

Comportement à l'égard de différentes concentrations du manganèse dans le milieu d'une espèce sensible (*Arachis hypogea* L.) et d'une espèce tolérante (*Zea mays* L.)

Renée BÉNAC

Physiologiste de l'ORSTOM

Services Scientifiques Centraux,
70-74 route d'Aulnay, 93 Bondy

RÉSUMÉ

Arachis hypogea L. et *Zea mays* L., cultivés pendant un cycle complet de végétation sur solution de Hoagland, plus ou moins enrichie en Mn, ont un comportement très différent :

— L'Arachide est plus sensible au Mn que le Maïs : pour provoquer chez le Maïs les mêmes diminutions du poids de récolte (plante entière ou fruits) que chez l'Arachide, il faut des concentrations en Mn cinq à vingt fois plus élevées.

— A concentration égale dans le milieu, l'Arachide absorbe plus de Mn que le Maïs.

— Chez l'Arachide, le Mn migre facilement vers les feuilles où le taux se trouve rapidement plus élevé que dans les autres organes. Chez le Maïs, au contraire, on constate une certaine rétention du Mn dans les racines et même, en fin de végétation, dans les tiges.

— Le Maïs, enfin, tolère mieux que l'Arachide la présence de quantités relativement importantes de Mn dans ses tissus : quand le taux du Mn dans les feuilles est de l'ordre de 10 p. 1 000, le Maïs produit 46 % de la récolte du témoin et l'Arachide 15 %. De plus les limbes du Maïs sont à ce taux parfaitement sains, alors que les feuilles de l'Arachide présentent de nombreuses nécroses pour un taux inférieur à 4 p. 1 000.

ABSTRACT

Arachis hypogea L. and *Zea mays* L. were grown during a complete cycle of vegetation on Hoagland's nutrient solution with Mn concentrations varying over a wide range (10, 20, 40, 80 and 160 ppm for Ground-nut; 50, 100, 200, 400 and 800 ppm for Maize). Results show that :

1. Ground-nut is more sensitive than Maize to high Mn concentrations : it stops bearing fruits and even flowering at Mn concentrations over 80 ppm whereas Maize still producing seeds (20 % of the production by the control plants) at 800 ppm. Necrotic patterns occur on Ground-nut leaves after 10 days at 160 ppm and after 18 days at 40 ppm; Maize leaves do not develop pathological symptoms after 90 days at 800 ppm. With Maize Mn concentrations 5 to 20 times higher than with Ground-nut are needed in order to obtain similar decreases in total plant weight or fruit weight.

2. At concentrations of the same order absorption of Mn is higher by Ground-nut than by Maize : after 19 days absorption was resp. 58 mg Mn g⁻¹ dry root (at 40 ppm) and 19 mg (at 50 ppm). At increasing Mn concentrations absorption by Ground-nut increases faster than absorption by Maize. A limit is attained with Ground-nut at 80 ppm, probably owing to plant damage; with Maize absorption still increasing with Mn concentration up to 800 ppm.

3. Strong translocation from roots to leaves occurs in Ground-nut. In this plant the highest Mn concentration is always observed in Maize roots and stems towards the end of the experiment.

INTRODUCTION

On sait depuis longtemps que le Mn devient toxique pour les plantes lorsqu'il est absorbé en grandes quantités. Conséquence de l'acidification des sols libérant cet élément à l'état divalent (alors qu'à pH plus élevé il est retenu sous des formes plus oxydées non assimilables), cette toxicité a posé de réels problèmes agronomiques tant en zones tempérées qu'en zones tropicales (Olsen, 1936 ; Ollagnier et Prévot, 1955 ; Franquin, 1958).

La sensibilité au manganèse varie considérablement d'une espèce à l'autre et même d'une variété à l'autre : la Légumineuse *Lespedeza* voit sa croissance ralentie à partir d'une concentration dans le milieu de 0,5 ppm, alors qu'il faut au moins 100 ppm dans les mêmes conditions pour diminuer celle de l'Orge (Morris et Pierre, 1949 ; Gupta, 1972).

Une plus grande tolérance à l'égard du manganèse correspondrait, suivant les auteurs, soit à une capacité d'absorption réduite (Lohnis, 1954), soit à une faible migration vers les parties aériennes (Millikan, 1961),

soit enfin à une plus grande résistance à l'égard de fortes doses internes (Mulder et Gerretsen, 1952).

Les données expérimentales dont on dispose pour étayer ces hypothèses sont encore très incomplètes.

Nous nous sommes donc proposé d'étudier l'absorption et la répartition du manganèse en fonction de sa concentration dans le milieu chez deux plantes cultivées de grande importance économique : l'*Arachis hypogea* L. considérée comme sensible, le *Zea mays* L. beaucoup plus tolérant.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES.

Nous avons utilisé l'Arachide var. Bambey 28.204 et le Maïs var. INRA 260.

Les plantes ont été cultivées sur sable grossier, en pots « Riviera », en présence d'une solution nutritive dont la composition est indiquée par le tableau I. (Trois plantes et 10 l de solution par pot, percolation à liquide récupéré, irrigation de 9 h à 17 h, aération le reste du temps ; renouvellement de la solution : tous les dix jours en début de culture, deux fois par semaine en fin de végétation).

TABLEAU I
COMPOSITION DE LA SOLUTION NUTRITIVE

macroéléments mé l ⁻¹				microéléments ppm	
				Zn	0,34
NO ₃ ⁻	15	K ⁺	6	Cu	0,07
PO ₄ H ₂ ⁻	1	Ca ⁺⁺	10	B	0,15
SO ₄ ⁻	2	Mg ⁺⁺	2	Mo	0,06
				Mn	0,18

Le fer apporté sous forme de chlorure ferreux ammoniacal était présent à raison de 10 ppm de manière à maintenir un rapport Fe/Mn convenable même en présence de fortes doses de Mn (Ouellette, 1951).

Vingt sept jours après le semis, du manganèse était ajouté à la solution témoin de base (T) sous forme de Mn Cl₂, 4 H₂O, de manière à réaliser les gammes suivantes :

Arachide	T	10	20	40	80	160	ppm
Maïs	T	50	100	200	400	800	ppm

(Des apports de HCl 0,1 N permettaient d'avoir pour tous les traitements la même concentration en ions Cl⁻ 203 ppm pour l'Arachide, 1 018 pour le Maïs).

En cours de culture, le pH était maintenu entre 4,8 et 5,2 (Mn restant sous forme divalente jusqu'à pH 5,8) par addition de SO₄H₂ N/50.

Chaque traitement est répété six fois.

Les plantes ont été cultivées de juillet à novembre (éclairage : 12 h par jour au minimum ; température : 18 à 24° ; humidité relative : 40 à 60 %).

Le Mn est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique.

2. RÉSULTATS.

Les chiffres utilisés proviennent de trois récoltes faites six, dix et seize semaines après le semis, au bout de 15, 40 et 90 jours de traitement, avant la formation des fleurs, à la pleine floraison et après la maturation des fruits.

2.1. CROISSANCE, DÉVELOPPEMENT ET ASPECT DES PLANTES.

Le tableau II et la figure 1 rendent compte de l'évolution du poids de récolte des différents organes de la plante entière en fin de culture, en fonction de la concentration du Mn dans le milieu.

La diminution du poids de la plante entière par rapport au témoin est plus accusée chez l'Arachide que chez le Maïs.

Les fortes doses de Mn n'entraînent pas de retard à la floraison, mais, dès 40 ppm chez l'Arachide, certaines plantes ne forment plus de fleurs et sur 160 ppm aucune ne fleurit. En revanche, les épis femelles du Maïs produisent des graines jusqu'à 800 ppm.

Chez l'Arachide, des symptômes pathologiques — gaufrage et nécrose des folioles — apparaissent au bout de 11 jours sur 160 ppm, de 13 sur 80 ppm et de 18 jours sur 40 ppm. Les nécroses s'étendent ensuite aux pétioles, puis au bourgeon terminal. Aucun symptôme visible de toxicité ne se manifeste chez le Maïs aux concentrations utilisées, sauf peut-être à 800 ppm, concentration pour laquelle on observe une légère décoloration en bandes longitudinales des limbes.

L'Arachide se montre beaucoup plus sensible que le Maïs aux fortes doses de Mn.

2.2. ABSORPTION ET RÉPARTITION INTERNE DU MANGANÈSE.

2.2.1. Absorption par la plante entière.

Les quantités de Mn retenues par la plante entière peuvent, une fois rapportées à l'unité de poids de

TABLEAU II
POIDS DE RECOLTE DE MATIERE SECHE
(exprimé en grammes par plante)

Arachide

Traitements	Plante entière	Feuilles	Tiges + pétioles	Racines	Gynophores + gousses
T	51,2 *	14,6	12,6	1,81	22,2 **
10 ppm	59,4 *	15,7	16,6	2,85	24,2 **
20 "	36,8 *	10,8	12,6	2,33	11,0 **
40 "	20,4 *	7,00	8,20	1,78	3,41**
80 "	7,89*	2,82	3,56	1,13	0,38**
160 "	4,74*	2,14	1,80	0,81	0

* p p d s à P = 0,05 : 18,6

** p p d s à P = 0,05 : 8,00

Maïs

Traitements	Plante entière	Limbes	Graines + tiges	Racines	Fleurs mâles	Spathes + rachis	Graines
T	180,4 **	27,0	31,0	6,25	3,24	29,0	79,3 *
50 ppm	139,5 **	21,0	24,1	4,78	2,14	23,5	59,6 *
100 "	128,6 **	17,5	22,4	4,69	1,84	16,5	62,0*
200 "	101,9 **	17,2	25,9	4,94	1,28	16,6	31,3*
400 "	98,9 **	17,0	19,3	4,97	2,21	14,6	36,9 *
800 "	59,7**	13,9	12,9	3,83	1,30	9,11	16,1*

* p p d s à P = 0,05 : 32,3

** p p d s à P = 0,05 : 45,5

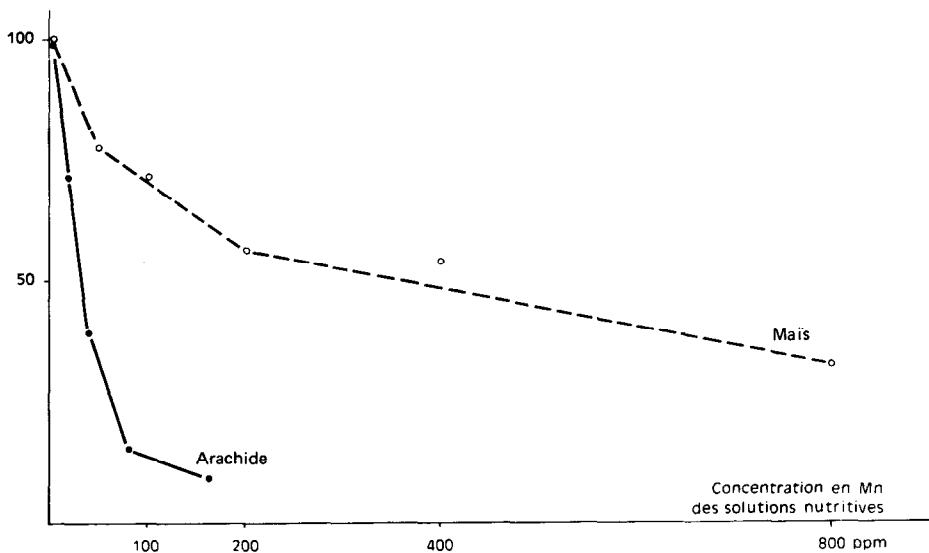


Fig. 1. — Poids de récolte de la plante entière par rapport au témoin = 100

matière sèche de racines, donner une information sur la capacité d'absorption des deux espèces pour cet élément.

Les résultats obtenus montrent que :

— Il y a peu de différences entre les deux plantes au traitement T ; après 15 jours, l'Arachide a absorbé 2,5 mg de Mn par g de racines sèches, le Maïs 2,6 ; après 40 jours, l'Arachide a absorbé 3,1 mg, le Maïs 2,0.

TABLEAU III
TAUX DU MANGANESE CHEZ L'ARACHIDE
(exprimé en mg. g⁻¹)

Traitements	Feuilles			Tiges + Pétioles			Racines			Gynophores	Gousses
	15j	40j	90j	15j	40j	90j	15j	40j	90j	90j	90j
T	0,17	0,27	—	0,15	0,23	—	1,63	0,44	—	—	—
10	1,38	1,41	5,70*	0,62	0,75	1,08*	4,13	1,83	3,68*	0,97	0,24
20	—	2,29	—	—	1,38	—	—	1,80	—	—	—
40	3,82	3,86	9,03**	1,96	2,26	3,25**	5,82	—	5,77**	1,37	0,45
80	4,63	6,37	—	—	3,65	—	6,19	2,25	—	—	—
160 ppm	5,91	9,59	—	3,95	5,84	—	6,52	3,49	—	—	—

*ppds à P = 0,05 : 1,31

**ppds à P = 0,05 : 1,38

TABLEAU IV
TAUX DU MANGANESE CHEZ LE MAÏS
(exprimé en mg. g⁻¹)

Traitements	Limbes			Gainés + Tiges			Racines		
	15j	40j	90j	15j	40j	90j	15j	40j	90j
T	0,10*	0,23	0,89	0,10*	0,17	0,18	1,27*	0,50	0,35
50	0,60*	1,18	2,78	0,36*	0,77	0,60	2,95*	2,20	3,27
100	0,70*	1,55	—	0,63*	1,77	—	4,09*	2,39	—
200	1,27*	3,19	7,19	1,31*	3,22	1,96	6,98*	9,57	11,4
400	1,84*	4,37	11,1	2,53*	6,43	3,83	9,56*	12,8	19,8
800 ppm	2,24*	6,12	—	4,52*	10,1	—	11,2*	17,5	—

*ppds à P = 0,05 : 1,12

— Aux traitements comparables (jusqu'à 200 ppm), les quantités de Mn absorbées augmentent beaucoup plus vite chez l'Arachide que chez le Maïs en fonction de la concentration en Mn dans le milieu :

après 15 jours :

Arachide 25,7 mg sur 80 ppm

Maïs 10,3 mg sur 100 ppm

après 40 jours :

Arachide 59,8 mg sur 160 ppm

Maïs 39,1 mg sur 200 ppm (voir fig. 2)

après 90 jours :

Arachide 57,3 mg sur 40 ppm

Maïs 19,3 mg sur 50 ppm.

— Chez le Maïs, aux trois stades étudiés, les quantités absorbées augmentent régulièrement jusqu'aux plus fortes concentrations expérimentées (800 ppm).

2.2.2. Taux dans les différents organes.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux III, IV et V.

TABLEAU V
TAUX DU MANGANESE
DANS LES ORGANES REPRODUCTEURS DU MAÏS
AU 90^e JOUR
(exprimé en mg. g⁻¹)

Traitements	Fleurs mâles	Spathes	Rachis	Graines
T	0,49	0,16	0,03	0,01
50	1,79	0,44	0,11	0,03
200	3,98	1,00	0,81	0,04
400 ppm	4,81	1,65	0,83	0,07

Ils montrent que :

— Chez les témoins, les taux diffèrent peu, avec une tendance à être plus faibles chez le Maïs. Les taux les plus élevés sont ceux des racines, au moins chez la plante jeune (15 et 40 jours de traitement).

— Quand la concentration en Mn augmente dans le milieu, les taux du Mn s'élèvent beaucoup plus vite chez l'Arachide que chez le Maïs : au stade jeune (après 15 jours de traitement) dans tous les organes, aux stades

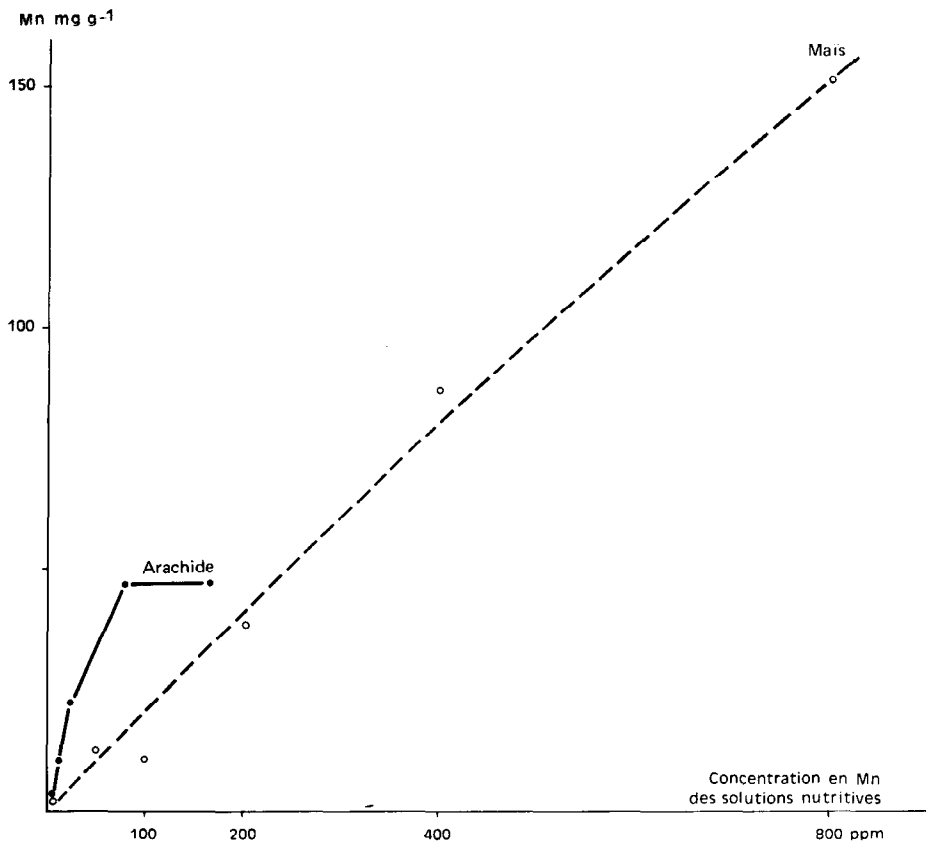


Fig. 2. — Absorption du Mn après 40 jours de traitement (exprimée en mg de Mn par g de matière sèche de racines)

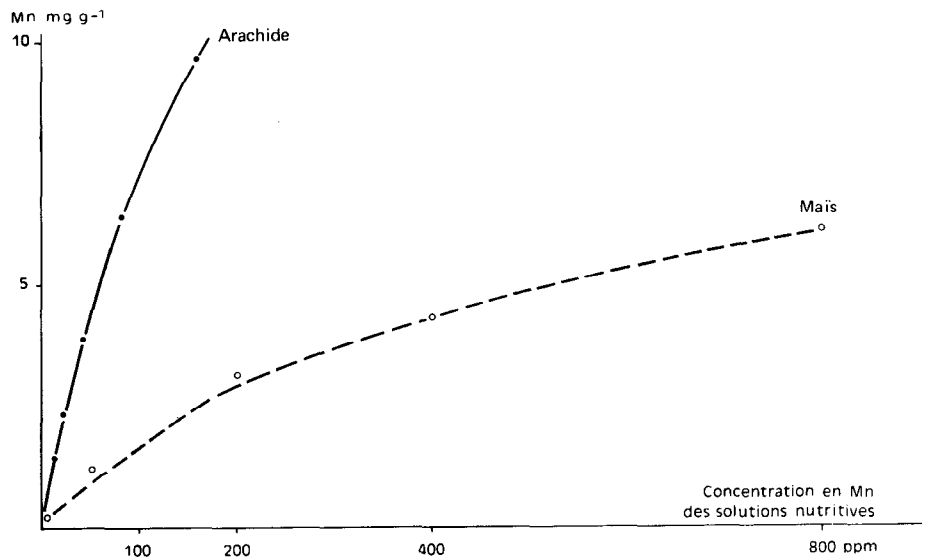


Fig. 3. — Taux du Mn dans les limbes après 40 jours de traitement

ultérieurs dans l'appareil aérien seulement. Les figures 3 et 4 illustrent bien cette différence entre les deux plantes : la courbe du taux de Mn dans les feuilles d'Arachide après 40 jours de traitement (fig. 3) a une

penste beaucoup plus forte que celle du Maïs, cette dernière montre en outre à partir de 200 ppm un changement de pente qui traduit une augmentation plus faible des taux.

La figure 4 montre très nettement le phénomène inverse dans les racines : les taux de Mn augmentent beaucoup plus fortement chez le Maïs que chez l'Arachide.

— La répartition entre les organes des quantités absorbées est différente chez les deux plantes : à 90 jours, l'Arachide sur 40 ppm, le Maïs sur 200, ont absorbé des quantités voisines de Mn, respectivement 5,7 et 4,8 mg par g de racines sèches ; les taux dans les différents organes en revanche sont bien différents (Tabl. III et IV) : plus élevés chez l'Arachide dans les feuilles que dans les racines, plus élevés chez le Maïs dans les racines que dans les feuilles et deux fois plus forts dans les racines du Maïs que dans celles de l'Arachide. La figure 5 représente la répartition du Mn entre les organes de l'Arachide sur 40 ppm, du Maïs sur 400, doses pour lesquelles le poids de la plante est à peu près la moitié de celui du témoin ; le taux du Mn dans les racines du Maïs est nettement plus élevé.

Contrairement à ce qui se passe chez le Maïs, les

taux du Mn dans les racines de l'Arachide n'augmentent pas en fonction du temps, si bien qu'à partir du 40^e jour, le taux des feuilles est supérieur à celui des racines, contrairement à ce qui se passe chez le Maïs.

— L'accroissement des taux par rapport au témoin reste chez l'Arachide toujours plus élevé dans les feuilles que dans les autres organes aériens. Chez le Maïs, au contraire, il reste relativement faible dans les limbes et augmente beaucoup dans les tiges. Ainsi, au 90^e jour, sur 400 ppm, le taux des limbes est 12 fois plus élevé que chez le témoin, celui des gaines 21 fois, celui des racines 56 et celui des tiges 83 fois.

3. DISCUSSION.

Le comportement à l'égard du Mn du Maïs, très tolérant, et de l'Arachide, beaucoup plus sensible, diffère à plusieurs niveaux.

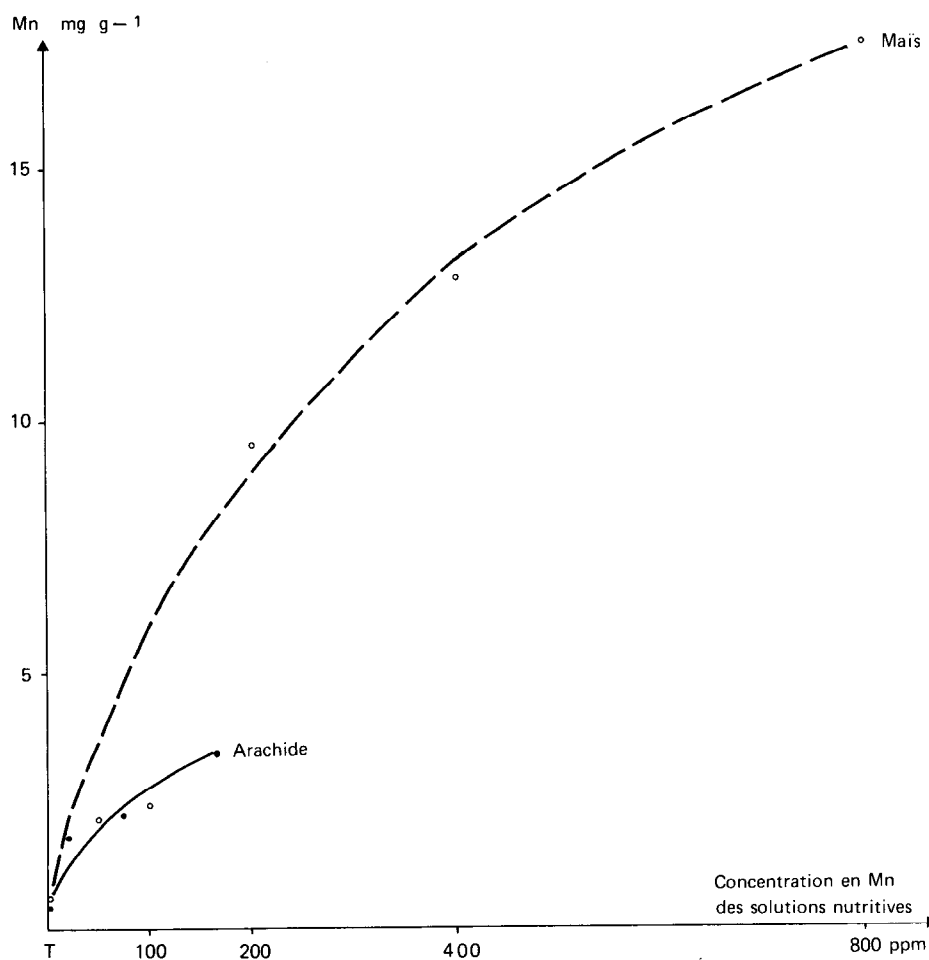


Fig. 4. — Taux du Mn dans les racines après 40 jours de traitement

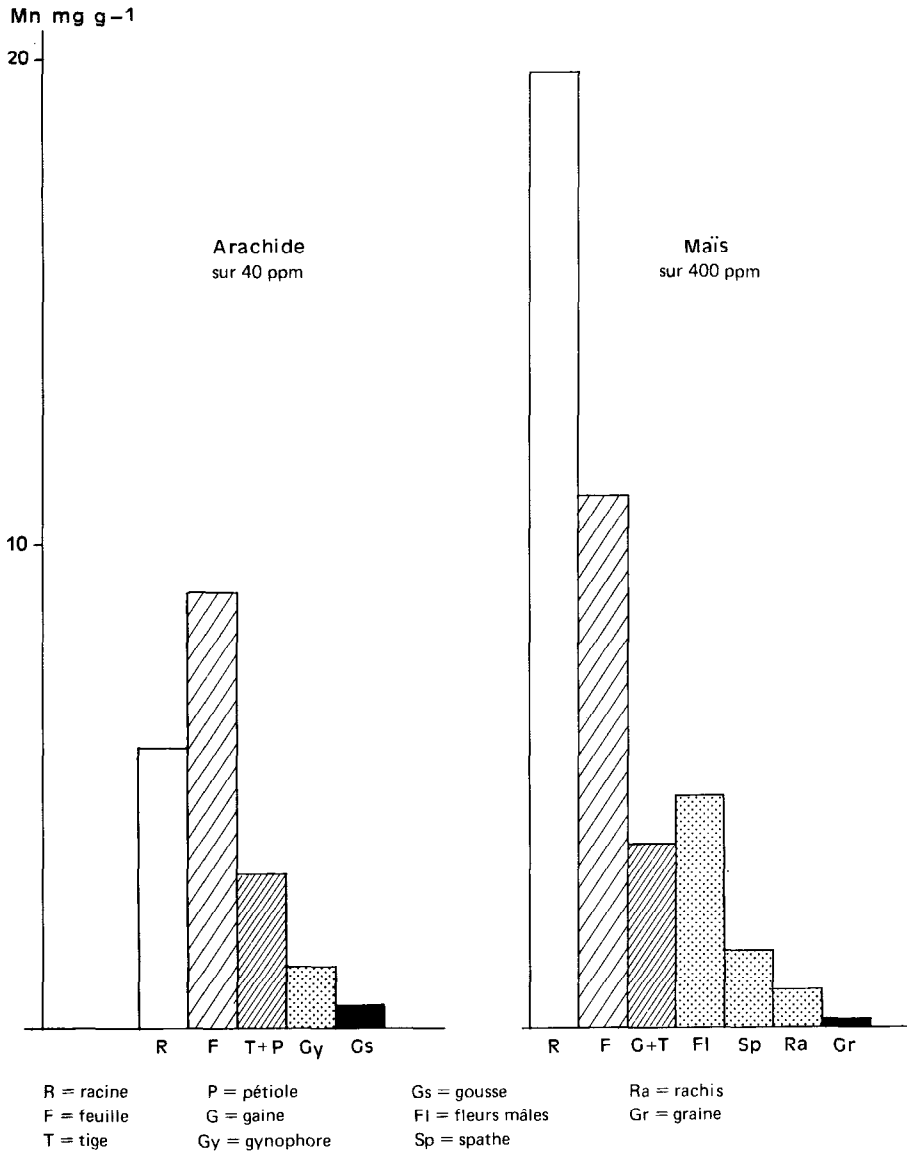


Fig. 5. — Taux du Mn dans les différents organes après 90 jours de traitement

3.1. A concentration égale dans le milieu, le Maïs absorbe moins de Mn que l'Arachide (fig. 2).

Les résultats obtenus sont en bon accord sur ce point avec ceux de Ouellette et Génereux (1965) comparant six variétés de pomme de terre ; ils ont montré que les plus tolérantes au Mn étaient celles qui en absorbaient le moins.

3.2. Le Maïs, de plus, et contrairement à l'Arachide, paraît capable de limiter dans une certaine mesure l'accès du Mn aux feuilles, comme l'indiquent les taux

très élevés enregistrés dans les racines, puis aussi dans les gaines et tiges (Tabl. IV, fig. 3 et 4).

Le même phénomène se retrouve chez la Luzerne : les variétés les plus tolérantes ont les racines les plus riches en Mn (Millikan, 1961).

Ouellette (1958), pourtant, observe que les variétés de Trèfle les plus affectées par un excès de Mn contiennent les plus fortes quantités de cet élément dans leurs tiges et leurs feuilles et les plus faibles dans les racines. L'opposition entre les deux cas n'est peut-être pas radicale : Munns (1963) a montré qu'en faisant varier dans des cultures d'Avoine le pH et la température, la distri-

bution du Mn dans les différents organes variait considérablement.

Nos résultats ne permettent pas d'évaluer ce qui est imputable d'une part à la capacité d'absorption des racines elles-mêmes, d'autre part à l'importance du transport vers les parties aériennes. Il n'est pas impossible que le transport joue un rôle prépondérant : Dewandel et Salsac (1973) ont montré que des racines excisées de Riz et d'Orge absorbent des quantités très voisines de Mn (concentration dans le milieu : 0,5 à 5 mM), alors que, chez la plante entière, le taux dans les feuilles peut être cinq à dix fois plus élevé chez le Riz.

Des phénomènes de rétention au niveau des racines et des tiges ont souvent pu être mis en relation avec la tolérance ou la sensibilité à l'égard d'un élément. Dans le cas du sodium (Collander, 1941 ; Slama, 1975) et dans celui du calcium (Bousquet, 1971), ils caractérisent les plantes sensibles, contrairement à ce que nous voyons ici pour le manganèse chez le Maïs.

3.3. Ce dernier, enfin, tolère mieux que l'Arachide la présence de quantités relativement importantes de Mn dans ses tissus : quand le taux du Mn dans les feuilles est de l'ordre de 10 p. 1 000 (exactement 9 p. 1 000 chez l'Arachide et 11 p. 1 000 chez le Maïs, le taux dans les racines étant beaucoup plus élevé chez ce dernier), le Maïs produit 46 % de la récolte du témoin et l'Arachide 15 %.

Les feuilles de l'Arachide présentent de nombreuses nécroses pour un taux de Mn inférieur à 4 p. 1 000, alors que les feuilles du Maïs sont parfaitement saines à 6 p. 1 000. On a montré, sur d'autres plantes, que le seuil d'apparition des nécroses était très variable d'une espèce à l'autre et correspondait à un taux de Mn plus faible chez les plantes les plus sensibles (Foy, 1969, sur Cotonnier ; Ouellette et Généreux, 1965, sur Pomme de terre). Peut-être ceci pourrait-il être mis en rapport avec une localisation anatomique et surtout cytologique différente du Mn.

Absorption plus faible, rétention dans les racines et les tiges, tolérance plus grande à l'égard du Mn présent dans les tissus font que, dans les conditions de nos expériences, la même réduction de croissance s'obtient avec des concentrations en Mn cinq à vingt fois plus fortes pour le Maïs que pour l'Arachide.

Ces résultats s'ajoutent à tous ceux déjà obtenus par d'autres auteurs, qu'il s'agisse du Mn ou d'autres éléments, pour montrer que résistance ou tolérance correspondent, suivant les plantes et les cas, à des comportements différents en ce qui concerne l'absorption, la migration et la distribution interne de l'élément en cause. Ils soulignent aussi les fluctuations de ces comportements en fonction de l'âge des plantes et des domaines de concentrations explorés.

4. CONCLUSIONS.

Les résultats montrent que :

4.1. L'Arachide est plus sensible au Mn que le Maïs, 20 ppm pour la première, 100 pour la seconde étant les concentrations pour lesquelles le développement de la plante dans les conditions de nos expériences est significativement inférieur à celui du témoin.

4.2. La plante tolérante présente par rapport à la plante sensible, à la fois :

- une absorption réduite ;
- une migration plus faible vers les parties aériennes ;
- une plus grande tolérance à l'égard du Mn présent dans les tissus.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM, le 8 avril 1976.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUSQUET (U.), 1971. — Absorption et migration du calcium chez une espèce calcifuge et une espèce calcicole. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 272, (D), 1768-1771.
- COLLANDER (R.), 1941. — Selective absorption of cations by higher plants. *Plant Physiol.*, 16 : 691-720.
- DEWANDEL (J.Y.) et SALSAC (L.), 1973. — Absorption du manganèse par les racines excisées de Riz et d'Orge. *C.R. Acad. Sc.*, 276 (D), 2669.
- FOY (C.D.), FLEMING (A.L.) and ARMICER (W.H.), 1969. — Differential tolerance of Cotton varieties to excess of manganese. *Agron. J. an americ. soc. of agron.*, 61 (5) : 690-694.
- FRANQUIN (P.), 1958. — L'estimation du Mn du sol en rapport avec le phénomène de toxicité. *Coton et fibres tropicales*, XIII, 3 : 1-16.
- GUPTA (U.), 1972. — Effects of manganese and lime on yield and on the concentrations of manganese, molybdenum, boron, copper and iron in the boot stage tissue of Barley. *Soil Sci.*, 114 (2) : 131-136.
- LOHNIS (M.P.), 1954. — Influence of Mg on the uptake of Mn. *VIII^e Congrès intern. de botan.* : 83-85.
- MILIKAN (C.R.), 1961. — Plant varieties and species in relation to the occurrence of deficiencies and excesses of certain nutrient elements. *J. Austr. Inst. Afric. Sci.*, 27 : 220-233.
- MORRIS (H.D.) and PIERRE (W.N.), 1949. — Minimum concentrations of manganese necessary for injury to various legumes in culture solutions. *Agron. J.*, 41 : 107-112.

- MULDER (E.G.) and GERRETSEN (F.C.), 1952. — Soil manganese in relation to plant growth. *Adv. in Agron.*, IV : 222-272.
- MUNNS (D.N.), JOHNSON (C.M.) and JACOBON (L.), 1963. — Uptake and distribution of manganese in Oat plants. I. Varietal variation. *Plant and Soil*, XIX, (I) : 115-126.
- OLLACNIER (M.) et PRÉVOT (P.), 1955. — Liaison entre dégradation du sol et toxicité manganique. *Oléagineux*, 10 : 663-666.
- OLSEN (C.), 1936. — Absorption of manganese by plants. II. Toxicity of manganese to various plant species. *C.R. laboratoire Carlsberg*, 21 : 129-145.
- OUELLETTE (G.J.), 1951. — Iron manganese interrelationships in plant nutrition. *Scientific Agriculture*, 31 (7) : 277-285.
- OUELLETTE (G.J.) and DESSUREAUX (L.), 1958. — Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to Mn and Al. *Can. J. of plant Ac.*, 38 : 206-214.
- OUELLETTE (G.J.) and GENEREUX (H.), 1965. — Influence de l'intoxication manganique sur six variétés de Pomme de terre. *Can. J. of Soil Sci.*, 45 (1) : 24-32.
- SLAMA (F.), 1975. — Absorption et exsorption du sodium par des fragments de limbe et de tige du Haricot et du Cotonnier. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 280 (D) 37-40.