23

ROYAUME DU MAROC

BC/P 236 C

AL AWAMIA

REVUE DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE MAROCAINE

Institut National de la Recherche Agronomique

— RABAT —

AVRIL 1967

SOMMAIRE

C. MICHEL, A. OUDGHIRI & A. DARDARI — Diagnostic des carences minérales des sols du Maroc en vases de végétation 1

G. EUVERTE — L'Insectarium de lutte biologique. Production massive d'*Aphytis* parasites de cochenilles 59

M. NADIR — Méthodes d'échantillonage des feuilles d'agrumes au Maroc pour le diagnostic foliaire 101

I. BRYSSINE — Quelques données sur la microflore des sols présahariens du Tafilalt 125

G. TOUTAIN, A. BENTERRAK & M. KEDDANE — Essais sur la fertilisation des sols en palmeraie marocaine : I - Réponse du blé à une première fumure minérale 137

Pour tous renseignements concernant
LES CAHIERS DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
et la revue AL AWAMIA
s'adresser à
Services d'Edition, d'Impression et de Diffusion
Institut National de la Recherche Agronomique
B.P. 415 Rabat R.P.

Règlement : par virement au compte courant postal REGIE DE RECETTES DES SERVICES EDITION ET DIFFUSION « INRA », RABAT C/C 452 88

ROYAUME DU MAROC

AL AWAMIA

REVUE DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE MAROCAINE

Institut National de la Recherche Agronomique

— RABAT —

AVRIL 1967

DIAGNOSTIC DES CARENCES MINERALES DES SOLS DU MAROC EN VASES DE VEGETATION

Etude préliminaire portant sur huit types de sol

C. MICHEL *, A. OUDGHIRI ** et A. DARDARI ***

I. Introduction

L'étude des sols du Maroc a beaucoup progressé durant ces dernières années. Cependant si les nombreux travaux effectués par les pédologues travaillant dans ce pays ont permis de mieux connaître les différents types de sol sur le plan de la pédogénèse, de la classification et des propriétés physiques, il n'en est pas de même en ce qui concerne leur richesse chimique.

L'expérimentation conduite dans ce dernier domaine par la Recherche Agronomique et qui a abouti de manière plus ou moins empirique à l'établissement pour certaines cultures de formules de fumure adaptées à certains types de sol, n'a abordé jusqu'à présent que de façon assez grossière le problème de la richesse des sols en éléments nutritifs (éléments majeurs et oligo-éléments).

Or, soit dans le cadre général d'une mise en valeur rationnelle d'une région, soit dans celui plus particulier d'une rotation culturale ou de la création d'une plantation d'arbres fruitiers, il est indispensable de connaître, en vue de la détermination judicieuse d'une fumure de redressement, les carences ou les faiblesses de chaque type de sol.

---

* Chef de la station des améliorations culturales.

** Assistant à la station des améliorations culturales.

*** Adjoint technique.

Al Awamia, 23, pp. 1-58, avril 1967.

Etant donné les différents projets de développement agricole actuellement à l'étude, on a pensé qu'il était urgent de dresser une sorte d'inventaire de la richesse chimique des sols du Maroc.

Dans ce but, on a fait appel à la méthode en vases de végétation mise au point par R. CHAMINADE et qui a déjà été utilisée en France, dans plusieurs pays africains, et à Madagascar.

Cette méthode, selon son auteur, vise à « déterminer dans un sol donné l'état actuel des réserves minérales du sol en vue de fixer la fumure de redressement permettant de rétablir dans le milieu l'équilibre nécessaire à la fertilité ».

La technique consiste à étudier la croissance d'une plante-test sur le sol ayant reçu, soit une fumure complète, soit une fumure carencée en un élément nécessaire à la plante.

Les traitements étudiés sont les suivants :

— Fumure complète ;
— Fumure complète sans phosphore ;
— Fumure complète sans potassium ;
— Fumure complète sans calcium ;
— Fumure complète sans magnésium ;
— Fumure complète sans soufre ;
— Fumure complète sans oligo-éléments (Mn, Zn, Cu, Bo, Mo).

Compte tenu de la dynamique de l'azote dans le sol, l'étude de la carence en cet élément n'a pas été prévue. Des apports d'azote sont répartis sur toute la période de végétation.

On utilise en général le ray-grass comme plante-test pour deux raisons : d'une part les graines étant très petites, on peut en semer un très grand nombre sur une petite surface (mille graines sur un décimètre carré), ce qui élimine la variabilité due à la semence ; d'autre part c'est une graminée qui peut fournir plusieurs coupes, ce qui permet de réaliser un épuisement méthodique et extrêmement poussé du sol. Si dans le sol étudié, un élément se trouve en quantité disponible peu abondante, au bout d'un temps variable, la croissance du ray-grass en sera fortement déprimée.

En principe, l'expérience se fait dans des petits pots en polyéthylène (9 x 9 x 13 cm) d'une contenance d'environ 1 kg de terre et s'étend sur une durée de dix à douze semaines, pendant laquelle on

effectue une moyenne de quatre coupes. Après chaque coupe, le ray-grass récolté est séché à l'étuve à 80° C jusqu'à poids constant et pesé.

Dans l'expérience qui est relatée ici, on a utilisé, à la place des pots en polyéthylène, des pots en terre cuite de forme circulaire, contenant 1 kg de terre, fournissant un lit de semences d'une surface approchant 1 décimètre carré et imperméabilisés intérieurement à l'aide d'une couche de « flintkot ».

Avant d'entreprendre des études régionales détaillées, on a voulu d'abord tester la méthode. Aussi s'est-on limité dans un premier stade à l'étude de huit types de sol prélevés dans différentes régions du Maroc

Il s'agit :

— d'un tirs noir, d'un tirs gris et d'un tirs de *merja* du Gharb,
— d'un sol châtain sur croûte et d'un sol brun calcaire de la plaine de Meknes,
— d'un sol rouge méditerranéen des Zaër,
— d'un sol gris du Souss,
— d'un sol châtain profond du Tadla.

Ce sont les résultats de cette expérimentation préliminaire qui font l'objet du présent article.

II. Etude de chaque type de sol

Pour tous les types de sol étudiés, la terre ayant servi au remplissage des vases de végétation provient d'un prélèvement effectué sur 30 cm d'épaisseur à partir de la surface. Chaque traitement est répété trois fois.

ESSAI 1 (Tirs noir)

L'échantillon utilisé a été prélevé à 12 km au Nord de Souk Et Tleta dans une zone de cultures traditionnelles (céréale, lin, melon...)

Les caractéristiques analytiques de ce sol sont réunies dans le tableau ci-après.

Quatre coupes ont été faites sur cet essai. Les trois premières ont fourni des récoltes à peu près équivalentes. A la quatrième coupe,

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. Flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
54,4	25,0	10,9	1,6	12,4	35,0	24,1	10,9	59,0

Composition chimique									
pH	Carb. ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 ‰ assimilable	Complexe absorbant meq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,9	12,0	1,02	11,8	0,035	44,6	37,5	5,2	0,9	0,3

Complexe absorbant* g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
0,50	1,04	0,42	0,09

* déterminé par la méthode DUCHAUFOUR

le rendement a fait une chute brutale et est devenu pratiquement nul, la croissance du ray-grass s'étant arrêtée. Aussi ne tiendrons-nous compte que des trois premières coupes dans l'interprétation des résultats. Le même phénomène se répète d'ailleurs de façon plus ou moins identique pour les autres types de sol étudiés.

Les rendements de l'essai 1, qui figurent sur le graphique ci-contre, sont résumés dans le tableau suivant où ils sont donnés en pourcentage du rendement des pots à fumure complète :

TABLEAU 1

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	87	79	83
Fumure complète moins K	102	90	91
Fumure complète moins Ca	91	89	91
Fumure complète moins Mg	109	95	91
Fumure complète moins S	102	106	96
Fumure complète moins oligo-éléments	99	104	97

Sur ce type de sol, dès la première coupe, on voit apparaître une légère baisse de rendement dans les traitements sans phosphore et sans calcium ; les rendements des autres traitements, à part celui sans magnésium qui est un peu plus élevé, sont à peu près égaux à celui de la fumure complète.

A la deuxième coupe, la baisse due au phosphore s'accentue alors que celle due au calcium reste stationnaire. On observe un léger effet dépressif dans le traitement sans potassium. A la troisième coupe, la faible carence en phosphore enregistrée dans les coupes précédentes ne s'aggrave pas de même que celles en calcium et en potassium. Le traitement sans magnésium accuse une légère baisse de rendement par rapport à la fumure complète.

Pour mieux faire ressortir l'influence des différents traitements, on a groupé dans le tableau suivant, par ordre de croissance dans la hiérarchie des carences, les productions des trois premières coupes exprimées en pourcentage du rendement de la fumure complète.

GRAPHIQUE I

Essai 1 _ (Tirs du Gharb

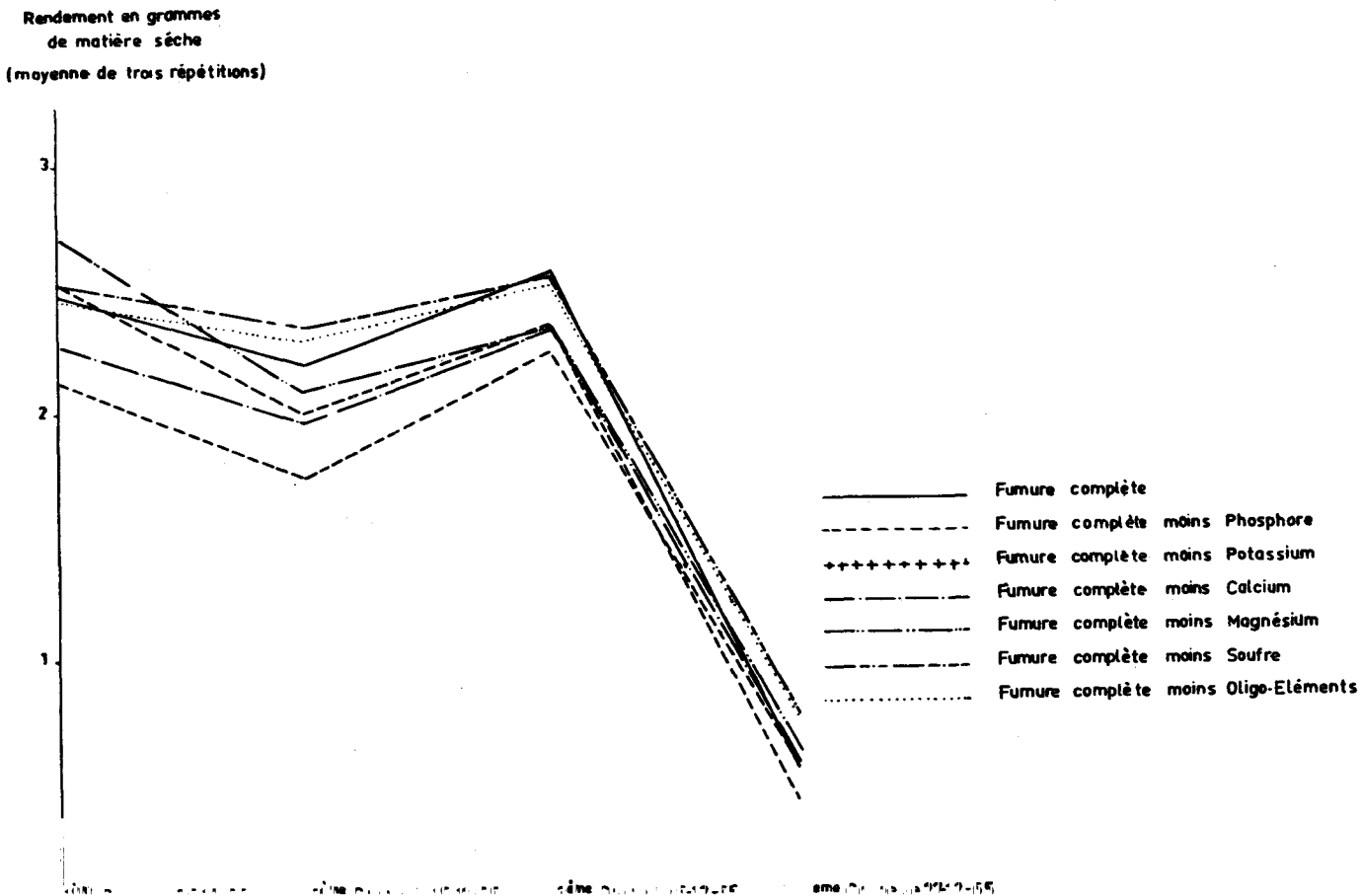


TABLEAU II

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	82
Fumure complète moins Ca	90
Fumure complète moins K	94
Fumure complète moins Mg	98
Fumure complète moins oligo-éléments	100
Fumure complète moins S	101

Il découle de ce tableau que seule l'absence de phosphore provoque une baisse nette, quoique peu élevée, du rendement (environ un cinquième du rendement de la fumure complète). On ne peut pas la qualifier de carence grave, étant donné que de la première à la troisième coupe elle s'est très peu accentuée. Elle indique cependant une certaine faiblesse des réserves phosphatées de ce type de sol.

Alimentation de la plante

Un échantillon moyen des trois répétitions de chaque traitement a été constitué et analysé pour les éléments N, P et K. Dans le tableau suivant est consignée, pour les trois premières coupes, la moyenne générale des éléments dosés :

TABLEAU III

TRAITEMENT	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Fumure complète	4,95	0,41	2,32
Fumure complète moins P	4,88	0,25	1,95
Fumure complète moins K	5,02	0,50	1,33
Fumure complète moins Ca	5,01	0,50	2,00
Fumure complète moins Mg	5,00	0,43	2,43
Fumure complète moins S	4,51	0,45	2,09
Fumure complète moins oligo-éléments	4,88	0,35	3,20
MOYENNE	4,89	0,41	2,19

L'alimentation de la plante reflète bien l'état de ce sol en éléments nutritifs. La faiblesse en phosphore se traduit par une teneur moyenne en phosphore nettement plus basse dans le fourrage. De même, la teneur en potassium est plus faible dans le traitement carencé en cet élément.

A l'aide des poids de récolte (matière sèche) et des teneurs des différents éléments, les exportations totales en milligrammes ont été calculées par élément et par traitement. Les chiffres qui sont consignés dans le tableau IV, cumulent l'action de deux facteurs : baisse de rendement et diminution des teneurs dans les feuilles de ray-grass. Aussi, les différences entre les fumures carencées en phosphore et en potassium et la fumure complète sont-elles plus nettes.

TABLEAU IV

TRAITEMENT	Azote	Phosphore	Potassium
Fumure complète	358,87	29,72	168,20
Fumure complète moins P	298,85	15,30	119,34
Fumure complète moins K	345,38	34,40	91,50
Fumure complète moins Ca	330,16	32,95	131,80
Fumure complète moins Mg	357,50	30,74	173,74
Fumure complète moins S	334,19	33,34	154,87
Fumure complète moins oligo-éléments	354,78	25,44	232,64

ESSAI 2 (Tirs gris)

Ce type de sol a été prélevé à 6 km au Nord de Sidi Allal Tazi du Gharb dans un clos de riz.

Comme sur l'essai précédent, quatre coupes ont été effectuées sur cet essai mais après la troisième coupe, la croissance du ray-grass a été extrêmement ralentie. Les récoltes sont exprimées dans le tableau V, coupe par coupe en pourcentage de la fumure complète et le graphique II montre l'évolution des rendements en grammes de matière sèche.

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
45,2	30,0	4,1	0,8	19,6	34,1	21,9	12,2	57,5

Composition chimique

pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 ‰ assimilable	Complexe absorbant méq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,5	14,5	1,5	9,7	0,043	25,7	20,0	5,1	1,0	1,0

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
5,6	1,0	0,47	0,31

GRAPHIQUE II

Essai 2 - (Tirs gris)

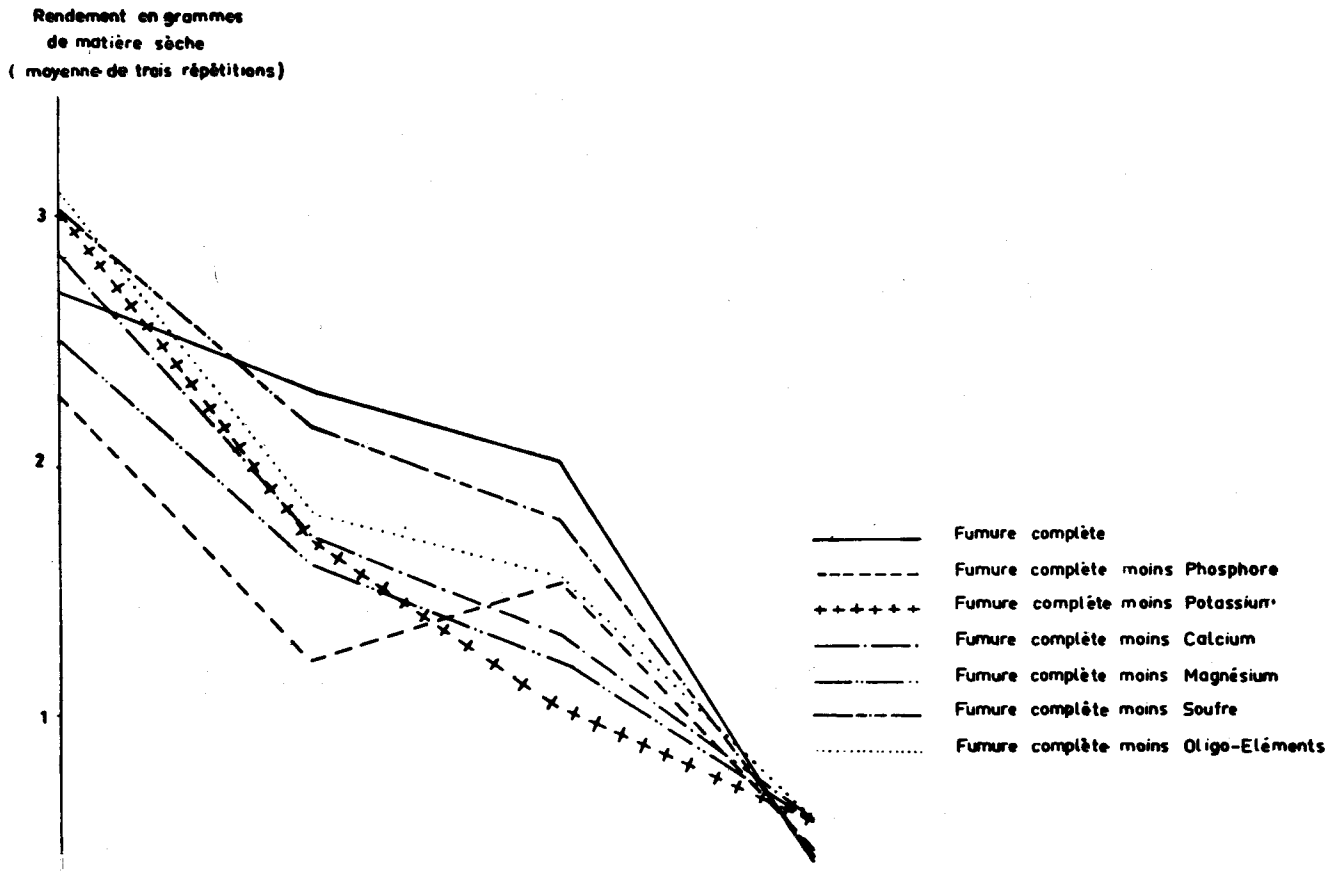


TABLEAU V

TRAITEMENTS	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	84	53	76
Fumure complète moins K	111	73	51
Fumure complète moins Ca	105	73	65
Fumure complète moins Mg	88	69	60
Fumure complète moins S	111	93	88
Fumure complète moins oligo-éléments	114	78	77

A la première coupe, une légère baisse de rendement est enregistrée dans les traitements sans phosphore et sans magnésium. A la deuxième coupe, la carence en phosphore et en magnésium s'accentue et on observe une baisse sensible dans les traitements sans potassium, sans calcium et sans oligo-éléments. A la troisième coupe, la carence en phosphore s'atténue tandis que la carence en potassium s'aggrave, de même que celles en magnésium et en calcium. Quant à la carence en oligo-éléments, elle est restée à un niveau sensiblement constant. Le traitement sans soufre accuse une légère baisse de rendement.

Si on prend, comme précédemment, les productions des trois premières coupes exprimées en pourcentage de la fumure complète, le classement des traitements s'établit comme suit :

TABLEAU VI

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	71
Fumure complète moins Mg	72
Fumure complète moins K	78
Fumure complète moins Ca	81
Fumure complète moins oligo-éléments	89
Fumure complète moins S	97

La carence en phosphore et celle en magnésium sont ici assez nettes. Elles sont suivies par ordre de gravité décroissante des carences en potassium, en calcium et en oligo-éléments. La carence en soufre qui est apparue seulement à la troisième coupe s'estompe dans ce tableau des résultats globaux.

Alimentation de la plante

Le tableau suivant donne les teneurs moyennes des feuilles de ray-grass en azote, phosphore et potassium des trois premières coupes :

TABLEAU VII

TRAITEMENTS	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Fumure complète	4,49	0,47	2,68
Fumure complète moins P	4,42	0,20	2,60
Fumure complète moins K	4,67	0,53	2,29
Fumure complète moins Ca	4,50	0,39	2,45
Fumure complète moins Mg	4,76	0,49	2,52
Fumure complète moins S	4,69	0,52	2,39
Fumure complète moins oligo-éléments	4,82	0,45	2,06
MOYENNE	4,62	0,44	2,43

Dans cet essai, la teneur en phosphore des pots sans phosphore est moins de la moitié de celle des pots à fumure complète. L'absence de calcium dans la fumure se traduit par une diminution de la teneur en phosphore du ray-grass.

La faiblesse en potassium de ce sol, mise en évidence sur le rendement en matière sèche, affecte peu la teneur en potassium du fourrage.

Les exportations totales en milligrammes pour chaque élément sont données dans le tableau ci-contre.

TABLEAU VIII

TRAITEMENT	Azote	Phosphore	Potassium
Fumure complète	314,30	32,90	187,60
Fumure complète moins P	221,44	10,02	130,26
Fumure complète moins K	268,06	30,42	131,45
Fumure complète moins Ca	263,25	22,82	143,32
Fumure complète moins Mg	252,28	25,97	133,56
Fumure complète moins S	325,49	36,09	165,87
Fumure complète moins oligo-éléments	310,89	29,02	132,87

ESSAI 3 (Sol « brun calcaire »)

Ce sol a été prélevé dans la région de Meknes à 4 km au Sud de l'embranchement Meknes - Agouraï dans une parcelle recouverte de végétation naturelle. Il est peu profond et repose sur du tuf calcaire. Assez répandu dans la plaine du Saïs, il est considéré par G. MISSANTE et R. WATTEEUW comme étant d'origine anthropique du fait qu'il ne présente pas toutes les caractéristiques d'un véritable sol brun calcaire. Ce serait un sol châtain transformé en brun calcaire sous l'effet des labours.

Les rendements ont été assez fluctuants dans ce type de sol : plus élevés à la troisième coupe qu'à la deuxième. A partir de la troisième coupe, la végétation a présenté, quel que soit le traitement, un aspect très chétif.

Les résultats des différentes coupes sont représentés sur le graphique III ; le tableau IX donne les pourcentages, pour chaque coupe, des différents traitements par rapport à la fumure complète.

A la première coupe, apparaissent de légères diminutions de rendement dans les traitements sans calcium, sans soufre, sans oligo-éléments et sans phosphore. A la deuxième coupe, les carences en calcium, en soufre et en phosphore s'accentuent fortement ; la carence en oligo-éléments disparaît. A la troisième coupe, les carences en

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
10,5	9,8	19,7	13,4	51,3	28,7	9,9	18,8	55,3

Composition chimique									
pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Complexe absorbant méq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,5	13,9	1,7	8,2	0,040	17,7	17,1	1,0	0,5	—

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
4,79	0,22	0,23	

Essai 3 - (Sol brun calcaire)

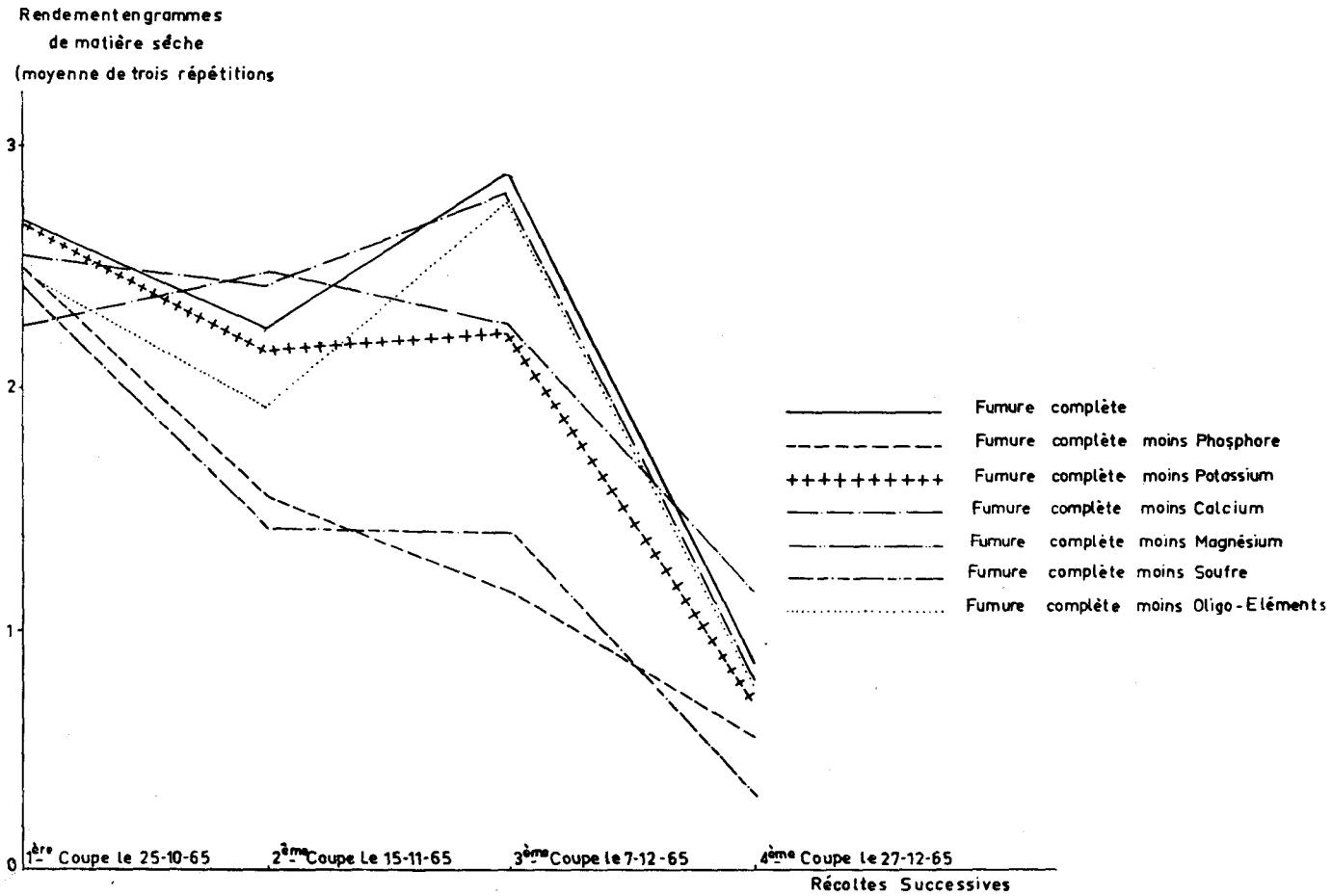


TABLEAU IX

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	92	68	40
Fumure complète moins K	98	95	76
Fumure complète moins Ca	83	65	77
Fumure complète moins Mg	94	97	96
Fumure complète moins S	89	63	48
Fumure complète moins oligo-éléments	91	109	94

phosphore et en soufre continuent de s'aggraver tandis que celle en calcium se résorbe légèrement ; une carence en potassium se manifeste.

Ce type de sol, malgré sa très grande richesse en calcaire total, accuse une légère faiblesse en calcium ; ceci est sans doute dû à un manque d'assimilabilité, le calcaire présent étant réparti dans les fractions granulométriques grossières.

En comparant les quantités totales de matière sèche produite, la hiérarchie des carences s'établit comme suit :

TABLEAU X

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	66
Fumure complète moins S	67
Fumure complète moins Ca	75
Fumure complète moins K	89
Fumure complète moins Mg	95
Fumure complète moins oligo-éléments	98

La carence la plus marquée dans ce type de sol est celle en phosphore suivie de celles en soufre et en calcium. L'absence de potassium dans la fumure déprime légèrement le rendement.

Alimentation de la plante

TABLEAU XI

Teneurs moyennes des feuilles de ray-grass des trois premières coupes en azote, phosphore et potassium

TRAITEMENT	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Fumure complète	4,64	0,61	2,34
Fumure complète moins P	4,32	0,22	2,12
Fumure complète moins K	4,58	0,65	1,61
Fumure complète moins Ca	4,67	0,67	1,97
Fumure complète moins Mg	4,73	0,63	2,17
Fumure complète moins S	4,65	0,69	2,24
Fumure complète moins oligo-éléments	4,73	0,62	2,34
MOYENNE	4,62	0,58	2,11

Les teneurs en phosphore du ray-grass sont plus élevées dans cet essai que dans les essais précédents. L'alimentation de la plante met bien en évidence la carence en phosphore observée à l'aide du rendement. La teneur en phosphore des pots qui n'en ont pas reçu est

TABLEAU XII

Exportations totales en milligrammes de chaque élément

TRAITEMENT	Azote	Phosphore	Potassium
Fumure complète	364,24	47,88	183,69
Fumure complète moins P	225,07	11,46	110,45
Fumure complète moins K	322,43	45,76	113,34
Fumure complète moins Ca	278,80	40,00	117,61
Fumure complète moins Mg	357,59	47,63	164,05
Fumure complète moins S	243,66	36,16	117,38
Fumure complète moins oligo-éléments	337,72	44,27	167,08

d'environ le tiers de celle des pots qui ont reçu cet élément. On observe également une légère diminution en azote des pots sans phosphore.

En absence de potassium dans la fumure, la teneur en cet élément est plus faible dans les feuilles de ray-grass.

ESSAI 4 (Sol châtain sur croûte)

La terre utilisée pour cet essai a été prélevée à proximité du sol brun calcaire, à 3 km environ au Nord de l'embranchement de la route Meknes-Agouraï, dans une parcelle laissée en jachère morte.

Les résultats des différentes coupes sont représentés sur le graphique IV (rendements en matière sèche) et dans le tableau XIII (pourcentage des rendements des traitements par rapport à la fumure complète).

TABLEAU XIII

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	80	63	55
Fumure complète moins K	97	97	107
Fumure complète moins Ca	103	99	97
Fumure complète moins Mg	90	91	90
Fumure complète moins S	98	60	21
Fumure complète moins oligo-éléments	94	110	73

Dès la première coupe, on note une légère carence en phosphore. Celle-ci s'accentue fortement à la deuxième coupe en même temps qu'apparaît une grave carence en soufre. A la troisième coupe, les deux carences observées précédemment sont aggravées, surtout celle en soufre, et on observe une baisse assez sensible de rendement dans le traitement sans oligo-éléments.

Caractères analytiques

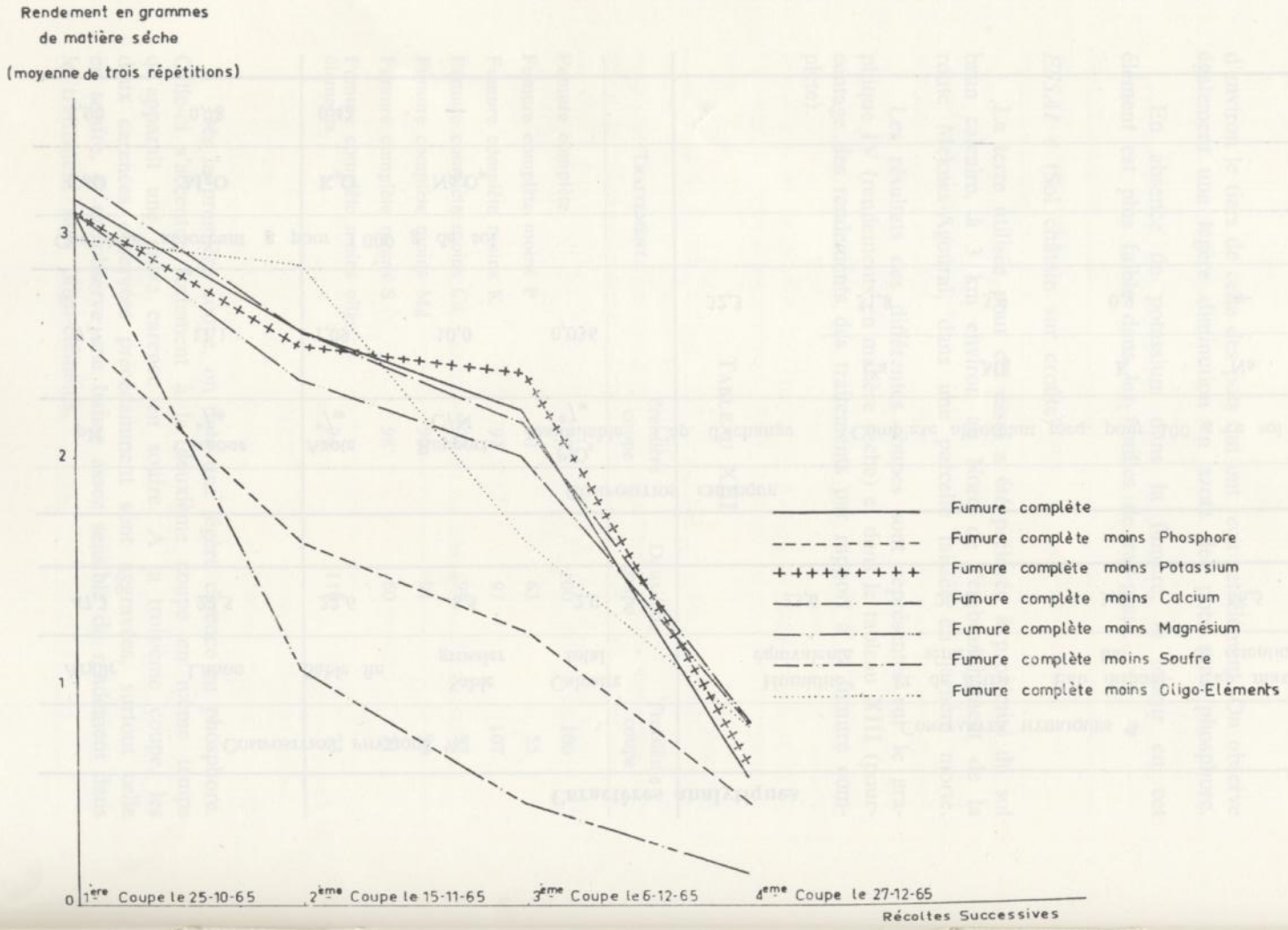
Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max de rétention
47,3	22,5	22,6	8,5	2,0	23,6	20,0	3,6	66,5

Composition chimique									
pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Cap. d'échange	Complexe absorbant meq. pour 100 g de sol			
						Ca	Mg	K	Na
7,2	11,1	1,09	10,0	0,036	32,3	31,8	3,9	0,9	—

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O_5
8,90	0,78	0,42	—

GRAPHIQUE IV

Essai 4 - (Sol châtain sur croûte)



La comparaison des pourcentages des quantités totales de matière sèche produite donne le classement suivant :

TABLEAU XIV

Fumure complète	100
Fumure complète moins S	60
Fumure complète moins P	66
Fumure complète moins oligo-éléments	92
Fumure complète moins Mg	93
Fumure complète moins Ca	99
Fumure complète moins K	100

Dans ce type de sol, deux carences très nettes sont mises en évidence : une en soufre et une en phosphore.

Alimentation de la plante

TABLEAU XV

Teneurs moyennes des feuilles de ray-grass des trois premières coupes en azote, phosphore et potasse.

TRAITEMENT	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Fumure complète	4,58	0,70	2,47
Fumure complète moins P	4,30	0,32	2,40
Fumure complète moins K	4,92	0,78	1,61
Fumure complète moins Ca	4,54	0,79	2,65
Fumure complète moins Mg	4,74	0,70	2,18
Fumure complète moins S	4,64	0,71	2,13
Fumure complète moins oligo-éléments	4,75	0,75	2,53
MOYENNE	4,64	0,68	2,28

Dans ce type de sol, les teneurs foliaires en phosphore quoiqu'un peu plus élevées sont comparables à celles de l'essai 3. Ici également, la teneur en phosphore des pots sans phosphore est nettement plus faible que celle des pots ayant reçu cet élément. L'absence de potassium dans la fumure engendre une baisse de la teneur de cet élément dans le ray-grass.

TABLEAU XVI

Exportations totales en milligrammes de chaque élément

TRAITEMENTS	Azote	Phosphore	Potassium
Fumure complète	362,94	55,44	195,62
Fumure complète moins P	231,77	17,25	129,36
Fumure complète moins K	391,14	62,01	127,99
Fumure complète moins Ca	361,38	62,88	210,94
Fumure complète moins Mg	353,13	52,15	162,41
Fumure complète moins S	214,39	32,80	98,40
Fumure complète moins oligo-éléments	353,40	55,80	188,13

ESSAI 5 (Sol rouge méditerranéen)

Le sol a été prélevé à la station expérimentale d'El Koudia située à 3 km de Sidi Yahia des Zaër dans une parcelle recouverte de végétation naturelle.

De tous les sols étudiés, le sol rouge méditerranéen est celui dont le rendement à la première coupe a été le plus élevé. Par contre il n'a fourni que trois coupes et le rendement à la troisième coupe a été à peu près nul.

Les résultats des différents traitements sont représentés sur le graphique V. Le tableau XVII donne les rendements des traitements en pourcentage de ceux des pots à fumure complète.

A la première coupe, on note une carence en phosphore et une diminution sensible de rendement en l'absence de potassium dans la

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
25,5	13,0	50,0	11,0	—	15,8	9,4	6,4	44,5

Composition chimique									
pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Complexe absorbant méq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,5	14,0	1,37	10,2	0,250	10,2	10,2	0,5	0,9	—

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
2,86	0,10	0,42	—

TABLEAU XVII

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe
Fumure complète	100	100
Fumure complète moins P	72	73
Fumure complète moins K	88	70
Fumure complète moins Ca	110	78
Fumure complète moins Mg	103	75
Fumure complète moins S	105	82
Fumure complète moins oligo-éléments	107	95

fumure. A la deuxième coupe, la carence en phosphore persiste sans s'aggraver et il apparaît des carences en potassium et en magnésium. Des baisses relativement importantes de rendement s'observent dans les traitements sans calcium et sans soufre.

Le groupement des résultats des deux premières récoltes donne le classement suivant :

TABLEAU XVIII

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	72
Fumure complète moins K	79
Fumure complète moins Ca	94
Fumure complète moins Mg	89
Fumure complète moins S	93
Fumure complète moins oligo-éléments	101

Ce type de sol présente donc une carence faible en phosphore et en potassium. L'absence de magnésium et de calcium dans la fumure occasionne une légère diminution de rendement.

Alimentation de la plante

Pour cet essai, seules les deux premières coupes ont été analysées.

GRAPHIQUE V

Essai 5 - (Sol rouge méditerranéen)

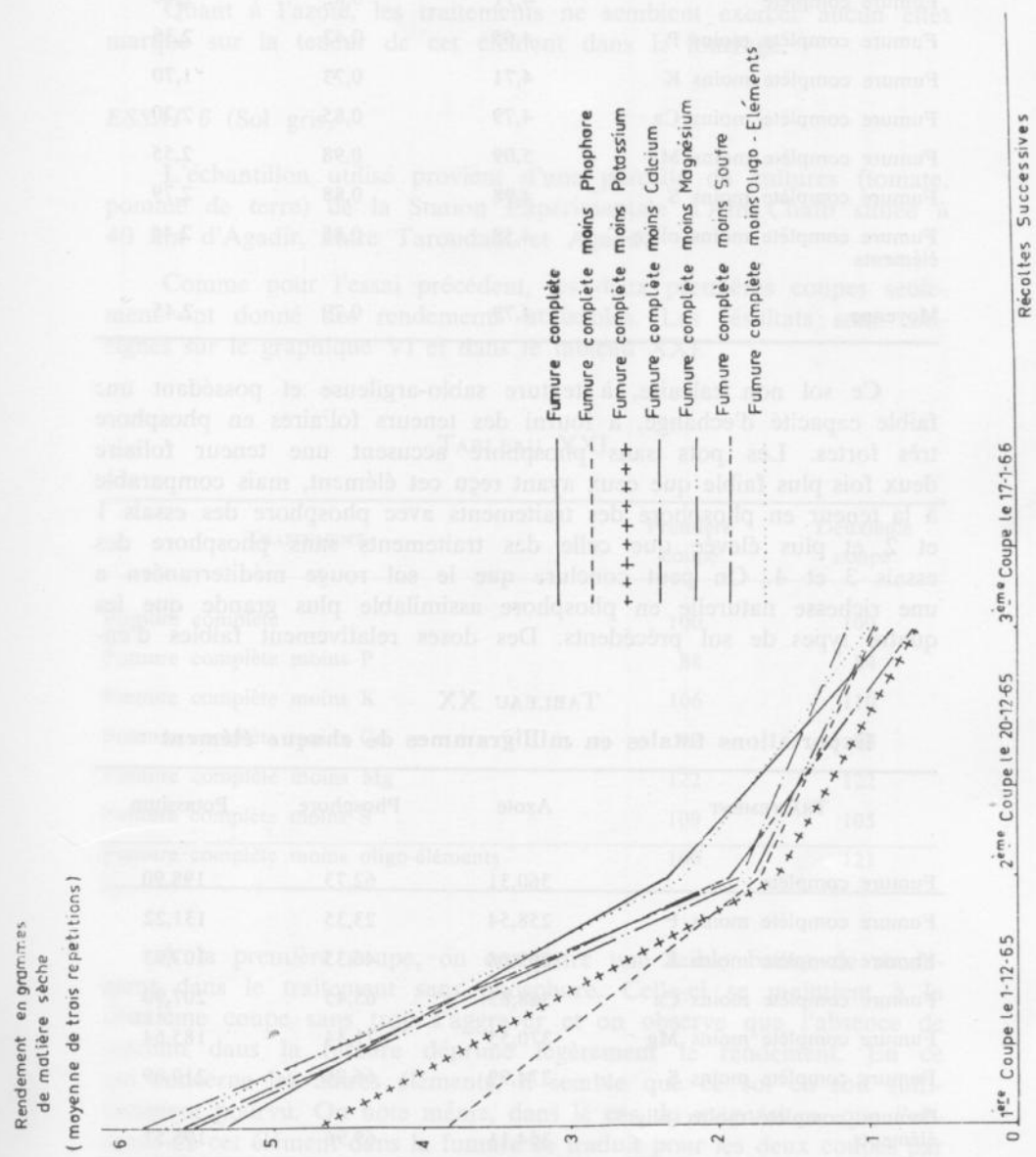


TABLEAU XIX

TRAITEMENT	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Fumure complète	4,71	0,82	2,60
Fumure complète moins P	4,65	0,42	2,36
Fumure complète moins K	4,71	0,73	1,70
Fumure complète moins Ca	4,79	0,85	2,70
Fumure complète moins Mg	5,09	0,98	2,55
Fumure complète moins S	4,98	0,88	2,79
Fumure complète moins oligo-éléments	4,58	0,88	2,46
Moyenne	4,79	0,79	2,45

Ce sol non calcaire, à texture sablo-argileuse et possédant une faible capacité d'échange, a fourni des teneurs foliaires en phosphore très fortes. Les pots sans phosphore accusent une teneur foliaire deux fois plus faible que ceux ayant reçu cet élément, mais comparable à la teneur en phosphore des traitements avec phosphore des essais 1 et 2 et plus élevée que celle des traitements sans phosphore des essais 3 et 4. On peut conclure que le sol rouge méditerranéen a une richesse naturelle en phosphore assimilable plus grande que les quatre types de sol précédents. Des doses relativement faibles d'en-

TABLEAU XX

Exportations totales en milligrammes de chaque élément

TRAITEMENT	Azote	Phosphore	Potassium
Fumure complète	360,31	62,73	198,90
Fumure complète moins P	258,54	23,35	131,22
Fumure complète moins K	299,08	46,35	107,95
Fumure complète moins Ca	368,83	65,45	207,90
Fumure complète moins Mg	370,55	71,34	185,64
Fumure complète moins S	374,99	66,26	210,09
Fumure complète moins oligo-éléments	364,11	69,96	195,57

grais phosphatés devraient suffire à une meilleure alimentation en acide phosphorique dans ce type de sol.

La carence en potassium, observée sur le rendement en matière sèche, provoque une baisse de la teneur en potassium du ray-grass.

Quant à l'azote, les traitements ne semblent exercer aucun effet marqué sur la teneur de cet élément dans le fourrage.

ESSAI 6 (Sol gris)

L'échantillon utilisé provient d'une parcelle de cultures (tomate, pomme de terre) de la Station Expérimentale d'Aïn Chaïb située à 40 km d'Agadir, entre Taroudant et Agadir.

Comme pour l'essai précédent, les deux premières coupes seulement ont donné des rendements utilisables. Les résultats sont consignés sur le graphique VI et dans le tableau XXI.

TABLEAU XXI

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe
Fumure complète	100	100
Fumure complète moins P	88	84
Fumure complète moins K	106	110
Fumure complète moins Ca	97	88
Fumure complète moins Mg	122	122
Fumure complète moins S	109	105
Fumure complète moins oligo-éléments	100	121

A la première coupe, on enregistre une faible baisse de rendement dans le traitement sans phosphore. Celle-ci se maintient à la deuxième coupe sans trop s'aggraver et on observe que l'absence de calcium dans la fumure déprime légèrement le rendement. En ce qui concerne les autres éléments, il semble que ce sol en soit suffisamment pourvu. On note même, dans le cas du magnésium, que l'absence de cet élément dans la fumure se traduit pour les deux coupes par

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
11,9	28,7	46,1	1,5	10,7	17,0	9,5	7,5	36,0

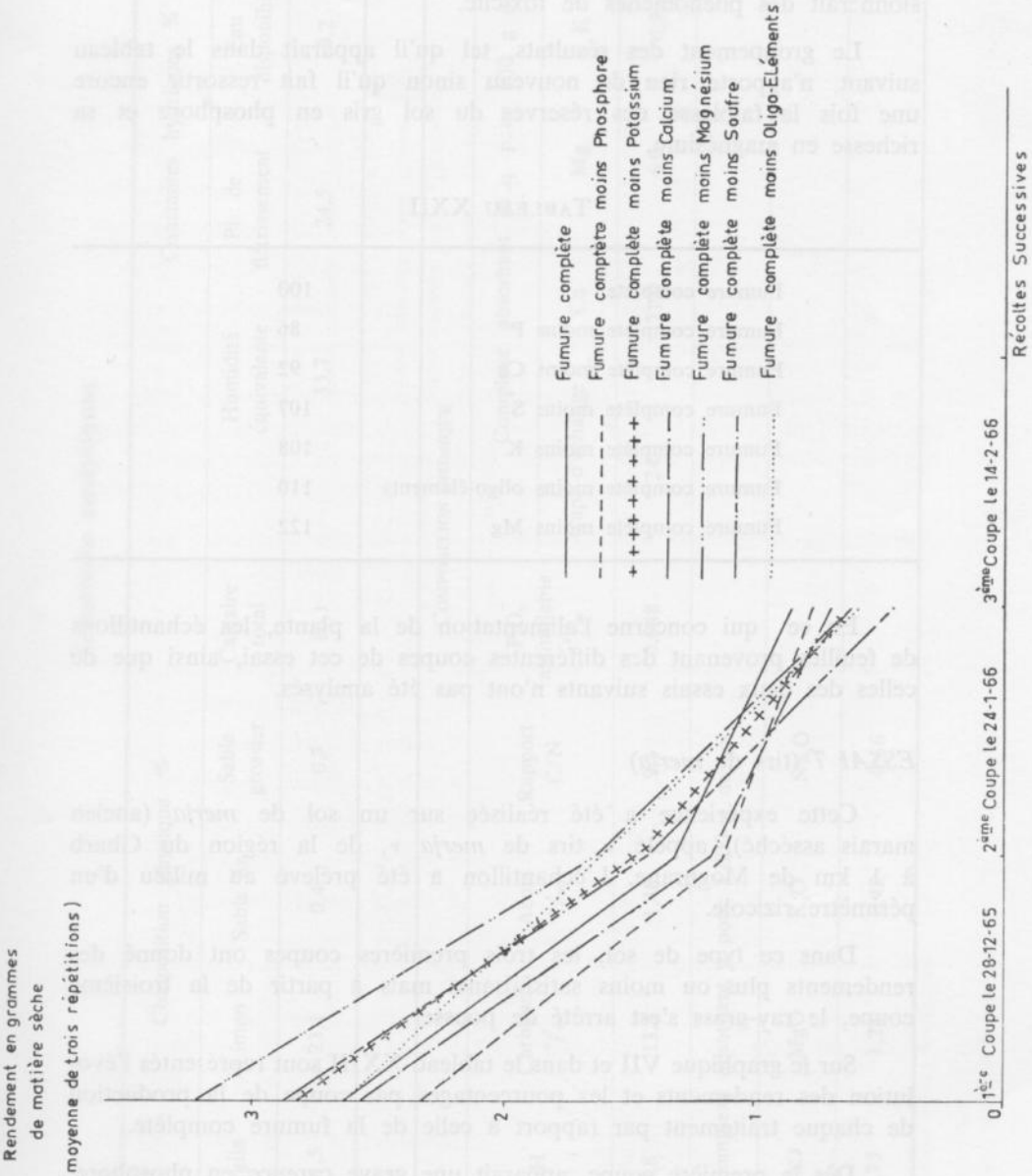
Composition chimique

pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Complexe absorbant méq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,9	7,7	0,94	8,2	0,190	10,0	7,9	4,2	1,3	0,2

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
2,21	0,84	0,61	0,06

Graphique VI

Essai 6 - (Sol gris)



une augmentation sensible de rendement par rapport à la fumure complète ; ceci est sans doute dû à la très grande richesse de ce sol en magnésium (42 % de la capacité d'échange) dont l'apport occasionnerait des phénomènes de toxicité.

Le groupement des résultats, tel qu'il apparaît dans le tableau suivant, n'apporte rien de nouveau sinon qu'il fait ressortir encore une fois la faiblesse des réserves du sol gris en phosphore et sa richesse en magnésium.

TABLEAU XXII

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	86
Fumure complète moins Ca	92
Fumure complète moins S	107
Fumure complète moins K	108
Fumure complète moins oligo-éléments	110
Fumure complète moins Mg	122

En ce qui concerne l'alimentation de la plante, les échantillons de feuilles provenant des différentes coupes de cet essai, ainsi que de celles des deux essais suivants n'ont pas été analysés.

ESSAI 7 (tirs de *merja*)

Cette expérience a été réalisée sur un sol de *merja* (ancien marais asséché), appelé « tirs de *merja* », de la région du Gharb à 1 km de Moghrane. L'échantillon a été prélevé au milieu d'un périmètre rizicole.

Dans ce type de sol, les trois premières coupes ont donné des rendements plus ou moins satisfaisants mais à partir de la troisième coupe, le ray-grass s'est arrêté de pousser.

Sur le graphique VII et dans le tableau XXIII sont représentés l'évolution des rendements et les pourcentages par coupe de la production de chaque traitement par rapport à celle de la fumure complète.

Dès la première coupe, apparaît une grave carence en phosphore. A la deuxième coupe, celle-ci s'accentue et on enregistre des baisses

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
61,5	23,1	0,4	0,7	16,1	33,7	24,5	9,2	54,0

Composition chimique									
pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Complexe absorbant m.q. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,8	13,5	1,48	9,1	0,048	24,1	21,0	6,0	0,9	1,8

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
6,75	1,28	0,42	0,56

GRAPHIQUE 7

Essai 7 - (Sol de merja)

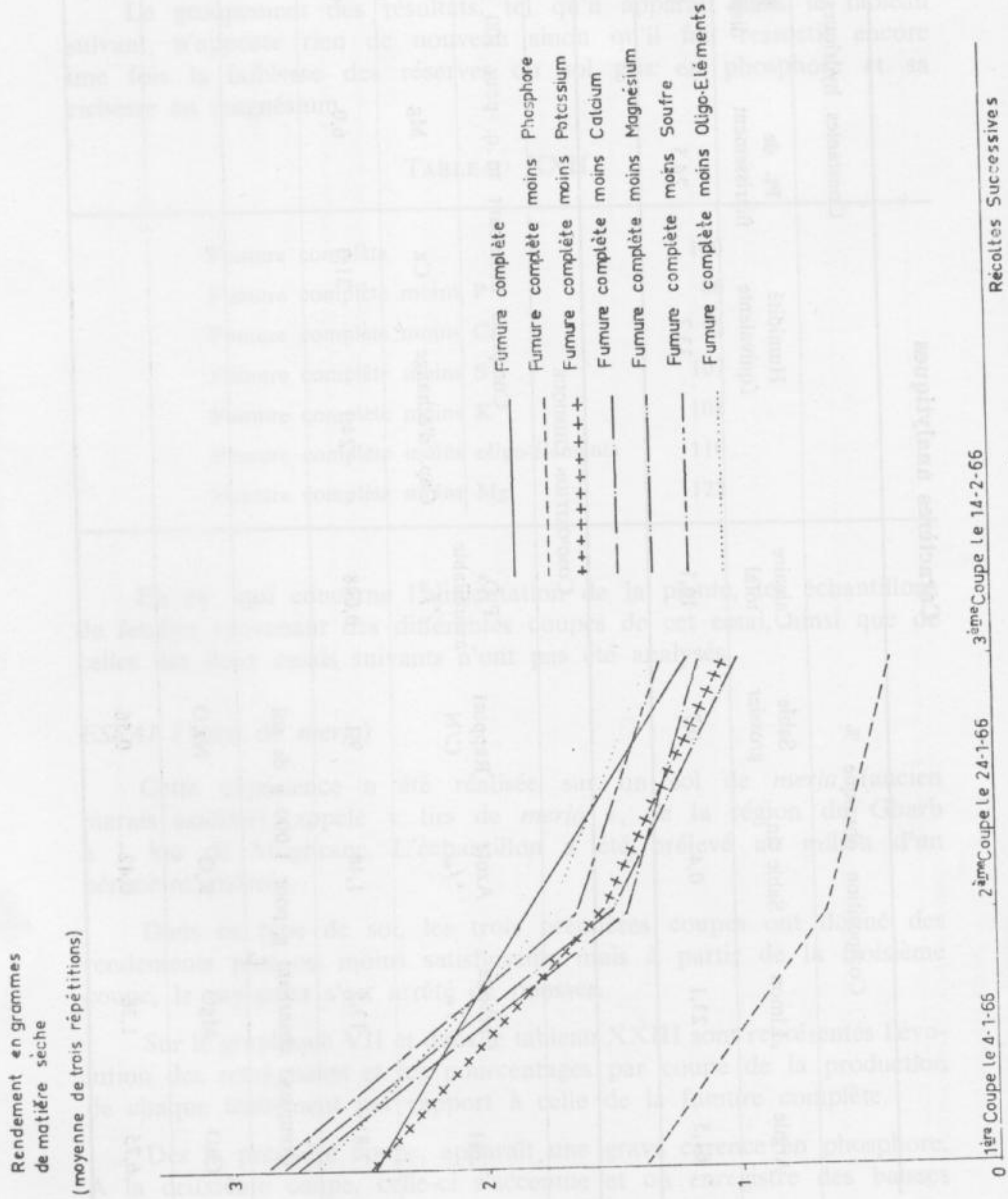


TABLEAU XXIII

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	56	35	33
Fumure complète moins K	100	83	87
Fumure complète moins Ca	112	78	96
Fumure complète moins Mg	114	81	83
Fumure complète moins S	117	89	108
Fumure complète moins oligo-éléments	108	94	112

sensibles de rendement dans les traitements sans potassium, sans magnésium et sans calcium. A la troisième coupe, les carences en phosphore et en magnésium se maintiennent à un niveau à peu près constant tandis que celles en calcium et en potassium s'atténuent.

La hiérarchie des carences s'établit comme suit après groupement des résultats des trois récoltes.

TABLEAU XXIV

Fumure complète	100
Fumure complète moins P	41
Fumure complète moins K	90
Fumure complète moins Ca	93
Fumure complète moins Mg	95
Fumure complète moins S	105
Fumure complète moins oligo-éléments	105

Ce sol de *merja* présente une carence très grave en phosphore mais semble par contre relativement bien pourvu en tous les autres éléments.

ESSAI 8 (Sol châtain profond)

Ce sol a été prélevé dans le Tadla, à proximité de l'embranchement de la route Fqih Ben Salah — Béni Mellal-Afourer.

Caractères analytiques

Composition physique %					Constantes hydriques %			
Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Calcaire total	Humidité équivalente	Pt. de flétrissement	Eau disponible	Cap. max. de rétention
50,0	26,5	23,5	2,5	6,7	21,7	15,5	6,2	55,0

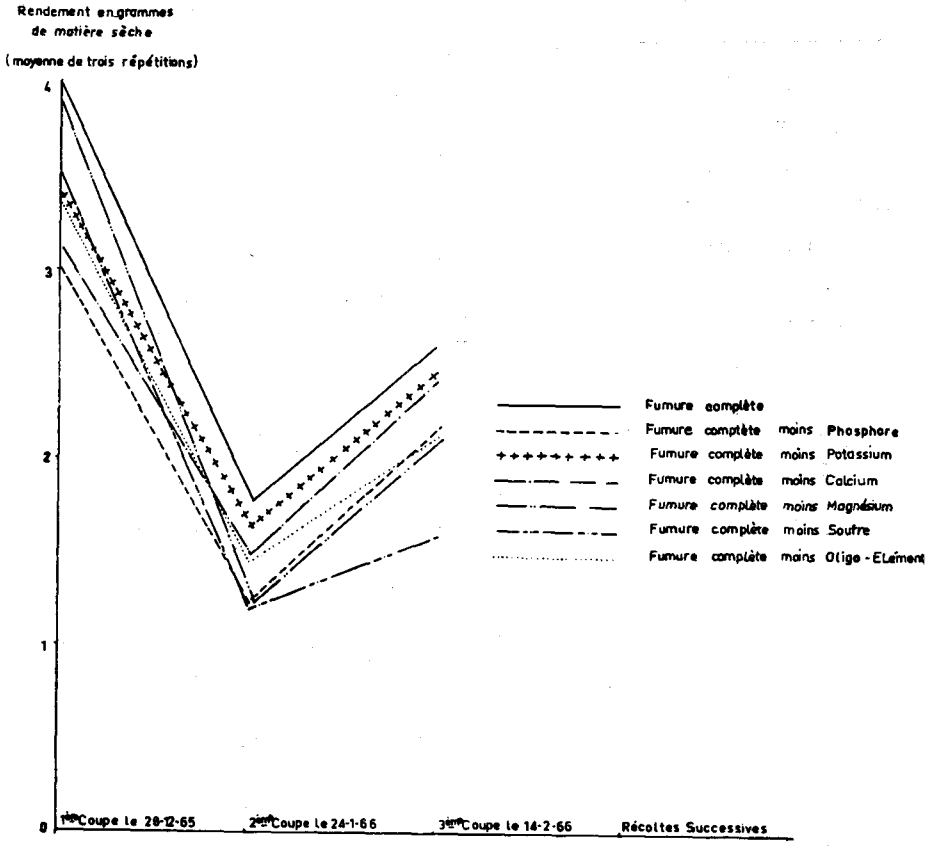
Composition chimique

pH	Carbone ‰	Azote ‰	Rapport C/N	P_2O_5 assimilable ‰	Complexe absorbant méq. pour 100 g de sol				
					Cap. d'échange	Ca	Mg	K	Na
7,6	13,5	1,47	9,0	0,694	20,8	17,1	2,8	1,3	—

Complexe absorbant g pour 1 000 g de sol			
CaO	MgO	K_2O	Na_2O
4,79	0,56	0,61	

GRAPHIQUE VIII

Essai 8 _ (Sol châtain profond)



Cet essai a fourni trois coupes dont les résultats sont portés sur le graphique VIII et dans le tableau XXV.

A la première coupe, une légère carence en phosphore et en
A la deuxième coupe, la carence en phosphore se maintient sans les autres traitements provoquent une baisse de rendement.

A la deuxième coupe, la carence en phosphore se maintient sans trop s'aggraver tandis qu'apparaissent des carences assez graves en soufre et en magnésium.

TABLEAU XXV

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	75	70	84
Fumure complète moins K	85	92	95
Fumure complète moins Ca	78	84	93
Fumure complète moins Mg	98	69	80
Fumure complète moins S	88	68	51
Fumure complète moins oligo-éléments	84	82	82

Enfin à la dernière coupe, la carence en soufre s'accentue ; les autres au contraire s'atténuent.

Le groupement des résultats donne le classement suivant :

TABLEAU XXVI

Fumure complète	100
Fumure complète moins S	69
Fumure complète moins P	76
Fumure complète moins Mg	82
Fumure complète moins oligo-éléments	83
Fumure complète moins Ca	85
Fumure complète moins K	91

Ce type de sol ne présente qu'une carence assez grave en soufre. La carence en phosphore n'est pas très accusée, étant donné qu'elle est restée à un niveau sensiblement constant du début de l'essai jusqu'à la fin.

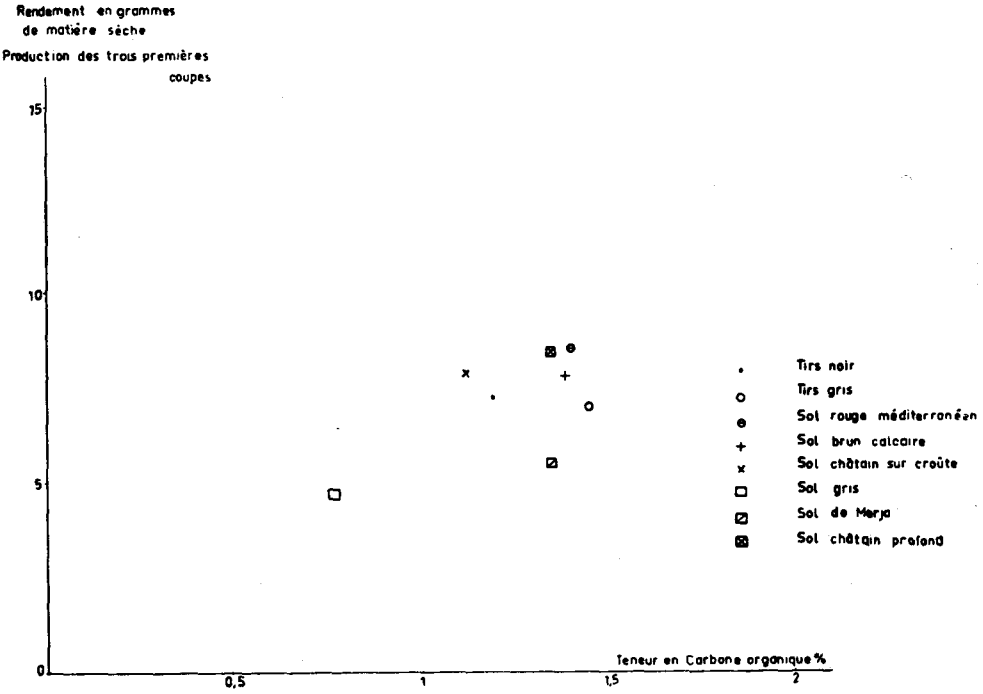
III. Discussion

Avant de passer à la discussion proprement dite, il semble nécessaire de formuler les remarques suivantes :

Si on compare les résultats de ces essais avec ceux d'essais identiques réalisés ailleurs, on constate que, quel que soit le type de sol, la production totale de matière sèche des différentes coupes des pots à fumure complète dans le cadre de cette expérimentation est faible.

Dans le meilleur des cas (sol rouge méditerranéen, sol châtain profond), elle ne dépasse pas 9 grammes pour les trois premières coupes. En outre, à partir de la troisième coupe et même de la deuxième coupe pour certains sols (sol rouge méditerranéen et sol gris), la croissance du ray-grass a été pratiquement arrêtée.

GRAPHIQUE IX



Il semble que cette faiblesse des rendements soit due principalement à la pauvreté en matière organique des sols testés. En effet, le sol gris, le plus pauvre de tous les sols en matière organique, est précisément celui qui a fourni le rendement total le plus faible. Sur le graphique IX on a essayé de représenter la courbe des rendements totaux en fonction des teneurs en matière organique des sols. La gamme de ces dernières étant réduite et se limitant aux faibles valeurs, il est difficile d'affirmer qu'il existe une corrélation étroite entre les deux facteurs considérés. Cependant, si on excepte le tirs de *merja,* il semble que la production totale de matière sèche soit fonction du taux de matière organique du sol.

Il se dégage, d'une manière générale, de cette expérimentation que les sols examinés sont assez bien pourvus au point de vue chimique. Cependant, étant donné que les rendements en matière sèche sont relativement faibles, l'épuisement de ces sols par le ray-grass n'a pas été très poussé. Aussi peut-on penser que les faiblesses ou carences observées dans ces différents essais présentent en réalité un caractère de gravité plus accentué que ne le révèle cette expérimentation.

Nous allons essayer maintenant de voir quelles sont les idées générales qui se dégagent de l'ensemble des résultats en ce qui concerne la hiérarchie des carences. Nous traiterons ensuite de l'alimentation de la plante et nous terminerons par l'étude des besoins en eau.

A. — Hiérarchie des carences

Comme le laissaient prévoir certains résultats de fumure obtenus à partir d'expérimentation en plein champ, tous les sols étudiés présentent une carence générale en phosphore. La gravité de celle-ci varie avec le type de sol : très accusée dans le sol de *merja,* moyennement forte dans le sol brun calcaire, le sol châtain sur croûte et le tir gris, faible dans le sol rouge méditerranéen, le sol châtain profond, le tirs noir et le sol gris.

Après le phosphore, c'est le soufre qui semble être l'élément dont la carence est la plus à craindre. Son insuffisance, bien qu'étant apparue progressivement, se manifeste de façon nette dans le sol châtain sur croûte, le sol brun calcaire, le sol châtain profond et le sol rouge méditerranéen.

Les sols examinés étant tous très pauvres en matière organique (principale réserve en soufre), on aurait pu s'attendre à une carence plus généralisée et plus grave en soufre.

Il semble donc que la fourniture de cet élément par le sol ne dépende pas seulement de la teneur en matière organique mais également de l'activité des bactéries du soufre dans le sol, activité qui serait assez élevée dans les sols du Maroc si on en juge par ces résultats. Néanmoins, la mise en évidence, grâce à cette expérimentation, de la carence en soufre dans quatre types de sol sur huit, situe un élément nouveau dans le domaine de la fertilisation des sols au Maroc. Ce résultat met une fois de plus l'accent sur le rôle important que peut jouer la matière organique dans la nutrition minérale des plantes comme fournisseur d'éléments fertilisants et devrait guider, en ce qui concerne la fumure minérale, le choix de la forme d'engrais à utiliser. Pour les sols carencés en soufre, il ne faudrait pas négliger dans la fumure les engrais soufrés comme le sulfate d'ammoniaque, le sulfonitrate d'ammoniaque, le superphosphate simple, le sulfate de potasse.

La carence en potassium, apparue progressivement comme celle en soufre, ne s'est manifestée que dans trois types de sol : dans le tirs gris où elle présente un caractère de gravité (84 % du meilleur rendement à la première coupe, 73 % à la deuxième, 51 % à la troisième), dans le sol rouge méditerranéen où elle est assez marquée (88 % du meilleur rendement à la première coupe, 70 % à la deuxième) et dans le sol brun calcaire où elle n'est pas très accusée (98 % du meilleur rendement à la deuxième coupe, 76 % à la troisième). On peut donc dire que, d'une manière générale, les sols testés sont assez bien pourvus en potassium.

En ce qui concerne le calcium, on n'a pas observé de carence vraiment grave en cet élément, à part dans le tirs gris. Son absence dans la fumure se traduit pour le sol brun calcaire, le sol rouge méditerranéen, le sol gris et le sol châtain profond, par une légère baisse de rendement à certaines coupes.

Comme pour le calcium, seul le tirs gris accuse une carence assez grave en magnésium (88 % du meilleur rendement à la première coupe, 69 % à la deuxième, 60 % à la troisième).

Quant aux oligo-éléments, les sols étudiés en sont assez bien pourvus dans l'ensemble. Le tirs gris et le sol châtain profond montrent cependant une certaine faiblesse en ces éléments (en moyenne 72 % du meilleur rendement pour le premier, 82 % pour le second). Il serait nécessaire dans une expérimentation ultérieure de chercher à connaître le ou les oligo-éléments qui se trouvent en quantité insuffisante dans ces sols.

TABLEAU XXVII

Gravité des carences

Type de sol	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium	Soufre	Oligo-éléments
Tirs noir	assez bien pourvu	assez bien pourvu	assez bien pourvu	bien pourvu	bien pourvu	bien pourvu
Tirs gris	pauvre à gravement carencé	pauvre à gravement carencé	pauvre à gravement carencé	pauvre à gravement carencé	bien pourvu	assez bien pourvu à pauvre
Sol brun calcaire	gravement carencé	assez bien pourvu à pauvre	assez bien pourvu à pauvre	bien pourvu	gravement carencé	bien pourvu
Sol châtain sur croûte	gravement carencé	bien pourvu	bien pourvu	bien pourvu	gravement carencé	bien pourvu
Sol rouge méditerranéen	pauvre à gravement carencé	pauvre à gravement carencé	assez bien pourvu à pauvre	pauvre	assez bien pourvu	bien pourvu
Sol gris	assez bien pourvu à pauvre	bien pourvu	assez bien pourvu	très bien pourvu	bien pourvu	bien pourvu
Tirs de merja	très gravement carencé	assez bien pourvu	assez bien pourvu	assez bien pourvu à pauvre	bien pourvu	bien pourvu
Sol châtain profond	pauvre à gravement carencé	bien pourvu	assez bien pourvu	assez bien pourvu à pauvre	pauvre à gravement carencé	assez bien pourvu à pauvre

J. KILIAN et J. VELLY, travaillant sur des sols tropicaux à Madagascar, ont établi les normes provisoires de carences suivantes :

1 Rendement à la première coupe < à 40 % du meilleur : carence très grave, interdisant toute culture correcte sur le terrain en question. Fertilisation de fond très urgente.

2. Rendement à la première coupe compris entre 40 et 70 % du meilleur : carence très grave, empêchant une croissance normale des plantes. Ici aussi, une fertilisation de fond s'impose.

3. Rendement à la première coupe > à 70 % du meilleur : deux cas peuvent se présenter. Dans l'un, c'est souvent le cas du calcium, le rendement reste sensiblement au même niveau. Il s'agit sans doute d'un problème d'assimilabilité. Dans l'autre cas, qui est souvent celui du soufre, le rendement est bon au début et décroît ensuite très rapidement. On se trouve alors devant un problème d'épuisement des réserves facilement assimilables. Dans le cas du soufre, la minéralisation ne se fait pas assez vite pour satisfaire les besoins de la plante.

En se reportant à cette échelle, on peut dire que parmi les sols étudiés, seul le tirs de *merja* accuse une carence grave, la carence en acide phosphorique, et nécessite une fertilisation de fond à base d'engrais phosphatés. Les autres types de sol ne présentent que certaines faiblesses plus ou moins prononcées dont il faudra tenir compte dans la fumure et qui sont schématisées dans le tableau ci-contre. Celui-ci a été établi en faisant intervenir à la fois l'importance moyenne d'une carence ou d'une faiblesse et son évolution au cours des différentes coupes (TABL. XXVII).

B. — Alimentation de la plante

Nous donnons dans le tableau suivant, pour chaque traitement et pour chaque élément, la moyenne générale calculée sur les teneurs dans les feuilles des cinq premiers essais, pour mieux faire ressortir l'action des différents traitements sur l'alimentation de la plante.

L'absence de phosphore dans la fumure se traduit par une baisse très nette de la teneur du ray-grass en cet élément. Il semble également que les teneurs en azote et en potassium diminuent légèrement dans le traitement sans phosphore.

TABLEAU XXVIII

TRAITEMENT	Azote %	Phosphore %	Pottasium
Fumure complète	4,67	0,60	2,48
Fumure complète moins P	4,51	0,28	2,29
Fumure complète moins K	4,78	0,64	1,71
Fumure complète moins Ca	4,70	0,64	2,35
Fumure complète moins Mg	4,86	0,65	2,37
Fumure complète moins S	4,69	0,65	2,33
Fumure complète moins oligo-éléments	4,75	0,61	2,52

On observe enfin que l'absence de potassium provoque une baisse assez sensible de la teneur du fourrage en cet élément. Les autres traitements ne paraissent exercer aucune influence notable sur les teneurs en azote, phosphore et potassium, les seuls éléments à avoir été dosés.

Maintenant, la comparaison des teneurs des feuilles en différents éléments sur les cinq essais analysés, telle qu'elle apparaît dans le tableau XXIX, permet de faire les remarques suivantes en ce qui concerne chacun des éléments :

1. Azote :

L'absorption de l'azote a été assez uniforme bien qu'il semble qu'elle ait été plus abondante dans le tirs noir et le sol rouge méditerranéen.

TABLEAU XXIX

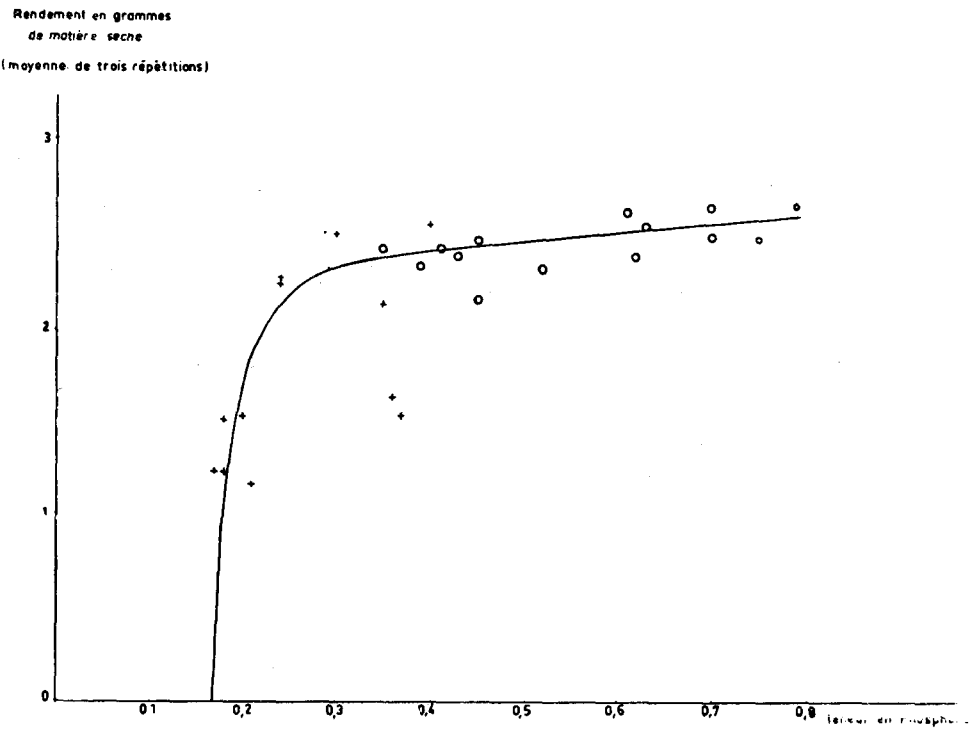
Type de sol	Azote %	Phosphore %	Potassium %
Tirs noir	4,89	0,41	2,19
Tirs gris	4,62	0,44	2,43
Sol brun calcaire	4,62	0,58	2,11
Sol châtain sur croûte	4,64	0,68	2,28
Sol rouge méditerranéen	4,79	0,79	2,45

2. Phosphore

Les teneurs en phosphore des différents essais sont assez variables. Le sol rouge méditerranéen, non calcaire, a une teneur beaucoup plus forte que les autres. Il est suivi par le sol châtain sur croûte et le sol brun calcaire. Le tirs noir et le tirs gris sont ceux qui accusent les teneurs les plus faibles.

Ces résultats montrent que, contrairement à ce qu'on aurait pu penser, la dose de phosphate soluble apportée, qui était forte (1 % de P_2O_5 par pot), n'est pas arrivée à assurer une nutrition phosphatée analogue dans tous les sols. Chaque sol a sans doute réagi en fonction de sa capacité de fixation du phosphore. Ceci avait déjà été constaté par KILIAN et J. VELLY à Madagascar. Dans ces conditions, le sol rouge méditerranéen aurait un taux très faible de fixation tandis que le tirs gris et le tirs noir auraient un taux très

GRAPHIQUE X

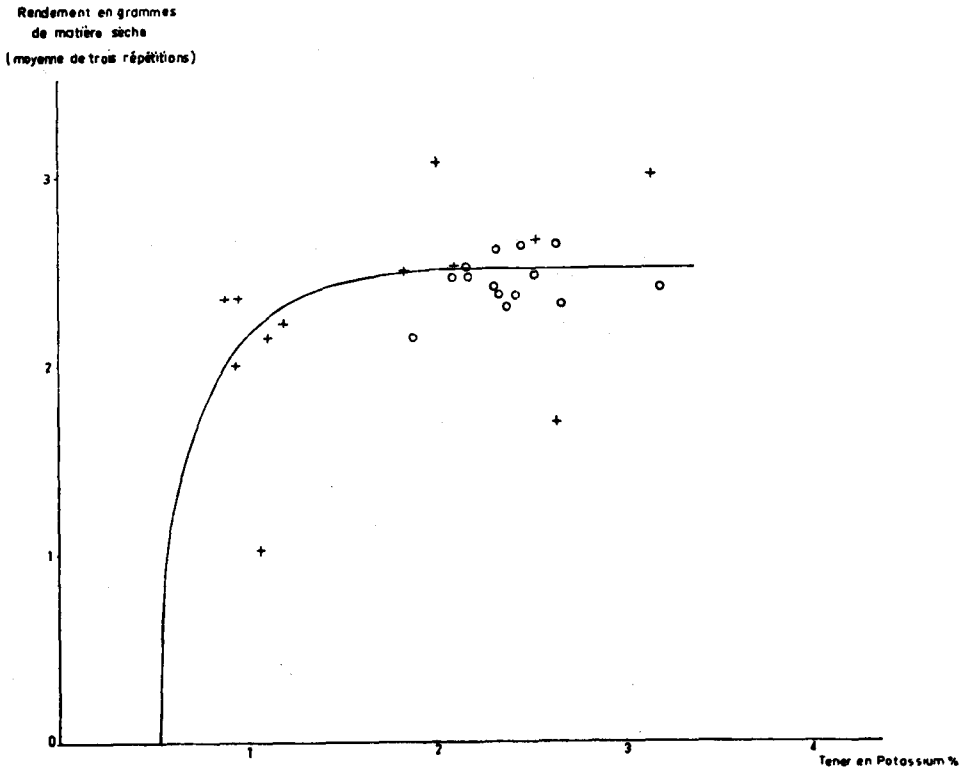


élevé, le sol châtain sur croûte et le sol brun calcaire un taux moyen.

A titre purement indicatif, on a tenté de déterminer le seuil de carence en phosphore dans les feuilles. Sur les graphique X, on a figuré la courbe des rendements en fonction des teneurs en phosphore dans les feuilles. Les points marqués d'une croix représentent les teneurs en phosphore des traitements sans phosphore alors que les points marqués d'un petit cercle correspondent aux teneurs en phosphore de différents traitements à bon rendement. D'après ce graphique, il semble que l'on puisse fixer autour de 0,25 la teneur à partir de laquelle les rendements commencent à décroître et en dessous de laquelle une carence en phosphore commence à se manifester.

3. Potassium

GRAPHIQUE XI



Les cinq types de sol ont fourni une alimentation en potassium à peu près identique. Cependant l'absorption de cet élément paraît avoir été plus forte dans le sol rouge méditerranéen et le tirs gris ; il s'agit sans doute, dans le cas du potassium, de consommations de luxe qui se sont produites avec plus ou moins d'intensité suivant le type de sol.

En vue de fixer le niveau utile de cet élément dans les feuilles, le même procédé de représentation utilisé pour le phosphore a été employé pour le potassium. Sur le graphique XI, les teneurs en potassium des traitements sans potassium sont marquées d'une croix tandis que des petits cercles figurent les teneurs en potassium de traitements à bon rendement.

La limite est ici moins nette que pour le phosphore ; ceci est dû à ce que dans l'ensemble les sols analysés ont présenté très peu de carences graves en potassium et que les teneurs en cet élément sont assez groupées. Néanmoins, on peut avancer que la teneur en potassium en dessous de laquelle le ray-grass commence à être mal alimenté correspond à peu près à 2 %.

C. — Alimentation en eau

Parallèlement à la détermination des carences minérales, il a paru intéressant de mesurer entre chaque récolte l'évapotranspiration du végétal et l'efficience de l'eau en fonction de la fumure apportée.

Cette comparaison n'a pu être effectuée que sur les quatre premiers types de sol (tirs noir, tirs gris, sol brun calcaire, et sol châtain sur croûte).

On a noté les quantités d'eau exportées à chaque mise au poids constant qui intervenait seulement tous les trois jours du fait que les températures maximales au cours de l'expérimentation ne dépassaient jamais 20° C et que par conséquent la transpiration végétale était faible.

Les pertes dues à l'évaporation du sol ont été considérées comme négligeables dans les conditions particulières de cette expérimentation, pour deux raisons :

— d'une part, le sol et les graines sont recouverts au moment du semis d'une couche de sable moyen de 2 à 3 mm environ d'épaisseur ; ce mulch freine considérablement l'évaporation du sol.

— d'autre part, les mesures des quantités d'eau utilisées n'ont commencé qu'à partir du moment où le ray-grass recouvrait entièrement

le sol ; on peut penser qu'à ce stade de l'expérience la majeure partie de l'eau exportée provenait de la transpiration du végétal.

Après la troisième coupe, la croissance étant devenue presque nulle dans la plupart des pots, les observations ont été arrêtées.

Enfin, tous les essais ont été réalisés sous des conditions climatiques identiques. Les chiffres obtenus pour les quatre types de sol considérés peuvent donc être comparés entre eux.

ESSAI 1 (Tirs noir)

TABLEAU XXX

Consommations globales par récolte exprimées en grammes

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	646	418	416
Fumure complète moins P	551	417	411
Fumure complète moins K	568	486	413
Fumure complète moins Ca	710	467	403
Fumure complète moins Mg	675	545	405
Fumure complète moins S	693	460	428
Fumure complète moins oligo-éléments	621	488	430

Ces consommations sont dans l'ensemble assez peu variables selon le traitement appliqué au sol.

TABLEAU XXXI

Consommation d'eau en grammes pour produire 1 g de matière sèche

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	261	190	161
Fumure complète moins P	259	238	182
Fumure complète moins K	225	243	175
Fumure complète moins Ca	312	237	171
Fumure complète moins Mg	250	259	172
Fumure complète moins S	275	195	167
Fumure complète moins oligo-éléments	253	212	170

Si on considère égal à 100 le volume d'eau transpiré par le traitement fumure complète, le classement des consommations s'établit comme suit :

TABLEAU XXXII

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	99	125	113
Fumure complète moins K	86	127	108
Fumure complète moins Ca	119	124	106
Fumure complète moins Mg	95	136	106
Fumure complète moins S	105	102	103
Fumure complète moins oligo-éléments	96	111	105

Pour ce type de sol, l'un des moins carencés de tous les sols étudiés, les coefficients de transpiration (quantité d'eau évaporée correspondant à la formation de 1 kg de matière sèche, ici ramenée à la formation de 1 g) ne varient pas beaucoup d'un traitement à l'autre. Cependant, ils sont plus élevés pour les traitements à fumure carencée en un élément et ayant provoqué une baisse tant soit peu sensible de rendement par rapport au traitement à fumure complète. La faiblesse du sol en un élément se traduit donc par un gaspillage d'eau.

TABLEAU XXXIII

Hiérarchie des carences du sol		Hiérarchie des consommations d'eau	
Fumure complète	100	Fumure complète	100
Fumure complète moins P	79	Fumure complète moins Mg	136
Fumure complète moins Ca	89	Fumure complète moins K	127
Fumure complète moins K	90	Fumure complète moins P	125
Fumure complète moins Mg	95	Fumure complète moins Ca	124
Fumure complète moins oligo-éléments	104	Fumure complète moins oligo-éléments	111
Fumure complète moins S	106	Fumure complète moins S	102

On a comparé dans le tableau XXXIII les consommations d'eau avec la hiérarchie des carences du sol en prenant comme base les chiffres de la deuxième récolte. Le choix de celle-ci a été fait pour deux raisons : d'une part à la première récolte, certaines carences n'apparaissent pas, d'autre part à la troisième récolte on est souvent en présence de carences d'intensité très variable.

Il ne semble pas exister de parallélisme rigoureux entre le coefficient de transpiration et les carences décelées du sol en éléments fertilisants. La faiblesse du sol en magnésium provoque une consommation d'eau assez forte par rapport aux autres. Il en est de même du potassium par rapport au phosphore et au calcium.

ESSAI 2 (Tirs gris) :

TABLEAU XXXIV

Consommations globales par récolte

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	738	545	391
Fumure complète moins P	658	400	296
Fumure complète moins K	765	528	395
Fumure complète moins Ca	605	408	326
Fumure complète moins Mg	658	478	383
Fumure complète moins S	740	510	441
Fumure complète moins oligo-éléments	620	525	368

TABLEAU XXXV

Quantités d'eau en grammes nécessaires pour produire 1 g

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	273	237	195
Fumure complète moins P	289	328	195
Fumure complète moins K	253	310	387
Fumure complète moins Ca	212	240	250
Fumure complète moins Mg	263	298	319
Fumure complète moins S	245	237	249
Fumure complète moins oligo-éléments	200	291	237

TABLEAU XXXVI

Classement des consommations d'eau

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	105	139	99
Fumure complète moins K	92	131	198
Fumure complète moins Ca	78	101	128
Fumure complète moins Mg	96	126	163
Fumure complète moins S	89	100	127
Fumure complète moins oligo-éléments	82	123	121

TABLEAU XXXVII

Hiérarchie des carences du sol		Hiérarchie des consommations d'eau	
Fumure complète	100	Fumure complète	100
Fumure complète moins P	53	Fumure complète moins P	139
Fumure complète moins Mg	69	Fumure complète moins K	131
Fumure complète moins K	73	Fumure complète moins Mg	126
Fumure complète moins Ca	73	Fumure complète moins oligo-éléments	123
Fumure complète moins oligo-éléments	78	Fumure complète moins Ca	101
Fumure complète moins S	93	Fumure complète moins S	100

Ici, la carence en potassium paraît se traduire par une consommation d'eau supérieure à celle correspondant à la carence en phosphore, plus élevée dans la hiérarchie.

La carence en magnésium, comme dans le type de sol précédent, provoque une assez forte évaporation d'eau. La carence en oligo-éléments paraît augmenter également de façon assez sensible le coefficient de transpiration. Par contre, la déficience en calcium dans ce sol n'influe pratiquement pas sur la consommation d'eau.

Dans cet essai, le potassium est l'élément qui agit le plus sur la quantité d'eau évaporée. Viennent ensuite le phosphore, le magnésium et les oligo-éléments.

ESSAI 3 (Sol brun calcaire)

TABLEAU XXXVIII

Consommations globales par récolte

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxièème coupe	Troisième coupe
Fumure complète	836	515	495
Fumure complète moins P	767	452	323
Fumure complète moins K	860	555	468
Fumure complète moins Ca	771	448	410
Fumure complète moins Mg	780	480	465
Fumure complète moins S	758	457	383
Fumure complète moins oligo-éléments	720	386	418

TABLEAU XXXIX

Quantité d'eau en grammes pour produire 1 g de matière sèche

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	309	228	170
Fumure complète moins P	307	292	275
Fumure complète moins K	322	258	210
Fumure complète moins Ca	342	304	182
Fumure complète moins Mg	306	218	165
Fumure complète moins S	313	322	273
Fumure complète moins oligo-éléments	291	201	152

TABLEAU XL

Classement des consommations d'eau

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	99	128	161
Fumure complète moins K	104	113	123
Fumure complète moins Ca	110	133	107
Fumure complète moins Mg	99	96	97
Fumure complète moins S	101	141	160
Fumure complète moins oligo-éléments	94	88	89

TABLEAU XLI

Hiérarchie des carences du sol		Hiérarchie des consommations d'eau	
Fumure complète	100	Fumure complète	100
Fumure complète moins S	63	Fumure complète moins S	141
Fumure complète moins Ca	65	Fumure complète moins Ca	133
Fumure complète moins P	68	Fumure complète moins P	128
Fumure complète moins K	95	Fumure complète moins K	113
Fumure complète moins Mg	97	Fumure complète moins Mg	96
Fumure complète moins oligo-éléments	109	Fumure complète moins oligo-éléments	88

Il existe pour ce type de sol un parallélisme assez rigoureux entre la hiérarchie des carences du sol décelées en vases de végétation et les consommations d'eau correspondantes.

Le soufre semble agir davantage sur le coefficient de transpiration que le calcium et le phosphore.

ESSAI 4 (Sol châtain sur croûte)

On observe ici également une concordance parfaite entre la hiérarchie des carences et celle des consommations d'eau. La carence en soufre qui est la plus grave des carences observées provoque une forte augmentation du coefficient de transpiration. La déficience en phosphore, presque aussi grave que celle en soufre, se traduit par une consommation d'eau moindre. L'absence de magnésium et de potassium dans la fumure, si elle influe peu sur le rendement en matière sèche, accroît de façon assez sensible la quantité d'eau évaporée.

TABLEAU XLII

Consommations globales par récolte

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	953	671	527
Fumure complète moins P	918	600	387
Fumure complète moins K	908	725	495
Fumure complète moins Ca	938	108	575
Fumure complète moins Mg	050	822	637
Fumure complète moins S	870	680	218
Fumure complète moins oligo-éléments	978	781	501

TABLEAU XLIII

Classement des consommations d'eau

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	100	100	100
Fumure complète moins P	119	142	132
Fumure complète moins K	98	111	87
Fumure complète moins Ca	96	106	111
Fumure complète moins Mg	113	123	132
Fumure complète moins S	93	168	220
Fumure complète moins oligo-éléments	109	105	129

TABLEAU XLIV

Quantité d'eau en g pour produire 1 g de matière sèche

TRAITEMENT	Première coupe	Deuxième coupe	Troisième coupe
Fumure complète	302	261	240
Fumure complète moins P	360	370	317
Fumure complète moins K	295	290	209
Fumure complète moins Ca	290	276	267
Fumure complète moins Mg	339	322	318
Fumure complète moins S	280	439	528
Fumure complète moins oligo-éléments	330	274	309

TABLEAU XLV

Hiérarchie des carences du sol		Hiérarchie des consommations d'eau	
Fumure complète	100	Fumure complète	100
Fumure complète moins S	60	Fumure complète moins S	168
Fumure complète moins P	63	Fumure complète moins P	142
Fumure complète moins Mg	91	Fumure complète moins Mg	123
Fumure complète moins K	97	Fumure complète moins K	111
Fumure complète moins Ca	99	Fumure complète moins Ca	106
Fumure complète moins oligo-éléments	110	Fumure complète moins oligo-éléments	105

L'analyse de ces quatre essais, au point de vue de la consommation d'eau, permet de faire les remarques suivantes :

Les coefficients de transpiration pour les quatre types de sol examinés et pour les pots à fumure complète sont assez voisins. Le chiffre obtenu à la première coupe varie en effet de 261 à 309. Il est cependant plus faible dans le cas du tirs noir et du tirs gris que dans celui du sol brun calcaire et du sol châtain sur croûte.

Lorsqu'un sol présente une carence en un élément fertilisant, la valeur du coefficient de transpiration est toujours accrue, l'augmen-

tation de consommation d'eau enregistrée étant fonction du degré de gravité de la carence.

Il ne semble pas exister de parallélisme absolu entre la hiérarchie des carences du sol en éléments fertilisants et les valeurs correspondantes des consommations d'eau. Certains éléments provoquent par leur déficience des gaspillages d'eau plus importants que d'autres ; c'est ainsi que le coefficient de transpiration est davantage affecté par une carence en soufre que par une carence en phosphore. Il en est de même du potassium par rapport au calcium.

Bien qu'il soit difficile d'établir une échelle rigoureuse des consommations d'eau en fonction des carences du sol, étant donné que celles-ci dans le cadre de ces essais ne se sont pas manifestées avec la même intensité, il semble cependant que les éléments se classent dans l'ordre décroissant suivant :

K, Mg, S, P, Ca, oligo-éléments.

Des essais ultérieurs permettront sans doute de vérifier l'exactitude de ce classement mais d'ores et déjà, il apparaît nettement que la richesse chimique du sol, quel que soit l'élément fertilisant considéré, exerce une influence très importante sur la transpiration végétale.

IV. Conclusion

A titre d'essai préliminaire, la méthode du diagnostic des carences minérales par la technique des vases de végétation a été appliquée à huit types de sol du Maroc, largement représentés à travers le pays. Cette première expérimentation a permis d'obtenir des indications intéressantes sur la richesse chimique des sols étudiés. On peut les résumer comme suit :

Tous les sols examinés présentent une carence générale en phosphore, plus ou moins grave selon le type. Le tirs de *merja* dont les pots sans phosphore accusent dès la première coupe un rendement inférieur à 60 % du meilleur traitement, le sol châtain sur croûte et le sol brun calcaire sont ceux qui en souffrent le plus. Mis à part ces trois types de sol, cette carence s'aggrave peu de la première à la dernière coupe, ce qui semble indiquer qu'il s'agit surtout dans

ces sols d'un défaut d'assimilabilité du phosphore plutôt que d'une déficience absolue en cet élément.

Les autres carences ne constituent que des cas particuliers. La carence en soufre s'est révélée assez grave dans le sol châtain sur croûte, le sol brun calcaire et le sol châtain profond. Le manque de cet élément, à la différence du phosphore, ne se manifeste qu'à partir de la deuxième coupe et s'accentue très fortement à la troisième coupe.

La déficience en potassium a été mise en évidence dans le tirs gris, le sol rouge méditerranéen et le sol brun calcaire. Comme pour le soufre, mais de manière moins brutale, les rendements des sols carencés en potassium diminuent régulièrement d'une coupe à l'autre.

Contrairement à ce qu'on pouvait attendre vu la nature des sols testés, plusieurs d'entre eux, comme le tirs gris, le sol brun calcaire, le sol rouge méditerranéen, le sol châtain profond, le tirs de *merja,* le sol gris, ont manifesté une certaine faiblesse en calcium, en général à la deuxième coupe. Il s'agit sans doute d'un problème d'assimilabilité, probablement aggravé par un antagonisme potassium-calcium, étant donné que la faiblesse constatée, sauf dans le cas du tirs gris, se maintient à un niveau sensiblement constant.

En ce qui concerne le magnésium, le tirs gris présente une carence assez grave en cet élément tandis que le sol rouge méditerranéen, le sol châtain profond et le tirs de *merja* accusent une légère déficience.

Enfin, mis à part le tirs gris et le sol châtain profond, les sols examinés sont assez bien pourvus en oligo-éléments.

Si on prend en considération l'ensemble des éléments, les sols qui se sont révélés les plus pauvres au point de vue chimique sont le tirs gris, le sol rouge méditerranéen et le sol gris (le plus pauvre en matière organique a présenté le moins de carences mais a par contre fourni en valeur absolue la production totale la plus faible en matière sèche).

La détermination des coefficients de transpiration du ray-grass dans quatre essais a permis de mettre en évidence les points suivants :

Des gaspillages d'eau accompagnent toujours une carence d'un sol en un élément nutritif. Ils sont d'autant plus élevés que la déficience est plus grave.

Cependant pour un même niveau de gravité, les différentes carences d'un sol en éléments minéraux se traduisent par des consommations d'eau variables selon l'élément considéré.

En conclusion, il apparaît, après cette première série d'essais, que la méthode du diagnostic des carences minérales des sols en vases de végétation, en permettant de déceler les faiblesses des sols au point de vue chimique et d'établir la hiérarchie des carences, puisse servir de base à la régénération de la fertilité des sols du Maroc dans le cadre des programmes de mise en valeur. Malgré son caractère purement qualitatif, il semble que les résultats qu'elle fournit rendent compte de l'état chimique du sol de façon plus réelle et plus dynamique que les analyses chimiques conventionnelles.

ملخص

ان طريقة تشخيص نقصان المواد المعدنية فى التجارب التمهيدية وبواسطة تقنية مراحل الانبات الموضوعة من طرف الاستاذ ر. شاميناد قد طبقت على ثمانية انواع من الارض تمثل غالبية الاراضى الموجودة فى المغرب ومع نبات الزوان كنبات للتجربة والنتائج المحصل عليها الخاصة بالمردود (اوزان المادة المحشوشة اليابسة) قد سمحت بوضع وبوضوح النقط التالية:

— جميع الاراضى المختبرة تظهر نقصا عاما للفوسفور حتى ان نقصه فى بعض الاراضى يعتبر خطيرا .

— اما نقصان المواد الاخرى فانه لا يكون الا حالات خاصة من الكثافة المتغيرة بتوالى الاهمية المتناقصة حيث الكبريت البوتاسيوم، المغنيزيوم والكالسيوم واوليكوايليما .

— تعكس تغذية النبتة بصدق الحالة الكيماوية للاراضى المختبرة (احتواء الكلا على النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)

— يظهر تحديد معاملات تنفس نبات الزوان ان الافراط فى الماء يصحبه دائما نقص احد العناصر فى احد انواع الارض وانه لنفس المستوى فان مختلف النقصان لارض ما من العناصر المعدنية يعبر عنه باستهلاك متغير تبعا للعنصر المقدر .

RÉSUMÉ

A titre d'essais préliminaires, la méthode du diagnostic des carences minérales par la technique des vases de végétation, mise au point

par R. CHAMINADE, a été appliquée à huit types de sol, largement représentés à travers le Maroc, avec le ray-grass comme plante-test. Les résultats obtenus concernant le rendement (poids de matière sèche de plusieurs coupes) ont permis de mettre en évidence les points suivants :

— tous les sols examinés présentent une carence générale en phosphore, plus ou moins grave selon le type,

— les autres carences ne constituent que des cas particuliers d'intensité variable ; par ordre d'importance décroissante viennent le soufre, le potassium, le magnésium, le calcium et les oligo-éléments.

L'alimentation de la plante (teneur du fourrage en N, P et K) reflète assez fidèlement l'état chimique des sols testés.

La détermination des coefficients de transpiration du ray-grass montre que des gaspillages d'eau accompagnent toujours une carence d'un sol en un élément et que, pour un même niveau de gravité, les différentes carences d'un sol en éléments minéraux se traduisent par des consommations d'eau variables suivant l'élément considéré.

RESUMEN

Diagnóstico de las carencias minerales de los suelos marroquíes en cultivos en tiestos

Con motivo de ensayo preliminar el método de diagnóstico de las carencias minerales por medio de la técnica de cultivo en tiestos, arreglada por R. CHAMINADE, ha sido aplicado a ocho tipos de suelo ampliamente representados en Marruecos, con vallico perenne como planta experimental. Los resultados obtenidos en materia de rendimientos hacen resaltar los puntos siguientes :

— todos los suelos ofrecen una carencia general de fósforo más o menos grave según el tipo ;

— las demás carencias no son más que casos particulares de intensidad variable ; se trata, en orden de importancia decreciente, del azufre, de la potasa, del magnesio, del calcio y de micro-elementos.

La nutrición de la planta (contenido en N, P y K del foraje) refleja con bastante regularidad el estado químico de los suelos estudiados.

La determinación de los coeficientes de transpiración del vallico demuestra que la carencia de un elemento en un suelo va siempre acompañada de desperdicios de agua y que, para un mismo grado

de importancia, las diferentes carencias de un suelo en elementos minerales se manifiestan por consumos de agua que varían según el elemento en cuestión.

SUMMARY

Diagnostic of mineral deficiencies of Moroccan soil in pot culture

In a preliminary trial the method for diagnosing mineral deficiencies with the technique of pot culture, devised by R. CHAMINADE, has been applied to eight wide-spread Moroccan soil types, using ray-grass as a test plant. The resulting yields (weight of dry matter of several clippings) reveal the following facts :

— all the soils that were studied showed a general phosphorus deficiency, more or less severe according to the type ;

— the other deficiencies were only particular cases of variable intensity concerning, in a decreasing order of importance, sulphur, potassium, magnesium, calcium and trace elements.

The nutritional status of the plants as indicated by the N, P and K content of the forage corresponds rather consistently to the chemical status of the tested soils.

The determination of the transpiration coefficients of the ray-grass shows that a waste of water always accompanies the deficiency of any element in the soil and that at an equal degree of severity the different deficiencies of a soil in mineral nutrients correspond with water uses that vary according to the element in question.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

1. CHAMINADE, R. — 1960. Expérimentation en petits vases de végétation. — Types d'essais pour tester l'efficacité des engrais humiques, Ann. Agro., **2**, pp. 121-133.

2. — 1964. Diagnostic des carences minérales du sol par l'expérimentation en petits vases de végétation. — Science du sol, deuxième semestre, pp. 157-167.

3. GAUR, A.C. — 1964. Influence de l'acide humique sur la croissance et la nutrition minérale des végétaux. — Bulletin de l'A.F.E.S., **5**, pp. 207-219.

4. KILIAN, J. & J. VELLY — 1964. Diagnostic des carences minérales en vases de végéation sur quelques sols de Madagascar. — Agro. Trop., **5**, pp. 413-443.