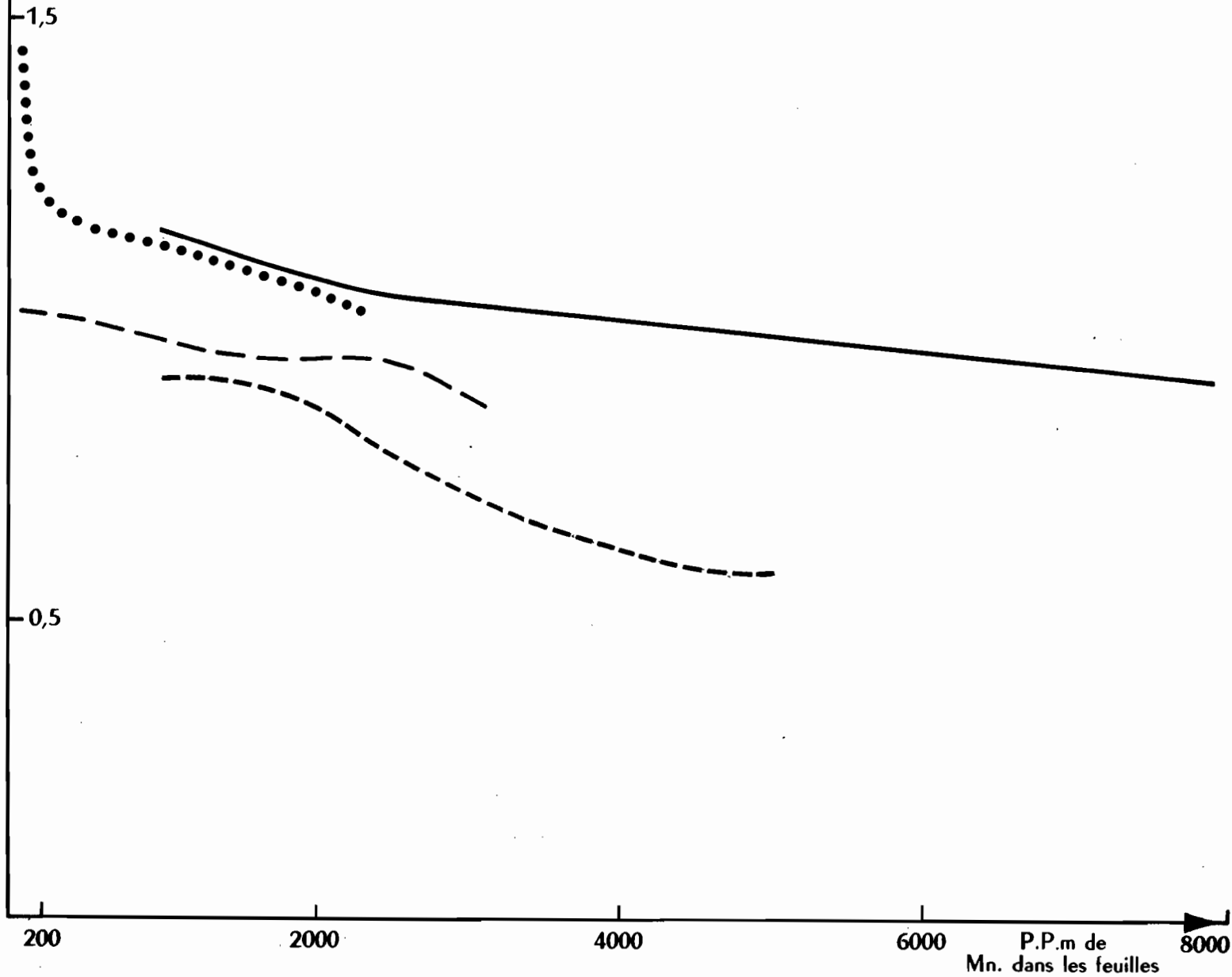
— M 6 S 306

•••• Allen. 151

- - - Acala 442

- - - Cooker 100

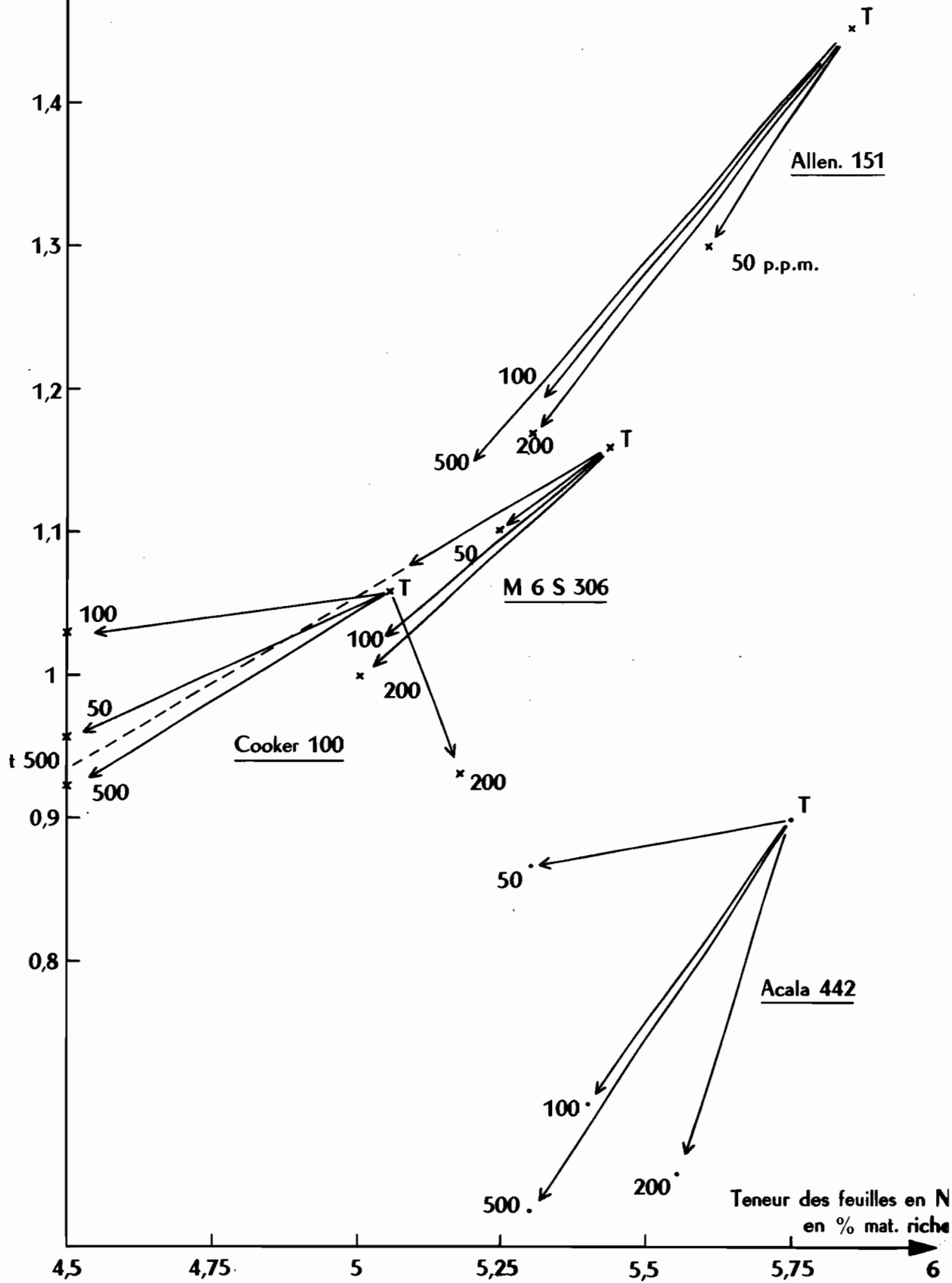
Sens d'évolution des teneurs en P des feuilles de plantules de Coton en fonction de l'augmentation de leur taux de Manganèse.



GRAPHIQUE N° 10

Teneur des feuilles
en P en % mat. riche

Evolution de la corrélation N-P
pour les divers traitements par rapport aux témoins



D. Evolution des teneurs en Cations.

- POTASSIUM.

Les taux de K dans les feuilles sont déterminés par photométrie de flamme dans le mélange butane - air.

Traitement	Sol à pH = 4,8		Sol à pH = 5,6	
	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	2,88	2,15	2,82	2,80
+ 50 ppm	2,21	2,16	2,96	2,55
+ 100 ppm	2,30	2,16	2,61	2,89
+ 200 ppm	2,87	2,16	2,43	2,48
+ 500 ppm	2,83	2,43	2,51	2,37
Potassium exprimé en g. pour 100 g. de matière sèche				

Les valeurs du Potassium varient relativement peu pour chaque variété, quel que soit le traitement. L'absorption de cet élément n'est donc pas affectée, même lorsque la plante présente de très fortes teneurs en manganèse, et que les symptômes de toxicité sont déjà bien apparents.

- CALCIUM.

Le calcium est déterminé également par photométrie de flamme (mélange acétylène-air).

Les valeurs observées pour les divers traitements, sont exprimées dans le tableau suivant :

Traitement	Sol à pH = 4,8		Sol à pH = 5,6	
	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	4,43	4,74	4,26	5,87
+ 50 ppm	4,82	4,80	4,49	5,10
+ 100 ppm	4,50	5,33	4,84	5,22
+ 200 ppm	4,40	5,25	5,37	5,15
+ 500 ppm	3,80	5,28	5,59	5,13
Calcium exprimé en g. pour 100 g. de matière sèche				

Les différences variétales dans la teneur en Calcium sont très nettes. La variété Acala 442 manifeste un antagonisme Mn - Ca, alors que l'Allen 151 et le M6-S-306 présentent une corrélation positive entre ces deux éléments. Les variations relatives des pourcentages en Calcium pour les 4 variétés sont les suivantes, entre les traitements extrêmes :

Acala 442	- 15 %
M6-S-306	+ 10 %
Allen 151	+ 26 %
Cooker 100	- 14 %

Les différences dans les teneurs en Ca apparaissent à priori aberrantes. L'Allen 151, variété la plus résistante, présente une très forte corrélation positive entre Mn et Ca. Il doit s'agir vraisemblablement d'une question de vitesse dans la sélectivité de l'absorption qui est propre à chaque variété, pour le stade de développement des plantules envisagé ici.

L'antagonisme habituellement observé entre Mn et Ca n'apparaît que pour deux des variétés. Cependant, sur les quelques plantes soumises à un traitement de 800 ppm, dont il a déjà été question plus haut, l'analyse des feuilles a toutefois donné les résultats suivants pour les teneurs en Ca : variété M6-S-306 = 3,32 %, d'où une importante diminution du Ca, alors que les valeurs deviennent 5,10 % pour l'Allen 151 et 5,00 % pour Cooker 100, soit une tendance à l'abaissement du taux de Ca.

Cet antagonisme est donc en fait une réalité, mais il apparaît plus ou moins tardivement suivant les variétés.

- MAGNESIUM.

Le Magnésium dosé par complexométrie, présente les valeurs suivantes :

Traitement	Sol à pH = 4,8		Sol à pH = 5,6	
	Acala 442	M6-S-306	Allen 151	Cooker 100
Témoin	0,81	0,66	0,62	0,47
+ 50 ppm	0,77	0,66	0,68	0,60
+ 100 ppm	0,72	0,67	0,60	0,55
+ 200 ppm	0,69	0,71	0,66	0,67
+ 500 ppm	0,69	1,00	0,71	0,73
Mg exprimé en g. pour 100 g. de matière sèche				

Pour la variété Acala 442, la corrélation Ca-Mg est nettement positive. Mais, à l'inverse des trois autres variétés, ses teneurs en ces deux cations diminuent sensiblement avec l'accroissement de la teneur en Mn des feuilles. Nous avons vu que pour cette variété, l'antagonisme $Mn \rightleftharpoons Ca$ est aussi caractéristique.

Pour M6-S-306, la corrélation Mg-Ca reste positive, mais ces deux cations tendent à augmenter quand les feuilles s'enrichissent en Mn. La variété Allen 151 a le même comportement que M6-S-306.

Chez Cooker 100 seulement, la corrélation Mg-Ca n'est pas positive à ce stade, puisque nous avons vu que le Calcium tendait à diminuer avec les traitements manganiques, tandis que le Magnésium augmente comme pour Allen 151 et M6-S-306. Toutefois, il semble que l'on puisse retenir une tendance à une corrélation positive entre le Mn et le Mg, dans le cadre de cette expérience et pour le stade de croissance auquel elle est limitée.

- EQUILIBRE CATIONIQUE.

L'équilibre K - Ca - Mg dans la somme totale des cations rapportée à 100, dont la représentation trilinéaire est figurée sur les graphiques 11, 12, 13 et 14 montre que la répartition des divers points demeure sensiblement homogène dans son ensemble pour les quatre variétés. Sauf pour Acala 442, où K et Ca correspondent à une zone légèrement plus étalée, l'ensemble des points reste groupé et relativement peu différencié des points correspondant au témoin. En outre, dans la somme K + Ca + Mg, la valeur du Mg reste toujours inférieure à 10 %, à une exception près pour M-S-306 où Mg est un peu supérieur à 11 % dans le cas du traitement fortement toxique.

D'une manière générale, l'équilibre cationique ne paraît pas se différencier particulièrement entre les témoins, et l'ensemble des traitements manganiques ayant ou non provoqué des manifestations de toxicité.

Dans le cas de la variété Allen 151, on constate comme pour les autres que la valeur du Mg dans la somme des cations reste très sensiblement analogue, quel que soit le traitement manganique appliqué. Le pourcentage de calcium, toujours par rapport à la somme des cations, prend les valeurs suivantes :

GRAPHIQUE N° 11

Equilibre K - Ca - Mg

Variété Acala 442

- Témoin
- ◎ 50 p.p.m.
- ◐ 100 p.p.m.
- ✕ 200 p.p.m.
- 500 p.p.m.

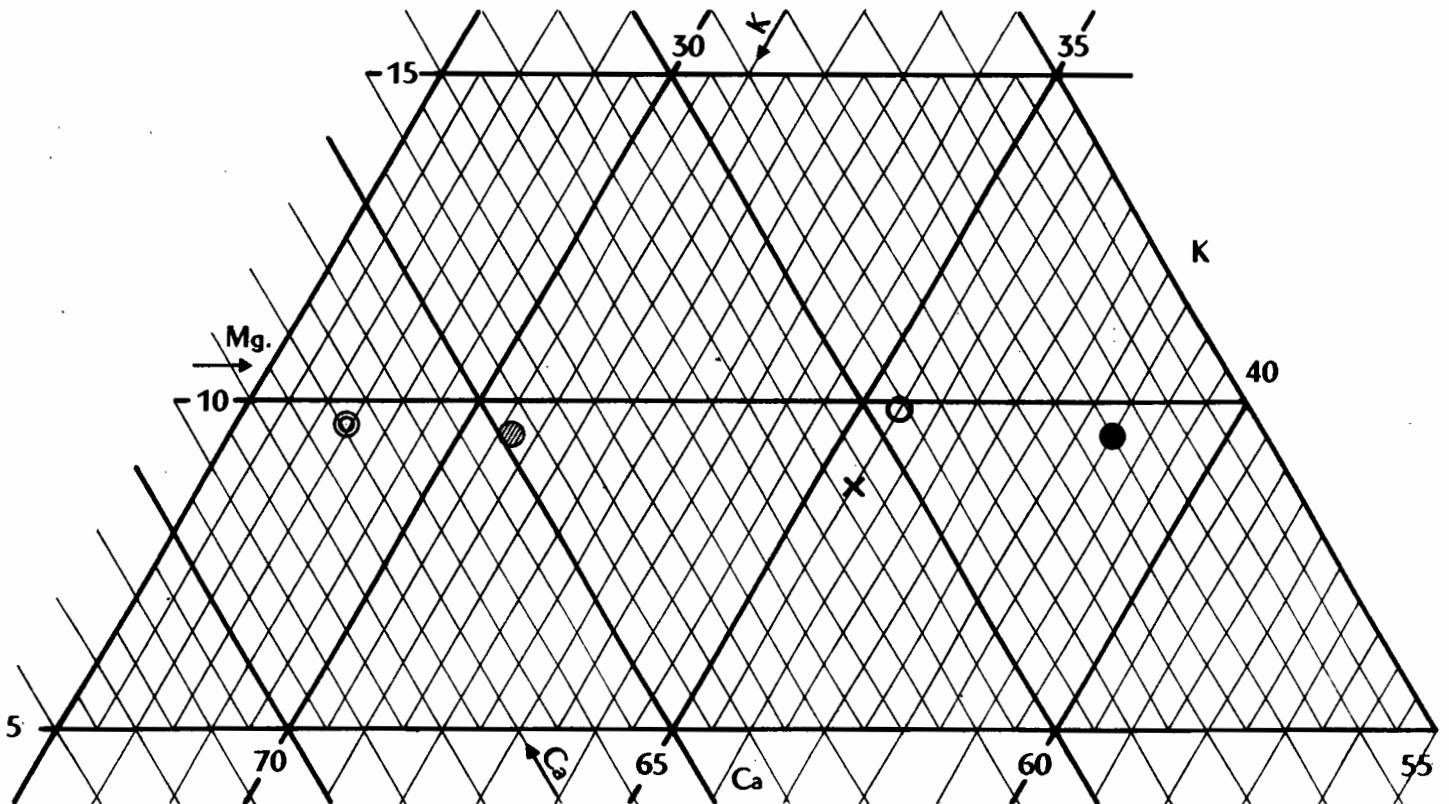
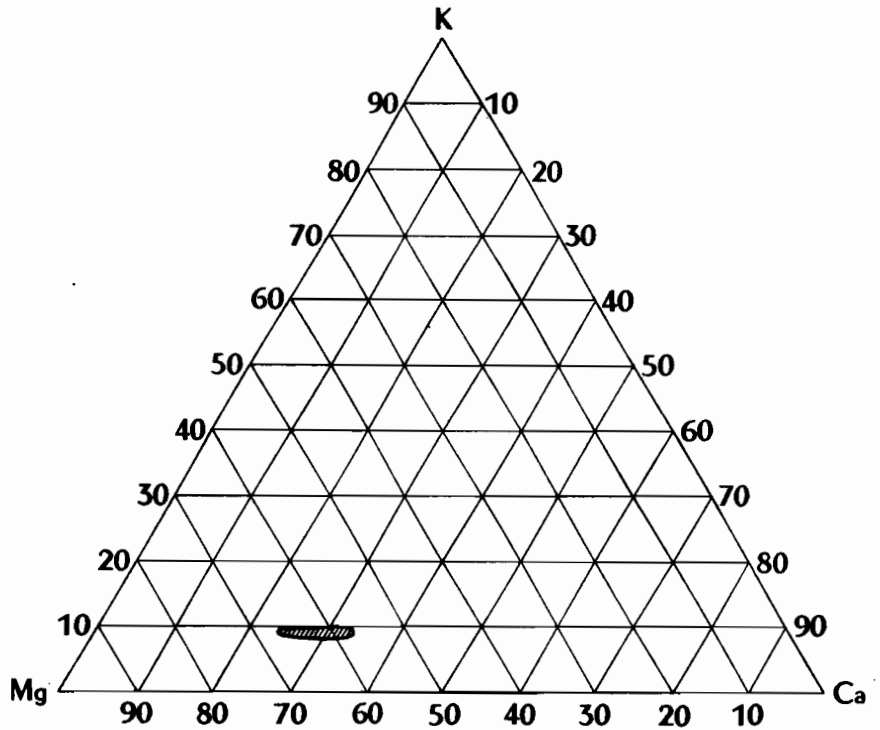


fig. agrandie 10 fois

GRAPHIQUE N° 12

Équilibre K - Ca - Mg

Variété M 6 S 306

- Témoin
- ⊙ 50 p.p.m.
- 100 p.p.m.
- × 200 p.p.m.
- 500 p.p.m.

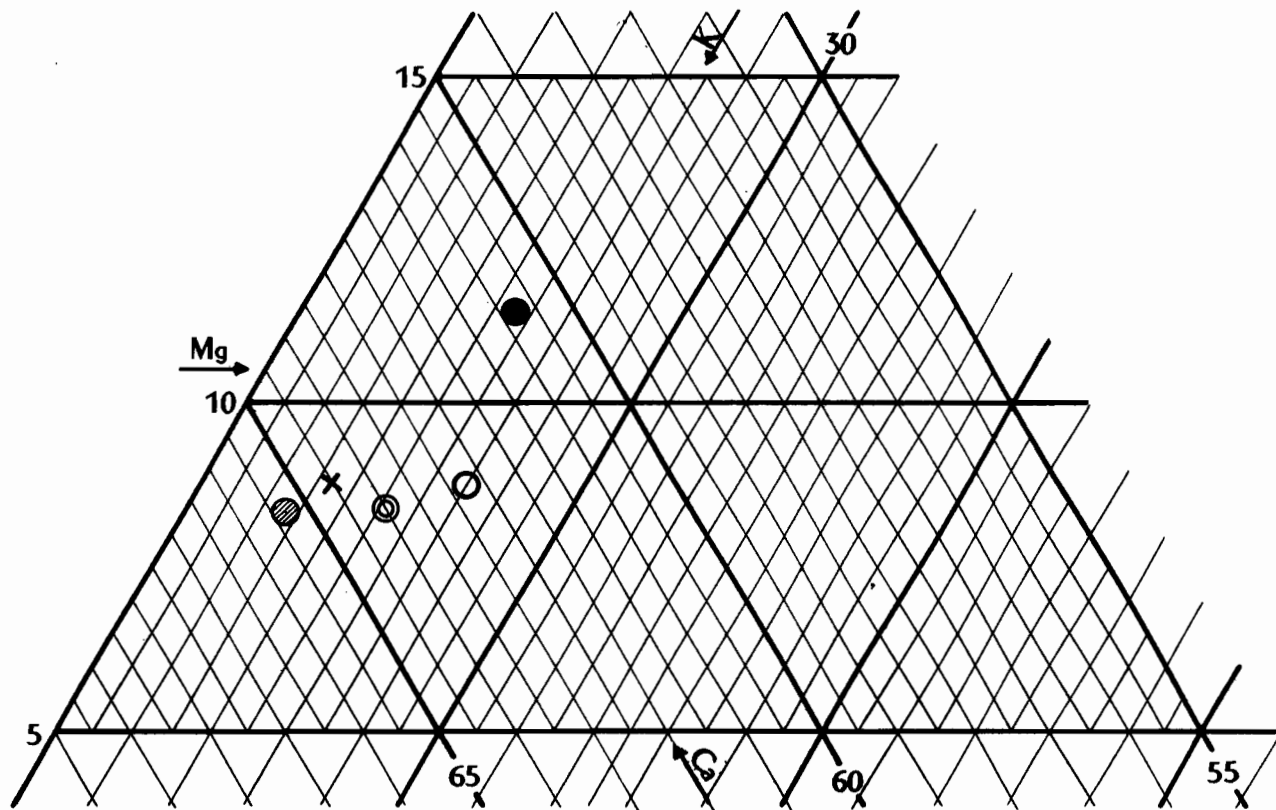
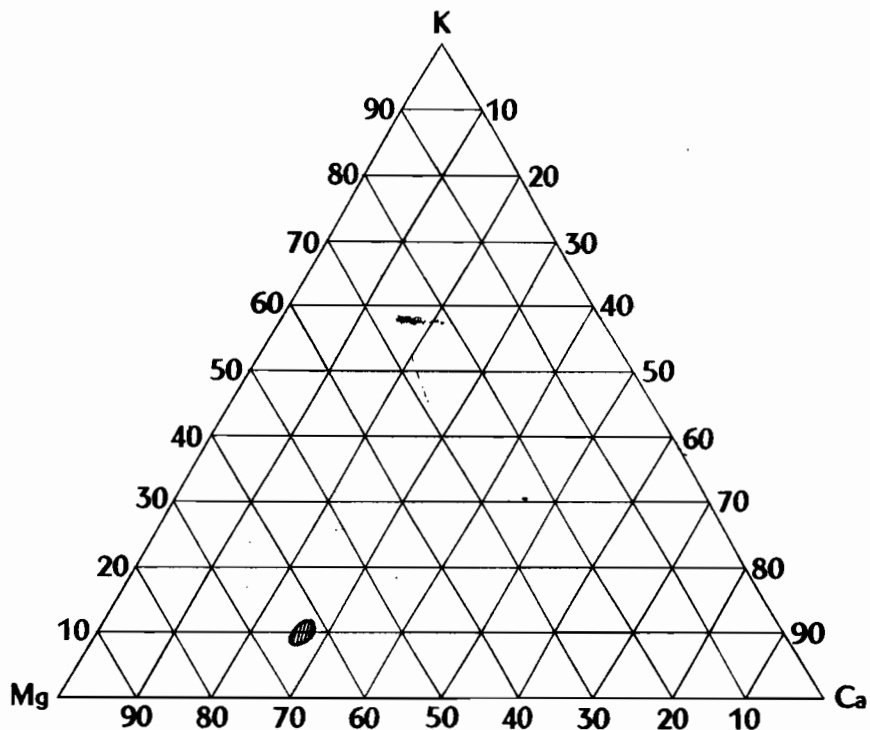


fig. agrandie 10 fois

GRAPHIQUE N° 13

Équilibre K - Ca - Mg

Variété Allen. 151

- Témoin
- 50 p.p.m.
- 100 p.p.m.
- × 200 p.p.m.
- 500 p.p.m.

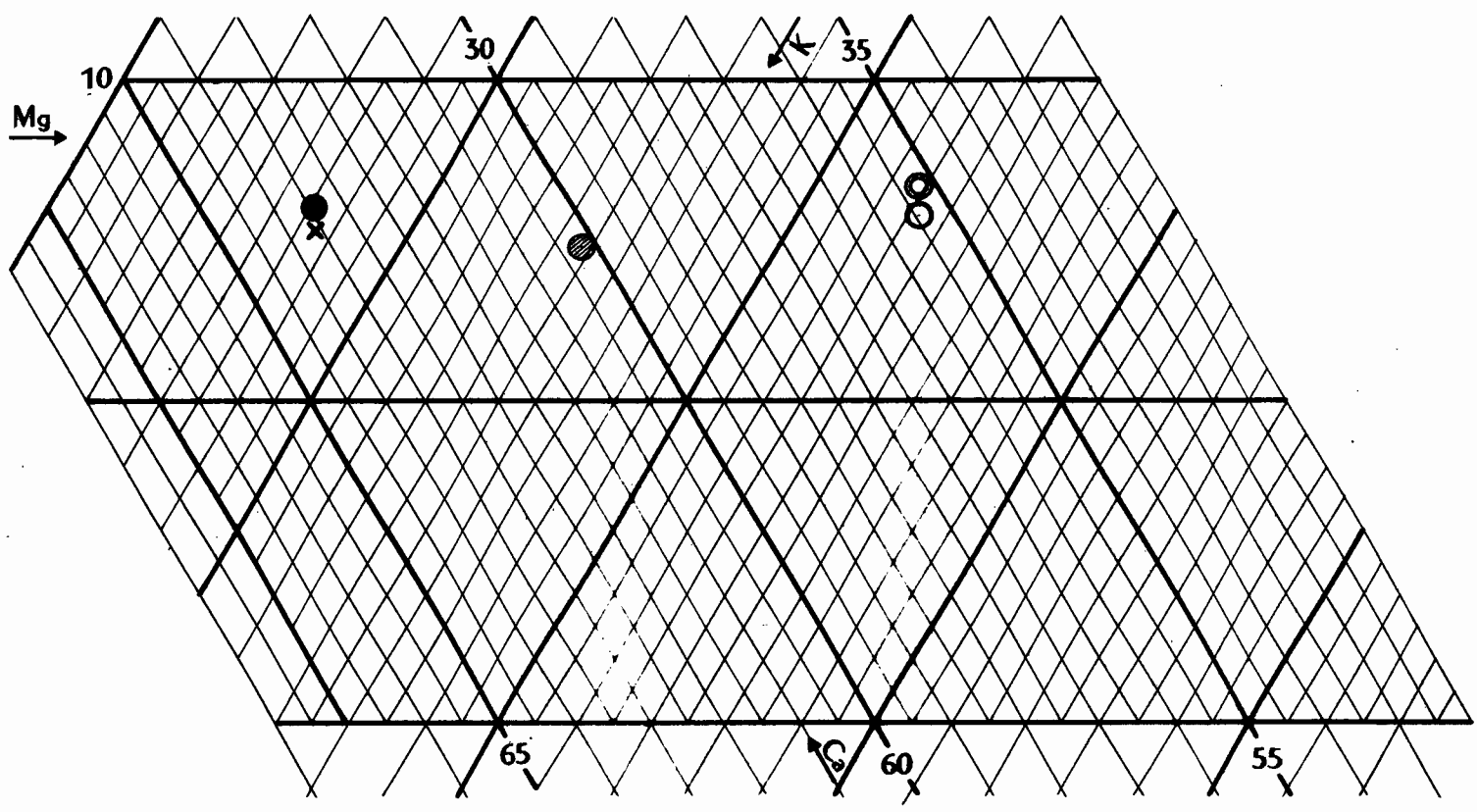
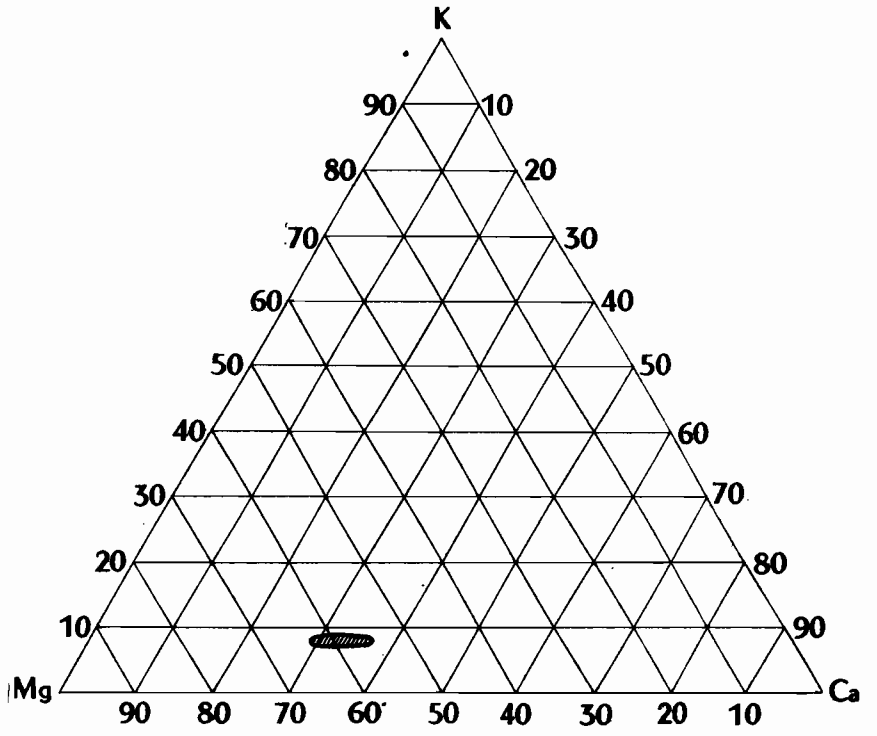


fig. agrandie 10 fois!

GRAPHIQUE N° 14

Equilibre K - Ca - Mg

Variété Cooker 100

- Témoin
- ⊙ 50 p.p.m.
- 100 p.p.m.
- × 200 p.p.m.
- 500 p.p.m.

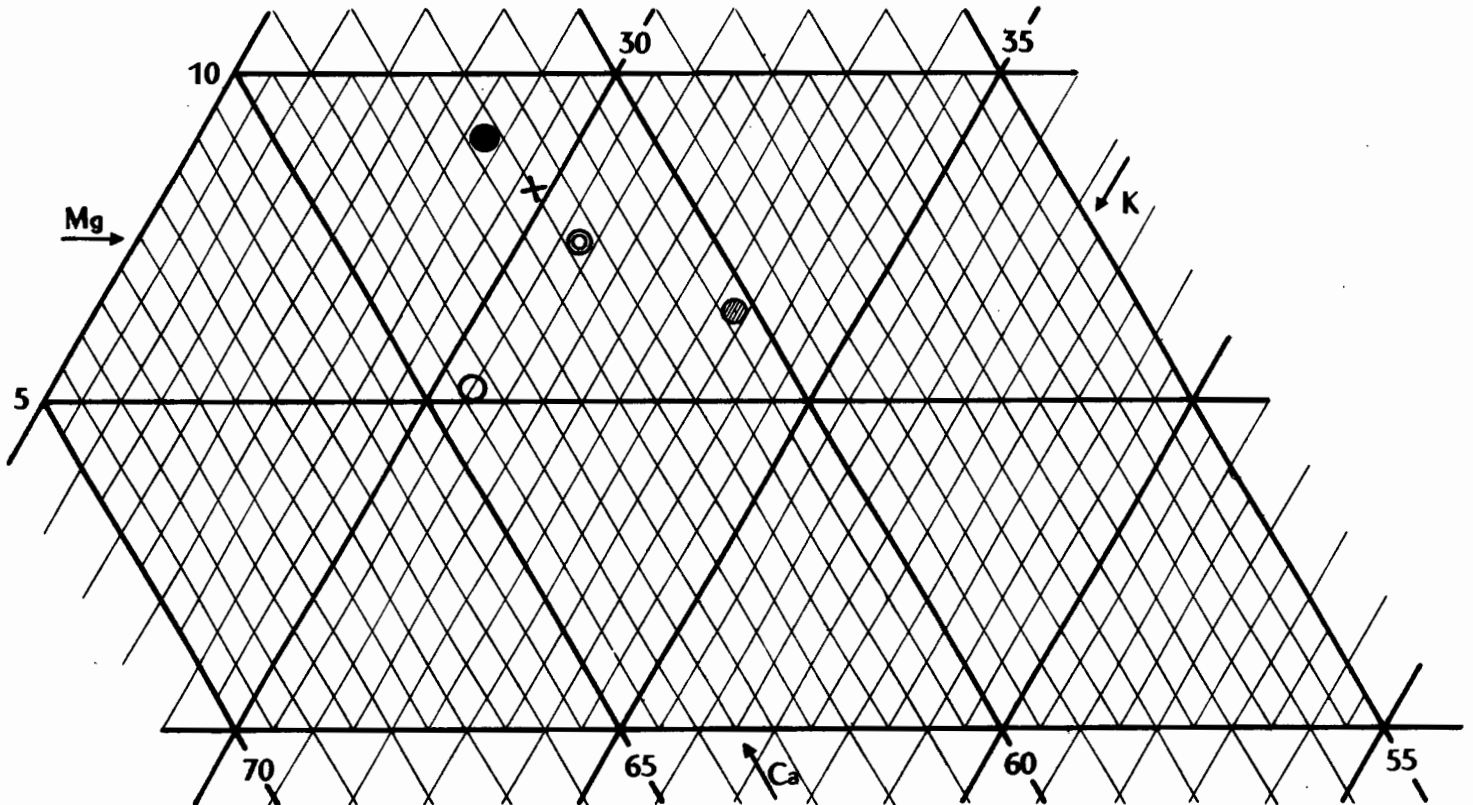
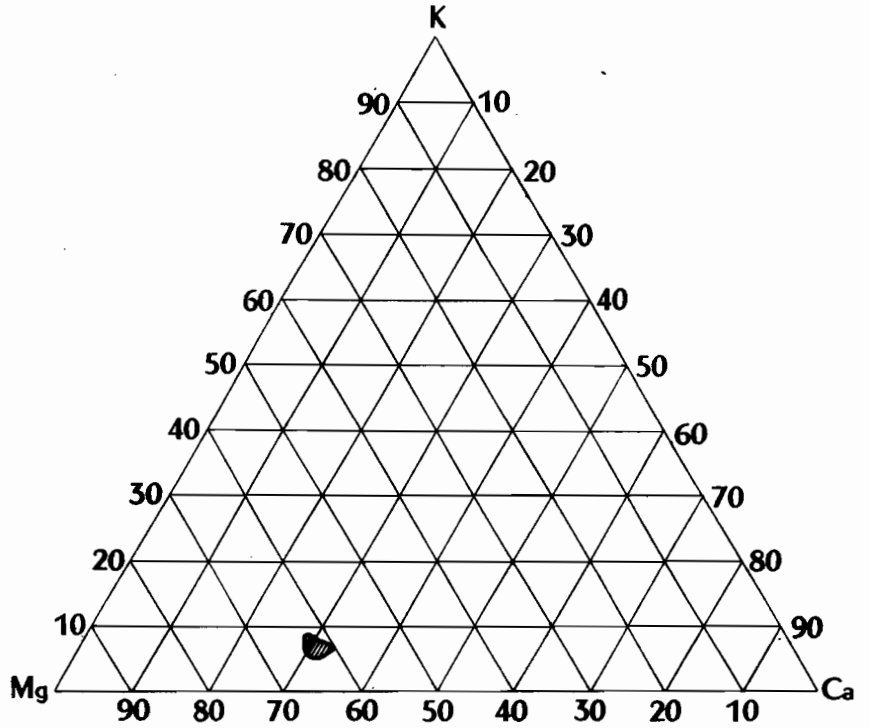


fig. agrandie 10 fois

- 55 % pour les témoins et les traitements apportant 50 ppm de Mn
- 60 % pour les traitements apportant 100 ppm
- 65 % pour les traitements apportant 200 et 500 ppm . Le Potassium, lui, varie en sens inverse :
- 37 % pour les témoins et les traitements apportant 50 ppm de Mn
- 32 % pour les traitements apportant 100 ppm
- 25 % pour les traitements apportant 200 et 500 ppm.

L'enrichissement en Mn des plantules est ici lié à une diminution du K et une augmentation du Ca par rapport à la somme des cations.

Ces variations relatives entre K et Ca dans l'équilibre cationique ne sont pas observées pour les autres variétés.

CONCLUSIONS.

L'absorption des oligo-éléments par les racines des plantes ne dépend pas seulement de la quantité de ces éléments présente à l'état assimilable dans le sol, mais aussi de diverses conditions de milieu parmi lesquelles, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, la nature et les proportions des microorganismes, l'activité microbienne, etc... Elle dépend aussi de la composition du sol en éléments minéraux, donc de la nutrition minérale globale.

Le problème de l'état des éléments minéraux dans la plante est aussi important. Par l'étude du Mn 54, WILLIAMS (1957) a montré qu'une teneur de 1.000 ppm de Mn dans la feuille d'orge, qui est normalement toxique, devient indifférente si on fait absorber en même temps de la silice à la plante. Dans ce cas, il est distribué uniformément dans la feuille, alors que sans silice, il est concentré dans de petites zones qui correspondent aux taches nécrotiques observées sur la feuille. Il est ainsi vraisemblable que le Mn forme avec la silice des composés qui le rendent inactif. Dans la plante, le Mn peut également former des complexes avec les substances organiques (BECKWITH, 1955). On peut aussi le retrouver sous des états très différents,

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

- ADAMS, F. et WEAR, J.I.- Manganese toxicity in relation to crinkle leaf of cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1957, t. 21, p. 305-308.
- BERTRAND, D.- Hypothèse sur le mécanisme d'action des métaux dans les systèmes enzymatiques. Ind. alim. Agric. Fr. 1962, t. 79, n° 4, p. 303-309.
- COPPENET, M. et CALVEZ, J.- Observation d'un cas d'intoxication manganique de la pomme de terre sur sol très acide. C.R. Ac. Ag. Fr., 1960, t. 46, n° 12, p. 728-733.
- DESSUREAUX, L.- The reaction of lucerne seedlings to high concentrations of manganese. Plant and Soil. 1960, t. 13, p. 114-122.
- HEWITT, E.J.- Rôle des éléments minéraux dans la nutrition végétale. Ann. Rev. Plant Phys. (U.S.A.), 1951, n° 2, p. 25-52.
- HEWITT, E.J.- Relation to manganese and some other metals to the iron status of plants. Nature. 1948, t. 161, p. 489.
- JENNINGS, D.H.- The absorption of solution by plant Cells. 1963.
- JONES, L.H.P.- The relative content of manganese in plants. Plant and Soil. 1957, t. 8, n° 4, p. 328-336.
- LEVEQUE, L.A. et BELEY, J.- Contribution to the study of the mineral nutrition of groundnut. Agron. Trop., Paris, 1959, t. 14, p. 657-710.
- LOHNIS, M.P.- Effect of Mg and Ca supply on the uptake of Mn by various crop-plants. Plant and Soil, Netherl. 1960, t. 12, n° 4, p. 339-376.
- MEGIE, A.- Estimation du manganèse du sol en rapport avec les phénomènes de toxicité. Coton et Fibres Tropicales. 1958, t. XIII, fasc. 3.
- DIDIER BERTRAND.- "La loi de l'optimum de concentration et son utilisation pratique". Communication au Colloque Européen sur la Nutrition minérale. (Sept. 1964 - Montpellier).

- REES, W.J. et SIDRAK, G.H.- Inter-relationship of aluminium and manganese toxicities towards plants. *Plant and Soil*, 1961, XIV, n° 2.
- RICH, C.I.- Manganese content of peanut leaves as related to soil factors. *Soil Science*. 1956, t. 82, p. 353-363.
- STERMEYER, B.E. et BERGER, K.C.- Histological structure of potatoes stems and leaves as influenced by manganese toxicity. *Plant Physiologie*. 1950, t. 25, p. 114.
- WILLIAMS, D.E. et VLAMIS, J.- Manganese toxicity in standard culture solutions. 1957, *Plant and Soil* n° 8, p. 183-193.