
Dépôt Institutionnel de l'Université libre de Bruxelles /
Université libre de Bruxelles Institutional Repository
Thèse de doctorat/ PhD Thesis

Citation APA:

Van Schoor, G. (1938). *Les relations entre la composition élémentaire de la plante et son alimentation* (Unpublished doctoral dissertation). Université libre de Bruxelles, Faculté des sciences, Bruxelles.

Disponible à / Available at permalink : <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/294981/4/6615c497-6804-40a2-ae83-ee8004eb0c82.txt>

(English version below)

Cette thèse de doctorat a été numérisée par l'Université libre de Bruxelles. L'auteur qui s'opposerait à sa mise en ligne dans DI-fusion est invité à prendre contact avec l'Université (di-fusion@ulb.be).

Dans le cas où une version électronique native de la thèse existe, l'Université ne peut garantir que la présente version numérisée soit identique à la version électronique native, ni qu'elle soit la version officielle définitive de la thèse.

DI-fusion, le Dépôt Institutionnel de l'Université libre de Bruxelles, recueille la production scientifique de l'Université, mise à disposition en libre accès autant que possible. Les œuvres accessibles dans DI-fusion sont protégées par la législation belge relative aux droits d'auteur et aux droits voisins. Toute personne peut, sans avoir à demander l'autorisation de l'auteur ou de l'ayant-droit, à des fins d'usage privé ou à des fins d'illustration de l'enseignement ou de recherche scientifique, dans la mesure justifiée par le but non lucratif poursuivi, lire, télécharger ou reproduire sur papier ou sur tout autre support, les articles ou des fragments d'autres œuvres, disponibles dans DI-fusion, pour autant que :

- Le nom des auteurs, le titre et la référence bibliographique complète soient cités;
- L'identifiant unique attribué aux métadonnées dans DI-fusion (permalink) soit indiqué;
- Le contenu ne soit pas modifié.

L'œuvre ne peut être stockée dans une autre base de données dans le but d'y donner accès ; l'identifiant unique (permalink) indiqué ci-dessus doit toujours être utilisé pour donner accès à l'œuvre. Toute autre utilisation non mentionnée ci-dessus nécessite l'autorisation de l'auteur de l'œuvre ou de l'ayant droit.

----- **English Version** -----

This Ph.D. thesis has been digitized by Université libre de Bruxelles. The author who would disagree on its online availability in DI-fusion is invited to contact the University (di-fusion@ulb.be).

If a native electronic version of the thesis exists, the University can guarantee neither that the present digitized version is identical to the native electronic version, nor that it is the definitive official version of the thesis.

DI-fusion is the Institutional Repository of Université libre de Bruxelles; it collects the research output of the University, available on open access as much as possible. The works included in DI-fusion are protected by the Belgian legislation relating to authors' rights and neighbouring rights. Any user may, without prior permission from the authors or copyright owners, for private usage or for educational or scientific research purposes, to the extent justified by the non-profit activity, read, download or reproduce on paper or on any other media, the articles or fragments of other works, available in DI-fusion, provided:

- The authors, title and full bibliographic details are credited in any copy;
- The unique identifier (permalink) for the original metadata page in DI-fusion is indicated;
- The content is not changed in any way.

It is not permitted to store the work in another database in order to provide access to it; the unique identifier (permalink) indicated above must always be used to provide access to the work. Any other use not mentioned above requires the authors' or copyright owners' permission.

LES RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION ELEMENTAIRE

DE LA PLANTE ET SON ALIMENTATION.

Germaine H. J. VAN SCHOR.

ULB
Morphologie
végétale

MT 162-B

2

A. VARIATIONS SELON LA METHODE ADDITIVE. 149

Chapitre II. expérience n°2 sur le cotoonnier 149

1. les teneurs 149

2. examen des équations des plans de variation des teneurs 155

VARIATIONS TERNAIRES ANIONIQUES ET CATIONIQUES	15
=====	
à la somme des cations	15
APPLIQUEES A QUELQUES PLANTES.	16
=====	

1. les teneurs 160

2. examen des équations des plans de variation des teneurs 162

A. VARIATIONS SELON LA METHODE ADDITIVE. page 149

B. VARIATIONS SELON LA METHODE MULTIPLICATIVE. 167 175

c. expérience n° 4 sur le palmier 168

1. les teneurs 168

2. examen des équations des plans de variation des teneurs 171

3. les limites des teneurs 171

4. les proportions 172

5. le rapport de la somme des anions à la somme des cations 174

A.	<u>VARIATIONS SELON LA METHODE ADDITIVE.</u>	149
	a. expérience n°2 sur le cotonnier	149
	1. les teneurs	149
	2. examen des équations des plans de variation des teneurs	155
	3. les limites des teneurs	156
	4. les proportions	158
	5. le rapport de la somme des anions à la somme des cations	159
	b. expérience n°3 sur le maïs	160
	1. les teneurs	160
	2. examen des équations des plans de variation des teneurs	162
	3. les limites des teneurs	164
	4. les proportions	165
	5. le rapport de la somme des anions à la somme des cations	167
	c. expérience n° 4 sur le palmier	168
	1. les teneurs	168
	2. examen des équations des plans de variation des teneurs	171
	3. les limites des teneurs	171
	4. les proportions	172
	5. le rapport de la somme des anions à la somme des cations	174

A. VARIATIONS SUIVANT LA METHODE ADDITIVE

a. Expérience n° 2 sur le cotonnier (annexes 220 à 223)

A. Lendenans

L'expérience consiste en deux parties. Dans la première, les proportions anioniques varient au sein d'une somme constante d'anions, ce sont les variations expérimentales anioniques ; dans la seconde, les proportions de cations varient au sein d'une somme constante de cations, ce sont les variations expérimentales cationiques.

L'expérience, dans ses variations expérimentales cationiques, est comparable à la première expérience commentée précédemment.

Les cotonniers ont été élevés dans les mêmes conditions de culture dans les deux expériences, à un an d'intervalle, dans une serre climatisée, où les mêmes variations de température et d'humidité ont été réalisées. Les différences de conditions de culture portent sur la lumière (qui est la lumière naturelle) et le substrat de culture, du sable blanc de Hollande, dont l'origine diffère d'une année à l'autre, et par conséquent, de celle du sable utilisé pour la première expérience. Les résultats d'analyse, exprimés par les teneurs en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche, figurent à l'annexe 221.

A l'examen des teneurs et de leurs moyennes, nous observons, pour les variations cationiques, des valeurs assez semblables à celles observées dans la première expérience en

ce qui concerne les cations, mais il n'en est pas de même pour les anions, qui dans la deuxième expérience atteignent environ cinquante pour-cent des valeurs observées dans le premier cas.

Il est fort curieux que de telles différences de teneurs anioniques puissent exister pour des fragments d'organes entièrement homologues, provenant de plantes cultivées sur solutions nutritives identiques en dose et en équilibre anionique et soumises à des conditions très voisines.

Au sein de la deuxième expérience, les variations en fonction des traitements cationiques, seuls comparables, montrent les mêmes particularités que dans la première expérience : grandes variations pour les trois cations, variations plus faibles pour les anions et les totaux.

Les coefficients de variabilité des traitements (C_T) autour de leur moyenne générale ont été comparés dans la solution et dans la plante (tableau 53). Mais ici, comme l'analyse n'a porté que sur un fragment de tige, il ne faut pas s'attendre à une similitude entre les coefficients C_T du milieu et celui de la plante entière. Cependant, cette expérience est assez semblable à la première, les coefficients C_T sont du même ordre de grandeur pour le fragment de tige dans les variations expérimentales cationiques.

Tableau 53

Coefficient de variabilité des traitements (C_T) et indice de variation (V).

Groupelement chimique dose Elément	Expérience n°2 - Variations expérimentales						Exp. n° 1 V
	anioniques			cationiques			
	C_T dans le milieu	C_T dans la plante	V	C_T dans le milieu	C_T dans la plante	V	
NO ₃	66	54	0,82	0	12	∞	∞
SO ₄	72	35	0,49	0	17	∞	∞
PO ₄	72	26	0,36	0	17	∞	∞
Σ -	0	31	∞		7	∞	∞
K	0	12	∞	70	49	0,70	0,80
Ca	0	17	∞	66	41	0,62	0,63
Mg	0	25	∞	71	46	0,65	0,74
Σ +	0	10	∞	0	22	∞	∞
Tot + et -	0	18	∞	0	11	∞	∞

nettement.

D'autre part, les cations dans la plante voient leurs teneurs influencées par les variations expérimentales anioniques, à peu près dans la même mesure que les anions le sont par les variations expérimentales cationiques.

Les variations des teneurs anioniques ne révèlent pas de compensations appréciables, contrairement à ce qui se passe pour les cations. La comparaison de la déviation standard de la somme anionique avec la valeur calculée sur le principe

La comparaison des déviations standard sur les totaux et des déviations calculées en se basant sur le principe de l'additivité des variances (tableau 54) décèle l'existence de compensations au sein des cations et peut-être entre anions et cations. Les valeurs de ces déviations sont en effet 3,1 - 3,6 - 3,9 contre 4,2 - 13,5 - 14,0 pour les valeurs calculées suivant le principe de l'additivité des variances. Les premières sont manifestement inférieures, ce qui suggère effectivement des compensations.

Pour les variations expérimentales anioniques, les teneurs montrent dans leur variabilité ^{sur un échantillon} $r(C_T)$ deux groupes de valeurs : les coefficients relatifs aux anions (moyenne 38) et les coefficients relatifs aux cations (moyenne 21).

Les premiers sont donc élevés, bien qu'un peu moins que ceux qui concernent les cations dans la partie de l'expérience où les variations appliquées portent sur les cations.

Les teneurs en anions sont donc un peu moins influencées que les teneurs en cations par les variations correspondantes dans le milieu nutritif, mais elles le sont cependant très nettement.

D'autre part, les cations dans la plante voient leurs teneurs influencées par les variations expérimentales anioniques, à peu près dans la même mesure que les anions le sont par les variations expérimentales cationiques.

Les variations des teneurs anioniques ne révèlent pas de compensations appréciables, contrairement à ce qui se passe pour les cations. La comparaison de la déviation standard de la somme anionique avec la valeur calculée sur le principe

de l'additivité des variances (tableau 53) est claire à ce sujet.

Tableau n° 54

La régression plane, tant pour les variations expérimentales anioniques que pour les variations expérimentales cationiques, est faite sur la base des justifications apportées par la première expérience discutée.

Les équations obtenues après régression, figurent au tableau 54. Les valeurs significatives n'ont pas été soulignées vu le petit nombre de cas (6) ayant servi à établir la régression, et la valeur très grande, dans ce cas, de t , nous ne nous limiterons donc pas dans cette expérience, ni dans celles qui suivent, à la stricte observance des cas où ces valeurs sont statistiquement valables.

Groupement chimique	\bar{x}	σ_x	σ_y	r	a	b
NO ₃	27.0	1.2	0.095	+0.112	+22.1	4.2
	19.0	0.32	0.04	0.30	0.8	4.2
SO ₄	27.0	1.2	0.095	+0.112	+22.1	4.2
	19.0	0.32	0.04	0.30	0.8	4.2
CO ₃	14.0	0.175	-0.027	+1.2	2.4	2.4
	2.4	0.02	0.02	0.4	0.4	2.4
Mg	4.4	0.027	-0.047	+2.2	1.1	2.5
	1.1	0.04	0.04	0.7	0.7	2.5
Total	52.5	0.138	-0.122	+21.2	5.0	13.5
	5.0	0.20	0.20	3.7	3.7	13.5
Total + et -	95.7	1.238	+0.022	+0.257	+60.2	7.2
	12.8	0.35	0.04	0.36	7.2	7.2

(1) \bar{x} = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_x = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

Tableau n° 54

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche de fragment de tige en fonction des éléments du groupe ionique auquel cet élément appartient soit (NO₃, SO₄, PO₄ ou K, Ca, Mg) apportés sous forme de fumure par litre de sable.

Groupe- ment chimique dosé	Variations anioniques de la <i>Solution mixte</i>					Variations cationiques de la <i>Solution mixte</i>				
	\bar{m} $\pm \sigma_T$	Equations				\bar{m} $\pm \sigma_T$	Equations			
NO ₃	27,8 15,0	$\frac{1,10N}{0,31}$	$-0,05P$	$+12,3$	5,8	29,9 3,6	$0,14K$	$+\frac{0,32Mg}{0,07}$	$+23,8$	1,4
SO ₄	3,5 1,3	$\frac{0,09S}{0,04}$	$+0,08N$	$+1,4$	0,7	3,5 0,6	$0,02K$	$-0,02Mg$	$+3,5$	0,3
PO ₄	11,9 3,0	$0,16P$	$+0,02N$	$+10,0$	1,6	11,8 2,0	$0,03K$	$-0,04Mg$	$+11,9$	1,7
\bar{M}	43,2 13,2	$\frac{1,20N}{0,32}$	$+0,09S$	$+0,11P$	$+19,1$	45,2 3,1	$0,19K$	$+\frac{0,26Mg}{0,11}$	$+39,2$	22,2
$\sqrt{\epsilon \sigma^2}$	15,4	$\frac{1,11N}{0,33}$	$+0,02P$	$+28,1$	6,9	4,2				
K	34,1 4,1	$-0,12N$	$-0,10P$	$+37,7$	3,6	24,1 11,8	$\frac{0,89K}{0,22}$	$-0,08Mg$	$+11,5$	4,2
Ca	14,0 2,4	$\frac{0,17N}{0,02}$	$-0,06P$	$+1,5$	0,4	14,3 5,8	$\frac{0,46Ca}{0,05}$	$-0,51Mg$	$+22,0$	0,9
Mg	4,4 1,1	$\frac{0,08N}{0,04}$	$+0,04P$	$+2,2$	0,7	5,4 2,5	$\frac{0,19Mg}{0,04}$	$-0,05Ca$	$+3,6$	0,8
\bar{M}	52,5 5,0	$0,13N$	$+0,12P$	$+41,4$	3,7	43,9 9,6	$\frac{0,89K}{0,22}$	$+\frac{0,41Ca}{0,06}$	$-0,40Mg$	$+37,4$
$\sqrt{\epsilon \sigma^2}$	5,0					13,5	$0,48K$	$-\frac{0,81Mg}{0,22}$	$+78,1$	3,0
Total + et -	95,7 17,8	$\frac{1,33N}{0,38}$	$+\frac{0,09S}{0,04}$	$+\frac{0,23P}{0,36}$	$+60,5$	89,0 9,6	$\frac{1,08K}{0,25}$	$+\frac{0,41Ca}{0,06}$	$-0,16Mg$	$+76,3$
$\sqrt{\epsilon \sigma^2}$	16,1	$\frac{1,24N}{0,38}$	$+0,14P$	$+69,5$	7,3	14,0	$\frac{0,67K}{0,28}$	$-\frac{0,57Mg}{0,12}$	$+117,3$	23,0

(1) \bar{m} = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

2. Examen des équation des plans de variation des teneurs (tableau 54)

A. Examen des équations relatives à la partie de l'expérience où les variations appliquées portent sur les proportions cationiques.

(N.B. Il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit de fragment de tige et que la comparaison ne peut se faire qu'avec le tableau 32).

a. Il se confirme que les teneurs en potassium et magnésium sont surtout dépendantes de la teneur du milieu nutritif en ces mêmes cations, alors que la teneur en calcium dépend des proportions des trois éléments.

b. Il se confirme que la teneur en azote de la plante dépend de la teneur en magnésium, donc du rapport $\frac{Mg}{K + Ca}$ dans le milieu nutritif. Par contre, le soufre et le phosphore, dans leur comportement, diffèrent de la première série où les variations étaient d'ailleurs ^{très} ~~fort~~ faibles.

B. Examen des équations relatives à la partie de l'expérience où les variations appliquées portent sur les proportions anioniques.

a. L'azote et le soufre ont des teneurs essentiellement influencées par la teneur du milieu nutritif en ces mêmes éléments. Les variations ainsi rendues possibles sont considérables et pratiquement aussi étendues que pour les cations. Le phosphore montre

la même relation avec une signification un peu moindre.

b. La teneur de l'organe en potassium s'élève pour les teneurs en soufre élevées du milieu nutritif.

c. Les teneurs en calcium et magnésium s'élèvent, au contraire, principalement en fonction de la teneur en azote du milieu extérieur.

d. Le total anionique interne dépend de la proportion d'azote dans le milieu nutritif, il s'élève avec la teneur en soufre.

3. Les limites des teneurs.

Les limites des teneurs figurent au tableau 55.

K	21,5 à 37,7	18	7,7 à 34,2	195
Ca	0 à 10,3	70	22,0 à 46,0	134
Mg	2,2 à 6,4	95	1,2 à 12,7	213
$\Sigma +$	41,4 à 48,3	14	10,2 à 52,7	101
$200 + 06 -$	60,5 à 129,5	70	50,3 à 102,1	87

Elles ont été calculées d'après les équations du tableau 54 en tenant compte des réserves émises précédemment et en ne tenant pas compte de la validité des coefficients angulaires. C'est ainsi que le coefficient apparaît très grand pour le soufre et le phosphore, mais ces valeurs ne sont peut-être pas valables car les valeurs qui ont servi à les établir sont affectées d'une faible signification. Ces résultats confirment ce qui a été dit sur la variabilité des traitements.

Tableau 55

Limites des tenseurs en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, et coefficient de variabilité autour de la moyenne ($C_V = \frac{\text{limite supérieure} - \text{limite inférieure}}{\text{moyenne}}$)

Groupelement chimique Eléments	variations anioniques de l'alimentation.		variations cationiques de l'alimentation.	
	Limites	C_V	Limites	C_V
NO ₃	9,7 à 69,5	231	23,8 à 39,2	52
SO ₄	1,4 à 6,2	137	2,5 à 4,5	57
PO ₄	1,0 à 18,3	146	9,8 à 13,3	30
$\Sigma -$	19,1 à 81,5	145	39,2 à 51,7	28
K	31,5 à 37,7	18	7,7 à 54,2	193
Ca	0 à 10,3	74	22,0 à 44,0	154
Mg	2,2 à 6,4	95	1,2 à 12,7	213
$\Sigma +$	41,4 à 48,2	14	18,2 à 80,1	141
Tot + et -	60,5 à 129,5	70	50,3 à 128,1	87

Elles ont été calculées d'après les équations du tableau 54 en tenant compte des réserves émises précédemment et en ne tenant pas compte de la validité des coefficients angulaires. C'est ainsi que le coefficient apparaît très grand pour le soufre et le phosphore, mais ces valeurs ne sont peut-être pas valables car les valeurs qui ont servi à les établir sont affectées d'une faible signification. Ces résultats confirment ce qui a été dit sur la variabilité des traitements.

4. Les proportions. (annexes 222 et 223)

En conséquence des effets sur les teneurs en les divers éléments, les proportions relatives internes subissent des variations en fonction des variations similaires du milieu extérieur et des variations faibles en fonction des variations en ions de signe opposé. Les limites de variation des proportions relatives des ions au sein de la somme anionique ou cationique figurent au tableau 56 et ont été calculées d'après les équations du tableau 54.

Tableau 56
Limites des proportions centésimales des anions ou des cations.

<i>Groupelement clinique dose</i> Elements	variations anioniques de l'alimentation	variations cationiques de l'alimentation.
NO3	39 à 85	59 à 76
SO4	6 à 26	2 à 9
PO4	1 à 42	2 à 28
K	65 à 91	20 à 68
Ca	0 à 22	0 à 77
Mg	5 à 13	2 à 70

Les considérations précédentes peuvent s'étendre aux proportions des ions sur le total général ainsi qu'on peut le constater par l'examen de l'annexe 225.

En raisonnant comme il a été fait pour la première expérience, les coefficients de similitude et de déplacement ^(S) ^(D) ont

été établis. Le premier, pour les proportions cationiques, est de 4,6 pour les traitements des variations cationiques alors qu'il était de 5,7 dans la première expérience.

Pour les traitements des variations anioniques il s'élève à 3,8 en ce qui concerne les proportions anioniques. C'est donc de moins bonne similitude encore.

Les indices de déplacement partiel montrent que les points représentatifs des proportions cationiques (traitements à variations cationiques) sont déplacés vers les sommets (K et Ca.) En effet, $D_K = 1,32$, $D_{Ca} = 1,17$, $D_{Mg} = 0,89$, le coefficient de déviation moyen est de 0,6, ce qui correspond aux valeurs de la première expérience.

Les coefficients relatifs aux proportions anioniques des traitements des variations anioniques, montrent un déplacement vers le sommet N et non vers le sommet S ou P, les valeurs des indices sont respectivement $D_N = 1,93$, $D_S = 0,79$, $D_P = 0,84$, le coefficient de déplacement moyen est de 1,29, il est donc fort élevé.

5. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Ce rapport est semblable, en son évolution pour les variations cationiques, à ce qui a été observé dans la première expérience.

Ces limites, calculées sur la base des équations du tableau 54 et compte tenu des réserves habituelles, sont 0,52 à 1,69 pour les variations des traitements anioniques et de 0,69 à 2,84 pour les variations cationiques qui causent donc les plus grandes variations du rapport A/C.

b. Expérience n° 3 sur le maïs

(annexes 224 à 227)

1. Les teneurs

La troisième expérience est relative à du maïs récolté au stade végétatif, cultivé sur du sable du Rhin et soumis à des variations cationiques. Feuilles et tiges ont été analysées séparément et permettent de déterminer les teneurs sur l'ensemble de la plante. Les teneurs cationiques varient beaucoup plus en fonction des traitements que ne le font les teneurs anioniques et les sommes d'ions. Ceci est confirmé par l'examen des coefficients de variabilité (C_T) ~~des teneurs ioniques des traitements autour de leur moyenne~~ *des teneurs* (tableau 57). Ce tableau renseigne aussi, aux fins de comparaison avec d'autres séries, l'indice de variation (V). Il semblerait, par la comparaison de ces valeurs, que le maïs réagirait moins fortement aux variations du milieu que le cotonnier (expérience 1) et aussi moins régulièrement. Ceci tiendrait peut-être à ce que le maïs a été récolté à un stade juvénile, tandis que le cotonnier a été récolté en fin de végétation.

Tableau 57

Coefficient de variabilité (C_v) dû aux traitements
et indice de variation (V).

Groupelement Eléments chimique dosé	dans les solutions	dans la plante			V		
		Total	Feuille	Tiges	Total	Feuille	Tiges
NO ₃	0	5	6	6	∞	∞	∞
SO ₄	0	8	12	15	∞	∞	∞
PO ₄	0	5	8	7	∞	∞	∞
-	0	5	6	17	∞	∞	∞
K	75	30	22	38	0,40	0,29	0,51
Ca	75	27	31	29	0,36	0,41	0,39
Mg	75	40	42	32	0,53	0,56	0,43
+	0	16	5	25	∞	∞	∞
Tot + et -	0	7	6	13	∞	∞	∞

Les déviations standard sur les sommes figurant au tableau 58 dénoncent l'existence de compensations au sein des cations tout comme dans les expériences précédentes.

L'examen du tableau des teneurs (annexe 225 b et c) montre que à masse égale la feuille est plus riche en azote et en phosphore que la tige ; les cations, et particulièrement le calcium et le magnésium, se trouvent en plus grande abondance dans les feuilles. Ceci confirme ce qui a été observé précédemment pour le cotonnier, sauf en ce qui concerne le soufre.

Ces teneurs ont servi à l'établissement des plans de régression dont les équations, établies sur six valeurs, figurent

au tableau 58. Elles ont été exprimées en fonction des proportions centésimales des cations au sein de leur total.

2. Examen des équations des plans de variation des tenseurs. (tableau 58)

Tableau n° 58.

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en équivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de maïs (fourrage) en fonction des éléments K, Ca, Mg apportés osus forme de fumure et exprimés en proportions centésimales de leur total (x, Ca, Mg).

Groupement chaïque dosé	Origine										
	Feuilles + Tiges			Feuilles			Tiges				
	m ⁽¹⁾	Equations			m ⁽¹⁾	Equations			m ⁽¹⁾	Equations	
N03	121,1 6,5	+0,05Mg +11,4 0,13 5,0		157,7 8,6	0,1K -0,12Mg +155,3 0,15 0,16 6,6		85,7 5,0	-0,08K -0,14Mg +102,8 0,08 0,08 3,4			
S04	13,8 1,1	-0,03K -0,01Mg +15,0 0,02 0,02 1,0		14,3 1,7	-0,04Mg +15,8 0,03 0,03 1,0		13,5 1,2	-0,04K +0,01Mg +12,6 0,08 0,03 1,3			
P04	17,6 0,8	0,01K +0,02Mg +16,6 0,02 0,02 0,6		22,1 1,7	0,05K +0,06Mg +18,1 0,02 0,02 0,7		14,7 1,0	-0,01Mg +15,2 0,02 1,8			
Σ -	152,5 6,8	-0,02K +0,06Mg +151,0 0,03 0,13 5,0		184,1 10,4	0,14K -0,1K +18,2 0,15 0,17 6,7		123,9 6,8	-0,12K -0,14Mg +130,6 0,08 0,08 4,7			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	6,5			8,8			5,5				
K	88,1 26,8	0,75K -0,43Mg +77,7 0,17 0,17 6,7		86,6 20,8	0,51K -0,34Mg +87,0 0,15 0,15 3,6		82,3 31,4	0,33K -0,44Mg +66,0 0,15 0,15 7,4			
Ca	23,0 6,3	0,23Ca -0,04Mg +16,8 0,03 0,03 1,1		36,0 11,1	0,41Ca -0,05Mg +23,5 0,15 0,05 2,0		14,8 4,2	0,10Ca +0,08Mg +13,9 0,03 0,03 1,3			
Mg	23,9 8,6	0,44Mg +0,22Ca +1,9 0,03 0,03 1,2		38,0 8,6	0,71Mg +0,24Ca +3,0 0,17 0,07 2,8		14,6 4,7	0,22Mg +0,12Ca +3,2 0,01 0,01 0,5			
Σ +	135,0 22,1	0,75K +0,44Ca +0,40Mg +95,4 = 0,17 0,05 0,05 7,0		170,6 8,1	0,51K +0,76Ca +0,34Mg +113,5 = 0,15 0,09 0,12 5,0		111,7 28,6	0,33K +0,22Ca -0,14Mg +83,1 = 0,15 0,03 0,03 7,6			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	28,1			28,4			32,0				
		0,31K -0,04Mg +13,4 0,18 0,07 7,0			-0,15K -0,42Mg +18,5 0,11 0,15 5,1			0,71K +0,06Mg +105,1 0,15 0,04 7,6			
Σ + et -	287,5 18,7	0,73K +0,44Ca +0,46Mg +246,4 = 0,17 0,05 0,14 8,6		364,7 20,9	0,35K +0,76Ca +0,24Mg +302,7 = 0,15 0,09 0,20 8,4		235,6 31,1	0,81K +0,22Ca -0,28Mg +213,7 = 0,20 0,03 0,10 8,9			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	28,8			30,1			32,1				
		0,2K +0,02Mg +280,4 0,18 0,14 8,6			0,3K -0,52Mg +378,7 0,21 0,23 8,9			0,5K -0,06Mg +235,7 0,20 0,10 8,9			

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

Tableau 59

Limites des teneurs en milliéquivalents-grammes
pour cent grammes de matière sèche et coefficient
de variabilité autour de la moyenne

$$(C_V = 100 \frac{\text{limite supérieure} - \text{limite inférieure}}{\text{moyenne}})$$

Groupement Eléments chimique dosé	TOTAL		Feuilles		Tiges	
	Limites	C _V	Limites	C _V	Limites	C _V
NO ₃	119,4 à 124,4	18	143,3 à 174,3	20	88,8 à 102,8	15
SO ₄	12,0 à 15,0	22	11,8 à 15,8	28	8,6 à 13,6	37
PO ₄	16,6 à 18,6	11	18,1 à 24,1	27	14,2 à 15,2	7
Σ -	149,0 à 157,0	5	179,2 à 213,2	22	116,6 à 130,6	12
K	34,7 à 152,7	134	55,0 à 148,0	97	22,0 à 159,0	166
Ca	12,8 à 38,8	113	18,5 à 65,5	131	13,9 à 23,9	70
Mg	1,9 à 45,9	184	3,0 à 74,0	188	3,2 à 25,2	150
Σ +	92,4 à 170,4	58	147,5 à 189,5	25	97,1 à 176,1	71
Tot + et -	290,4 à 331,4	14	326,7 à 417,7	25	191,7 à 294,7	44

Ces valeurs, que l'on doit considérer avec les réserves d'usage, sont à comparer à celles du tableau 57 qu'elles confirment entièrement.

4. Les proportions. (annexes 226 et 227)

Les proportions des éléments entre eux subissent des variations, surtout en ce qui concerne les cations.

D'après les équations du tableau 58, et compte tenu des réserves d'usage, les limites des variations de ces proportions au sein du total anionique ou cationique sont données au tableau 60.

Tableau 60

Limites des proportions centésimales des anions
ou des cations au sein de leur total respectif.

<i>Groupement éléments dans</i>	<i>Total</i>	Feuilles	Tiges
NO ₃	79 à 80	80 à 82	76 à 80
SO ₄	8 à 10	7 à 8	7 à 12
PO ₄	11 à 12	10 à 15	11 à 13
K	37 à 90	37 à 85	32 à 91
Ca	9 à 28	13 à 35	8 à 32
Mg	1 à 49	2 à 50	1 à 36

Les coefficients de similitude des rapports cationiques
sont de 3,3 pour le total aérien ; 4,0 pour les feuilles
et 2,7 pour les tiges. Ils sont donc de faible valeur.

Les indices de déplacement partiel montrent que les
points représentatifs des proportions cationiques du
total aérien comme ceux des feuilles et des tiges, sont
déplacés vers le sommet K. Ces valeurs sont respective-
ment pour le total aérien $D_K = 1,84$, $D_{Ca} = 0,82$,

$$D_{Mg} = 0,83$$

pour les feuilles $D_{Ca} = 1,50$, $D_{Ca} = 0,88$, $D_{Ca} = 0,89$

pour les tiges $D_{Mg} = 2,44$, $D_{Mg} = 0,78$, $D_{Mg} = 0,78$

les déplacement moyens sont caractérisés par les indices
suivants : pour le total aérien $D = 1,19$

pour les feuilles $D = 0,73$

pour les tiges $D = 2,88$

Ceci indique, que dans l'ensemble, les valeurs sont moins
déplacées pour les feuilles.

5. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

D'après les équations du tableau 54 et compte tenu des réserves d'usage, ce rapport varie, pour le total aérien, entre 0,88 et 1,70, pour les feuilles, entre 1,0 et 1,22 ; pour les tiges, entre 0,67 et 1,69.

C'est donc pour ce dernier organe que la variation est la plus grande, ce qui confirme les résultats trouvés dans l'expérience de base.

↕ Bien que nous ayons ici des analyses relatives à la plante entière, la richesse utile du sable du Rhin n'a pas été calculée, car le maïs a été prélevé à son stade végétatif et que des modifications dues à l'âge peuvent encore faire varier les constantes des équations.

Entre autres, les teneurs et les proportions en *azote* diminuent avec la maturité de la plante, ainsi que nous le verrons plus loin (expérience 9). Ce phénomène est très marqué chez le maïs.

c. Expérience n° 4 sur le palmier. (annexes 228 à 230)

L'expérience est ici relative à du palmier cultivé suivant la méthode additive. Les folioles seuls ont été analysés.

1. Les teneurs et leurs proportions.

Nous ne discuterons pas des teneurs et de leurs rapports, ce point ayant fait l'objet d'une publication particulière. Nous nous bornerons à étudier les équations de régression plane, en signalant toutefois que celles-ci ont été établies à partir de quatre points.

Les uns, relatifs à des variations anioniques de l'alimentation : traitements Nc, Sc, Pc, CC ;
les autres, relatifs aux variations cationiques de l'alimentation : traitements CK, CCa, CMg, CC.

Les coefficients de variabilité ^{due aux traitements} ont été comparés, quoique les données ne soient pas relatives aux plantes entières. Ils sont ^{donnés} renseignés au tableau suivant :

Les variations anioniques des teneurs des divers traitements autour de la moyenne générale sont, comme dans l'expérience sur le coton, de moindre amplitude que les cationiques. Le soufre comme le phosphore montrent également une valeur de C_v de même ordre que celles des autres éléments du milieu nutritif. Ceci est confirmé par l'analyse des équations de la régression plane, mentionnées au tableau 62.

Tableau 61

Coefficient de variabilité ^{aux} des traitements (C_T)

et indice de variation (V).

Groupement chimique Éléments dosé	variations anioniques de l'alimentation			variations cationiques de l'alimentation		
	dans la solution	dans la plante	V	dans la solution	dans la plante	V
NO ₃	57	11	19	0	3	∞
SO ₄	57	6	10	0	7	∞
PO ₄	57	6	10	0	3	∞
Σ -	0	11	∞	0	3	∞
K	0	7	∞	57	25	45
Ca	0	4	∞	57	20	35
Mg	0	5	∞	57	22	39
Σ +	0	6	∞	0	3	∞
Tot + et -	0	6	∞	0	3	∞

Les variations anioniques des teneurs des divers traitements autour de la moyenne générale sont, comme dans l'expérience sur le coton, de moindre amplitude que les cationiques. Le soufre comme le phosphore montrent également une valeur de C_T de même ordre que celles des corps constants du milieu nutritif.

Ceci est confirmé par l'examen des équations de la régression plane, mentionnées au tableau 62.

Tableau n° 68

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en milliéquivalents-grammes pour-cent grammes de matière sèche de folioles d'Elaeis Guineensis en fonction des éléments du groupe ionique auquel cet élément appartient, apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales du total ionique NO₃(N), SO₄(S), PO₄(P), ou K, Ca, Mg correspondant.

Groupement chimique dosé	Variation, anioniques de l'alimentation			Variation, cationiques de l'alimentation		
	$\frac{m}{\pm \sigma_T}$	C _T	Equations	$\frac{m}{\pm \sigma_T}$	C _T	Equations
NO ₃	117,2	11	<u>0,25N - 0,22P + 130,7</u>	121,3	3	0,02K - 0,04Mg + 122,1
	13,0		0,12 0,12 5,6	3,4		0,27 0,20 10,0
SO ₄	9,5	6	0,01S - 0,02N + 9,7	8,7	7	-0,02K + 0,02Mg + 10,1
	0,6		0,01 0,01 0,5	0,6		0,03 0,02 1,1
PO ₄	18,0	6	-0,01P + 0,01N + 18,1	18,9	3	- -0,03Mg + 19,8
	1,0		0,06 0,06 1,6	0,6		0,02 1,0
Σ -	144,7	11	<u>0,24N + 0,01S - 0,23P + 158,5 =</u>	148,9	3	- -0,05Mg + 152,0
	13,1		0,12 0,01 0,12 10,0	4,2		0,28 0,20 10,1
$\sqrt{\xi \sigma^2}$	14,1		0,23N - 0,24P + 159,5	3,5		
K	45,8	7	0,11N + 0,07P + 39,8	48,5	25	<u>0,56K - 0,13Mg + 34,2</u>
	3,4		0,17 0,17 8,7	12,0		0,10 0,07 3,7
Ca	32,6	4	-0,02N + 0,05P + 31,4	31,6	20	<u>0,36Ca + 0,08Mg + 17,2</u>
	1,2		0,01 0,01 0,8	6,2		0,10 0,07 3,6
Mg	48,3	5	0,01N + 0,19P + 41,7	46,5	22	<u>0,57Mg + 0,11Ca + 23,8</u>
	3,7		0,09 0,09 4,3	10,2		0,21 0,16 8,1
Σ +	120,7	6	0,10N + 0,31P + 122,9	126,6	3	<u>0,56K + 0,47Ca + 0,52Mg + 75,2</u>
	6,5		0,19 0,19 9,7	4,2		0,10 0,19 0,26 9,6
$\sqrt{\xi \sigma^2}$	5,2			16,9		0,09K + 0,05Mg + 122,2
						0,21 0,28 10,0
Σ + et -	265,4	6	<u>0,35N + 0,01S + 0,09 + 271,4 =</u>	275,5	3	0,56K + 0,47Ca + 0,47Mg + 227,2 =
	16,6		0,27 0,19 0,20 14,0	8,1		0,29 0,19 0,33 14,0
$\sqrt{\xi \sigma^2}$	15,0		0,33N + 0,07P + 272,4	17,3		0,09K + 0,4Mg + 274,2

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

2. Examen des équations des plans de variation des teneurs.

Les variations anioniques du milieu semblent modifier valablement les seules teneurs en azote ; celles-ci dépendent de la concentration d'azote dans la solution nutritive. Le calcium est peut-être sous la dépendance du phosphore du milieu extérieur, et quelque peu de l'azote. Le magnésium aussi dépendrait peut-être du phosphore, mais dans les deux derniers cas l'on se trouve à la limite de la validité.

Dans les grandes lignes, ces résultats sont assez semblables à ce qui a été observé pour le coton.

Quant aux variations cationiques de l'alimentation, elles ne semblent pas affecter les teneurs anioniques. Les teneurs en un cation donné semblent, ici, uniquement sous la dépendance de leur propre concentration dans la solution nutritive, aucune influence secondaire du magnésium ne se ^{marque} remarque ici comme dans la première expérience sur le coton ^{et le maïs}. Les équations suggèrent un rapprochement avec la deuxième expérience sur le coton ^{fin}.

3. Les limites des teneurs.

Ces valeurs figurent au tableau 63 et devront être étudiées en tenant compte des réserves émises précédemment, elles sont calculées à partir des équations du tableau 62.

Tableau 63

Limites des teneurs en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, et coefficient de variabilité autour de la moyenne :

$$(C_V = 100 \frac{\text{limite supérieure} - \text{limite inférieure}}{\text{moyenne}})$$

Groupe éléments dosés	variations anioniques de l'alimentation.		variations cationiques de l'alimentation.	
	limites	C _V	limites	C _V
NO ₃	108,7 à 155,7	40	118,1 à 124,1	5
SO ₄	7,7 à 10,7	39	8,1 à 12,1	46
PO ₄	17,1 à 19,1	11	16,8 à 19,8	16
Σ -	135,5 à 182,5	32	147,0 à 152,0	3
K	39,8 à 50,8	24	21,2 à 90,2	142
Ca	29,4 à 36,4	21	9,2 à 53,2	140
Mg	41,7 à 60,7	38	23,8 à 60,8	80
Σ +	112,9 à 143,9	26	122,2 à 131,2	7
Tot + et -	272,4 à 306,4	17	274,2 à 316,2	15

Ces valeurs confirment les considérations émises sur les teneurs. Elles confirment que l'action des variations cationiques de l'alimentation se marque proportionnellement plus sur les teneurs que ne le font les variations anioniques.

4. Les proportions.

Les proportions ayant été discutées dans un travail précédent, nous nous bornerons à en donner les limites,

calculées sur la base des équations du tableau 62, à titre de comparaison avec les autres séries, au tableau 64.

Tableau 64

Limites de proportions centésimales des anions ou des cations, au sein de leur total respectif.

<i>Groupelements chimiques doses</i>	variations anioniques de l'alimentation	variations ca- tioniques de l'alimentation
NO ₃	80 à 85	80 à 81
SO ₄	4 à 7	6 à 8
PO ₄	11 à 13	12 à 13
K	33 à 41	16 à 69
Ca	24 à 28	7 à 44
Mg	35 à 42	18 à 47

L'indice de similitude est de 4,6 pour les points représentatifs des proportions anioniques pour les traitements à variation anionique, et de 7,5 pour les points représentatifs des proportions cationiques pour les traitements à variation cationique.

Les indices de déplacement partiel indiquent, dans les traitements à variation anionique pour les points représentatifs des proportions anioniques, un déplacement très marqué vers le sommet N et un très faible vers le sommet S, en effet, $D_N = 3,47$; $D_S = 1,13$; $D_P = 0,67$; le déplacement moyen est de 3,1.

Pour les traitements à variation cationique de l'alimentation, les indices de déplacement partiel montrent, pour les points représentatifs des proportions cationiques, un

déplacement marqué vers le sommet K et un plus faible vers le magnésium, comme l'indiquent les valeurs suivantes : $D_K = 1,13$; $D_{Ca} = 0,92$; $D_{Mg} = 1,07$.

5. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Ce rapport varie entre les limites calculées sur la base des équations du tableau 62, entre 0,94 et 1,49 pour les traitements à variation anionique de l'alimentation, et de 1,16 à 1,25 pour les traitements à variation cationique de l'alimentation.

6. expérience n° 6 sur le cobalt

1. les besoins et leurs proportions 262
2. les équations des plans de variation des besoins 263
3. établissement d'une formule générale 265

B.	<u>VARIATIONS SELON LA METHODE MULTIPLICATIVE.</u>	175
	a. expérience n° 4 sur le palmier	175
	1. les teneurs et leurs proportions	175
	2. examen des équations des plans de variation des teneurs	180
	3. établissement d'une formule générale	183
	b. expérience n° 5 sur le cacaoyer	191
	1. les teneurs et leurs proportions	191
	2. les équations des plans de variation des teneurs	193
	3. établissement d'une formule générale	197
	c. expérience n° 6 sur le coton	202
	1. les teneurs et leurs proportions	202
	2. les équations des plans de variation des teneurs	203
	3. établissement d'une formule générale	206

175

B. VARIATIONS SUIVANT LA METHODE MULTIPLICATIVE.

a. Expérience n°4 sur le palmier. (annexes 228 à 230)

Les analyses relatives à cette expérience ont été publiées précédemment.

1. Les teneurs et leurs proportions.

Nous n'envisagerons pas ici les teneurs qui ont été discutées en un autre travail, mais bien les coefficients de variabilité ^{de ces teneurs} et les équations des plans de régression. Les premiers sont mentionnés aux tableaux 65 et 66. Le tableau 65 montre la faible valeur et le peu de constance des coefficients C_T relatifs aux anions, le plus souvent ils sont inférieurs aux coefficients affectant les cations. Le soufre semble, proportionnellement, le plus variable. Il faut noter les valeurs élevées pour le calcium et le magnésium dans les traitements à dominance potassique ou calcique. Sur les totaux, les coefficients sont moins élevés, comme il a été déjà observé.

Tableau 65;

Variations anioniques de l'alimentation.

Coefficient de variabilité des teneurs ^{aux} de traitements autour de leur moyenne (C_T) et indice de variation (V).

Eléments	dans la solution	Elément cationique dominant dans la solution				Elément cationique dominant dans la solution			
		C_T				V			
		K	Ca	Mg	K = Ca = Mg	K	Ca	Mg	K = Ca = Mg
NO3	75	4	2	2	11	0,05	0,03	0,03	0,15
SO4	75	31	11	15	6	0,41	0,15	0,20	0,08
PO4	75	5	10	3	6	0,07	0,13	0,04	0,08
$\Sigma -$	0	3	1	3	11	∞	∞	∞	∞
K	0	8	9	9	7	∞	∞	∞	∞
Ca	0	10	33	3	4	∞	∞	∞	∞
Mg	0	25	18	4	5	∞	∞	∞	∞
$\Sigma +$	0	6	4	12	6	∞	∞	∞	∞
Tot + et -	0	1	6	11	6	∞	∞	∞	∞

Tableau 66

Variations cationiques de l'alimentation.

Coefficient de variabilité des teneurs ^{des eaux} des traitements autour de leur moyenne (C_T)
et indice de variation (V).

Groupements chimiques Eléments <i>dosés</i>	dans la solution	C_T				V			
		Elément dominant du groupe anionique dans les solutions.				Elément dominant du groupe cationique dans les solutions.			
		NO3	SO4	PO4	NO3 = SO4 = PO4	NO3	SO4	PO4	NO3 = SO4 = PO4
NO3	0	4	9	3	3	∞	∞	∞	∞
SO4	0	8	3	1	7	∞	∞	∞	∞
PO4	0	4	4	7	3	∞	∞	∞	∞
Σ -	0	4	8	4	3	∞	∞	∞	∞
K	75	25	24	26	25	0,33	0,32	0,35	0,33
Ca	75	22	19	22	20	0,29	0,25	0,29	0,27
Mg	75	47	22	37	22	0,63	0,29	0,49	0,29
Σ +	0	12	5	7	3	∞	∞	∞	∞
Tot + et -	0	4	11	1	3	∞	∞	∞	∞

Ici, la différence entre les coefficients (C_T) relatifs aux anions, et ceux relatifs aux cations est beaucoup plus marquée. Comme pour les expériences précédentes, les coefficients (C_T) relatifs aux éléments constants du milieu extérieur sont assez homogènes et de trois à dix fois moins élevés que les coefficients relatifs aux éléments variables de milieu extérieur.

~~Comme~~ Nous ne discuterons ici, ni des rapports, ni des teneurs puisque ces valeurs ont fait l'objet d'une publication particulière. Nous donnerons ~~ici~~, à titre informatif et en vue de certains points qui seront repris dans la discussion, le tableau des indices de similitude et de déplacement relatif à cette série.

Tableau 52

Indices de similitude (S), indices de déplacement relatif $D_K - D_{Ca} - D_{Mg}$ en 2005 - 2004 - 2004 et indices de déplacement moyen (D) de points représentatifs des portions relatives à quelques uns de la plante par rapport aux autres portions dans la solution nutritive.

Indices	variatione anioniques de l'albé- mentation avec dominance				Indices
	K	Ca	Mg	$K + Ca + Mg$	
0	4,5	0,6	0,5	5,6	0
2005	3,04	3,47	3,08	3,07	2005
2004	4,66	0,67	0,56	0,67	2004
2006	0,69	0,63	0,66	0,70	2006
2	3,25	3,11	3,35	3,16	2

Tableau 67

Indice de similitude (S), indices de déplacement partiel $D_K - D_{Ca} - D_{Mg}$ ou $D_{NO_3} - D_{SO_4} - D_{PO_4}$, et indice de déplacement moyen (D) de points représentatifs des proportions relatives ioniques au sein de la plante par rapport aux mêmes proportions dans la solution nutritive.

Indice	variations anioniques de l'alimentation avec dominance				Indice	variations cationiques de l'alimentation avec dominance			
	K	Ca	Mg	K = Ca = Mg		NO ₃	SO ₄	PO ₄	NO ₃ = SO ₄ = PO ₄
S	4,9	4,6	4,6	4,6	S	7,9	8,0	9,0	7,5
D_{NO_3}	3,60	3,47	3,68	3,47	D_K	1,25	1,10	1,21	1,13
D_{SO_4}	0,68	0,67	0,66	0,67	D_{Ca}	0,91	0,95	0,91	0,92
D_{PO_4}	0,69	0,69	0,69	0,70	D_{Mg}	0,98	1,07	1,01	1,07
D	3,23	3,11	3,33	3,10	D	0,36	0,32	0,31	0,28

2. Examen des équations des plans de variation des teneurs.

Les équations des plans de régression figurent aux tableaux 68 et 69. Elles ont été exprimées en fonction des proportions relatives d'anions ou de cations et non en fonction de la concentration par litre de substrat, les plantes ayant été cultivées, ici, en solution renouvelées et par la technique de la percolation non récupérée.

A. Les variations anioniques de l'alimentation.

Les coefficients angulaires sont, comme il fallait s'y attendre, de faible valeur. Les plus petites valeurs sont observées pour le soufre et le phosphore et sont, dans deux cas sur quatre, non significatives. L'azote, parmi les anions, est le seul corps à dépendre, dans tous les cas, de sa seule concentration dans le milieu nutritif, les coefficients oscillant entre 0,11 et 0,47. Dans quelques cas l'azote du milieu semblerait influencer la teneur en soufre et en phosphore. Dans trois cas sur quatre, l'azote de la solution influencerait la teneur interne en potassium et cela avec un coefficient angulaire oscillant entre 0,19 et 0,32.

Les totaux d'ions semblent indépendant des anions de la solution nutritive envisagés séparément, sauf dans le cas du magnésium dominant pour le total anionique uniquement.

B. Les variations cationiques de l'alimentation.

Cation dominant	Groupelement chimique dosé	r	r^2
NO ₃		124,2	5,0
		9,5	3,3
		18,3	0,3
		152,0	4,2
SO ₄		12,7	
		65,7	5,3
		25,0	2,4
		31,4	7,7
PO ₄		122,1	7,2
		9,6	
		274,7	10,1
		15,5	
Total			

Tableau n° 68

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en milli-équivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de folioles d'Elaeis en fonction des éléments du groupe anionique NO₃, SO₄, PO₄, apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales du total anionique.

Cation dominant	K				Ca				Mg				K = Ca = Mg			
Groupement chimique dosé	m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations		
NO ₃	124,2 5,0	0,27N +0,20S +108,5 0,13 0,13 6,7	119,4 2,4	0,15N +0,07S +112,3 0,03 0,03 1,3	118,5 2,9	0,11N +0,18S +108,9 0,01 0,01 3,7	117,2 13,0	0,47N +0,22S +108,7 0,11 0,11 5,6								
SO ₄	9,5 3,5	0,01S -0,05N +11,0 0,06 0,06 3,0	9,3 1,0	0,06S +0,04N +6,2 0,01 0,01 0,7	8,7 1,3	0,06S -0,01N +6,9 0,02 0,02 0,8	9,5 0,6	0,01S -0,02N +9,7 0,01 0,01 0,5								
PO ₄	18,9 0,9	-0,04N +20,3 0,01 0,01 3,9	18,3 1,8	0,07P -0,03N +17,1 0,03 0,03 1,7	18,0 0,6	-0,05N +18,8 0,01 0,01 0,1	18,0 1,0	-0,01P +0,01N +18,1 0,06 0,06 1,6								
Σ	152,6 4,7	0,16N +0,21S +139,8 0,14 0,14 8,4	147,0 1,6	0,16N +0,13S +0,07P +135,6 0,04 0,04 0,03 2,3	145,2 4,0	0,07N +0,24S +134,6 0,02 0,02 3,8	144,7 13,1	0,46N +0,23S -0,01P +136,5 0,11 0,11 0,06 10,0								
√Σσ ²	12,0	-0,05N -0,21P +160,8 0,20 0,14 8,5	3,2	0,03N -0,06P +148,6 0,06 0,05 2,4	3,2	-0,17N -0,24P +158,6 0,03 0,02 3,8	14,1	0,23N -0,24P +159,5 0,24 0,19 10,1								
K	65,7 5,3	0,32N +0,21P +48,3 0,01 0,01 0,6	42,7 3,9	0,23N +0,07P +33,0 0,07 0,07 3,3	39,2 3,5	0,19N +0,14P +28,2 0,08 0,08 4,2	45,8 3,4	0,11N +0,07P +39,8 0,17 0,17 8,7								
Ca	25,0 2,4	0,10N +0,14P +32,8 0,03 0,03 1,3	39,3 12,1	-0,03N -0,10P +43,5 0,07 0,07 3,6	27,6 0,8	-0,01P +28,1 0,05 0,05 2,2	32,6 1,2	-0,02N +0,05P +31,4 0,01 0,01 0,8								
Mg	31,4 7,7	-0,23N -0,42P +5,30 0,19 0,19 9,5	35,5 6,4	-0,09N +0,23P +30,9 0,21 0,21 10,3	57,3 2,1	0,10N +0,09P +54,1 0,08 0,08 3,8	48,3 3,7	0,01N +0,19P +41,7 0,09 0,09 4,3								
Σ	122,1 7,2	0,19N -0,07P +134,1 0,19 0,19 9,6	117,5 4,9	0,11N +0,20P +107,4 0,23 0,23 11,4	124,1 4,9	0,29N +0,22P +119,4 0,13 0,13 6,1	126,7 6,5	0,10N +0,31P +112,9 0,19 0,19 9,7								
√Σσ ²	9,6		14,2		4,2		5,2									
Total	274,7 10,1	0,35N +0,21S -0,07P +273,9 0,24 0,24 -0,19 12,7	264,5 16,0	0,27N +0,13S +0,27P +243,0 0,23 0,04 0,23 11,6	269,5 2,5	0,36N +0,24S +0,23P +254,0 0,13 0,02 0,13 7,2	271,4 16,6	0,58N +0,23S +0,30P +249,8 0,27 0,11 0,20 21,0								
√Σσ ²	15,5	0,14N -0,28P +294,9 0,28 0,24 15,3	14,6	0,14N +0,14P +256,0 0,24 0,24 11,7	5,3	0,12N -0,02P +278,0 0,14 0,14 8,5	15,0	0,35N +0,07P +272,4 0,30 0,25 13,9								

(1) m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en milli-équivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de folioles d'Elaeis en fonction des éléments du groupe cationique apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales du total cationique (K - Ca - Mg).

Elément dominant	NO3				SO4				PO4				NO3 = SO4 = PO4			
Groupement chimique dosé	m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations			m ±σ _T	Equations		
NO3	125,2 5,4	0,19K	-0,08Mg	+121,5 10,0	117,6 10,8	0,20K	+0,06Mg	+109,0 10,2	115,2 3,6	0,09K	-0,05Mg	+114,5 10,1	121,3 3,4	0,02K	-0,04Mg	+122,1 10,0
SO4	8,7 0,7	-0,02K	-0,04Mg	+10,6 0,7	10,5 0,3	0,01K	+0,02Mg	+10,2 1,0	9,1 1,2	0,06K	+0,03Mg	+7,1 1,7	8,7 0,6	-0,02K	+0,02Mg	+10,1 1,1
PO4	17,2 0,7	0,04K	+0,02Mg	+15,3 1,5	18,2 0,8	0,05K	+0,02Mg	+15,9 1,4	18,9 1,3	-0,02K	-0,04Mg	+20,9 3,4	18,9 0,6	0,02K	-0,03Mg	+19,8 1,0
Σ-	151,1 6,2	0,21K	-0,10Mg	+147,4 10,1	146,3 11,7	0,26K	+0,08Mg	+135,1 10,4	143,2 5,9	0,13K	-0,09Mg	+142,5 10,9	148,9 4,2	-	-0,05Mg	+152,0 10,1
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	5,5				10,9				4,0				3,5			
K	52,3 13,0	0,59K	-0,13Mg	+37,5 11,7	43,8 10,5	0,51K	-0,08Mg	+29,8 3,8	48,7 12,6	0,65K	-0,02Mg	+29,6 9,7	48,5 12,0	0,56K	-0,13Mg	+34,2 3,7
Ca	30,6 6,7	0,39Ca	+0,09Mg	+14,8 1,4	32,1 6,2	0,32Ca	-0,01Mg	+21,8 0,8	30,1 6,7	0,36Ca	+0,11Mg	+14,5 6,6	31,6 6,2	0,36Ca	+0,08Mg	+17,2 3,6
Mg	30,4 14,2	0,71Mg	-0,02Ca	+17,5 10,8	42,4 9,5	0,39Mg	-0,17Ca	+35,0 5,6	43,2 16,0	0,91Mg	+0,50Ca	-3,8 19,3	46,5 10,2	0,57Mg	+0,11Ca	+23,8 8,1
Σ+	113,3 12,9	0,59K	+0,37Ca	+0,67Mg +69,8 16,0	118,3 5,8	0,51K	+0,15Ca	+0,30Mg +86,6 6,8	122,0 8,7	0,65K	+0,86Ca	+1,00Mg +41,3 22,6	126,6 4,2	0,56K	+0,47Ca	+0,52Mg +75,2 9,6
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	20,3	0,22K	-0,30Mg	+106,8 16,0	15,4	0,36K	+0,15Mg	+101,6 6,9	21,5	-0,21K	+0,14Mg	+127,3 24,1	16,9	0,09K	+0,05Mg	+122,2 9,7
Total	264,4 9,8	0,80K	+0,37Ca	+0,57Mg +217,2 18,9	264,6 14,3	0,77K	+0,15Ca	+0,30Mg +221,7 12,5	265,2 12,0	0,78K	+0,86Ca	+0,91Mg +183,8 25,1	275,5 8,1	0,56K	+0,47Ca	+0,47Mg +227,2 14,0
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	21,1	0,44K	+0,20Mg	+254,2 19,0	18,9	0,62K	+0,22Mg	+236,7 12,5	21,8	-0,08K	+0,05Mg	+269,8 26,4	17,3	0,09K	+274,2 14,1	

(1) m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

Les équations confirment ce qui a été dit précédemment, en ce sens, que les teneurs internes cationiques sont sous la dépendance des proportions des trois cations variables du milieu extérieur, mais dépendent principalement de la proportion du cation alimentaire, qui est l'objet de l'analyse dans la plante.

Les équations relatives aux totaux cationiques montrent des coefficients angulaires ^{plus} très faibles, sauf pour les traitements où le soufre domine dans la solution nutritive où le coefficient affectant le potassium est assez élevé. Il en est de même pour les totaux généraux.

3. Etablissement d'une formule générale.

Les diverses équations des tableaux 68 et 69 pourraient-elles être combinées en une seule expression mathématique qui relierait la teneur en un élément dans la plante aux concentrations ou aux proportions alimentaires ?

C'est la première expérience où le rapport, dans la solution, de la somme des anions à la somme des cations, est l'unité et où des variations anioniques et cationiques ont été appliquées simultanément. Dans ce cas, concentration alimentaire et proportions relatives, sont proportionnelles, et une relation générale peut être établie. De plus, il a été établi dans une publication précédente, que les teneurs moyennes des traitements à dominance NO_3 , SO_4 , PO_4 correspondaient aux teneurs du traitement de

référence (point central du triangle expérimental), et que, de même, les moyennes des teneurs des traitements K, Ca, Mg correspondaient aux teneurs du traitement de référence.

Pour établir cette relation générale, nous prendrons le cas de l'azote. Pour les traitements à variations alimentaires anioniques, la teneur moyenne (y_a) des teneurs en azote, s'exprime par la relation

$$y_a = 0,25 N + 0,17 S + 109,6 \quad (1)$$

et pour les variations cationiques, la teneur moyenne (y_c) est

$$y_c = 0,13 K - 0,03 Mg + 116,8 \quad (2)$$

Ces équations sont respectivement les moyennes des quatre équations se trouvant, soit aux tableaux 62 ou 63 et, d'après la remarque faite ci-dessus, correspondraient à un équilibre ionique de l'alimentation en

$NO_3 - SO_4 - PO_4 / K, Ca - Mg$ de $33,3 - 33,3 - 33,3 / 33,3 - 33,3 - 33,3$.

Le terme constant de l'équation (1) représente la valeur de l'azote non variable dans la matière végétale, laquelle est prélevée aussi dans le milieu au prorata des proportions constitutives cationiques de l'alimentation suivant l'équation (2) et l'on peut écrire, puisque les cations ont tous une concentration égale à 33,3,

$$\begin{aligned} y_a &= 0,25 N + 0,17 S + 109,6 \\ &= 0,25 N + 0,17 S + [0,13 \cdot 33,3 - 0,03 \cdot 33,3 + 106,7] \\ &= 0,25 N + 0,17 S + 0,13 K - 0,03 Mg + 106,7 \quad (3) \end{aligned}$$

puisque $106,7 = 109,6 - (0,13 \cdot 33,3 - 0,03 \cdot 33,3)$

en raisonnant de même pour l'équation y_0 on a

$$y_0 = 0,13 K - 0,03 Mg + 116,8$$

$$= 0,13 K - 0,03 Mg + [0,25 \cdot 33,3 + 0,17 \cdot 33,3 + 102,8]$$

$$= 0,13 K - 0,03 Mg + 0,25 N + 0,17 S + 102,8 \quad (4)$$

puisque $102,8 = 116,8 - (0,25 \cdot 33,3 + 0,17 \cdot 33,3)$

Il est évident que les termes constants des équations (3) et (4) devraient être égaux. La différence est due à des approximations. L'on peut, dès lors, établir le terme constant moyen de $104,6 = \frac{106,7 + 102,8}{2}$.

L'équation générale devient ainsi

$$y = 0,25 N + 0,17 S + 0,13 K - 0,03 Mg + 104,6 \quad (5)$$

elle permet de déterminer toutes les teneurs en azote de l'expérience multiplicative, c'est-à-dire, dans le cas de n'importe quel traitement caractérisé par un équilibre N S P / K Ca Mg donné.

Dans cette expérience, il faut noter que la plante reçoit autant d'anions que de cations, les coefficients seraient peut-être à modifier dans le cas où les solutions auraient des rapports de la somme des anions à la somme des cations différents de l'unité.

En procédant de la même manière pour tous les éléments on obtient les équations figurant au tableau 70.

Les valeurs approchées de ces équations, obtenues en négligeant les coefficients non valables, sont en regard des équations brutes et ont été présentées de telle façon que l'élément analysé dans la plante apparaisse comme une fonction linéaire du même élément se trouvant dans la solution nutritive mais dont le facteur de proportionnalité

est affecté, dans quelques cas (en l'occurrence azote et potassium), d'une certaine variabilité due à la présence d'autres ions dans le milieu nutritif.

Groupement chaînes de	
NO ₂	$\frac{2,25K}{0,05} + \frac{2,17N}{0,05}$
NO ₃	$-\frac{0,01K}{0,02} + \frac{0,03N}{0,02}$
PO ₄	$\frac{0,05K}{0,07} - \frac{0,05N}{0,07}$
Σ =	
K	$\frac{2,25K}{0,07} + 0,15$
N	$\frac{0,01K}{0,02} + \frac{0,02N}{0,02}$
Σ	$-\frac{0,05K}{0,02} + \frac{0,02N}{0,02}$
Σ =	
Label	

TABEAU 70.

Equations générales exprimant les teneurs en un élément, en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche, en fonction des proportions relatives des éléments de la solution nutritive (N-S-P-K-Ca-Mg-).

Groupement chimique dosé	Equation brute	Equation approchée
NOS	$\frac{0,25N}{0,06} + \frac{0,17S}{0,06} + \frac{0,12K}{0,15} - \frac{0,03Mg}{0,11} + 104,6$	$N \left(\frac{0,25}{0,06} + \frac{0,17S}{0,06N} \right) + \frac{104,6}{4,6}$
SO4	$-0,01N + \frac{0,03S}{0,02} + \frac{0,01K}{0,02} - \frac{0,01Mg}{0,02} + \frac{8,8}{1,1}$	$\frac{8,8}{1,2}$
PO4	$\frac{0,03P}{0,07} - \frac{0,02N}{0,07} + \frac{0,02K}{0,03} - \frac{0,02Mg}{0,03} + \frac{18,3}{1,1}$	$\frac{18,3}{1,1}$
Σ -		$\frac{0,25N}{0,06} + \frac{0,17S}{0,06} + \frac{132,2}{4,9}$
K	$\frac{0,21N}{0,07} + \frac{0,12P}{0,07} + \frac{0,58K}{0,10} - \frac{0,09Mg}{0,07} + \frac{18,8}{6,2}$	$= K \left(\frac{0,58}{0,10} + \frac{0,21N}{0,07K} + \frac{0,12P}{0,07K} \right) + \frac{18,8}{6,2}$
Ca	$\frac{0,01N}{0,02} + \frac{0,02P}{0,02} + \frac{0,36Ca}{0,05} + \frac{0,07Mg}{0,036} + \frac{14,0}{1,4}$	$= Ca \left(\frac{0,36}{0,05} \right) + \frac{14,0}{1,4}$
Mg	$-0,05N + \frac{0,02P}{0,08} + \frac{0,64Mg}{0,23} + \frac{0,10Ca}{0,12} + \frac{18,6}{5,1}$	$= Mg \left(\frac{0,64}{0,23} \right) + \frac{18,6}{5,1}$
Σ +		$\frac{0,21N}{0,07} + \frac{0,12P}{0,07} + \frac{0,58K}{0,10} + \frac{0,36Ca}{0,05} + \frac{0,64Mg}{0,23} + \frac{52,4}{8,0}$ $= \frac{0,21N}{0,05} + \frac{0,12P}{0,05} + \frac{0,22K}{0,11} + \frac{0,28Mg}{0,24} + \frac{88,4}{9,4}$
Total		$\frac{0,46N}{0,12} + \frac{0,17S}{0,06} + \frac{0,12P}{0,07} + \frac{0,58K}{0,11} + \frac{0,36Ca}{0,05} + \frac{0,64Mg}{0,23} + \frac{184,6}{9,2}$ $\frac{0,19N}{0,14} - \frac{0,05P}{0,09} + \frac{0,22K}{0,12} + \frac{0,28Mg}{0,23} + \frac{237,6}{9,4}$

Il ressort de l'examen de ce tableau des équations approchées que ^{le} soufre et ^{le} phosphore semblent invariables, que l'azote et le potassium dépendent, non seulement de leur propre concentration dans l'alimentation, mais aussi de la présence d'autres éléments de l'alimentation, que le calcium et le magnésium dépendent uniquement de leur propre concentration dans la solution nutritive.

Groupement chimique dosé	Les totaux anionique et cationique semblent, ici, varier valablement avec l'azote et le phosphore, mais la somme globale semble constante, les coefficients n'étant pas valables.												
Traitement	Le tableau 71 signale les valeurs expérimentales confrontées avec les valeurs calculées à partir des équations brutes du tableau 70.												
PK	129,0												
KCa	122,0												
PK	127,0												
PK	119,1	120,2	10,6	9,6	19,5	20,0	67,5	64,2	22,4	24,0	21,4	33,5	
PKa	116,4	115,0	8,1	9,2	20,2	19,7	41,6	41,0	36,8	38,4	41,2	37,5	
PKg	114,7	113,8	8,1	8,8	18,5	18,9	41,0	37,4	26,9	26,8	37,7	39,1	
e-K	120,9	125,7	8,1	9,8	19,1	19,4	64,6	63,8	25,7	23,6	36,2	32,4	
e-Ca	120,0	120,5	9,1	9,5	19,1	18,7	42,2	40,6	40,0	38,0	40,5	36,4	
e-Mg	118,2	121,7	8,3	9,0	18,1	17,9	37,0	37,0	28,7	26,4	39,1	37,9	
E-o	129,8	126,4	8,8	8,8	17,9	17,8	46,5	52,8	31,3	29,3	43,3	41,5	
E-c	102,2	123,2	10,1	10,4	17,6	18,5	41,9	43,0	32,3	29,0	44,9	42,5	
E-o	110,6	116,4	9,7	9,2	17,2	19,7	44,8	47,8	34,4	29,8	52,5	43,3	
e-c	126,2	121,9	9,2	9,4	19,4	18,6	50,0	47,4	32,1	29,3	50,3	42,1	
Somme des écarts (E - O)	58,7		8,6		11,2		32,0		32,0		73,5		
Ecart moyen	3,7		0,5		0,7		2,0		2,0		4,6		
no. d'observations	3		6		4		4		6		9		

Tableau n°71

Teneurs en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche - valeurs expérimentales (E) et valeurs calculées (C).

Groupement chimique dosé	NO ₃		SO ₄		PO ₄		K		Ca		Mg	
	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
NK	129,8	130,2	8,6	9,2	17,6	18,5	71,6	69,2	24,4	23,6	29,5	30,7
NCa	122,2	125,0	9,5	8,8	16,2	17,3	48,1	46,0	39,5	38,0	28,4	34,7
NMg	119,1	123,8	7,8	8,4	17,1	18,3	43,1	42,4	27,4	26,4	58,1	56,3
SK	127,1	127,0	10,8	10,8	19,4	19,3	59,0	59,4	27,9	23,2	38,6	32,7
SCa	119,1	121,8	10,5	10,4	17,5	18,3	38,8	36,2	40,7	37,6	31,9	36,7
SMg	121,8	120,6	10,6	10,6	18,3	17,7	35,5	32,6	27,4	26,0	54,2	58,3
PK	119,1	120,2	10,6	9,6	19,5	20,0	67,5	64,2	22,4	24,0	21,4	33,5
PCa	116,4	115,0	8,1	9,2	20,2	19,7	41,6	41,0	36,8	38,4	41,2	37,5
PMg	114,7	113,8	8,1	8,8	18,5	18,9	41,0	37,4	26,9	26,8	57,7	59,1
c-K	120,9	125,7	8,1	9,8	19,1	19,4	64,6	63,8	25,7	23,6	36,2	32,4
c-Ca	120,0	120,5	9,1	9,5	19,1	18,7	42,2	40,6	40,0	38,0	40,5	36,4
c-Mg	118,2	121,7	8,3	9,0	18,1	17,9	37,0	37,0	28,7	26,4	59,1	57,9
N-c	129,8	126,4	8,8	8,8	17,9	17,8	46,5	52,8	31,5	29,3	45,3	41,5
S-c	102,2	123,2	10,1	10,4	17,6	18,5	41,9	43,0	32,3	29,0	44,9	42,5
P-c	110,6	116,4	9,7	9,2	17,2	19,7	44,8	47,8	34,4	29,8	52,5	43,3
c-c	126,2	121,9	9,2	9,4	19,4	18,6	50,0	47,4	32,1	29,3	50,3	42,1
Somme des écarts (E - C)	58,7		8,6		11,2		32,0		32,0		73,6	
Ecart moyen	3,7		0,54		0,7		2,0		2,0		4,6	
$100 \frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	3		6		4		4		6		9	

La confrontation est assez encourageante. Il y a bien des exceptions, tels le soufre et le magnésium dans le traitement FK, le phosphore, le calcium et le magnésium dans le traitement PC, le magnésium dans le traitement CC, mais ces exceptions concernent six cas sur les nonante-six testés.

C'est le magnésium qui, proportionnellement, donne les résultats les moins comparables, puisque l'écart moyen y atteint une valeur de 9 %, l'azote, le phosphore, le potassium, ont un écart plus faible de 4 %.

Il est bien évident qu'à partir de ces équations on pourrait rechercher les limites entre lesquelles varient les teneurs en l'un ou l'autre élément, mais cela n'apporterait rien de plus, puisque ces limites se confondraient avec les limites déterminées pour le traitement central qui a fait l'objet de l'expérience précédemment étudiée.

Il en est de même pour les proportions relatives et pour le rapport de la somme des anions à la somme des cations. Nous nous bornerons, dès lors à appliquer à d'autres plantes la méthode de détermination de la relation générale.

Tableau 72

Indice de similitude (S), indice de déplacement partiel ($D_{NO_3} - D_{SO_4} - D_{PO_4}$ ou $D_K - D_{Ca} - D_{Mg}$) et indice de déplacement (D).

Indice	variations alimentaires anioniques à dominance			Indice	variations alimentaires cationiques à dominance		
	K	Ca	Mg		NO ₃	SO ₄	PO ₄
<u>Feuilles + Tiges</u>							
S	2,4	2,4	2,3	S	5,1	3,3	4,4
D_{NO_3}	2,94	3,23	3,39	D_K	1,33	1,47	1,29
D_{SO_4}	0,69	0,68	0,69	D_{Ca}	0,97	0,93	1,02
D_{PO_4}	0,75	0,74	0,72	D_{Mg}	0,87	0,85	0,86
D	2,50	2,81	0,69	D	0,49	0,69	0,45
<u>Feuilles</u>							
S	2,3	2,3	2,3	S	5,0	4,1	4,3
D_{NO_3}	3,49	3,49	3,70	D_K	1,34	1,50	1,53
D_{SO_4}	0,75	0,68	0,68	D_{Ca}	0,97	0,92	0,92
D_{PO_4}	0,72	0,72	0,71	D_{Mg}	0,86	0,82	0,81
D	3,02	3,09	3,31	D	0,51	0,76	0,80
<u>Tiges</u>							
S	2,5	2,4	2,6	S	4,9	4,7	5,0
D_{NO_3}	2,56	2,70	2,89	D_K	1,40	1,55	1,46
D_{SO_4}	0,70	0,71	0,70	D_{Ca}	0,92	0,89	0,92
D_{PO_4}	0,85	0,76	0,76	D_{Mg}	0,88	0,87	0,83
D	2,01	2,23	2,53	D	0,60	0,79	0,71

2. Les équations des plans de variation des teneurs.

La régression plane n'a pu être appliquée, car il n'y avait que trois points dans le triangle expérimental. Les équations des plans ont été ^{seulement} établies sur les trois teneurs qui déterminaient un plan. De cette façon, aucune déviation standard n'a pu être déterminée et il a malheureusement fallu intégrer dans le calcul les analyses relatives au traitement FK dont les plantes étaient séchées en place à la récolte et qui n'étaient pas entrées en ligne de compte dans la publication précédente.

Les équations des plans de régression figurent aux tableaux 73 - 74 - 75, elles sont exprimées en fonction des proportions centésimales des éléments au sein de leur total respectif, ce qui revient à l'exprimer en fonction des concentrations puisque le rapport de la somme des anions à la somme des cations est 1,0 dans la solution nutritive.

Il semblera peut-être anormal que

~~N.B.~~ Quoique nous ayons les résultats d'analyse sur la plante entière, la richesse utile n'a pas été établie. *Plus*
jeu cependant par subtilis que l'
~~car on ne peut se rendre compte de la dose réelle~~
d'éléments chimiques qui a été effectivement mise à la disposition de la plante, puisque la culture s'est faite par le système de percolation à liquide perdu. *Le calcul*
de la richesse utile est, de ce fait, sujet à caution.

Tableau n° 73

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en équivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de cacaoyer (Famille + Tiges) en fonction des éléments NO3, SO4, PO4, K, Ca, Mg apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales de leur total.

Groupement chimique dosé	A Variations anioniques											
	Elément dominant dans les traitements											
	K				Ca				Mg			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations
	$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$		
NO3	131,1	0,5	-0,03P +132,2	126,0	2	-0,04N +0,08P +124,3	127,6	1	-0,11N -0,07P +137,9			
	0,7			2,3			1,4					
SO4	11,1	7	-0,04S -0,02N +13,2	10,7	12	0,03S -0,03N +10,7	11,0	5	0,03S -0,01N +10,3			
	0,8			1,3			0,6					
PO4	27,0	20	0,02P -0,10N +24,3	22,3	12	0,06P -0,07N +22,4	20,7	2	0,04P -0,05N +20,8			
	5,5			2,6			1,8					
$\Sigma -$	169,2	3	-0,12N -0,04S -0,01P +169,7	159,0	3	-0,14N +0,03S +0,14P +157,4	159,3	2	-0,17N +0,03S -0,03P +169,0			
	5,4			5,5			2,6					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	5,6		= -0,08N +0,03P +165,7	3,7		= -0,17N +0,11P +160,4	2,3		= -0,20N -0,06P +172,0			
K	105,8	3	-0,11N +0,03P +108,0	71,2	3	-0,07N -0,14P +79,3	73,0	3	-0,12N -0,11P +80,7			
	2,8			2,9			2,2					
Ca	53,9	33	-0,15N +0,77P +29,7	53,5	10	0,21N +0,26P +38,0	43,4	11	0,16N +0,23P +30,5			
	18,0			5,5			4,7					
Mg	24,3	3	0,04N +0,01P +22,8	35,5	3	0,04N -0,02P +34,8	36,9	11	0,17N -0,03P +32,2			
	0,8			1,0			4,2					
$\Sigma +$	184,0	11	-0,22N +0,81P +160,5	160,2	2	0,18N +0,10P +152,1	153,3	3	0,21N +0,09P +143,4			
	19,6			3,5			4,1					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	18,2			6,3			6,7					
$\Sigma + \text{ et } -$	353,2	7	-0,34N -0,04S +0,80P +330,2	319,2	2	0,04N +0,03S +0,24P +309,5	312,6	1	0,04N +0,03S +0,06P +312,4			
	24,9			4,8			4,0					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	19,0		= -0,30N +0,82P +326,2	10,2		= 0,01N +0,21P +312,5	7,1		= 0,01N +0,03P +315,4			

Groupement chimique dosé	B Variations cationiques											
	Elément dominant dans les traitements											
	NO3				SO4				PO4			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations
	$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$		
NO3	127,7	3	0,19K +0,09Mg +118,3	127,7	3	0,15K +0,02Mg +122,2	129,2	1	0,05K +0,01Mg +127,4			
	3,8			3,2			1,0					
SO4	10,3	8	0,04K +0,03Mg +8,3	11,3	8	-0,04K -0,01Mg +13,0	11,1	6	0,03K + - +10,1			
	0,8			0,9			0,7					
PO4	20,2	8	0,06K +0,02Mg +18,9	23,0	12	0,09K -0,04Mg +21,3	26,7	20	0,20K +0,06Mg +22,0			
	1,7			2,7			5,5					
Σ	158,2	4	0,29K +0,14Mg +145,5	162,0	3	0,20K -0,03Mg +156,5	167,0	4	0,28K +0,07Mg +159,5			
	5,9			4,9			7,1					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	4,2		= 0,29K +0,14Mg +145,5	4,3		= 0,20K -0,03Mg +156,5	5,7					
K	81,6	22	0,78K - +55,6	85,6	21	0,82K +0,05Mg +56,6	82,7	26	0,99K +0,09Mg +46,9			
	18,1			18,3			21,8					
Ca	48,1	14	0,29Ca +0,01Mg +38,3	43,4	11	0,06Ca -0,17Mg +46,9	60,2	24	-0,45Ca -0,71Mg +98,7			
	6,5			4,7			14,3					
Mg	34,5	24	0,41Mg +0,29Ca +11,3	31,3	21	0,28Mg +0,29Ca +12,3	30,8	17	0,25Mg +0,27Ca +13,8			
	8,4			6,6			5,9					
$\Sigma +$	164,2	4	0,78K +0,58Ca +0,42Mg +105,2	160,3	8	0,82K +0,35Ca +0,16Mg +115,8	173,7	17	0,99K -0,18Ca -0,37Mg +159,4			
	7,2			13,4			29,4					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	21,0		= 0,20K -0,16Mg +163,2	20,0		= 0,47K -0,19Mg +150,8	26,8		= 1,17K +0,19Mg +148,4			
$\Sigma + \text{ et } -$	322,4	4	1,07K +0,58Ca +0,56Mg +250,7	322,3	6	1,02K +0,35Ca +0,13Mg +272,3	340,7	11	1,27K -0,18Ca -0,30Mg +318,9			
	12,2			18,2			36,5					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	21,4		= 0,49K -0,02Mg +308,7	20,5		= 0,67K -0,22Mg +307,3	27,3		= 1,45K +0,26Mg +307,9			

(1) m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.
 C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

Tableau n° 74

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de feuille de cacoyer en fonction des éléments NO₃, SO₄, PO₄ ou K, Ca, Mg apportés sous forme de fumure et exprimées en proportions centésimales de leur total.

Groupement chimique dosé	A Variations anioniques									
	Elément dominant dans les traitements									
	K			Ca			Mg			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
	±σ _T			±σ _T			±σ _T			
NO ₃	181,3	2	-0,12N + 0,64P + 164,0	160,0	3	0,22N + 0,22P + 145,2	163,8	2	0,16N + 0,05P + 156,6	
	16,3			5,0			3,2			
SO ₄	12,1	14	0,05S + 0,02N + 7,6	12,2	7	0,05S + 0,02N + 7,7	13,3	7	0,05S + 0,01N + 11,4	
	1,7			1,1			0,2			
PO ₄	28,1	16	0,16P - 0,07N + 25,0	25,6	6	0,05P - 0,02N + 24,8	24,4	6	0,04P - 0,03N + 23,2	
	4,6			1,6			1,4			
Σ -	221,5	2	-0,10N + 0,05S + 0,80P + 126,6	127,8	2	0,22N + 0,06S + 0,27P + 172,7	201,5	1	0,14N + 0,05S + 0,05P + 121,2	
	12,5			4,4			2,0			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	17,1		= -0,15N + 0,75P + 201,6	5,4		= 0,16N + 0,21P + 185,7	3,6		= 0,02N + 0,04P + 126,2	
K	140,2	31	-0,11N + 1,80P + 82,7	73,2	5	0,03N - 0,26P + 81,6	74,2	5	-0,13N - 0,18P + 85,1	
	43,1			6,3			3,7			
Ca	43,3	18	-0,13N - 0,38P + 60,0	60,0	15	0,32N + 0,38P + 35,0	51,7	11	0,25N + 0,25P + 35,0	
	7,7			8,7			5,8			
Mg	16,4	12	0,13N - 0,02P + 12,2	37,0	8	0,06N - 0,06P + 36,3	38,1	16	0,25N - 0,18P + 22,7	
	3,1			2,2			6,0			
Σ +	122,2	5	-0,11N + 1,40P + 162,6	170,2	6	0,40N + 0,06P + 152,2	164,7	5	0,37N - 0,11P + 142,8	
	33,2			10,7			8,1			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	43,8			11,1			10,2			
Σ + et -	421,4	13	-0,21N + 0,05S + 2,20P + 352,2	368,7	3	0,71N + 0,06S + 0,33P + 332,6	366,2	28	0,51N + 0,05S - 0,02P + 341,7	
	53,2			12,8			10,1			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	47,1		= -0,26N + 2,15P + 362,2	12,3		= 0,65N + 0,27P + 338,6	11,5		= 0,46N - 0,07P + 346,7	

Groupement chimique dosé	B Variations cationiques									
	Elément dominant dans les traitements									
	NO ₃			SO ₄			PO ₄			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
	±σ _T			±σ _T			±σ _T			
NO ₃	166,7	2	0,17K + 0,11Mg + 157,2	163,2	6	0,50K + 0,17Mg + 140,2	175,3	15	0,22K - + 144,4	
	3,5			10,2			20,7			
SO ₄	12,2	7	0,04K + 0,03Mg + 10,7	13,3	8	-0,03K + 0,02Mg + 13,5	11,3	10	-0,02K + 0,03Mg + 11,3	
	0,2			1,0			1,1			
PO ₄	23,2	3	-0,03Mg + 24,7	25,5	6	0,04K - 0,03Mg + 25,1	28,2	13	0,16K - 0,04Mg + 25,3	
	0,7			1,4			3,8			
Σ -	203,5	2	0,21K + 0,11Mg + 122,6	202,0	5	0,51K + 0,16Mg + 172,5	215,5	11	1,05K - 0,01Mg + 181,0	
	4,3			10,5			24,4			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	3,6			10,3			21,1			
K	88,2	24	0,87K - 0,10Mg + 62,7	21,3	25	1,25K + 0,05Mg + 55,5	102,4	63	4,08K - 0,13Mg + 7,7	
	21,4			23,1			62,7			
Ca	55,0	20	0,50Ca + 0,25Mg + 30,0	48,3	6	-0,13Mg + 52,5	51,7	30	0,75Ca + 0,50Mg + 10,0	
	10,0			2,2			15,3			
Mg	35,0	38	0,63Mg + 0,50Ca - 2,5	28,9	42	0,50Mg + 0,54Ca - 58,5	27,6	42	0,50Mg + 0,50Ca + 6,2	
	13,2			12,1			11,6			
Σ +	178,2	3	0,87K + 1,00Ca + 0,78Mg + 20,2	168,5	2	1,25K + 0,54Ca + 0,68Mg + 42,5	188,7	23	4,08K + 1,25Ca + 0,87Mg + 11,8	
	4,6			12,7			43,6			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	27,1		= -0,13K - 0,22Mg + 120,2	26,2		= 0,71K + 0,14Mg + 103,5	71,3		= 2,83K - 0,38Mg + 136,8	
Σ + et -	381,7	1	1,08K + 1,00Ca + 0,82Mg + 282,8	370,5	6	1,76K + 0,54Ca + 0,84Mg + 222,0	404,2	18	5,13K + 1,25Ca + 0,86Mg + 122,8	
	4,1			22,5			68,1			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	27,6		= 0,08K - 0,11Mg + 382,8	28,2		= 1,22K + 0,30Mg + 283,0	75,8		= 3,88K - 0,32Mg + 317,8	

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

Tableau n° 5

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en équivalents grammes pour cent grammes de matière sèche de tige de cacoyer en fonction des éléments NO₃, SO₄, PO₄ ou K, Ca, Mg apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales de leur total.

Groupement chimique dosé	A Variations anioniques											
	Element constant dominant dans les traitements											
	K				Ca				Mg			
m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	
NO ₃	101,1	17	0,38N + 0,60P + 52,3	70,3	44	0,13N + 0,17P + 60,4	62,2	1	0,04N + - + 67,8			
SO ₄	16,5	25	-0,11S - 0,03N + 16,0	3,6	8,4	-0,10S - 0,03N + 2,6	1,0	4	- - 0,01S + 7,6			
PO ₄	2,3	26	0,20P - 0,14N + 23,8	2,0	16,8	0,11P - 0,07N + 15,3	7,3	12	0,03P - 0,06N + 15,4			
	25,8			16,8			14,6					
	6,6			3,5			1,8					
$\Sigma -$	136,4	12	0,15N - 0,11S + 0,80P + 2,1	95,5	8	0,03N - 0,10S + 0,28P + 85,3	91,1	11	-0,02N - 0,01S + 0,03P + 20,8			
	25,7			7,1			1,2					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	18,3		= 0,26N + 0,91P + 31,1	5,4		= 0,13N + 0,38P + 75,3	2,1		= -0,01N + 0,04P + 82,8			
K	4,5	4	-0,17N - 0,05P + 106,7	66,9	15	-0,14N + 0,07P + 62,4	70,1	4	-0,10N + 0,13P + 73,1			
	3,6			4,4			2,5					
Ca	55,1	40	0,07N + 1,25P + 18,6	43,6	5	0,03N - 0,37P + 48,6	30,0	11	0,06N + 0,16P + 22,5			
	22,2			2,2			3,3					
Mg	22,1	11	0,01N - 0,14P + 33,3	33,1	5	- + 0,07P + 30,7	35,1	5	0,05N + 0,04P + 33,1			
	3,3			1,7			1,2					
$\Sigma +$	178,7	12	-0,03N + 1,06P + 152,6	143,6	5	-0,11N - 0,23P + 148,7	135,2	2	0,01N + 0,33P + 128,7			
	20,7			7,5			2,2					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	23,4			5,2			4,6					
$\Sigma + \text{ et } -$	315,1	15	0,06N - 0,11S + 1,86P + 244,7	232,1	6	-0,08N - 0,10S + 0,05P + 234,0	226,3	2	-0,01N - 0,01S + 0,36P + 212,5			
	46,2			14,5			4,0					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	34,8		= 0,17N + 1,27P - 233,7	7,5		= 0,02N + 0,15P + 224,0	4,0		= - + 0,37P + 218,5			

Groupement chimique dosé	B Variations cationiques											
	Element constant dominant dans les traitements											
	NO ₃				SO ₄				PO ₄			
m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	m	$\pm \sigma_T$	C _T	Equations	
NO ₃	76,4	13	0,40K - 0,28Mg + 64,0	77,0	21	0,74K + 0,06Mg + 50,3	87,2	33	1,17K - 0,11Mg + 51,2			
	2,6			16,2			28,4					
SO ₄	7,0	11	0,04K + 0,02Mg + 5,0	8,4	10	-0,01K - 0,04Mg + 2,2	2,5	25	0,05K - 0,07Mg + 10,3			
	0,8			0,8			2,4					
PO ₄	15,3	25	0,15K - 0,03Mg + 10,1	18,7	30	0,22K - 0,04Mg + 12,5	23,2	37	0,31K - 0,11Mg + 10,7			
	3,8			5,5			8,6					
$\Sigma -$	98,7	14	0,52K - 0,29Mg + 79,1	104,1	21	0,27K - 0,02Mg + 72,7	119,9	25	1,53K - 0,22Mg + 72,2			
	14,0			22,2			32,1					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	10,2			17,1			22,1					
K	73,3	21	0,71K + 0,13Mg + 45,4	78,2	21	0,74K + 0,09Mg + 51,5	72,4	18	0,62K + 0,03Mg + 57,2			
	15,1			16,2			14,1					
Ca	38,6	21	-0,01Ca - 0,34Mg + 50,5	36,4	23	0,03Ca - 0,37Mg + 47,1	53,7	5	0,82Ca - 0,03Mg + 105,5			
	7,2			8,2			24,2					
Mg	33,5	10	0,15Mg + 0,02Ca + 27,8	32,6	7	0,11Mg + 0,33Ca + 28,1	31,2	16	0,20Mg + 0,15Ca + 18,5			
	3,2			2,2			5,1					
$\Sigma +$	145,4	12	0,71K + 0,01Ca - 0,06Mg + 123,7	147,2	13	0,74K + 0,36Ca - 0,17Mg + 126,7	164,3	21	0,62K + 1,04Ca + 0,20Mg + 181,2			
	17,1			18,5			33,7					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	17,4		= 0,70K - 0,07Mg + 124,7	18,2		= 0,38K - 0,53Mg + 162,7	22,1		= -0,42K - 0,84Mg + 285,2			
$\Sigma + \text{ et } -$	244,1	13	1,30K + 0,01Ca - 0,35Mg + 202,8	252,0	16	1,71K + 0,36Ca - 0,12Mg + 199,4	284,2	26	2,15K + 1,04Ca - 0,02Mg + 254,8			
	31,1			40,4			73,0					
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	20,1		= 1,22K - 0,36Mg + 203,8	25,0		= 1,35K - 0,55Mg + 235,4	41,6		= 1,11K - 1,13Mg + 358,8			

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

Tableau n° 4

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en équivaants-grammes pour cent grammes de matière sèche de tige de cacaoyer en fonction des éléments NO3, SO4, PO4 ou K, Ca, Mg apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales de leur total.

Groupement chimique dosé	A Variations anioniques									
	Elément constant dominant dans les traitements									
	K			Ca			Mg			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
NO3	101,1	17	0,38N + 0,60P + 52,3	70,3	44	0,13N + 0,17P + 60,4	62,2	1	0,04N + - + 67,8	
SO4	16,2	25	-0,11S - 0,09N + 16,0	3,6	24	-0,10S - 0,03N + 2,6	1,0	4	- - 0,01S + 7,6	
PO4	25,8	26	0,20P - 0,14N + 23,8	8,4	21	0,11P - 0,07N + 15,3	7,3	12	0,03P - 0,06N + 15,4	
	2,3			2,0			0,3			
	6,6			16,8			14,6			
	6,6			3,5			1,8			
Σ -	136,4	19	0,15N - 0,11S + 0,80P + 92,1	95,5	8	0,03N - 0,10S + 0,28P + 85,3	91,1	11	-0,02N - 0,01S + 0,03P + 90,8	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	25,7			7,1			1,2			
	18,3		= 0,26N + 0,31P + 81,1	5,4		= 0,13N + 0,38P + 75,3	2,1		= -0,01N + 0,04P + 82,8	
K	34,5	4	-0,17N - 0,05P + 100,7	66,2	15	-0,14N + 0,07P + 62,4	70,1	4	-0,10N + 0,13P + 73,1	
Ca	3,6	40	0,07N + 1,25P + 18,6	4,4	5	0,03N - 0,37P + 48,6	2,5	11	0,06N + 0,16P + 22,5	
Mg	55,1	11	0,01N - 0,14P + 33,3	43,6	5	- + 0,07P + 30,7	30,0	5	0,05N + 0,04P + 33,1	
	22,2			2,2			3,3			
	29,1			33,1			35,1			
	3,3			1,7			1,2			
Σ +	178,7	12	-0,02N + 1,06P + 152,6	143,6	5	-0,11N - 0,23P + 148,7	135,2	2	0,01N + 0,33P + 128,7	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	20,7			7,5			2,2			
	23,4			5,2			4,6			
Σ + et -	315,1	15	0,06N - 0,11S + 1,86P + 244,7	232,1	6	-0,08N - 0,10S + 0,05P + 234,0	226,3	2	-0,01N - 0,01S + 0,36P + 212,5	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	46,2			14,5			4,0			
	34,8		= 0,17N + 1,27P + 233,7	7,5		= 0,02N + 0,15P + 224,0	4,0		= - + 0,37P + 218,5	

Groupement chimique dosé	B Variations cationiques									
	Elément constant dominant dans les traitements									
	NO3			SO4			PO4			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
NO3	76,4	13	0,40K - 0,28Mg + 64,0	77,0	21	0,74K + 0,06Mg + 50,3	87,2	33	1,17K - 0,11Mg + 51,2	
SO4	3,6	11	0,04K + 0,02Mg + 5,0	16,2	10	-0,01K - 0,04Mg + 2,2	28,4	25	0,05K - 0,07Mg + 10,3	
PO4	7,0	25	0,15K - 0,03Mg + 10,1	8,4	30	0,22K - 0,04Mg + 12,5	2,5	37	0,31K - 0,11Mg + 10,7	
	0,8			0,8			2,4			
	15,3			18,7			23,2			
	3,8			5,5			8,6			
Σ -	98,7	14	0,52K - 0,22Mg + 72,1	104,1	21	0,97K - 0,02Mg + 72,7	119,9	25	1,53K - 0,22Mg + 72,2	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	14,0			22,2			32,1			
	10,2			17,1			22,1			
K	73,3	21	0,71K + 0,13Mg + 45,4	78,2	21	0,74K + 0,02Mg + 51,5	72,4	18	0,62K + 0,03Mg + 57,2	
Ca	15,1	21	-0,01Ca - 0,34Mg + 50,5	16,2	23	0,03Ca - 0,37Mg + 47,1	14,1	5	0,82Ca - 0,03Mg + 105,5	
Mg	38,6	10	0,15Mg + 0,02Ca + 27,8	36,4	7	0,11Mg + 0,33Ca + 28,1	53,7	16	0,20Mg + 0,15Ca + 18,5	
	7,2			8,2			24,2			
	33,5			32,6			31,2			
	3,2			2,2			5,1			
Σ +	145,4	12	0,71K + 0,01Ca - 0,06Mg + 123,7	147,2	13	0,74K + 0,36Ca - 0,17Mg + 126,7	164,3	21	0,62K + 1,04Ca + 0,20Mg + 181,2	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	17,1			18,5			33,7			
	17,4		= 0,70K - 0,07Mg + 124,7	18,2		= 0,38K - 0,53Mg + 162,7	22,1		= -0,42K - 0,84Mg + 285,2	
Σ + et -	244,1	13	1,30K + 0,01Ca - 0,35Mg + 202,8	252,0	16	1,71K + 0,36Ca - 0,12Mg + 122,4	284,2	26	2,15K + 1,04Ca - 0,02Mg + 254,8	
$\sqrt{\sum \sigma^2}$	31,1			40,4			73,0			
	20,1		= 1,22K - 0,36Mg + 203,8	25,0		= 1,35K - 0,55Mg + 235,4	41,6		= 1,11K - 1,13Mg + 358,8	

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.
 C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

Nous ne discuterons guère les équations des tableaux 73 - 74 - 75, celle s-ci servant de base uniquement à l'établissement des relations générales.

3. Etablissement d'une formule générale.

Ces équations figurent au tableau 76 sous leur forme approchée. Elles ont été calculées de la même manière que les équations générales de la série précédente.

Tableau n° 76

affaiblées
 Equations générales exprimant pour le cacaoyer les teneurs en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche en un élément en fonction des proportions relatives des éléments de la solution nutritive (N, S, P, K, Ca ou Mg).

Groupement chimique dosé	Feuilles + Tiges	Feuilles	Tiges
NO3	$N(0,13 \frac{K}{N}) + 123,5$	$N(0,08 + 0,30 \frac{P}{N} + 0,53 \frac{K}{N} + 0,09 \frac{Mg}{N}) + 133,2$	$N(0,18 + 0,26 \frac{P}{N} + 0,77 \frac{K}{N} - 0,11 \frac{Mg}{N}) + 39,6$
SO4	10,9	11,5	8,4
PO4	$P(0,12 \frac{K}{P}) + 20,9$	$0,10P + 22,2$	$P(0,11 + 0,13 \frac{K}{P} - 0,09 \frac{N}{P}) + 13,3$
$\Sigma =$	$0,25K + 154,4$	$0,08N + 0,40P + 0,53K + 0,09Mg + 167,9$	$0,09N + 0,37P + 0,90K - 0,11Mg + 59,6$
K	$0,86K + 55,0$	$K(2,07 + 0,45 \frac{P}{K}) + 24,5$	$K(0,69 - 0,14 \frac{N}{K}) + 58,1$
Ca	$Ca(0,42 \frac{P}{Ca} - 0,29 \frac{Mg}{Ca}) + 41,7$	$Ca(0,42 + 0,29 \frac{Mg}{Ca} + 0,17 \frac{N}{Ca}) + 21,3$	$Ca(0,30 - 0,25 \frac{Mg}{Ca} + 0,35 \frac{P}{Ca}) + 31,5$
Mg	$Mg(0,31 + 0,28 \frac{Ca}{Mg}) + 12,3$	$Mg(0,54 + 0,51 \frac{Ca}{Mg} + 0,15 \frac{N}{Mg}) - 14,5$	$Mg(0,15 + 0,17 \frac{Ca}{Mg}) + 23,1$
$\Sigma +$	$0,86K + 0,28Ca - 0,29Mg + 0,42P + 109,0$ $= 0,58K - 0,57Mg + 0,42P + 137,0$	$2,07K + 0,93Ca + 0,83Mg + 0,32N + 0,45P + 31,8$ $= 1,14K - 0,10Mg + 0,32N + 0,45P + 124,8$	$0,69K + 0,47Ca - 0,10Mg - 0,14N + 0,35P + 111,7$ $= 0,22K - 0,57Mg - 0,14N + 0,35P + 158,7$
$\Sigma + \text{ et } \varnothing$	$1,11K + 0,28Ca - 0,29Mg + 0,42P + 263,4$ $= 0,83K - 0,57Mg + 0,42P + 291,4$	$0,40N + 0,85P + 1,66K + 0,93Ca + 0,92Mg + 199,7$ $= 0,40N + 0,85P + 1,67K - 0,01Mg + 292,7$	$-0,05N + 0,72P + 1,59K + 0,47Ca + 171,3$ $= -0,05N + 0,72P + 1,12K - 0,68 + 218,3$

En l'absence de données sur la déviation standard des coefficients, nous avons considéré conventionnellement que les valeurs inférieures à 0,1 ne sont pas valables. Nous voyons ainsi que le soufre semble invariable, que la plupart des éléments (le potassium du total et le phosphore des feuilles exceptés) dépendent de la concentration d'autres éléments que ^{de} la leur propre ~~de~~ ^{ans le} milieu extérieur.

Les valeurs calculées ont été comparées aux valeurs expérimentales. Ces valeurs figurent au tableau 77.

Tableau n°77.

Teneurs en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche
valeurs expérimentales (E) - valeurs calculées (C).

TRAITEMENTS	Groupement chimique dosé											
	NO3		SO4		PO4		K		Ca		Mg	
	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
	Total											
NK	131,5	131,3	11,0	10,9	22,1	25,2	102,5	106,6	44,2	44,1	25,2	24,1
NCa	123,9	126,1	9,5	10,9	19,7	20,4	71,2	72,2	55,6	44,1	36,6	35,3
NMg	127,6	126,1	10,5	10,9	18,9	20,4	71,2	72,2	44,6	43,3	41,7	36,5
SK	131,4	131,3	10,3	10,9	25,9	25,2	106,7	106,6	44,8	44,3	23,7	24,1
SCa	125,5	126,1	12,0	10,9	22,3	20,4	74,0	72,2	47,3	44,5	35,2	35,3
SMg	126,2	126,1	11,7	10,9	20,7	20,4	76,1	72,2	38,2	43,3	35,0	36,5
PK	130,3	131,3	11,9	10,9	32,9	25,2	107,7	106,6	75,6	70,1	24,0	24,1
PCa	128,5	126,1	10,7	10,9	24,8	20,4	68,3	72,2	57,7	61,1	34,6	35,3
PMg	128,9	126,1	10,7	10,9	22,4	20,4	71,8	72,2	47,8	50,1	33,9	36,5
Moyenne	128,2		9,21		21,0		83,3		50,6		32,2	
Ecart moyen	1,0		0,2		34,7		1,81		3,6		1,44	
100 $\frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	0,8		2,0		11,0		2,0		7,0		4,0	
	Feuilles											
NK	169,7	177,6	13,7	12,5	24,3	25,2	112,8	152,9	45,0	46,9	20,0	19,5
NCa	162,9	156,4	12,0	12,5	24,2	25,2	78,0	73,5	65,0	66,1	40,0	35,9
NMg	167,4	156,4	13,0	12,5	23,2	25,2	73,9	73,5	55,0	58,2	45,0	35,1
SK	174,3	174,4	12,3	12,5	26,9	25,2	118,0	152,9	50,0	40,1	15,0	18,5
SCa	154,3	153,3	13,4	12,5	25,3	25,2	77,0	73,5	50,0	59,3	36,7	34,9
SMg	161,1	153,3	14,3	12,5	24,2	25,2	79,0	73,5	45,0	51,7	35,0	34,0
PK	200,0	186,4	10,3	12,5	33,3	31,2	189,8	171,9	35,0	40,1	14,2	18,5
PCa	162,9	165,2	11,2	12,5	27,4	31,2	66,7	81,6	65,0	59,3	34,3	30,0
PMg	162,9	165,2	12,5	12,5	25,9	31,2	71,8	81,6	55,0	51,7	34,3	36,0
Moyenne	168,3		12,5		23,7		96,3		51,7		30,5	
Ecart moyen	5,83		1,03		1,93		14,6		5,1		3,46	
100 $\frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	3,0		8,0		8,0		15,0		10,0		11,0	
	Tiges											
NK	87,4	99,6	7,8	8,4	19,6	17,9	90,5	109,8	43,3	39,5	31,2	29,5
NCa	71,4	68,8	6,2	8,4	13,6	12,7	62,1	62,5	43,0	51,5	32,1	35,2
NMg	70,3	64,4	7,0	8,4	12,6	12,7	67,2	62,5	29,5	29,5	37,1	35,5
SK	96,0	102,4	8,7	8,4	25,0	21,5	97,4	95,7	40,5	39,5	30,8	46,3
SCa	66,3	62,6	9,0	8,4	16,2	16,3	67,9	68,1	41,8	51,5	32,1	29,5
SMg	68,6	67,2	7,5	8,4	14,9	16,3	71,3	68,1	27,0	29,5	35,0	42,3
PK	120,0	102,8	12,1	8,4	32,8	25,9	95,6	95,8	81,5	53,5	25,4	29,5
PCa	73,1	72,0	10,0	8,4	20,6	20,7	70,8	68,1	46,0	66,0	35,0	36,2
PMg	68,6	67,6	7,4	8,4	16,2	20,7	71,8	68,1	33,5	43,5	33,3	35,5
Moyenne	80,2		8,4		17,9		77,2		42,9		32,4	
Ecart moyen	6,6		1,36		2,44		4,0		6,7		4,25	
100 $\frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	8,0		16,0		13,0		5,0		16,0		13,0	

Ici également les résultats sont encourageants quant à l'approximation des résultats par l'application des équations générales. Les résultats différant de plus de dix pour-cent ont été soulignés : quatre le sont sur les cinquante-quatre relatifs à la plante entière, huit sur ceux relatifs aux feuilles, treize sur ceux relatifs à la tige. Ceci confirme le fait que la plante entière se prête mieux que les organes séparés à l'établissement de relations éventuelles. Cependant, il ne faut pas oublier que dans ces calculs, il a fallu tenir compte du traitement PK, que l'on avait éliminé des calculs dans le travail publié en 1950, car les plantes étaient séchées lors de la récolte. Mais ici, il a fallu en tenir compte pour établir les équations des plans partiels car il faut au minimum trois résultats expérimentaux pour établir la relation. C'est ce fait qui est cause d'une plus grande hétérogénéité, ce qui se traduit par des écarts moyens plus conséquents en phosphore et en potassium.

Il faut noter que ces résultats ne sont pas satisfaisants, car les traitements ne s'écartent pas tous également de leur moyenne, que les conditions de culture et de substrat ne sont pas semblables et que le fragment de tige est essentiellement un organe aux teneurs variables.

Les totaux d'azote, de calcium, ou potassium ne semblent pas constants et sont parfois affectés de coefficients angulaires élevés, il en résulte que les proportions relatives des éléments varient hyperboliquement avec

c. Expérience n°6 sur le coton (annexes 238 à 241)

Cette expérience, conduite sur le plan multiplicatif, porte sur l'analyse de fragments de tiges de cotonnier. Elle diffère des expériences 4 et 5, en ce sens que le total des anions de la solution nutritive est de dix pour-cent plus élevé que le total des cations, c'est-à-dire que le rapport A/C de la solution est de 1,1. La méthode est encore d'application dans ce cas, mais uniquement si l'on établit les teneurs en fonction des proportions centésimales d'anions ou de cations au sein de leur total. Pour passer aux concentrations absolues, il faudra affecter les coefficients angulaires des anions d'un facteur égal 1,1

1. Les teneurs et leurs ^{proportions} rapports.

Les teneurs anioniques sont, en moyenne, semblables à celles trouvées dans l'expérience n° 1, les moyennes des teneurs cationiques sont plus élevées, surtout en potassium et calcium. Les valeurs de l'expérience 2 sont inférieures à celles des autres expériences sur le cotonnier. Toutefois, il faut noter que ces ^{différences} comparaisons ne sont pas ^{surprenantes} judicieuses, car les traitements ne s'écartent pas tous également de leur moyenne, que les conditions de culture et de substrat ne sont pas semblables et que le fragment de tige est essentiellement un organe aux teneurs variables.

Les totaux d'anions, de cations, ou généraux ne semblent pas constants et sont parfois affectés de coefficients angulaires élevés, il en résulte que les proportions relatives des éléments varieront hyperboliquement avec

la concentration. Le tableau 78 donne la valeur des indices de similitude et de **déplacement** des rapports obtenus sur les valeurs expérimentales.

Tableau 78

Indice de similitude (S) indice de **déplacement** partiel ($D_{NO_3} - D_{SO_4} - D_{PO_4}$ ou $D_K - D_{Ca} - D_{Mg}$) et indice de **déplacement** moyen (D).

Indice	variations anioniques de l'alimentation à dominance			Indice	variations cationiques de l'alimentation à dominance		
	K	Ca	Mg		NO ₃	SO ₄	PO ₄
S	5,6	5,4	4,7	S	5,6	4,6	4,9
D_{NO_3}	1,41	1,45	1,20	D_K	1,38	1,48	1,58
D_{SO_4}	0,87	0,85	0,93	D_{Ca}	0,92	0,90	0,91
D_{PO_4}	0,92	0,93	0,95	D_{Mg}	0,83	0,84	0,80
D	0,62	0,67	0,32	D	0,63	0,74	0,87

L'indice de similitude est du même ordre de grandeur que pour les autres expériences sur le cotonnier, le **déplacement** pour les proportions anioniques se fait toujours du côté de l'azote et pour les proportions cationiques toujours du côté du potassium. L'indice de **déplacement** moyen est le meilleur pour la dominance magnésienne.

2. Les équations des plans de variation des teneurs.

^{La} culture ayant été faite en subirrigation et le liquide renouvelé à période déterminée, il a été plus ^{lors} logique d'exprimer, comme pour les expériences 4 et 5, les

teneurs internes en fonction des proportions centésimales des anions au sein de leur total ou des cations au sein du total cationique. Le tableau 79 mentionne les équations des plans de régression établis sur trois points expérimentaux, ce qui exclut tout calcul statistique.

Tableau n° 79

Equations exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en équivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de fragment de tige de cotonnier en fonction des éléments NO3, SO4, PO4 ou K, Ca, Mg apportés sous forme de fumure et exprimés en proportions centésimales de leur total.

Groupement chimique des é	A Variations anioniques									
	Elément dominant dans les traitements									
	K			Ca			Mg			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
	$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			
NO3	52,9	13	0,64N +0,28S +14,0	56,7	26	0,96N +0,31S +1,2	49,9	33	1,08N +0,40S -14,2	
	9,6			14,7			16,5			
SO4	13,0	19	0,44S +0,12N -3,9	12,2	126	0,31S +0,22N -6,8	11,9	31	0,17S +0,24N -4,3	
	6,9			15,3			3,7			
PO4	17,9	32	-0,36P -0,09N +31,7	19,3	33	-0,31P +0,09N +22,6	24,0	20	-0,09P +0,22N +15,2	
	5,7			6,4			4,9			
Σ	83,8	22	0,67N +0,72S -0,36P +41,8	88,2	27	1,27N +0,62S -0,31P +17,0	85,8	29	1,54N +0,57S -0,09P -3,3	
	18,3			23,9			24,7			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	13,1		= -0,05N -1,08P +113,8	16,7		= 0,65N -0,93P +79,0	17,5		= 0,97N -0,66P +53,7	
K	63,1	19	-0,25N -0,78P +95,1	47,2	17	0,10N -0,43P +53,2	53,4	19	0,32N -0,34P +46,0	
	11,9			8,5			10,0			
Ca	28,1	17	-0,19N -0,30P +45,4	39,7	22	0,24N -0,35P +36,4	22,2	23	-0,02N -0,33P +46,0	
	4,6			8,9			5,5			
Mg	13,5	18	0,15N -0,04P +4,9	13,9	17	0,14N +0,02P +6,3	21,3	46	0,48N -0,15P +1,4	
	2,4			2,3			9,8			
$\Sigma +$	104,7	15	-0,29N -1,12P +145,4	100,8	19	0,48N -0,76P +95,9	96,9	25	0,78N -0,82P +78,8	
	15,6			18,8			23,9			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	13,0			12,4			15,0			
$\Sigma +$ et -	188,5	15	0,38N +0,72S -1,48P +187,2	189,0	18	1,75N +0,62S -1,07P +112,9	182,7	22	2,32N +0,57S -0,91P +75,5	
	28,0			34,8			39,6			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	18,4		= 0,34N -2,20P +259,2	20,8		1,13N -1,69P +174,9	23,1		1,75N -1,48P +132,5	

Groupement chimique des é	B Variations cationiques									
	Elément dominant dans les traitements									
	NO3			SO4			PO4			
	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	m	C _T	Equations	
	$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			$\pm \sigma_T$			
NO3	67,7	7	-0,40K -0,21Mg +88,0	50,9	6	-0,04K -0,25Mg +60,6	41,0	12	-0,02K -0,36Mg +53,5	
	5,0			3,3			5,1			
SO4	13,1	16	-0,10K +0,06Mg +14,7	16,6	23	0,18K -0,13Mg +14,9	7,3	7	0,02K +0,04Mg +5,2	
	2,0			3,9			0,5			
PO4	24,4	20	-0,18K +0,21Mg +23,5	22,2	3	0,04K +0,06Mg +19,3	14,5	33	-0,02K +0,31Mg +4,8	
	4,9			0,6			4,8			
$\Sigma -$	105,2	10	-0,68K +0,06Mg +126,2	89,7	14	0,18K -0,33Mg +94,8	62,8	11	-0,02K -0,01Mg +63,5	
	10,3			6,4			0,3			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	7,3			5,1			6,9			
K	60,9	11	0,50K +0,39Mg +81,4	59,2	21	0,91K +0,12Mg +24,8	43,7	14	0,50K +0,23Mg +19,4	
	6,5			12,4			6,3			
Ca	33,5	38	0,83Ca -0,09Mg +8,8	33,2	23	0,31Ca -0,30Mg +32,8	23,4	32	0,26Ca -0,32Mg +25,7	
	12,6			7,6			7,3			
Mg	21,7	42	0,64Mg +0,02Ca -0,1	14,0	25	0,96Mg +0,03Ca +4,5	13,1	3	0,03Mg + 0 +11,9	
	9,2			3,5			0,4			
$\Sigma +$	116,1	5	0,50K +0,85Ca +0,94Mg +40,1	106,4	10	0,91K +0,34Ca +0,08Mg +62,1	80,2	9	0,50K +0,26Ca -0,06Mg +57,0	
	5,9			10,7			7,1			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	16,9		= -0,35K +0,09Mg +125,1	14,9		= 0,57K -0,26Mg +96,1	9,6		= 0,24K -0,32Mg +83,0	
$\Sigma +$ et -	221,3	7	-0,18K +0,85Ca +1,00Mg +166,3	196,1	9	1,09K +0,34Ca -0,25Mg +156,9	143,0	5	0,48K +0,26Ca -0,07Mg +120,5	
	16,1			16,8			7,0			
$\sqrt{\Sigma \sigma^2}$	18,4		= -1,03K +0,15Mg +292,5	15,8		= 0,75K -0,59Mg +190,9	11,8		= 0,22K -0,33Mg +146,5	

m = moyenne générale des teneurs de tous les traitements.
 σ_T = déviation standard de la moyenne des teneurs de tous les traitements.

C_T = coefficient de variabilité due aux traitements.

Si l'on compare ces équations aux équations homologues des expériences 1 et 2 l'on constate que dans les trois expériences les éléments dépendent de leur propre concentration dans la solution nutritive et quelque peu de la concentration en magnésium en ce qui concerne les variations cationiques.

Equations générales
élément en
matière sèche de
NO3, SO4
total anionique ou

Groupement chimique dosé	<p style="text-align: center;"><i>Établissement d'une formule</i></p> <p style="text-align: center;">3. <u>La relation générale.</u></p>
<p>NO3</p> <p>SO4</p> <p>PO4</p>	<p>A partir de ces équations du tableau 79, toujours suivant la même méthode, les équations des relations générales ont été établies. Nous n'avons donné que les équations approchées dans lesquelles les coefficients</p>
<p>K</p> <p>Ca</p> <p>Mg</p>	<p>inférieurs à 0,01 étaient considérés comme non valables. Ces équations approchées figurent au tableau 80.</p>
<p>K</p> <p>Ca</p> <p>Mg</p>	<p>$y = K(0,64 + 0,25 \frac{K}{K} - 0,32 \frac{P}{P}) + 37,0$</p> <p>$y = Ca(0,47 - 0,24 \frac{Ca}{Ca} - 0,23 \frac{P}{P}) + 30,2$</p> <p>$y = Mg(0,31 + 0,26 \frac{Mg}{Mg}) - 6,3$</p>
<p>K +</p>	<p>$y = 0,64K + 0,47Ca + 0,32Mg + 0,26P - 0,65P + 61,7$</p> <p>$y = 0,17K - 0,15Ca + 0,26Mg - 0,65P + 106,7$</p>
<p>K + Ca +</p>	<p>$y = 1,34K + 0,64Ca - 1,10P + 0,49K + 0,47Ca + 0,51Mg + 83,3$</p> <p>$y = 0,70K - 1,74P + 0,02K + 0,04Mg + 136,3$</p>

Tableau n° 80

Equations générales ^{ajustées} affectées exprimant les teneurs (y) en un élément exprimées en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de folioles de palmier en fonction des éléments NO3, SO4, PO4, K, Ca, Mg exprimés en proportions centésimales du total anionique ou cationique auquel ils appartiennent

Groupement chimique dosé	Equations
NO3	$y = N(0,89 + 0,33 \frac{S}{N} - 0,15 \frac{K}{N} - 0,27 \frac{Mg}{N}) + 14,5$
SO4	$y = S(0,31 + 0,19 \frac{N}{S}) - 5,7$
PO4	$y = P(-0,25 + 0,19 \frac{Mg}{P}) + 18,8$
M -	$y = 1,08N + 0,64S - 0,25P - 0,15K + 0,19Mg + 27,6$ $= 0,44N - 0,89P - 0,15K + 0,19Mg + 91,6$
K	$y = K(0,64 + 0,25 \frac{Mg}{K} - 0,52 \frac{P}{K}) + 37,8$
Ca	$y = Ca(0,47 - 0,24 \frac{Mg}{Ca} - 0,33 \frac{P}{Ca}) + 30,2$
Mg	$y = Mg(0,31 + 0,26 \frac{N}{Mg}) - 6,3$
M +	$y = 0,64K + 0,47Ca + 0,32Mg + 0,26N - 0,85P + 61,7$ $y = 0,17K - 0,15Mg + 0,26N - 0,85P + 108,7$
M + et -	$y = 1,34N + 0,64S - 1,10P + 0,49K + 0,47Ca + 0,51Mg + 89,3$ $y = 0,70N - 1,74P + 0,02K + 0,04Mg + 136,3$

A partir de ces équations approchées on a calculé les valeurs du tableau 81. Elles ne sont certes pas excellentes car un fragment de tige est l'organe le moins propice, comme nous l'avons vu, à l'étude des variations de teneurs, surtout cationiques.

C'est donc pour les cations que les résultats seront les moins satisfaisants.

Traitements	N03		S04		P04		K		Ca		Mg	
	N	O	S	O	P	O	K	O	Ca	O	Mg	O
	NK	62,8	67,3	10,9	13,3	19,7	21,7	65,5	70,0	27,3	31,7	16,2
N0a	72,8	71,3	13,5	12,8	20,2	23,0	53,5	54,0	48,0	43,4	16,6	18,3
NMg	67,6	64,5	14,9	12,6	29,4	27,9	63,2	60,2	25,2	29,4	32,3	27,0
SK	52,3	50,8	20,7	17,1	22,5	20,0	75,4	68,7	33,1	19,4	11,5	11,5
S0a	53,3	54,6	16,2	16,4	21,3	21,0	50,6	51,2	40,8	43,1	12,3	12,0
SMg	47,1	47,8	13,0	16,2	22,7	25,7	53,6	50,4	23,7	29,4	18,0	19,2
IK	43,7	50,8	7,4	7,6	11,6	11,7	50,1	52,6	24,2	21,4	12,3	9,8
I0a	44,1	44,6	6,8	7,1	12,1	12,2	37,6	36,6	30,4	33,7	12,9	10,2
IMg	35,1	37,8	7,8	7,9	19,9	18,0	43,3	42,0	15,9	15,4	13,6	17,4
Moyenne	53,2		12,4		20,4		54,6		30,0		10,6	
Ecart moyen	2,1		1,5		1,3		2,5		3,5		2,3	
100 $\frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	4		12		7		3		11		22	

Tableau 81

Teneurs en milliéquivalents-grammes pour cent grammes de matière sèche de fragment de tige de cotonnier.

Valeurs expérimentales (E) valeurs calculées (C)

Traitements	Groupement chimique dosé											
	NO ₃		SO ₄		PO ₄		K		Ca		Mg	
	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
NK	62,8	67,3	10,9	13,5	19,7	21,7	65,9	70,0	27,3	31,7	16,2	18,3
NCa	72,8	71,3	13,5	12,8	24,2	23,0	53,5	54,0	48,0	43,4	16,6	18,8
NMG	67,6	64,5	14,9	12,6	29,4	27,9	63,2	60,2	25,2	25,4	32,3	27,0
SK	52,3	50,8	20,7	17,1	22,5	20,0	73,4	68,7	33,1	19,4	11,6	11,5
SCa	53,3	54,6	16,2	16,4	21,5	21,0	50,6	51,2	40,8	43,1	12,3	12,0
SMg	47,1	47,8	13,0	16,2	22,7	25,7	53,6	58,4	25,7	25,4	18,0	19,2
PK	43,7	40,8	7,4	7,8	11,6	11,7	50,1	52,6	24,0	21,4	12,8	9,8
PCa	44,1	44,6	6,8	7,1	12,1	12,8	37,6	36,6	30,4	33,1	12,9	10,2
PMg	35,1	37,8	7,8	7,9	19,9	18,0	43,3	42,0	15,9	15,4	13,6	17,4
Moyenne	53,2		12,4		20,4		54,6		30,0		10,6	
Ecart moyen	2,1		1,5		1,5		2,5		3,5		2,3	
100 $\frac{\text{écart moyen}}{\text{moyenne}}$	4		12		7		5		11		22	

Sur les cinquante-quatre cas envisagés, sept résultats calculés diffèrent de plus de dix pour-cent des résultats expérimentaux. Ce qui traduit une approximation suffisante, obtenue par l'application de l'équation. Les écarts moyens sont élevés en magnésium, calcium, soufre, les autres sont satisfaisants.

EFFECT DES VARIATIONS DE CONCENTRATIONS EXPERIMENTALES
 AU SEIN D'UNE SOMME VARIABLE.

Chapitre I -

MAINTIEN DE LA NEUTRALITE, SOIT DE LA SOMME ANIONIQUE, SOIT DE LA SOMME CATIONIQUE ET VARIATION DU RAPPORT DE LA SOMME DES ANIONS A LA SOMME DES CATIONS.

p. 211

Chapitre II -

MAINTIEN DE LA CONSTANTE DU RAPPORT DE LA SOMME DES ANIONS A LA SOMME DES CATIONS ET VARIATION DE LA SOMME TOTALE DES ELEMENTS.

p. 223

Deuxième partie.
=====

EFFET DES VARIATIONS DE CONCENTRATIONS EXTERIEURES
=====

AU SEIN D'UNE SOMME VARIABLE.
=====

Chapitre I - MAINTIEN DE LA CONSTANCE, SOIT DE LA p. 211
SOMME ANIONIQUE, SOIT DE LA SOMME
CATIONIQUE ET VARIATION DU RAPPORT
DE LA SOMME DES ANIONS A LA SOMME DES
CATIONS.

Chapitre II- MAINTIEN DE LA CONSTANCE DU RAPPORT p. 228
DE LA SOMME DES ANIONS A LA SOMME DES
CATIONS ET VARIATION DE LA SOMME
TOTALE DES ELEMENTS.

DEUXIÈME PARTIE.

MAINTIEN DE LA CONSTANCE, SOIT DE LA SOMME ANIONIQUE,
=====

SOIT DE LA SOMME CATIONIQUE ET VARIATION DU RAPPORT
=====

EFFET DES VARIATIONS DE CONCENTRATIONS EXTERIEURES
=====

AU SEIN D'UNE SOMME VARIABLE.
=====

211

B. EXPERIENCES N°S SUR LE PAMIER.

222

A. EXPERIENCE N°7 SUR LA TOMATE.
Chapitre I.

page 211

1. les teneurs

211

MAINTIEN DE LA CONSTANCE, SOIT DE LA SOMME ANIONIQUE,
=====

respectif

SOIT DE LA SOMME CATIONIQUE ET VARIATION DU RAPPORT
=====

3. le rapport de la somme des anions à
la somme des cations

215

DE LA SOMME DES ANIONS A LA SOMME DES CATIONS.
=====

B. EXPERIENCE N°8 SUR LE PALMIER.

222

A. EXPERIENCE N°7 SUR LA TOMATE.

page 211

B. EXPERIENCE N°8 SUR LE PALMIER. des anions
ou des cations au sein de leur total
respectif

222

3. le rapport de la somme des anions à
la somme des cations

226

A. EXPERIENCE N°7 SUR LA TOMATE. page 211

1. les teneurs

211

2. les proportions relatives des anions
ou des cations au sein de leur total
respectif

216

3. le rapport de la somme des anions à
la somme des cations

216

B. EXPERIENCE N°8 SUR LE PALMIER. 222

1. les teneurs

222

2. les proportions relatives des anions
ou des cations au sein de leur total
respectif

226

3. le rapport de la somme des anions à
la somme des cations

226

Ils sont moins élevés pour l'azote, le potassium, le calcium que pour le soufre, le phosphore et le magnésium, sauf en ce qui concerne les fruits. Là le calcium est particulièrement affecté par les traitements. D'autre part, les teneurs sur matière sèche sont plus élevées pour les trois premiers que pour les trois autres ; ce sont donc les éléments à teneur moyenne la plus faible qui sont le plus affectés par les traitements.

Il convient d'insister sur le fait que, sont constatés dans la première série (A), les teneurs anioniques, et dans la deuxième série (B), les teneurs cationiques.

A. Expérience n° 7 sur la tomate (annexes 242 à 260)

L'équilibre anionique ou cationique est commun à tous les traitements. Seules varient les quantités totales d'anions ou de cations. Dans une première série de traitements, les rapports croissants entre anions et cations sont obtenus par une quantité de moins en moins élevée de cations pour une somme constante d'anions. Dans une deuxième série, la somme des anions croît vis à vis d'une somme constante de cations. Le traitement 1 où le rapport de la somme des anions à la somme des cations est 1,1, est commun aux deux séries.

1. Les teneurs.

Les variations des teneurs autour de la moyenne des traitements sont données par les déviations standard du tableau 82. Les coefficients de variabilité sous l'effet des traitements (C_T) qui en découlent figurent au tableau 83.

Ils sont moins élevés pour l'azote, le potassium, le calcium que pour le soufre, le phosphore et le magnésium, sauf en ce qui concerne les fruits. Là le calcium est particulièrement affecté par les traitements. D'autre part, les teneurs sur matière sèche sont plus élevées pour les trois premiers que pour les trois autres ; ce sont donc les éléments à teneur moyenne la plus faible qui sont le plus affectés par les traitements.

Il convient d'insister sur le fait que, sont constants dans la première série (A), les teneurs anioniques, et dans la deuxième série (B), les teneurs cationiques. Or, la variabilité expérimentale n'est pas beaucoup plus élevée dans une série que dans l'autre pour l'un ou l'autre groupe d'ions. Comme, d'autre part, dans les deux séries les proportions relatives des anions ou des cations dans le milieu extérieur sont invariantes, il semble que, par comparaison avec les expériences traitées dans les parties précédentes, les teneurs soient plus affectées par les proportions des éléments dans le milieu nutritif, que par leur concentration.

Le tableau 84 montre les fluctuations des teneurs par rapport au traitement initial pris comme référence et confirme ce qui vient d'être dit sur la variabilité

Tableau 82

Moyennes des teneurs des divers traitements d'un groupe, exprimées en milliéquivalents-grammes sur cent grammes de matière sèche ou fraîche et déviation standard (σ) les affectant.

A. somme constante des anions - somme décroissante des cations

B. somme constante des cations - somme décroissante des anions

A + B ensemble des traitements.

Groupement chimique dosé.	Total général.			Fruits			Total végétatif.			Feuilles			Tiges.		
	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B
NO3	174,4	175,1	174,8	222,5	213,2	217,8	150,0	153,8	151,9	171,5	177,3	174,4	121,1	122,7	121,9
σ_t	5,0	12,1	9,3	23,0	29,5	25,8	5,8	5,7	5,7	8,8	6,7	7,8	1,8	4,5	3,5
SO4	73,3	62,6	68,0	21,6	18,5	20,1	104,0	93,0	98,5	167,4	146,7	157,1	19,1	22,5	20,8
σ_t	10,5	9,7	11,6	4,0	1,8	3,5	16,1	18,8	18,1	28,0	10,7	32,7	1,6	1,5	2,5
PO4	90,3	83,9	87,1	93,1	81,2	87,2	89,4	86,4	87,9	106,2	101,6	103,9	67,0	66,0	66,5
σ_t	9,3	8,6	8,9	16,0	10,9	14,2	9,8	12,2	10,0	14,1	16,0	14,9	4,3	6,2	5,2
$\Sigma -$	338,0	321,6	329,9	337,2	312,9	325,1	343,4	333,2	338,3	445,1	425,6	435,4	207,2	211,2	209,2
σ_t	20,3	17,4	20,9	40,3	40,6	40,3	26,3	24,4	25,7	43,8	38,0	42,1	3,1	9,3	7,3
K	124,1	122,5	123,3	198,3	181,1	189,7	81,7	83,8	82,8	94,2	97,2	95,7	66,1	67,1	66,7
σ_t	7,0	5,7	6,5	28,0	20,5	26,0	2,4	2,7	2,7	2,5	2,2	3,0	6,3	7,1	5,9
Ca	113,2	99,0	106,1	16,9	13,1	15,0	169,5	161,5	165,7	255,2	243,6	249,4	55,2	53,4	54,3
σ_t	10,6	8,9	12,2	4,1	2,4	3,8	7,6	8,2	8,5	12,8	12,5	14,1	3,3	3,6	3,3
Mg	73,8	71,4	72,6	26,7	24,2	25,5	102,3	104,0	103,1	152,4	129,8	141,1	35,0	35,1	35,1
σ_t	7,7	12,3	10,1	2,3	2,5	2,9	13,5	18,7	15,4	17,8	21,6	21,1	3,7	6,8	4,8
$\Sigma +$	311,1	292,9	302,0	241,9	218,4	230,2	353,5	349,3	351,6	501,8	470,6	486,2	156,3	155,6	156,1
σ_t	18,6	23,1	23,3	33,3	24,4	31,5	13,8	24,0	19,5	16,2	21,3	21,4	8,6	15,0	10,8
$\Sigma +$ et -	649,1	614,5	631,9	579,1	531,3	555,3	696,9	682,5	689,9	946,9	896,2	921,6	363,5	366,8	365,3
σ_t	37,0	40,0	43,0	71,3	64,3	70,3	40,0	46,5	43,5	61,6	58,2	61,4	8,5	37,4	16,3
NO3	10,93	11,70	11,27	6,90	7,71	7,31	21,41	23,25	22,22						
σ_t	0,77	0,64	0,81	0,74	0,40	0,75	1,23	0,79	1,41						
SO4	4,59	4,18	4,34	0,66	0,67	0,67	14,78	14,05	14,24						
σ_t	0,65	0,67	0,63	0,02	0,05	0,04	2,01	2,76	2,38						
PO4	5,64	5,60	5,66	2,86	2,94	2,92	12,73	13,04	12,99						
σ_t	0,39	0,49	0,42	0,14	0,17	0,14	1,12	1,78	1,45						
$\Sigma -$	21,16	21,48	21,27	10,92	11,32	10,90	48,94	50,33	49,45						
σ_t	1,38	0,84	1,08	0,76	0,47	0,80	2,95	3,32	3,12						
K	7,64	8,19	7,87	6,10	6,55	6,30	11,67	12,67	12,14						
σ_t	0,49	0,23	0,46	0,28	0,40	0,32	0,63	0,38	0,78						
Ca	7,06	6,61	6,86	0,51	0,47	0,49	24,16	24,42	24,26						
σ_t	0,09	0,43	0,43	0,07	0,06	0,06	0,77	1,30	0,98						
Mg	4,60	4,76	4,63	0,83	0,87	0,84	14,58	15,68	14,88						
σ_t	0,57	0,78	0,65	0,09	0,04	0,07	1,90	2,58	2,20						
$\Sigma +$	19,30	19,56	19,36	7,44	7,89	7,63	50,41	52,77	51,45						
σ_t	0,81	1,18	0,98	0,31	0,13	0,33	1,66	3,00	2,72						
$\Sigma +$ et -	40,46	41,04	40,63	17,86	19,21	18,53	99,35	103,10	100,91						
	2,14	1,96	2,02	0,93	0,51	1,06	4,38	5,98	5,55						

Sur matière sèche

Sur matière fraîche

Tableau 83

Coefficient de variabilité (C_v) des teneurs sous l'effet des traitements.

Groupement chimique	Total général			Fruits			Total végétatif.			Feuilles			Tiges			
	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B	
Matière sèche	NO ₃	2,9	6,9	5,3	10,3	13,8	11,9	3,9	3,7	3,8	5,2	3,6	4,5	1,5	3,7	2,9
	SO ₄	14,3	15,5	17,1	18,6	9,7	17,5	15,5	20,3	18,4	16,7	7,3	20,8	8,4	6,7	12,0
	PO ₄	10,3	10,3	10,3	17,2	13,4	16,3	11,0	14,2	12,4	13,3	15,8	14,9	6,4	9,4	7,8
	M -	6,0	5,4	6,3	12,0	13,0	12,4	7,7	7,3	7,6	9,8	8,9	9,7	1,5	4,4	3,5
	K	5,6	4,7	5,3	14,1	11,3	13,7	2,9	3,2	3,3	2,6	2,3	3,1	9,5	10,6	8,8
	Ca	9,4	9,0	11,5	24,3	18,3	25,3	4,5	5,1	5,1	5,0	5,1	5,7	6,0	6,8	6,1
	Mg	10,4	17,2	14,0	8,6	10,8	11,4	13,2	18,0	14,9	11,7	16,6	15,0	10,5	19,0	13,7
	M +	6,0	7,9	7,7	13,8	11,2	13,7	3,9	6,9	5,6	3,2	4,5	4,4	5,5	9,7	6,9
	M + et	5,7	6,5	6,8	12,1	12,1	12,7	5,7	6,8	6,3	6,5	6,5	6,7	2,3	10,2	4,5
	Matière fraîche	NO ₃	7,1	5,5	7,2	9,3	5,2	10,3	5,7	3,4	6,4					
SO ₄		14,2	16,0	14,5	3,1	7,5	6,0	13,1	19,6	16,7						
PO ₄		6,9	8,7	7,4	4,9	5,8	4,8	8,8	9,8	11,2						
M -		6,4	5,1	5,1	7,0	4,2	7,4	6,1	6,6	6,3						
K		6,4	2,8	5,9	4,6	6,1	5,1	5,4	3,0	6,4						
Ca		1,3	6,5	6,3	14,0	12,8	12,3	3,2	5,4	4,0						
Mg		12,2	14,0	14,1	10,9	4,6	8,4	13,1	16,5	14,8						
M +		4,2	6,0	5,1	4,1	1,6	4,3	3,7	5,7	5,3						
M + et		5,3	4,8	5,0	5,2	2,7	5,7	4,4	5,8	5,5						

A. Somme constante des anions -
somme décroissante des cations.

B. Somme constantes des cations -
somme croissante des anions.

A+B. Ensemble des traitements.

Tableau n° 84

Teneurs sur cent grammes de matière sèche ou fraîche exprimées en pour-cent des teneurs homologues du traitement de référence (A/C = 1, 100).

Groupement chimique dosé	Sur Matière sèche.										Sur matière fraîche											
	A					B					A					B						
	A/C	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400	
Total général	anions	NO3	100	105	99	97	100	100	112	93	98	100	100	91	99	85	89	100	108	97	107	100
		SO4	100	121	101	107	81	100	76	91	98	70	100	105	101	94	72	100	73	94	107	70
		PO4	100	134	115	118	117	100	128	104	107	103	100	116	116	104	104	100	124	107	118	103
		-	100	115	103	104	100	100	108	95	100	94	100	100	103	91	88	100	104	97	109	94
		K	100	105	91	103	103	100	105	93	100	97	100	92	91	91	91	100	102	95	110	98
	cations	Ca	100	125	109	124	119	100	109	87	109	101	100	109	110	109	106	100	105	89	119	201
		Mg	100	107	90	93	81	100	115	84	81	77	100	93	91	82	72	100	111	86	89	77
		+	100	112	96	107	102	100	109	88	98	93	100	98	97	95	91	100	105	91	108	93
		Total + et-	100	114	100	106	101	100	108	92	99	94	100	99	101	93	90	100	105	94	109	94
		Fruits	anions	NO3	100	121	104	111	128	100	129	89	114	110	100	89	107	81	97	100	114	105
SO4	100			138	95	146	128	100	107	92	120	101	100	100	99	106	97	100	96	111	109	96
PO4	100			143	111	151	143	100	124	93	123	123	100	105	115	110	108	100	112	111	113	117
-	100			128	105	123	132	100	126	90	116	113	100	93	108	90	100	100	113	107	107	107
cations	K		100	125	90	124	112	100	115	83	108	102	100	92	92	90	89	100	102	99	99	97
	Ca		100	138	117	184	167	100	103	88	140	116	100	103	121	134	127	100	153	149	148	145
	Mg		100	120	97	113	106	100	108	80	100	95	100	87	100	81	80	100	96	95	91	89
	+		100	125	92	126	119	100	113	83	109	102	100	92	95	92	90	100	101	99	100	97
Total + et-	100		127	100	124	126	100	121	87	113	108	100	93	102	90	95	100	105	104	104	103	
Total végétatif	anions		NO3	100	97	94	92	100	102	95	96	93	100	90	91	86	93	100	104	97	102	97
		SO4	100	109	103	95	71	100	69	100	92	65	100	101	99	89	71	100	71	102	98	67
		PO4	100	128	117	103	104	100	129	114	98	91	100	119	113	96	105	100	132	116	104	94
		-	100	108	102	95	88	100	98	101	92	84	100	100	99	89	89	100	100	103	101	87
	cations	K	100	98	93	96	98	100	104	99	97	96	100	91	90	90	99	100	107	101	104	100
		Ca	100	113	110	110	107	100	102	111	103	98	100	105	107	103	108	100	105	114	110	101
		Mg	100	95	88	81	71	100	107	90	74	71	100	88	85	76	72	100	109	92	79	74
		+	100	103	99	97	93	100	104	102	92	88	100	96	96	91	94	100	107	103	98	92
	Total + et-	100	106	100	96	90	100	102	101	94	86	100	98	97	90	92	100	103	103	100	89	
	Feuilles	anions	NO3	100	97	93	89	89	100	101	96	95	92	100	97	93	89	93	100	104	97	102
SO4			100	111	110	97	71	100	65	103	98	64	100	101	99	89	71	100	71	102	98	67
PO4			100	132	124	103	102	100	133	117	98	91	100	119	113	96	105	100	132	116	104	94
-			100	110	106	95	85	100	94	103	97	81	100	100	99	89	89	100	100	103	101	87
cations		K	100	99	97	101	105	100	106	101	106	105	100	91	90	90	99	100	107	101	104	100
		Ca	100	113	116	110	111	100	102	114	109	101	100	105	107	103	108	100	105	114	110	101
		Mg	100	97	92	83	72	100	107	93	77	75	100	88	85	76	72	100	109	92	79	74
		+	100	105	104	98	96	100	104	104	97	93	100	96	96	91	94	100	107	103	98	92
Total + et-		100	107	105	97	91	100	99	104	97	87	100	98	97	90	92	100	103	103	100	89	
Tiges		anions	NO3	100	97	99	97	100	100	103	95	103	98	100	97	93	89	93	100	104	97	102
	SO4		100	81	83	92	92	100	114	110	99	102	100	101	99	89	71	100	71	102	98	67
	PO4		100	117	109	102	108	100	119	112	103	94	100	119	113	96	105	100	132	116	104	94
	-		100	102	100	98	101	100	109	101	103	98	100	100	99	89	89	100	100	103	101	87
	cations	K	100	92	82	83	81	100	96	91	82	78	100	92	91	82	72	100	109	92	79	74
		Ca	100	109	105	116	103	100	102	115	103	96	100	105	107	103	108	100	105	114	110	101
		Mg	100	82	90	87	76	100	106	89	80	64	100	88	85	76	72	100	109	92	79	74
		+	100	95	91	94	86	100	100	97	88	80	100	96	96	91	94	100	107	103	98	92
	Total + et-	100	99	96	96	94	100	105	100	96	89	100	98	97	90	92	100	103	103	100	89	

2. Les proportions relatives des anions ou des cations au sein de leur total respectif.

Les proportions centésimales varient assez peu.

A dose constante des anions, les proportions de phosphore et de calcium semblent plus élevées pour les rapports anions/cations élevés ; à dose constante des cations, il en est de même. Potassium et magnésium diminuent de ce fait en proportion dans la plante.

Ces variations s'indiquent également pour les tiges et pour les fruits, mais ici, avec beaucoup moins d'amplitude, alors que sur les teneurs, la variation était plus marquée pour les fruits.

Quant aux feuilles, il semble que les proportions centésimales de calcium aillent en décroissant et celles du magnésium en croissant avec le rapport anions/cations du milieu nutritif croissant.

3. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Malgré les faibles variations des teneurs et des proportions relatives, il est intéressant d'examiner les rapports de la somme des anions à la somme des cations qui figurent au tableau 85, au cas où ces variations seraient cumulées pour les divers constituants. On constate que le rapport anions/cations croît, comme dans la solution nutritive, pour les tiges, où il a d'ailleurs de plus fortes variations que dans les autres organes ; il semble passer par un maximum dans les autres cas. Notons qu'il tend cependant à

Tableau 85

Rapport de la somme des anions à la somme des cations (A/C)
dans la plante entière et dans les organes séparés.

A/C dans la plante entière et dans les organes séparés.

A/C	T R A I T E M E N T S.									
	A					B				
	Somme décroissante des cations pour une somme constante d'anions					Somme croissante des anions pour une somme croissante de cations				
Solution	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400	1,100	1,175	1,250	1,325	1,400
Plante entière	1,08	1,11	1,15	1,05	1,05	1,08	1,07	1,16	1,10	1,09
Fruits	1,33	1,36	1,52	1,30	1,48	1,33	1,49	1,44	1,42	1,47
Végétatif	0,97	1,01	1,00	0,95	0,92	0,97	0,91	0,97	1,00	0,92
Feuilles	0,90	0,95	0,92	0,87	0,80	0,90	0,87	0,89	0,89	0,79
Tiges	1,23	1,32	1,36	1,38	1,45	1,23	1,35	1,28	1,44	1,50

Idem en pour-cent de l'A/C de la solution.

Plante entière	98	95	92	79	75	98	91	93	83	78
Fruits	121	116	122	98	106	121	127	115	107	105
Végétatif	88	86	81	72	66	88	78	78	76	66
Feuilles	82	81	74	65	57	82	75	71	67	57
Tiges	112	112	109	97	104	112	115	102	109	108

anions/cations dans la plante entière varia entre des limites assez étroites que nous pouvons évaluer à

s'élever pour les fruits et à décroître pour les feuilles et le total végétatif.

Exprimé en pour-cent du rapport homologue de la solution nutritive, le rapport des anions à la somme des cations est, en général, supérieur à 100 dans les fruits et les tiges, inférieur à 100 dans les autres organes.

Pour tous les organes étudiés et pour l'ensemble de la plante, le ^{Tableau 85 refondu en} graphique 45 montre que ce pourcentage décroît linéairement avec le rapport anions/cations de la solution nutritive.

Ceci sous-entend que le rapport anions/cations dans la plante est une fonction parabolique de ce même rapport dans la solution nutritive. En effet, soit A_p le rapport anions/cations dans la plante et A_s celui de la solution nutritive, par observation ^{Tableau 85 et ds} du graphique 45 on a

$$\frac{A_p}{A_s} = a - bA_s \quad \text{ou} \quad A_p = aA_s - bA_s^2$$

équation qui permet, si les paramètres a et b sont connus, de déterminer le rapport anions/cations de la plante sans en faire l'analyse et, inversement, si les analyses de la plante peuvent être établies, de déterminer le rapport anions/cations de la solution nutritive, la formule serait donc dans ce cas

$$A_s = \frac{a + \sqrt{a^2 - 4A_p b}}{2b}$$

avec A_s toujours positif. Cette relation permet de présu-mer la valeur des paramètres a et b. En effet, le rapport anions/cations dans la plante entière varie entre des limi-tes assez étroites que nous pouvons évaluer à

$$0,5 < A_p < 2,0$$

Nous aurons ainsi le fait que a^2 ne peut être plus petit ou égale à $2b$, afin que le discriminant de l'équation soit positif.

Les équations établissant le rapport de la somme des anions à la somme des cations dans la plante ou dans les organes séparés, en fonction de ce même rapport dans la solution nutritive, sont données au tableau 86 ainsi que les coefficients de corrélation très élevés qui s'y rapportent.

Tableau 86.

Organe	A	r	B
plante entière	$y = 1,01 x - 0,03$ 0,03	0,97	$y = 1,03 x - 0,04$ 0,04
fruits	$y = 1,03 x - 0,04$ 0,04	0,76	$y = 1,03 x - 0,04$ 0,04
végétatif	$y = 1,03 x - 0,03$ 0,03	0,89	$y = 1,03 x - 0,04$ 0,04
feuilles	$y = 1,03 x - 0,03$ 0,03	0,88	$y = 1,07 x - 0,06$ 0,06
tiges	$y = 1,03 x - 0,02$ 0,02	0,86	$y = 1,03 x - 0,06$ 0,06

A = traitements à sous-éléments des cations
 B = traitements à sous-éléments des anions
 r = coefficient de corrélation.

Tableau 86.

Rapport de la somme des anions à la somme des cations dans la plante ou dans l'organe étudié (y) en fonction de ce même rapport dans la solution nutritive (x).

Organes	A	r	B	r	Moyennes
plante entière 9	$y = 1,91 x - 0,83 x$ 0,03 0,12	0,97	$y = 1,68 x - 0,64 x$ 0,04 0,15	0,95	$y = 1,80 x - 0,74 x$ 0,03 0,10
fruits 9	$y = 1,93 x - 0,64 x$ 0,09 0,34	0,75	$y = 2,02 x - 0,69 x$ 0,04 0,15	0,89	$y = 1,97 x - 0,67 x$ 0,05 0,20
végétatif 9	$y = 1,60 x - 0,65 x$ 0,03 0,11	0,89	$y = 1,54 x - 0,61 x$ 0,04 0,14	0,93	$y = 1,57 x - 0,63 x$ 0,03 0,09
feuilles 9	$y = 1,82 x - 0,88 x$ 0,03 0,11	0,98	$y = 1,67 x - 0,77 x$ 0,06 0,24	0,99	$y = 1,75 x - 0,83 x$ 0,04 0,12
tiges 9	$y = 1,59 x - 0,41 x$ 0,05 0,20	0,58	$y = 1,33 x - 0,19 x$ 0,05 0,20	0,65	$y = 1,46 x - 0,35 x$ 0,04 0,16

A = traitements à somme décroissante des cations.

B = traitements à somme croissante des anions.

r = coefficient de corrélation.

L'on constate que les équations relatives aux feuilles sont les plus proches de celles relatives à la plante entière et que celles relatives aux tiges en sont les plus divergentes. Elles sont à la limite de la signification ainsi que l'avait déjà montré la valeur du coefficient de régression.

3. Expériences n° 4 sur le paléog. (arrange 201 à 204)

Dans cette expérience les variantes expérimentales uniques ($NO_3 - SO_4 - PO_4 - Ca - Zn - Cu$) ont été appliquées sur sable à de jeunes palmiers sortant de pépinière. La dose d'anions est maintenant constante dans les deux séries ; seule la dose totale de cations varie pour obtenir les deux rapports anions/cations désirés (1,00 et 1,50).

Les folioles ont été analysés après un an de culture.

1. Les teneurs.

En soin d'une série où de même on a fait, les différences de teneurs entre les traitements à A/B 1,00 et à A/B 1,50 ont été calculées. Le tableau 27 donne ces différences en milliequivalents sur cent grammes de matière sèche et la valeur de t qui s'y rapporte, celle-ci est soulignée dans le cas de la signification pour une probabilité de 0,05.

B. Expérience n° 8 sur le palmier. (annexes 261 à 264)

Dans cette expérience les variantes systématiques anioniques ($\text{NO}_3 - \text{SO}_4 - \text{PO}_4 = 60 - 20 - 20$) ont été appliquées sur sable à de jeunes palmiers sortant de pépinière. La dose d'anions est maintenue constante dans les deux séries ; seule la dose totale de cations varie pour obtenir les deux rapports anions/cations désirés (1,00 et 1,56).

Les folioles ont été analysés après un an de culture.

1. Les teneurs.

Au sein d'une série où domine un anion, les différences de teneurs entre les traitements à A/C 1,00 ou à A/C 1,56 ont été calculées. Le tableau 87 donne ces différences en milliéquivalents sur cent grammes de matière sèche et la valeur de t qui s'y rapporte, celle-ci est soulignée dans le cas de la signification pour une probabilité de 0,05.

Tableau 87.

Elément dosé	TRAITEMENTS					
	N		S		P	
	△	t	△	t	△	t
NO ₃	+15,7	2,89	+20,8	3,21	+23,0	4,71
SO ₄	+ 0,5	1,02	+ 0,7	1,75	- 0,5	0,66
PO ₄	+ 3,1	14,09	+ 1,9	7,31	+ 3,1	15,50
Σ -	+19,3	1,78	-23,2	1,40	+25,6	2,59
K	- 6,0	5,45	- 2,1	2,96	- 6,2	7,47
Ca	+ 9,7	15,90	+ 5,7	6,63	+ 7,8	14,70
Mg	- 5,3	4,62	-11,0	11,70	+ 4,8	8,00
Σ +	- 1,6	4,39	- 7,4	2,56	+ 6,4	2,76
Tot -et+	+17,7	1,54	+16,0	1,85	+32,0	3,16

Tableau 88.

Rapport des teneurs sur cent grammes de matière sèche aux teneurs homologues du traitement de référence (A/C 1,00).

Elément dosé	TRAITEMENTS						
	A/C	NO3		SO4		PO4	
		1,00	1,56	1,00	1,56	1,00	1,56
NO3	100	110	100	114	100	116	
SO4	100	106	100	106	100	95	
PO4	100	119	100	110	100	116	
-	100	111	100	113	100	105	
K	100	88	100	95	100	88	
Ca	100	130	100	116	100	127	
Mg	100	88	100	70	100	111	
+	100	99	100	95	100	105	
Tot - et +	100	106	100	105	100	111	

Les résultats des deux séries (sur la tomate et sur le palmier) sont très comparables.

2. Les proportions relatives des anions ou des cations au sein de leur total respectif annexes 263 et 264

Ces proportions varient peu, comme il fallait s'y attendre, puisque les variations expérimentales ont porté sur les anions et que, d'après les expériences précédentes, les proportions de ceux-ci dans la plante sont peu variables.

Les proportions cationiques peu variables (annexe 263) pour les traitements à rapport anions/cations les plus élevés, sont déportées vers le sommet K. Il faut noter que les moyennes de ces rapports peu variables coïncident avec les rapports cationiques du milieu nutritif.

3. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Ces rapports figurent à l'annexe 263.

Pour les séries où l'azote et le phosphore dominant, les observations sont analogues et celles faites au sujet de l'expérience précédente sur la tomate. La série à soufre dominant, qui semble aberrante pour les teneurs en azote, est de ce fait anormale quant au rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Se basant sur la similitude des deux expériences, le raisonnement établi dans la série précédente relative à la tomate sera appliqué ici et les équations reliant les

rapports anions/cations de la plante à ceux du sol figurent au tableau 8.

Tableau 8.

Rapport de la somme des anions à la somme des cations dans les folioles d'Elais guineensis (y) en fonction de ce même rapport dans la solution nutritive.

TRAITEMENT DE DOMINANCE		
NO3	SO4	PO4
$y = 2,1x - 0,73x^2$	$y = 1,57x - 0,5x^2$	$y = 2,18x - 0,76x^2$

Les équations sont très semblables pour les dominances NO3 et PO4, la série à soufre dominant semble aberrante comme nous l'avons déjà fait remarquer.

A. Chapitre II. CE N°9 SUR LE MAIS.

page 228

1. les teneurs

228

MAINTIEN DE LA CONSTANCE DU RAPPORT DE LA SOMME
=====

228

229

2. les proportions centésimales du total
DES ANIONS A LA SOMME DES CATIONS ET VARIATION
=====

235

3. le rapport de la somme des anions à
DE LA SOMME TOTALE DES ELEMENTS.
=====

236

A. EXPERIENCE N°9 SUR LE MAIS.

page 228

A. EXPERIENCE N°9 SUR LE MATS. page 228

1. les teneurs 228

a. les teneurs anioniques 228

b. les teneurs cationiques 229

2. les proportions centésimales du total anionique ou cationique 235

3. le rapport de la somme des anions à la somme des cations 236

Maintien de la constance du rapport de la somme des anions à la somme des cations et variation de la somme totale des éléments.

A. Expérience n° 9 sur le maïs (annexes 265 à 269)

Dans cette expérience, des plantes de maïs sont cultivées, au stade végétatif, sur sable de Hollande, additionné de doses croissantes d'une même formule ionique.

Les proportions équivalentaires et le rapport de la somme des anions à la somme des cations restent constants dans la solution nutritive. Ce dernier rapport est assez élevé (A/C=1,5). Les solutions sont réalisées par des solutions salines comprenant de l'ammonium et non pas, comme dans les autres expériences, par des mélanges d'acides et de bases. Si l'on range l'ammonium parmi les cations et non pas conventionnellement parmi les anions, le rapport de la somme des anions à la somme des cations s'élève à 1,22.

Les parties aériennes de plantes de soixante-cinq jours ont été analysées chimiquement.

1. Les teneurs.

a. Les teneurs anioniques.

L'examen des graphiques n°1 et n°2 montre que les teneurs en anions varient proportionnellement à la dose. Les équations des droites de régression ont été établies. Elles expriment les teneurs pour cent grammes de matière sèche(y) d'un élément en fonction de sa propre concentration N-S ou P dans la solution nutritive, ajoutée par litre de sable.

L'on a ainsi les équations des droites représentées au graphique n° 2.

pour l'azote : $y_N = 2,64 N + 67,5$

pour le soufre : $y_S = 0,20 S + 15,4$

pour le phosphore : $y_P = 0,56 P + 16,1$

Nous concluerons que les teneurs en soufre et en phosphore sont peu variables dans la plante si la dose alimentaire augmente alors que l'azote varie fortement.

Le coefficient angulaire de la droite exprimant les teneurs en azote en fonction de la concentration de cet élément dans la solution nutritive est treize fois plus considérable que le coefficient homologue pour le soufre, et cinq fois plus considérable que celui qui se rapporte au phosphore. Le terme constant de ces équations pourrait indiquer la teneur minimum en dessous de laquelle la plante ne peut descendre en restant vivante.

La somme des anions est aussi une droite. L'équation qui exprime la totalité de milliéquivalents-grammes d'anions analysés pour cent grammes de matière sèche (y) en fonction de la dose totale d'anions (A) ajoutée par litre de sable est

$$y_a = 1,52 A + 99$$

b. Les teneurs cationiques.

En fonction de leurs concentrations particulières dans la solution nutritive, les teneurs cationiques semblent se comporter différemment des teneurs anioniques. Elles suivent une courbe à minimum rapidement atteint, dont la

branche montante semble linéaire. Il nous semble que l'on peut expliquer ces constatations de la façon suivante :

Le substrat de culture, très pauvre en éléments du groupe anionique, contient, par contre, une assez grande quantité d'éléments cationiques.

Dans un travail précédent, la richesse utile approximative d'un ~~ter~~ sable de Hollande, assez semblable à celui qui fut employé dans cette étude, a été déterminée.

Un tel sable de culture apporterait approximativement, pour les dix litres de sable d'un pot, sept milliéquivalents-grammes se répartissant comme suit : deux milliéquivalents-grammes de potassium, trois de calcium, deux de magnésium. Si l'on examine les quantités de cations se trouvant dans la matière végétale obtenue par pot de culture, on retrouve, dans certains cas, plus d'éléments que l'on en a fourni par la solution nutritive.

C'est le cas pour tous les anions et pour tous les cations du traitement 1 qui n'a reçu aucune alimentation d'appoint, c'est le cas aussi pour le potassium dans les traitements 2 et 3. Les valeurs, trouvées pour la richesse utile cationique approchée du sable de culture, sont en plein accord avec l'expérience, puisque l'on retrouve au maximum 2,18 milliéquivalents-grammes de potassium provenant de l'apport, ceci pour le traitement 2 (annexe 269).

Quelles sont enfin les modifications d'équilibre que cet apport occasionne, surtout pour les traitements où la dose alimentaire d'appoint est très faible ?

L'équilibre de la solution nutritive, qui était pour les cations de K - Ca - Mg = 30 - 32,5 - 37,5, passe ainsi aux valeurs suivantes :

pour le traitement 1 : 33 - 50 - 17

2 : 31 - 37 - 32

3 : 30 - 35 - 35

4 : 30 - 34 - 36

5 : 30 - 32,5 - 37,5

6 : 30 - 32,5 - 37,5

7 : 30 - 32,5 - 37,5

Nous voyons que l'influence du substrat ne se marque plus sur les rapports alimentaires à partir du traitement 5.

En outre, l'adjonction d'une solution nutritive au sable de culture ne modifie pas seulement les rapports cationiques, mais également le rapport de la somme des anions à la somme des cations (A/C) dans l'alimentation totale. Ce rapport qui, dans la solution nutritive, est de 1,50, prend les valeurs suivantes dans l'alimentation totale :

Traitement	A/C
1	indéterminé
2	1,11
3	1,28
4	1,38
5	1,44
6	1,47
7	1,48

(voisin de zéro)

Dans ce cas ci également le rapport de la somme des anions à la somme des cations est pratiquement constant à partir du traitement 5.

Un dernier argument va confirmer le fait que les trois premiers points du graphique traduisent une interférence entre l'alimentation appliquée et le sol, ils ne peuvent donc être interprétés de la même façon que les autres : les rendements pondéraux s'élèvent rapidement avec l'alimentation croissante, aux quatre premières doses appliquées. Cette élévation rapide produit une dilution des éléments absorbés dans la matière organique élaborée. A partir de la dose correspondant au traitement 5, la quantité de matières élaborées (poids sec de la plante) ne s'élève plus guère : la dilution cesse de se manifester et l'on assiste à une relation simple, linéaire, entre teneurs internes et concentrations extérieures, comme c'était déjà le cas pour les anions. Pour ceux-ci, le raisonnement n'est en effet pas applicable, puisqu'ils sont les constituants essentiels de la matière sèche. Les équations de ces fonctions linéaires ont donc été établies sur les points correspondants aux teneurs des traitements 5 - 6 - 7. Les teneurs cationiques (y) de la plante y sont exprimées en fonction de la concentration de l'élément envisagé dans la solution nutritive (K, Ca ou Mg) ajoutée par litre de sable.

L'on a ainsi pour les droites représentées au graphique n° 2

pour le potassium : $y_K = 3,65 K + 22,5$

pour le calcium : $y_{Ca} = -0,03 Ca + 16,3$

pour le magnésium : $y_{Mg} = 0,21 Mg + 28,8$

La somme des cations devient ainsi, dans les mêmes conditions, une fonction linéaire de la dose totale des cations (C)

$$y_c = 0,73 C + 67,6$$

Le total général (y), qui lui aussi semblait suivre une courbe à minimum, devient, pour les traitements 5 - 6 - 7, une droite qui, exprimée en fonction de la dose totale (x) d'aliments ajoutés par litre de sable, est caractérisée par l'équation

$$y = 1,37 x + 166,6$$

Les considérations précédentes s'appliquent aussi bien aux teneurs rapportées à la matière fraîche qu'à la matière sèche.

Il faut remarquer que les coefficients angulaires des droites relatives aux cations sont très différents l'un de l'autre. Celui qui se rapporte au calcium est presque nul, celui qui se rapporte au magnésium est de valeur très faible.

La teneur de la plante en ces éléments n'est donc pratiquement pas influencée par la dose de ces éléments, alors qu'elle l'était très fort à somme constante, c'est-à-dire

qu'elle est fortement influencée par leurs proportions relatives.

La teneur en potassium est au contraire, jusqu'au bout du graphique, ascendante, donc influencée par la dose de potassium. Rappelons qu'il en était de même, d'une façon à peine moins tranchée, pour les anions : teneur en azote influencée par la dose, teneur en soufre pratiquement invariable, teneur en phosphore faiblement influencée. Cet ensemble de constatations nous paraît traduire le fait que, si tous les éléments voient leur teneur en partie conditionnée par la composition des constituants cytoplasmiques essentiels, l'azote et le potassium, à un moindre degré le phosphore, peuvent, en outre, s'accumuler et cela vraisemblablement en forme dissoute dans les espaces que la croissance offre à l'accumulation, les espaces vacuolaires. L'azote et le potassium, un peu moins le phosphore, sont donc susceptibles de ce qu'on peut appeler accumulation de luxe. Celle-ci porte donc, dans le cas qui nous occupe, avant tout sur le nitrate et le phosphate de potassium. On notera enfin que les sommes anioniques et cationiques ne sont pas constantes. Leur valeur est donc influencée par la concentration des milieux alimentaires.

Il semble intéressant, pour chacun des corps étudiés, de calculer la limite inférieure, en dessous de laquelle ne peuvent descendre, pour que la plante soit encore en vie,

2. Les proportions centésimales du total anionique ou cationique.

Les proportions d'azote augmentent très faiblement alors que celles du soufre et du phosphore diminuent. Les proportions relatives du potassium augmentent le plus avec la dose alimentaire, ce qui est compensé par une diminution de calcium et de magnésium.

Si l'on examine les graphiques 8 et 9, le déplacement des points représentatifs des proportions relatives cationiques au sein du triangle expérimental se fait vers le sommet N₃ pour les anions, vers le sommet K pour les cations.

Les proportions centésimales du total anionique ou cationique seraient, d'après les équations (1 à 8), exprimées en fonction de la dose alimentaire en tous les éléments d'un groupe anionique ou cationique des fonctions hyperboliques.

Pour l'azote, par exemple, cette variation serait ;

$$\% N = 100 \frac{1,32 + 67,5}{1,52 + 99}$$

et dans la zone limitée par les traitements 4 - 5 - 6 - 7 nous serions dans une partie de l'hyperbole voisine d'une ligne droite très légèrement oblique.

Si les doses croissent encore, l'on arrive très rapidement à la partie presque horizontale de la courbe. Les proportions s'échelonnent dans la limite des concentrations expérimentées d'après l'équation entre 68 et 84, ce qui est confirmé par les résultats expérimentaux.

Il semble intéressant, pour chacun des corps étudiés, de calculer la limite inférieure, en dessous de laquelle ne peuvent descendre, pour que la plante soit encore en vie,

les proportions centésimales des totaux anionique ou cationique : on a ainsi :

pour l'azote	68 %
pour le soufre	15 %
pour le phosphore	16 %
pour le potassium	33 %
pour le calcium	24 %
pour le magnésium	42 %

3. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Le rapport de la somme des anions à la somme des cations (y) est nettement hyperbolique et répond à l'équation

$$y = \frac{0,91 x + 99}{0,46 x + 67,6} \quad \text{où } x \text{ représente la totalité des}$$

éléments anioniques et cationiques de la solution nutritive.

Si l'on tient compte des remarques émises ci-dessus au sujet de l'alimentation totale fournie à la plante (substrat et solution de culture) et que l'on confronte les rapports de la somme des anions à la somme des cations dans la plante et dans l'alimentation totale (tableau 90), on constate que ces nombres sont fonction l'un de l'autre et si l'on examine la dernière colonne de ce tableau, on constate que l'évolution des proportions du rapport de la somme des anions à la somme des cations dans la plante (A_p) à ce même rapport dans la solution nutritive (A_s) est une fonction linéaire telle que

$$\frac{A_p}{A_s} = 0,51 A_s + 0,32$$

ce qui revient à dire que le rapport de la somme des anions à la somme des cations dans la plante (y) est une fonction parabolique de ce même rapport dans l'alimentation totale (x) dans la disposition de la plante.

Tableau no.

Rapport de la somme des anions à la somme des cations.

Ces conclusions confirment avec les résultats des expériences 2 et 3.

Traitements	dans la solution	dans l'alimentation totale (A _s)	dans la plante (A _p) (valeurs expérimentales).	$\frac{A_p}{A_s}$
1	1,5	indéterminé	0,69	indéterminé
2	1,5	1,11	0,93	0,84
3	1,5	1,28	1,23	0,95
4	1,5	1,38	1,32	0,96
5	1,5	1,44	1,49	1,04
6	1,5	1,47	1,58	1,08
7	1,5	1,48	1,75	1,18

ce qui revient à dire que le rapport de la somme des anions à la somme des cations dans la plante (y) est une fonction parabolique de ce même rapport dans l'alimentation totale (x) mise à la disposition de la plante.

L'équation en est $y = 0,51 x^2 + 0,32 x$

Ces conclusions confirment donc les résultats des expériences 7 et 8.

Tels sont les faits qui servent de base aux discussions de la troisième partie.

1. CONSIDERATIONS GÉNÉRALES.

A L'influence de la composition minérale du milieu sur la composition élémentaire de la plante a donné lieu à des interprétations physiologiques qualitatives et une interprétation pratique qui a mené au diagnostic de ce qu'il faudrait appliquer au sol pour améliorer les cultures. En dehors de quelques travaux (Prévet - 1953 ; Drosdoff - 1954), peu de relations quantitatives ont été établies entre la composition chimique de la plante et celle du milieu nutritif. En général, ces relations ont un but utilitaire et relient la composition interne de la plante au rendement en poids ou en taille. Il n'est pas prudent d'associer d'emblée ces deux points de vue qui sont en fait des phénomènes indépendants. Aussi, nous sommes nous efforcés dans le présent travail de rester sur le plan des strictes relations entre la composition interne de la plante et celle du milieu nutritif. Nous comptons revenir sur les relations entre le rendement et la composition élémentaire de la plante dans des publications ultérieures.

B. ¹ Les relations quantitatives que nous avons essayé d'établir découlent de variations expérimentales apportées au milieu nutritif et qui sont de diverses natures :

1. Dans toutes les expériences, celles-ci ont été conduites sur un substrat pauvre, du sable de Hollande par exemple,

substrat qui par lui-même n'aurait pratiquement aucune valeur alimentaire et ne permettrait pas un développement appréciable de la plante. Il faut remarquer que ces substrats pauvres ne sont pas entièrement dépourvus d'éléments nutritifs. Ils sont pauvres, certainement, en ce qui concerne les éléments du groupe anionique et surtout en ce qui concerne l'azote, mais ils peuvent contenir des traces non négligeables des principaux cations. Cette richesse cationique du substrat sera importante à considérer dans l'interprétation des résultats quantitatifs.

2. Dans un premier groupe d'expériences, les variations portent uniquement sur les proportions des cations entre eux, ou sur les proportions des anions entre eux, toutes les autres conditions du milieu alimentaire *étaient* constantes, *c'est à dire*: la somme des anions, la somme des cations, la composition du complément anionique ou cationique, le rapport de la somme des anions à la somme des cations.

3. Dans d'autres expériences, les variations simultanées des proportions des anions ou des cations entre eux, au sein de leur somme respective, ont été établies, les totaux d'anions ou de cations, le total général, le rapport de la somme des anions à la somme des cations sont, dans ces expériences, maintenus constants.

4. Dans d'autres séries d'expériences, le rapport de la somme des anions à la somme des cations a été variable. Ceci peut être obtenu, soit en maintenant constante la somme des anions ou la somme des cations, soit en faisant varier la somme totale.

5. Enfin, les variations ont porté sur la dose totale des aliments fournis au végétal. La composition en anions, en cations, les proportions des uns aux autres restant invariants.

En conséquence de la remarque générale n° 1, il convient de se rendre compte, que le domaine expérimental appliqué ne couvre jamais toute l'étendue théoriquement accessible.

Ceci est d'autant plus vrai, qu'il faut ajouter à l'apport d'ions inhérent au substrat, l'apport d'ions appartenant à la graine.

Plus encore, même sur un substrat pauvre, on ne pourrait expérimenter dans le début de l'étendue théoriquement accessible, car les six éléments analysés sont des éléments indispensables à la vie et, si l'on expérimente à de très basses concentrations de l'un ou l'autre de ces éléments, on obtiendra un développement tellement faible que l'analyse sera difficile à réaliser.

Cette restriction est extrêmement importante, car dans l'interprétation des résultats, les relations quantitatives ont été uniquement établies dans le domaine expérimental réellement appliqué. L'extrapolation à zéro peut être hasardeuse dans le cas où la fonction qui relie les teneurs internes avec la concentration alimentaire du milieu serait une fonction curvilinéaire à courbure très marquée pour les faibles concentrations et qui pourrait subir une régression linéaire pour des concentrations plus élevées. C'est là une limitation qui est inséparable des possibilités expérimentales. Cette limitation a comme conséquence, qu'au sein d'une somme

constante, les proportions relatives des différents éléments ne sont pas rigoureusement valables.

Lorsque les variations expérimentales portent sur la dose totale, la limitation a pour conséquence que la dose minimum appliquée n'est pas nulle.

Lorsque les variations expérimentales portent sur le rapport de la somme des anions à la somme des cations, la conséquence de cette limitation est beaucoup plus forte, car les impuretés qui existent dans le substrat pauvre sont pratiquement toujours des impuretés cationiques \neq Pour les faibles doses des traitements appliqués, l'apport cationique du sol peut modifier considérablement le véritable rapport de la somme des anions à la somme des cations dans l'alimentation totale. En résumé, les relations qui ont été établies sont valables dans une large gamme de variations expérimentales ; elles ne peuvent être extrapolées qu'avec prudence, à des conditions différentes de celles qui ont été effectivement réalisées.

C. Les valeurs, à partir desquelles il a été tenté d'établir des relations quantitatives avec les variations expérimentales du milieu alimentaire, sont les suivantes :

1° Les teneurs proprement dites, le plus souvent rapportées à la matière sèche et parfois, plus utilement, rapportées à la matière fraîche. Ces deux modes d'expression peuvent avoir des conséquences sur l'explication physiologique qui correspond aux relations observées.

Ces teneurs sont établies, soit sur des organes considérés isolément, tels des feuilles ou des fragments de tiges, soit sur la plante considérée dans son ensemble, mais ici, nous

n'avons jamais pris en considération que la partie aérienne de la plante. En effet, les impuretés fixées aux racines après leur prélèvement, amènent, en cas d'analyse minérale, des causes d'erreur telles, qu'il est prudent de ne pas prendre ces organes en considération.

2° Les proportions centésimales des anions ou des cations, au sein de leur total respectif. Dans ce cas, deux groupes ont été distingués : tout d'abord, le groupe des anions, qui contient les éléments dont le rôle constructeur est certain et, le groupe des cations, qui contient uniquement les corps qui interviennent avec une beaucoup moins grande intensité dans les phénomènes de construction.

Les proportions des éléments, par rapport à la somme totale des groupements chimiques dosés, ont également été mises en relation avec les variations de concentration, au sein de l'alimentation de la plante. C'est en général la forme de la relation qui fait apparaître l'intérêt particulier de l'un ou l'autre mode d'expression.

3° La somme des éléments du groupe anionique ou du groupe cationique et la somme totale des éléments dosés. Ces totaux traduisent l'expression de degré de minéralisation du végétal. Indépendamment des relations qui ont été établies dans ce travail, il est intéressant de noter ces résultats, qui pourront servir à une étude ultérieure, dans laquelle le degré de minéralisation sera mis en rapport avec l'intensité de la production de matière sèche.

4° Le rapport de la somme des anions à la somme des cations, ou ce qui concerne les teneurs au sein du végétal. Ce

dans la nature.

rapport est d'un grand intérêt physiologique, car il est lui-même une expression du degré de minéralisation de la matière végétale, abstraction faite de glucides et de lipides. Il peut, par conséquent, ainsi traduire les accumulations excédentaires d'ions dans la partie du végétal réellement vivante.

D. Une première expérience, étudiée en détail, est extrêmement complexe. Elle permet, par la grande quantité de points expérimentés, l'établissement de relations avec un bon degré de certitude. Ces relations ont été confirmées en des expériences portant sur d'autres plantes ou sur la même plante, mais cultivée dans d'autres conditions. Les dernières expériences portent sur des traitements moins nombreux et ont, de ce fait, un intérêt statistique moindre.

Ces divers types d'expériences ont permis d'étendre, à plusieurs végétaux, les relations observées dans la première expérience. On a pu ainsi déceler les relations qui ont le plus de chance d'avoir une signification biologique générale et les relations qui n'ont qu'une portée spécifique.

D'autre part, en faisant varier les conditions expérimentales pour une même plante (par exemple la ^{expérience} culture du coton, faite en deux années successives, dans les mêmes conditions de culture, mais dans des conditions différentes d'éclaircissement et de période de culture) nous pouvons voir dans quelle mesure certains termes des relations établies varient, ce qui reflète, par conséquent, les conditions climatiques générales, c'est-à-dire, en fait, les conditions écologiques dans la nature.

2. RELATIONS QUANTITATIVES.

1er type :

Relation entre la teneur du végétal en un élément quelconque et la concentration du milieu extérieur en un élément variant au sein d'un couple de deux éléments donnés, tous les autres éléments étant constants. Dans ces variations binaires, nous n'avons envisagé que le cas de variations cationiques. Dans ce cas, les relations qui unissent les teneurs élémentaires dans la plante aux variations de concentration d'un élément, au sein du couple binaire étudié, sont des relations qui peuvent être valablement réduites à des fonctions linéaires. Ces relations sont caractérisées par l'existence de coefficients de proportionnalité très élevés lorsque l'élément dosé dans la plante est aussi l'élément qui varie au sein de l'équilibre binaire. Au contraire, les coefficients de proportionnalité sont de valeur faible lorsque les éléments dosés dans la plante ne sont pas ceux qui varient au sein de l'équilibre binaire, ce qui est le cas notamment pour les anions. Un fait est à noter, l'azote, exprimé sur matière sèche semblerait dépendre, de façon non négligeable, de la teneur du milieu nutritif en magnésium; ceci peut se comprendre puisque dans la partie végétative du végétal l'azote et le

magnésium sont unis par des relations stœchiométriques dans la molécule de chlorophylle. Il est cependant assez curieux de voir, que lorsque les teneurs sont exprimées sur matière fraîche, l'azote est en relation avec la concentration du milieu minéral en potassium. Ceci pourrait indiquer, que la plante accumulerait du potassium et de l'azote simultanément. Les équations comportent, d'autre part, un terme constant. D'après un travail antérieur, il a été établi que ce terme constant pouvait avoir, principalement, la signification d'exprimer l'apport naturel du substrat augmenté de l'apport de la graine et de l'eau d'arrosage. Dans le cas d'éléments qui auraient peu de chance de se trouver à l'état d'impuretés dans le substrat, c'est le cas de l'azote par exemple, une autre interprétation doit être établie : le terme constant correspondrait alors, vraisemblablement, au minimum de teneur de la plante compatible avec la vie pour l'élément considéré.

2e type :

Relation entre les teneurs de la plante entière en un élément quelconque et la concentration du milieu en tous les éléments, anioniques ou cationiques, variant au sein de leur somme totale. Puisque trois éléments voient leur concentration varier au sein d'une somme totale, il suffit d'établir les relations entre les teneurs dans la plante et la concentration de deux des éléments du milieu extérieur. Puisque l'on travaille à somme constante, il est indifférent d'exprimer la relation en fonction de la concentration des éléments étu-

diés ou en fonction des proportions relatives de ces éléments au sein de leur somme constante.

Nous envisagerons d'abord le cas où les variations expérimentales portent sur les éléments cationiques du milieu extérieur. Des points très nombreux ont permis d'établir l'existence de corrélations multiples. Ensuite, la définition de la relation a été établie de deux manières différentes.

Tout d'abord, la multiplicité des cas où le premier type de relations quantitatives étudié est valable, au sens statistique du terme, confirme, par la similitude des coefficients dans les groupes d'équations, où la variation porte sur un même équilibre binaire, l'existence de plans de régression lorsque la variation porte sur plus de deux éléments dans le milieu extérieur.

Ensuite, le parallélisme entre les droites de régression établies dans le premier type de relations, permet d'intégrer en un seul calcul de régression plane les données expérimentales en fonction des variations ternaires du milieu.

Les deux types de raisonnements ont été établis dans notre étude et confirment entièrement le fait que, dans les limites de la variation expérimentale appliquée, et sans préjudice de ce qui se passe à la limite lorsque les concentrations de la solution nutritive prennent la valeur zéro, des équations de régression plane peuvent exprimer correctement les phénomènes observés.

Deux cas sont à envisager :

A. Variations au sein de la somme constante des trois cations majeurs. Les anions sont relativement peu influencés par ces

variations expérimentales et dépendent de la proportion de magnésium au sein du total cationique. Cela revient donc à dire que la teneur de la plante en un anion donné est essentiellement influencée par le rapport $\frac{Mg}{K + Ca}$. Il faut cependant noter, que dans le cas du cacaoyer, où, malheureusement, les données sont peu nombreuses, *la relation n'est établie* entre la teneur en azote et en phosphore dans la plante et la proportion du potassium du milieu nutritif. Cependant cette relation est faible, mais elle est surtout valable lorsque, dans le milieu nutritif où la variation cationique est appliquée, le soufre domine parmis les anions. Mais ceci constitue peut-être un cas exceptionnel sur lequel nous reviendrons *dans des travaux ultérieurs*.

Les teneurs cationiques dans la plante, sont fortement influencées par la constitution cationique du milieu alimentaire. Chaque élément, K, Ca ou Mg, ~~est~~ très fortement influencé par la proportion de ce même élément dans le milieu nutritif, toutefois il apparaît que les trois éléments sont tributaires de la proportion de magnésium dans la solution nutritive. Le potassium et le calcium dépendraient ainsi, à la fois, des proportions de potassium ou de calcium et de magnésium du milieu nutritif, et par conséquent, dépendraient de la composition complète de milieu, puisque l'on travaille à somme constante. *R* Le magnésium, d'autre part, dans la plante, semble essentiellement dépendre de la proportion relative de magnésium donc du rapport $\frac{Mg}{K + Ca}$. Nous constatons encore, et au niveau des équilibres ternaires, que le magnésium du milieu nutritif est le facteur le plus susceptible d'influencer la composition

minérale du végétal par la position qu'il occupe au sein des constituants cationiques de l'alimentation.

B. Les variations au sein de la somme constante des trois anions majeurs. Ces relations n'ont pu être établies, sur la plante entière, que dans le cas du cacaoyer. Malheureusement, le petit nombre de traitements ne permet pas une étude statistique. Il semble qu'aucune relation ne puisse être mise en évidence entre les teneurs dans la plante et dans le milieu nutritif. La composition anionique de la plante semblerait donc particulièrement stable. Peut-être est-ce propre à la plante, le cacaoyer, peut-être est-ce un phénomène d'importance plus générale. Ceci ne pourra être discuté valablement que sur les fragments d'organes. Par contre, sur cette même plante, lorsque les variations portent sur la partie anionique de l'alimentation, la composition de la plante en cations semble plus ou moins influencé, et surtout en ce qui concerne le calcium, par les teneurs du milieu en phosphore et en azote.

En résumé, les teneurs cationiques principalement, et les teneurs anioniques, ^{depuis une mois de mesure} sont, dans la plante, tributaires des compositions cationiques ou anioniques du milieu alimentaire suivant des fonctions linéaires ou planes qui permettent de trouver dans la plante un reflet simple de la composition du milieu extérieur. Ces plans de variation sont plus vraisemblablement des parties approximativement planes de surfaces plus complexes, qui ne sont pas susceptibles d'être exprimés sur la base des données expérimentales par des fonctions

mathématiques précises; peut-être ces fonctions mathématiques auraient-elles un intérêt explicatif plus grand, mais déjà la relation simple du premier degré rend compte des principaux phénomènes physiologiques. C'est ainsi que le rôle important des proportions de magnésium dans la solution nutritive est clairement mis en évidence. Le magnésium conditionnerait donc, dans une grande mesure, la composition complexe du végétal. Or, si l'on comprend que l'importance du magnésium dans la chlorophylle puisse être déterminant de la production de matière sèche ^{par la production de matière sèche} du groupe glucidique, il est moins apparent que le magnésium ait une influence sur la constitution anionique, c'est-à-dire ^{sur} la constitution organique, non directement dépendante de la photosynthèse. Il faut également tenir compte du fait que le magnésium est en relation bien établies avec la pénétration, par conséquent avec l'utilisation, des phosphates dans la plante. Il est, en effet, un mobilisateur des phosphates et peut agir, grâce à cela, sur la composition, la synthèse, la dégradation des phosphatides, qui sont des constituants importants du gel cytoplasmique. Peut-être est-ce, ici, l'explication de la relation que nous mettons en évidence et qui semble donc être importante du point de vue physiologique.

3e type :

Relation entre les teneurs des organes considérés séparément en un élément quelconque et la concentration du milieu en tous les éléments, anioniques ou cationiques, variant au sein de leur somme totale. Le nombre de données est ici consi-

dérable et pourrait paraître alourdir fortement le travail. Indépendamment du fait que ces données sont susceptibles d'utilisations ultérieures et qu'il nous paraît intéressant de les faire connaître, il nous faut surtout insister sur l'aspect suivant de leur présentation.

Dans tous les organes étudiés ~~et~~, pour tous les éléments étudiés, pour tous les équilibres binaires ou ternaires étudiés, les principes généraux se retrouvent dans la presque totalité des cas. Cela revient à dire que la nature linéaire ou plane des relations a été établie dans un nombre considérable de cas. Et, c'est précisément dans la multitude des équations de ce genre, où la signification statistique est établie, que réside la confirmation du fait général établi par la première relation. En d'autres termes, aussi bien dans un organe pris isolément que dans la plante entière, les relations peuvent être exprimées d'une façon satisfaisante par des relations du premier degré, linéaires ou planes, quoique ces relations soient certainement plus complexes si ~~l'on~~ ~~peut~~ les analyser d'une manière plus approfondie.

Cette constatation est importante parce que la discussion des relations du premier degré est beaucoup plus facile et que leur utilisation, à d'éventuelles fins pratiques, est aussi beaucoup plus aisée.

Les expériences sur organes séparés ou sur partie d'organe portent aussi sur de très nombreux cas et sur plusieurs répétitions dans le temps, c'est-à-dire dans des conditions différentes. Cela étend, de ce fait, considérablement la validité des résultats.

Envisageons, en premier lieu, les effets des traitements où la variation porte sur les proportions cationiques du milieu et, dans ce cas, examinons tout d'abord l'action de ces variations cationiques sur les teneurs anioniques. Sur les quarante-trois cas portant sur le cotonnier et où les teneurs anioniques ont été étudiées en fonction des variations cationiques du milieu, trente-neuf montrent une action du magnésium alimentaire sur les teneurs en anions. Dans quatre seulement il y a exception et ces exceptions se rapportent aux teneurs de la plante en azote qui dépendraient dans ces cas du potassium alimentaire. Dans les trente-neuf cas précités, le magnésium est dans vingt cas le seul facteur agissant. Cette action conjointe du potassium et du magnésium se retrouve pour le maïs dans le cas du phosphore, pour le cacaoyer dans le cas de l'azote et du phosphore, dans les feuilles dans le cas où le soufre domine et dans les tiges ^{li} où le phosphore domine. Le potassium, d'autre part, influence les teneurs en anions dans les autres cas relatifs au cacaoyer.

Il est à remarquer que si, dans l'ensemble des organes, les différents anions sont le plus souvent influencés par le magnésium alimentaire, dans la graine, le ^{soufre} ~~phosphore~~ seul semble influencé par le magnésium, l'azote et le phosphore ~~l'étant~~ ^{vn} plus par le potassium alimentaire. Donc dans le cas du cotonnier, sur les quatre exceptions signalées ci-dessus, ~~où~~ le potassium alimentaire agit sur les teneurs cationiques, deux se rapportent à la graine. L'importance des phosphatides dans ^{et oxygène} ~~la graine~~ peut faire comprendre dans ~~cet organe~~ l'action du magnésium alimentaire sur la teneur interne en phosphore.

Quant à l'action du potassium alimentaire sur la teneur en azote de la graine elle est due vraisemblablement à ce que le potassium accompagne les protéines de la graine dont il sature les radicaux acides et qu'une ^{très} très faible quantité de nitrate ou de sulfate de potasse peut se trouver dans la graine.

Considérons ensuite les effets des variations cationiques du milieu extérieur sur la composition cationique de la plante. Tout d'abord, la teneur interne en un cation donné, dépend de la concentration alimentaire de ce même élément. Mais, en plus de cela, les teneurs en potassium sont influencées dans quinze cas sur trente et un par la proportion du magnésium et par conséquent, par la proportion de calcium puisqu'on travaille à somme constante. La teneur en potassium est donc tantôt influencée par le rapport $\frac{K}{Ca+Mg}$

Il est clair que si les teneurs internes existant dans le milieu extérieur, tantôt par les trois constituants cationiques de l'alimentation.

Cette remarque peut s'étendre aux deux autres cations et l'on peut conclure que la teneur interne en un cation donné dépend, dans certains cas, du rapport dans l'alimentation, de la concentration de ce cation à la somme des deux autres ou, dans d'autres cas, de la composition cationique alimentaire. Il y a donc une interaction certaine qui se traduit par le fait que la richesse en un cation, tel le magnésium, du milieu alimentaire facilite l'entrée des autres cations. Ce fait a déjà été noté pour la plante entière sauf pour le magnésium qui ne semblait dépendre que de sa propre concentration.

Envisageons en deuxième lieu, les effets des traitements où la variation porte sur les proportions anioniques du milieu. La relation du premier degré, linéaire, ou plane, se confirme également ici. Il faut toutefois faire remarquer que dans ces expériences, la validité des coefficients de proportionnalité est moins sûre en raison du faible nombre de traitements expérimentés. Pour cette raison, en dehors des cas où des relations certaines existent, il en est peut-être d'autres que nous n'osons garantir. La teneur interne en un élément anionique donné dépend de sa propre teneur dans l'alimentation. De plus, dans plusieurs cas la teneur interne en un anion donné dépend en outre de la concentration des autres anions de l'alimentation. Ceci est très net dans la dernière expérience sur le coton.

Il est clair que si les teneurs internes étaient uniquement dépendantes de la loi des proportions définies au sein des composés organiques qui composent la cellule, les teneurs internes seraient toujours sous la dépendance simultanée des trois concentrations or, il n'en est pas ainsi, dans de nombreux cas. Cela porte à croire qu'une partie de ces éléments surtout l'azote et le phosphore peut s'accumuler sous forme minérale et constituerait une sorte d'accumulation de luxe.

Considérons ensuite les variations de teneurs internes cationiques sous l'influence des variations anioniques alimentaires. Ces variations des teneurs internes sont de faible amplitude ainsi qu'il a déjà été dit ées pour la plante entière. Le potassium et le calcium sont

nettement influencés par l'azote et le phosphore et dépendent donc de toute la composition du milieu extérieur. Le magnésium de la plante semble moins variable, toutefois, dans bien des cas il dépend aussi de la composition anionique du milieu extérieur.

En résumé, dans les organes envisagés séparément, les variations des proportions alimentaires anioniques ou cationiques sont liées aux teneurs internes par des relations du premier degré : linéaire pour les variations binaires, plane pour les variations ternaires.

4e. type :

Relation générale exprimant la teneur dans la plante en un élément donné en fonction de la composition complète du milieu alimentaire.

Cette relation montre qu'une relation du premier degré est satisfaisante pour rendre compte de la variation de la teneur. Cette relation de forme $\sum y$ polynomiale devrait comporter au maximum six termes variables et une constante puisque les six éléments majeurs sont seuls pris en considération. Cependant, comme la somme des équivalents positifs et celle des équivalents négatifs est maintenue constante, on peut exprimer la relation générale par un polynôme du premier degré comportant au maximum quatre termes variables et un terme constant. Dans bien des cas, l'élément que l'on étudie dépend en plus de sa propre concentration dans l'alimentation d'une partie seule-

ment des composants du milieu alimentaire.

La forme générale de cette relation est

$$y = x (a + br_1 + cr_2 + dr_3) + K$$

dans cette forme y exprime la teneur en un élément donné dans la plante, x la concentration de ce même élément dans le milieu extérieur, a, b, c, d les coefficients de proportionnalité r_1 , r_2 , r_3 les rapports des concentrations dans l'alimentation d'un élément quelconque à la concentration de l'élément étudié, K une constante.

La teneur en azote dépendrait ainsi de la concentration en azote et en soufre du milieu extérieur pour le palmier et la teneur de tous les éléments pour les tiges et les feuilles de cacaoyer et les tiges de cotonnier.

La teneur en soufre semble invariable dans les cas du palmier et du cacaoyer mais dépendrait du soufre et de l'azote de l'alimentation dans les tiges de cotonnier.

La teneur en phosphore semble invariable dans le cas du palmier; pour le cacaoyer elle dépendrait de la teneur en phosphore et potassium, pour les tiges de cotonnier, elle dépendrait du phosphore et du magnésium alimentaire.

La teneur en potassium dépendrait de la concentration en potassium, azote, phosphore et peut-être du magnésium dans le palmier, de la concentration en potassium seulement pour la partie aérienne du cacaoyer, de la concentration en potasse et azote, en potassium et phosphore respectivement pour les tiges et les feuilles de cacaoyer; dans le cas des tiges de cotonnier la teneur interne en potassium dépendrait des teneurs alimentaires en potassium phosphore et magnésium.

La teneur en calcium dépendrait du calcium et peut-être du magnésium dans le cas du palmier, du calcium, magnésium et phosphore dans le cas du cacaoyer et des tiges de cotonnier; la teneur en magnésium dépendrait du magnésium et peut-être du calcium dans le cas du palmier, du magnésium et du calcium dans le cas du cacaoyer, enfin des concentrations en magnésium et azote alimentaire pour les tiges de cotonnier.

3e. type :

Relation quantitative entre les teneurs dans la plante et la concentration, du milieu alimentaire quand celui-ci varie dans sa concentration globale, mais non dans sa composition relative.

I
Tout d'abord on constate que des variations linéaires peuvent encore être établies. Cela veut dire que la concentration d'un corps est affectée par la concentration de ce corps dans l'alimentation, que cette variation se fasse ou non au sein d'une somme constante. Cependant, il se dégage un fait nouveau de la considération des coefficients de proportionnalité. Ceux-ci peuvent se ranger en deux catégories : les coefficients valables pour l'azote et la potasse d'une part, les autres d'autre part. Les différences de valeur sont très grandes entre les deux catégories de coefficients. Cela semble indiquer pour le potassium et l'azote une possibilité de forte accumulation de luxe. Comme cela se produit simultanément pour les deux corps et à un moindre degré pour le

phosphore et que, d'autre part, la somme des coefficients relatifs à l'azote et au soufre phosphore est à peu près égale au coefficient relatif au potassium, on peut en conclure que le potassium s'accumule surtout sous forme de nitrate et à un moindre degré de phosphate, lorsque'il n'entre pas dans les synthèses de la plante.

Cette expérience montre, en outre, que pour les éléments autres que l'azote et le potassium, les coefficients de proportionnalité sont beaucoup plus faibles lorsque l'on fait varier les concentrations globales que lorsqu'on fait varier les proportions (cas des variations à somme constante). Or, il semblerait que le phénomène physique soit identique. Quelle est donc la raison de ce comportement différent ? On constate tout d'abord que dans le cas des variations de doses, la relation linéaire ne s'indique qu'à partir de fortes doses. Au contraire, les variations à somme constante ne se font qu'au sein d'une dose plus faible. On pourrait en conclure que les variations de teneur dans la plante sont proportionnelles aux proportions relatives quand la dose totale n'est pas élevée et proportionnelles à la concentration lorsque la dose s'élève et ceci avec un coefficient de proportionnalité plus faible. Or dans des solutions diluées l'activité est proportionnelle à la concentration qui ~~est~~ ^{de l'élément} ~~est~~ ^{est} ici exprimée par ^{de} ~~leurs~~ proportions au sein d'une somme constante, on pourrait en conclure que les teneurs dans la plante seraient influencées par l'activité des ions alimentaires. Si la dose est élevée, l'activité croît avec la concentration dans le cas des corps hautement dissociables, comme c'est le cas pour les composés du potassium,

au contraire, pour les sels de calcium et magnésium, l'activité ne croît pas dans les mêmes proportions et de fait pourrait expliquer la différence de valeur des coefficients.

En résumé, nous donnons ici un argument en faveur du fait que la pénétration des éléments dans la plante est essentiellement conditionnée par leur activité dans le milieu alimentaire. Il semble intéressant de faire ressortir ce point car dans les conditions naturelles de la vie de la plante la mesure de l'activité réelle des ions est extrêmement difficile sinon impossible. Dans les conditions expérimentales où nous nous sommes placés, la mesure de l'activité est chose plus simple. Si l'on pouvait conclure que les teneurs dans la plante mesurent plutôt les activités que les concentrations on pourrait envisager - et ce serait le sujet d'une étude ultérieure - que par la considération des teneurs ioniques dans la plante on arriverait à une estimation des activités ioniques dans un sol naturel.

Ge. type : (V) montre que les coefficients C_p sont très comparables en valeur, pour les quilibres dans la plante

Relations quantitatives entre les proportions dans la plante et les proportions dans le milieu extérieur.

Envisageons tout d'abord les proportions des éléments au sein du groupe anionique. Les teneurs anioniques ne sont pas affectées également par les teneurs du milieu alimentaire, il en résulte une modification des propor-

tions des éléments entre eux. Cette modification est faible puisque les teneurs sont elles-mêmes faiblement affectées. On peut ainsi parler de la constance physiologique des proportions anioniques. Cela signifie que les éléments anioniques entrant surtout dans la constitution des noyaux organiques sont en proportions peu variables puisque ces substances en peuvent subir de grandes variations de composition.

Les faibles variations de proportions résulteraient peut-être de légères modifications métaboliques mais surtout traduiraient une légère accumulation de luxe, *en particulier,* surtout dans les vacuoles.

Envisageons ensuite les proportions des éléments au sein des du groupecationique. Celles-ci subissent de très grandes variations car les teneurs elles-mêmes sont sujettes à de fortes variations en fonction des variations expérimentales. En effet, si le coefficient de variabilité due au traitement (C_T) exprime pour chaque série l'ampleur que peut atteindre ces variations de teneur, l'indice de variation (V) montre que les coefficients C_T sont très comparables en valeur, pour les cations dans la plante et dans la solution nutritive ~~à savoir plus que l'on~~ *et cela surtout si* envisage la plante entière plutôt que les organes séparés. Ceci est à l'opposé de ce qui se passe pour les anions. Si ~~l'on~~ représente en un même graphique triangulaire, les proportions relatives cationiques dans la plante et dans le milieu alimentaire, on obtiendrait deux figures superposables, si les coefficients angulaires des relations unissent les teneurs ^{internes} ~~intérieures~~ aux teneurs

externes étaient identiques et les termes constants de très faible valeur par rapport à la partie variable de l'équation. Le degré de similitude des deux figures envisagées ici a été étudié ainsi que l'indice de déplacement vers tel ou tel sommet du triangle expérimental.

La comparaison de ces figures et l'étude des indices de similitude et de déplacement conduit à d'importantes constatations : la similitude est très satisfaisante s'il s'agit de la partie aérienne de la plante, elle est moins bonne pour les organes envisagés séparément. Si l'on introduit dans la recherche des proportions relatives de l'alimentation, la correction due à la présence dans le substrat d'un apport cationique préalable (richesse utile) on améliore encore la similitude. Cela veut donc dire qu'il existe une relation simple, pratiquement une relation d'identité entre les proportions cationiques dans la plante et dans l'alimentation totale. Si tel est le fait, il y aurait peut-être ici une relation indépendante des coefficients de proportionnalité et peut-être indépendante de l'espèce.

Cette constatation est importante tout d'abord du point de vue pratique : la plante, serait, dans ses proportions cationiques, le reflet de la composition cationique alimentaire.

Cette constatation est importante ensuite sur un autre plan : la plante semble se conduire comme un tout vis-à-vis du monde extérieur. Cette constatation est de très grande importance car elle constitue une illustration du principe de LOEB "the organism as a whole" par lequel l'organisme obéit dans son ensemble à des lois physico-chimiques simples valables au niveau cellulaire. C'est aussi une confirmation du point de vue pris par H.V. Howà dans sa

conception de l'alimentation minérale envisagée sous l'angle du développement qu'elle permet chez le végétal.

Si l'on envisage à présent, les similitudes des figures représentatives des proportions relatives dans les organes séparés et dans l'alimentation de la plante, on constate que la similitude est extrêmement variable d'un organe à l'autre.

Elle est pratiquement nulle dans les graines celles-ci ayant une composition cationique peu variable sur l'effet des traitements. En outre, les très légères variations des proportions relatives sont groupées dans une région écartée fortement du sommet Ca et légèrement rapprochée du sommet K. Ceci est peut-être à mettre en rapport avec le fait que la graine est un organe qui constitue le témoin de la pérennité de l'espèce, c'est-à-dire, un organe contenant les caractères les moins variables sous l'influence des conditions extérieures.

La constance des proportions ioniques est à mettre en rapport avec le fait que les modifications qui affectent la vie d'un individu n'ont que des répercussions faibles sinon nulles sur les qualités de ses descendants. En outre la graine est constituée de tissus dont les cellules sont quasi dépourvues de vacuoles. Il est donc normal que les accumulations secondaires qui portent surtout sur les cations y soient faibles.

Enfin, la graine est un organe entièrement nourri par le processus de translocation à partir des organes végétatifs et ces translocations se passent au niveau des fins filaments cytoplasmiques qui constituent les plasmodemes.

C'est donc en somme le liquide intermicellaire du cytoplasme qui circulent par ces filaments vient apporter les

...aisants à la graine, on comprend dès lors que la graine est davantage le reflet de la composition cytoplasmique. Ceci explique la grande constance anionique et la prédominance ^{du potassium} vis-à-vis des autres cations.

Pour les autres organes de la plante la similitude est surtout excellente pour l'ensemble des feuilles et surtout pour l'ensemble des limbes. Or, les limbes contiennent une bonne part de parenchyme fondamental, il semble donc que ce soit dans ce tissu qu'il faut rechercher la cause de la similitude des figures étudiées. Cette tendance à l'identité des proportions cationiques étudiées serait donc le fait des vacuoles qui occupent de grands espaces dans les tissus fondamentaux. Les moins bonnes similitudes ^{qu'on retrouve} des figures étudiées dans les tiges et pétioles, donc dans les axes vasculaires et fibreux, pourrait s'expliquer par le fait que dans ces organes le nombre de cellules vivantes est restreint et que dans toutes les cellules les proportions des membranes vis-à-vis des espaces cellulaires et intercellulaires ^{sont} considérablement augmentées.

En résumé, nous dirons que la similitude qui traduit l'obéissance à des lois simples est surtout le fait des parenchymes fondamentaux vivants. Ce fait se confirme si l'on examine ce qui se passe pour les autres plantes, par exemple, le maïs, prélevé à un stade juvénile, ou le palmier ^{dont} les folioles en pleine croissance sont étudiées et où la similitude n'est pas parfaite. Cette différence de comportement est le fait ^{de ce} que la similitude est un reflet de la tendance ^{vers} un équilibre qui ne peut s'établir

que progressivement et cela d'autant plus que l'ensemble végétatif considéré est plus volumineux. Dans une cellule prise isolément l'équilibre s'établit avec le milieu extérieur en un court laps de temps - quelques heures, tout au plus quelques jours - ainsi qu'il ressort des travaux de M.V. Hombé sur le navet. ⁽¹⁹³⁸⁾ Par contre, dans une plante où les éléments ne pénètrent qu'après une migration à longue distance et où ils ont été soumis au passage à des phénomènes d'adsorption, de fixation, de synthèses... on comprend que l'équilibre soit final, ^{d'entée dis} ~~de~~ ^{de fin} de période de croissance quand l'activité ralentit. ^{Ceci est prouvé} Dans la série sur le coton ^{ou} l'ensemble des feuilles est analysé en fin de végétation, alors que l'équilibre est pratiquement atteint, ^{Sauve} ~~alors~~ que les troisième et deuxième feuilles prélevées en cours de végétation n'ont pas encore atteint l'équilibre.

En résumé, la plante dans son ensemble peut être considérée comme un système physico-chimique tendant à se mettre en équilibre avec le système extérieur en ce qui concerne les proportions de ses constituants. ^{La} Cela est d'autant plus vrai que les organes choisis sont représentatifs de la plante entière et qu'ils sont plus voisins de l'état adulte. Dans l'application pratique, il est donc à conseiller de d'effectuer un prélèvement moyen d'organes adultes.

Cet aspect des relations quantitatives illustre un principe important de physiologie végétale : ^{la} ~~la~~ tendance à l'équilibre entre la plante entière et le milieu dans lequel elle se développe.

Le rapport étudié est donc en quelque sorte une mesure de
7e. type : alimentaire dont on pourrait déterminer le optimum
qui correspond à la fonction.

Les relations se rapportent au rapport de la somme des
anions à la somme des cations.

Une relation parabolique unit ce rapport dans la plante à celui de l'alimentation. Cette relation passe par un maximum. ^{donc} Quelle est l'importance de ^{ce} rapport ~~étudié~~ ? Les éléments anioniques interviennent pour la grosse part dans les synthèses organiques. Lors de l'incinération ces matières se retrouvent sous forme d'oxydes ou d'anhydrides ou sous forme d'ammoniaque en cas d'incinération par voie humide; par ailleurs ces éléments se trouvent essentiellement dans le cytoplasme qui occupe une faible place dans le volume cellulaire. D'autre part, la cellule comporte une membrane cellulosique et des réserves glucidiques, polysaccharidées ou non, qui sont détruites par incinération. Enfin, des réserves glucidiques se trouvent aussi dans la vacuole en même temps que des sels minéraux et des acides organiques qui sont en général neutralisés par des cations. La minéralisation fait apparaître ces deux derniers groupes de corps sous forme d'oxydes et d'anhydrides. Cependant, dans la plante, ces anions et ces cations ainsi minéralisés sont surtout présents sous forme organique non glucidique. Le rapport de la somme des anions à la somme des cations donne ainsi en quelque sorte une mesure du rapport des matières organiques principalement protéiques se trouvant dans la plante aux matières minérales accumulées passivement.

Le rapport étudié est donc en quelque sorte une mesure de la qualité alimentaire dont on pourrait déterminer la ^{offensive} ~~connaissance~~ la fonction.

A. Les compositions.

Les éléments envisagés ici subissent une variation plus grande par rapport aux variations de traitements que leur somme chimique, c'est-à-dire de total. Cela signifie donc que si l'un ou l'autre élément entre en quantité plus ou moins forte dans le plants, d'autres en plus ou moins entrent d'une façon moins rapide. Si le phénomène était général et était d'intensité égale pour tous les éléments, les sommes chimiques, c'est-à-dire les totales seraient invariables, les éléments se substituant, se compensant les uns les autres, au sein de cette somme.

Il est connu que la somme des parties peut être constante, il en serait de même pour les sommes d'analyse. Cependant dans les relations que nous avons établies, nous constatons que les sommes ne sont pas constantes par suite de la différence de valeur entre les coefficients de proportionnalité affectant chaque corps, différence la plus élevée statistiquement valable. Cette divergence de vue entre l'opinion courante et les résultats d'expériences résultent du fait que les observations ont surtout été faites pour des plantes entières.

3. DISCUSSION DE DEUX ASPECTS IMPORTANTS DES RELATIONS

QUANTITATIVES.

A. Les compensations.

Les éléments envisagés isolément montrent une variation plus grande par rapport aux variations de traitements que leur somme anionique, cationique *ou* total. Cela signifie donc que si l'un ou l'autre élément entre en quantité plus ou moins forte dans la plante, d'autres ~~ou plusieurs~~ entrent d'une façon moins rapide. Si le phénomène était général et était d'intensité égale pour tous les éléments, les sommes anioniques, cationiques ou totales seraient invariables, les éléments se substituant, se compensant les uns les autres au sein de cette somme.

Il est connu que la somme des cations semble constante, il en serait de même pour les sommes d'anions. Cependant dans les relations que nous avons établies, nous constatons que les sommes ne sont pas constantes par suite de la différence de valeur entre les coefficients de proportionnalité affectent chaque corps, différence la plus souvent statistiquement valable. Cette divergence de vue entre l'opinion courante et les résultats d'expérience résultent du fait que les observations ont surtout été faites pour des plantes cultivées

sur sol naturel où les éléments mis à la disposition de la plante ne sont variables en général que dans des limites assez restreintes. Ce qui n'est plus le cas dans l'expérimentation en vase car on peut réaliser des traitements extrêmement divers. Dans ces dernières conditions, la constance est loin d'être la règle même lorsque le milieu alimentaire varie au sein d'une somme constante.

Cependant cela n'exclut pas le phénomène de compensation qui est simplement moins parfait dans le cas expérimental qui nous occupe. Pour nous rendre compte de la mesure dans laquelle cette compensation a lieu nous avons procédé par une méthode dérivant du calcul statistique : si les variations des éléments en particulier étaient indépendantes l'une de l'autre, les écarts de leurs teneurs à la teneur moyenne n'auraient aucune raison de se compenser et obéiraient à la loi d'additivité des variances. Il résulte de ces calculs qu'une faible compensation existe entre- au sein des anions, une très forte au sein des cations. Cette compensation des anions est faible car ces corps entrent dans les synthèses organiques et, par exemple, le soufre ne peut y remplacer l'azote et réciproquement. ^{donc} des compensations décelées au sein des anions sont essentiellement celles relatives à une accumulation de luxe.

Du côté des ^{cations} cations, au contraire, les compensations sont très marquées. Cela tient au fait que les cations occupent dans la cellule des emplacements définis sur les acides organiques ^{et} sur les protéines et sur des corps résultant du métabolisme glucidique enfin se trouvent sous formes de nitrates, sulfates, phosphates. Au point de vue chimique, dans ces divers cas, les cations peuvent se substituer entre eux intégralement et une forte compensa-

tion est ainsi possible.

Dans un milieu inerte, les ions pourraient *ainsi* se substituer dans une plus grande mesure dans les phénomènes d'adsorption et de neutralisation, mais dans la matière vivante, les compensations ne sont pas intégrales car la complexité du milieu physico-chimique où ces compensations se passent a pour conséquence que la substitution d'un ion à un autre change la lyophilie du milieu et, par conséquent, ses propriétés sorptives, ses propriétés de perméabilité; la compensation intégrale n'est donc pas possible. Cette compensation est valable dans les grandes lignes et se limite aux variations expérimentales qui n'entraînent pas la mort.

Il est impossible d'extrapoler à des valeurs limites, car avant d'atteindre des valeurs léthales, la désintégration des colloïdes cytoplasmiques pourrait être suffisante pour libérer une quantité considérable d'ions préalablement adsorbés.

A titre d'information nous avons donné, ici pour l'ensemble des expériences réalisées, la valeur moyenne des rapports de la déviation standard sur les ~~données~~ ^{données} anioniques ($\Sigma -$) cationiques ($\Sigma +$) ou totales (Tot) à la déviation obtenue par le calcul d'additivité des variances, on obtient le tableau suivant :

On constate que, pour les anions, le rapport est plus grand que l'unité dans les tiges et le total végétatif et pour tous les cas dans les Tableau.

Report des déviations standard des sommes d'éléments dosés à la déviation calculée d'après l'additivité des variances.

	Variation anionique			Variation cationique		
	$\Sigma -$	$\Sigma +$	Tot	$\Sigma -$	$\Sigma +$	Tot
<u>FEUILLES</u>						
Limbe	0,71	0,77	0,82	1,15	0,39	0,54
Pétiole	0,60	0,69	0,85	1,15	0,30	0,51
Total	0,32	0,42	0,36	1,20	0,28	0,44
<u>TIGES</u>	1,15	1,05	1,26	1,24	0,90	1,23
<u>TOTAL VEGETATIF</u>	1,19	0,72	0,78	1,26	0,67	0,86

... d'anions peut-être libre et interchangeable, peut-être sous forme minérale.

Pour les cations, trois groupes de valeurs peuvent être faits plus élevé que 1,00, que 0,40 ou que 0,20.

Le premier groupe, signalé dans les tiges, sont ceux d'une accumulation de cations dans cet organe, caractéristique à l'accumulation d'anions dans il vient d'être question.

Le deuxième indique un état qui, s'est-il dit que dans les variations anioniques il n'y a pas de modification de valeurs cationiques dans les feuilles et le total végétatif.

On constate que, pour les anions, le rapport est plus grand que l'unité dans les tiges et le total végétatif et, pour tous les cas, dans les variations anioniques. Ceci traduit dans ces variations, ~~une accumulation et~~ non une compensation entre anions, mais, au contraire, une accumulation de ceux-ci. En effet, dans les variations cationiques, les capacités d'échanges ou de saturation des matières organiques étant limitées, une partie des cations entre sous forme minérale libre et non absorbée, ce qui nécessite une certaine accumulation d'anions ; en d'autres termes, les anions, chimiquement unis, fixent une quantité définie de cations interchangeable. L'entrée d'un surplus cationique nécessite l'entrée équivalente d'anions. Pour les variations anioniques dans les feuilles et le total général, il y a une très faible compensation entre anions, mais dans les tiges et le total végétatif, une accumulation peut-être notée. Ceci traduit le fait que, en plus des anions chimiquement unis, une faible proportion d'anions peut-être libre et interchangeable, peut-être sous forme minérale.

Pour les cations, trois groupes de valeurs peuvent être faits : plus élevé que 1,00, ^{plus élevé} que 0,40 ^{et plus petit que 1,00, plus élevé} que 0,20, et plus petit que 0,40.

Le premier groupe, signalé dans les tiges, rend compte d'une accumulation de cations dans cet organe, consécutive à l'accumulation d'anions dont il vient d'être question.

Le deuxième indique un statu quo, c'est-à-dire que dans les variations anioniques il n'y a pas de modification de teneurs cationiques dans les feuilles et le total végétatif.

Le troisième groupe, aux très faibles valeurs, indique de très fortes compensations entre cations dans les feuilles et le total végétatif.

B. Signification des coefficients de proportionnalité et du terme constant.

La comparaison des valeurs calculées et des valeurs expérimentales a montré que les relations partielles et la relation générale, polynômes du premier degré, rendent compte d'une façon très satisfaisante de la relation entre les teneurs dans la plante et la concentration des éléments dans le milieu nutritif.

Il serait utile, dès lors, de fixer la signification des coefficients de proportionnalité. Celui-ci intègre les manifestations non alimentaires sur les manifestations que nous étudions.

Il intègre en effet :

1° les facteurs physiques et chimiques, c'est-à-dire ^{de milieu} écologiques, de milieu : température, lumière, concentration générale... facteurs qui jouent un grand rôle dans la nature et qui sont la cause de variations quand on répète une même expérience dans le temps. Ce sont ces facteurs qui modifient fortement la valeur des coefficients d'une expérience, sur le coton par exemple, à l'autre, parce que d'une année à l'autre les conditions de luminosité et d'humidité diffèrent.

2° les effets spécifiques, c'est-à-dire que les coefficients diffèrent d'une espèce à l'autre comme ils ~~sont~~ différents pour les divers éléments. La valeur élevée ou basse du coefficient traduit, pour une espèce donnée, la possibilité de s'adapter étroitement au milieu ou au contraire de s'accomoder facilement à d'autres. Il serait intéressant d'étudier de façon systématique la valeur de ces coefficients, par exemple pour des plantes réputées calcicoles ou calcifuges.

3° les facteurs locaux, c'est-à-dire que les coefficients varient d'un organe à l'autre au sein de la plante.

Chaque organe suivant sa composition histologique, avec sa physiologie propre, consomme des éléments en quantité variable, rompt des équilibres et permet ainsi des entrées particulières.

La plante paraît être un complexe où les concentrations locales varient constamment par la suite des synthèses, des accumulations passives, des migrations secondaires, qui peuvent libérer des éléments, notamment à partir des feuilles anciennes vers des feuilles jeunes.

4° les facteurs d'âge. Le coefficient n'est pas le même pour les feuilles jeunes et les feuilles âgées. Cela tient à ce que chaque cellule prise isolément dans un organe tend vers un équilibre atteint à l'état adulte, après quoi le phénomène de sénescence s'installant, des

éléments sont libérés et migrent. possibles avec d'autres
cations, dépendants de la quantité de l'élément présent

Le nombre de ces facteurs fait que rien ne nous permet de prévoir la valeur du coefficient de proportionnalité. Pour le déterminer il faut appliquer des variations expérimentales. Par contre, ^{il n'en est pas ainsi} si l'on considère les proportions relatives, ~~tenue~~ sur la plante entière, ^{de teneur} comme il semble qu'il y ait coïncidence des proportions dans la plante et dans le milieu, on peut penser que l'effet des coefficients disparaît en faisant le rapport, ^{de teneur} et que ce rapport est indépendant des facteurs écologiques, spécifiques et autres... ^{par conséquent}

Le terme constant des équations a deux significations :

1° pour un élément qui n'est pas susceptible de grandes variations dans la plante, tel ~~un~~ anion, le terme constant correspondrait à la teneur minimum en cet élément compatible avec la vie.

Dans ce cas, on ne peut extrapoler à zéro, car à ce point, aucune vie n'est possible. ~~et~~ la moindre concentration de l'élément envisagé dans le milieu, une teneur s'établit, qui ne subira que de très légères modifications en fonction de la concentration extérieure.

2° pour un élément dont la teneur peut subir de grandes variations, tel ~~un~~ cation, le terme constant correspondrait à la valeur minimum, compatible avec la vie, très

4

faible par suite des compensations possibles avec d'autres cations, augmentée de la quantité de l'élément puisée à l'état d'impureté dans le substrat ou contenue dans la graine ou la bouture. C'est ainsi que nous avons pu, dans des travaux antérieurs et encore dans celui-ci, utiliser le terme constant à la détermination de la richesse utile approchée du substrat.

En résumé, le terme constant traduit l'existence d'une quantité incontrôlable de l'élément envisagé dans le milieu extérieur et la teneur minimum, en dessous de laquelle la vie n'est pas possible. La première signification l'emporte pour les cations, la seconde pour les anions.

A la lumière des relations quantitatives établies dans ce travail, on peut reprendre la question de diagnostic chimique en inversant les relations, ce qui nous permet de déduire certaines conséquences :

1° Les concentrations dans le sol sont fonction des teneurs dans la plante. Ces fonctions sont du premier degré et comportent des termes variables et un terme constant. Ce dernier, de plus en plus grande valeur suivant les éléments, constitue une sorte de seuil non sensible aux effets extérieurs et ne peut, par conséquent, les traduire. Il est évident que lorsque le terme constant est important, on peut difficilement déduire de la teneur dans la plante la richesse du milieu extérieur.

4.

Considérations sur le diagnostic chimique.

Nous avons vu, dans l'introduction, que les relations entre la composition de la plante et celle du milieu extérieur ont été souvent utilisées à des fins de diagnostic de la composition minérale du substrat, en vue d'y apporter éventuellement des correctifs. Ces dernières années, on a même étendu cette recherche à la détection de substances rares du sol, ainsi qu'au diagnostic de carences.

Le problème du diagnostic chimique a donc été posé avant que les relations quantitatives certaines aient été établies, et a progressé empiriquement en raison de ses applications pratiques.

A la lumière des relations quantitatives établies dans ce travail, on peut reprendre la question du diagnostic chimique en inversant les relations, ^{établies précédemment} ce qui nous permet de déduire certaines conséquences :

1° les concentrations dans le sol sont fonction des teneurs dans la plante. Ces fonctions sont du premier degré et comportent des ^{termes} variables et un terme constant. Ce dernier, de plus ou moins grande valeur suivant les éléments, constitue une sorte de masse non sensible aux effets extérieurs et ne peut, par conséquent, les traduire. Il est évident que lorsque le terme constant est important, on peut difficilement déduire de la teneur dans la plante, la richesse du milieu extérieur.

2° le coefficient de proportionnalité est fonction des conditions du milieu et, par ce fait, est variable, ce qui rend difficile l'interprétation de la teneur de la plante à des fins de diagnose de la concentration alimentaire du substrat.

Par quels moyens pallier ces difficultés :

1. Connaître le terme constant par un grand nombre d'observations qui permettraient de déterminer les limites entre lesquelles s'inscrivent les variations des teneurs. La limite inférieure donnerait la valeur du terme constant. Ceci serait surtout d'application pour les anions.

2. Déterminer la relation générale par l'expérimentation et la valeur du coefficient de proportionnalité si important dans le cas des cations.

3. Choisir judicieusement l'organe en rapport avec l'élément à diagnostiquer. L'étude du coefficient C_T a montré que les tiges et ^{les} pétioles étaient plus favorables à l'étude des anions, les feuilles et les limbes à l'étude des cations. Le diagnostic ne peut donc être uniquement foliaire, ni pétiolaire, comme le pratiquent certains auteurs ; il devrait être adapté à la nature de l'élément étudié et, pour chacun des éléments, à la plante.

En effet, nous avons vu que le coefficient de proportionnalité traduit, entre autres, l'effet spécifique et qu'il existe des espèces fortement influencées, c'est-à-dire, qui

ont des compositions très variables sous l'effet des conditions alimentaires. Ces espèces pourraient être des plantes indicatrices de la composition du milieu. La connaissance de telles plantes indicatrices serait très utile à connaître dans la pratique. Il serait fort possible que, dans une plantation de caféier par exemple, ce ne soit pas l'analyse du caféier qui renseignerait le mieux sur la composition du sol, mais bien l'analyse de l'une ou l'autre espèce spontanée croissant à côté du caféier. Il serait donc d'un grand intérêt pratique de rechercher systématiquement de telles plantes. Les premiers résultats que nous avons publiés au sujet de *Zebrina pendula* suggèrent que cette plante pourrait être, à certains points de vue, une excellente plante indicatrice.

4. Les variations du coefficient de proportionnalité en fonction de l'âge suggèrent deux possibilités. Tout d'abord, ^{celle} de choisir des organes ayant atteint un certain âge physiologique. Malheureusement, les critères d'un tel état nous paraissent bien faibles, parfois dangereux et il vaut mieux procéder sur la plante entière, ou sur l'ensemble des limbes, ou sur un mélange de divers organes, c'est-à-dire, sur un échantillon moyen de tous organes à l'état adulte qui ne présentent aucun signe de vieillissement. Il faudrait ajouter encore un mot au sujet de la méthode de Neubauer qui semble sujette à caution puisqu'elle est basée sur l'analyse des plantes d'un très jeune âge, et,

où en plus du jeune âge qui influe fortement sur la valeur du coefficient, l'apport dû à la graine est très grand par rapport aux quantités ~~se trouvant~~ ^{et l'équilibre est satisfaisant} dans les plantes analysées, il doit ainsi donner au terme constant une très grande valeur. Il serait peut-être aussi intéressant de reprendre la méthode en offrant aux plantules à analyser des volumes différents de sol à exploiter, ce fait pouvant également faire varier le coefficient.

En résumé, si au point de vue de la pratique du diagnostic chimique ce travail n'apporte pas de résultats très constructifs, il nous paraît cependant utile par la mise en garde qu'il apporte contre des simplifications exagérées. Il montre le danger de recourir systématiquement à un organe donné, il montre la difficulté, qui frise pratiquement l'impossibilité, de recourir à un organe d'un âge physiologique défini ; il conduit cependant à une conséquence utilisable en pratique, c'est-à-dire, que l'échantillonnage le plus indiqué pour opérer judicieusement un diagnostic chimique consiste, en ce qui concerne les cations, en un échantillon moyen de feuilles ayant atteint l'âge adulte et, en ce qui concerne les anions, en un échantillon moyen de tiges ayant aussi atteint l'âge adulte. La discussion à ce sujet est entamée, elle a progressé à l'heure actuelle suffisamment pour étayer les grandes lignes, de la conception proposée. Ceci laisse la porte ouverte à certaines modifications de détails ou de précision quant aux mécanismes proposés.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

1. Les relations quantitatives qui existent entre la composition minérale élémentaire de la plante et celle du milieu extérieur peuvent se ramener, d'une façon satisfaisante, à des relations du premier degré, linéaires, planes ou plus complexes, suivant qu'il s'agit de deux ou de plusieurs éléments dans le milieu extérieur.

2. Ces relations se caractérisent par des coefficients de proportionnalité et un terme constant qui ont des sens définis

a. le coefficient de proportionnalité traduit l'action des effets non alimentaires, c'est-à-dire des effets écologiques, des actions spécifiques, de l'âge et de la nature des organes.

b. le terme constant représente deux effets simultanés : tout d'abord la plus petite teneur en dessous de laquelle un élément ne peut pas descendre dans la plante vivante, ensuite la teneur de cet élément dans le milieu naturel. L'un ou l'autre de ces deux facteurs l'emporte suivant qu'il s'agit respectivement d'anions ou de cations.

3. Les relations générales entre la teneur en un élément et le milieu alimentaire, considéré du point de vue des éléments

majeurs, se ramènent, lorsque la somme de ceux-ci est constante, à une équation générale, comprenant, en plus du terme constant, quatre termes indépendants, dont chacun peut-être affecté d'un coefficient quelconque, éventuellement nul, ce qui peut réduire le nombre de variables indépendantes.

4. La composition élémentaire de la plante, en ce qu'elle est caractérisée par les teneurs, est essentiellement déterminée par l'activité des ions dans le milieu alimentaire.

5. La composition de la plante, en ce qu'elle est caractérisée par les proportions relatives des éléments entre eux, au sein des groupes ioniques, est pratiquement invariable pour les groupes anioniques et pratiquement en coïncidence avec la composition du milieu extérieur pour les groupes cationiques, lorsqu'il s'agit de la plante entière ou des parties les plus riches en tissu fondamental.

Elle est au contraire pratiquement invariante, même dans le dernier cas, pour les graines, en raison du fait que celles-ci sont une image de la constitution cytoplasmique plus que de la constitution vacuolaire.

Les relations quantitatives qui existent entre la teneur dans la plante et celle du milieu extérieur, traduisent le concours de phénomènes physiologiques suivants :

- entrée des éléments dans la plante avec les équilibres de membrane?
- entrée des éléments dans des phénomènes chimiques

commandés essentiellement par des lois de masses et de proportions définies.

- entrée des éléments dans des phénomènes de neutralisation chimique où toutes les substitutions équivalentaires sont possibles.

- entrée des éléments dans les phénomènes physiques, principalement d'absorption, sur les colloïdes cytoplasmiques. Ces deux derniers phénomènes ont des répercussions importantes sur la lyophilie de la cellule et, par voie de conséquence, sur les propriétés physico-chimiques du cytoplasme.

Les relations quantitatives sont influencées par les proportions diverses que ces cations ont entre eux et le reflet en apparaît dans l'aspect que prennent les relations quantitatives suivant que l'on considère les anions, les cations ou l'ensemble des éléments.

6. Les relations quantitatives envisagées de façon inverse, c'est-à-dire tendant à mettre en évidence la composition du milieu alimentaire en fonction de la composition du végétal, peuvent servir à des fins de diagnostic chimique, à la condition de juger avec prudence de la valeur du coefficient de proportionnalité, de l'importance relative du terme constant, du type d'organe étudié, de leur âge. sm Trois conséquences de caractère pratique résultent ainsi de notre travail :

a. Le choix respectif des feuilles ou des tiges, suivant que le diagnostic porte sur les cations ou sur les anions.

b. Le choix d'organes adultes plutôt que le choix d'organes d'âge physiologique défini, en raison de la difficulté de

définir cet âge et de la forte variabilité du coefficient en fonction de l'âge.

c. L'existence de plantes indicatrices susceptibles d'un grand intérêt dans la pratique écologique ou agricole.

6

~~IV~~

6

Publ. of

IV. ADLER BIBLIOGRAPHY

Notes bibliographiques.

1. **AMBLARD, J.R.** - L'évolution des teneurs et des rapports ioniques dans les différents organes de la plante de tomate au cours de la croissance.
Ann. agr. Belg. 61. 2^e Sér. 1950, no. 11 pp. 42-52. 2
13 graph. - 1950.

~~AMBLARD, J.R. & MOORE, J.~~

2. **ALBERTIN, G.W.** - Effect of aluminum and phosphate ions on electrical potential of wheat root.
Doklady Akad. Nauk. SSSR 70(3) 523-525. 1950.

3. **AMERSON, A.** - Zur Frage des Wasserpotentials unter dem Einflusse der Dürre.
43-54, 1953

IV. NOTES BIBLIOGRAPHIQUES.

XVI, 10, 209., p. 2023 (1955).

4. **APPELHANS** - Die Beurteilung des Bodenfrucht nach der Analyse der Nährpflanzen.
Landw. Jb. 13 - 1886 - 1887

5. **BAUMFIELD, E.R.** - Recherches sur la variation des constituants minéraux dans les feuilles de latex de l'Évea brésilienne.
Rev. gén. scienc. XIII - 4 323-331 1953.

6. **BRADON, K.O., LYNN, G.R. & BARKSTEIN, S.R.** - Ion absorption by tomato plants as correlated with variations in the composition of the nutrient medium.
Plant Physiology Vol 19 n°2 245-258 1944.

7. **BREKIDMACH, J.R.** - Functional relationship between boron and various anions in the nutrition of tomato.
Florida Agr. Exp. Stat. Bull. 195; 1-34; 1944.

8. **BRUDNEV, S. & STRECHENKINA, S.** - Méthodes de diagnostic des conditions nutritives du cotoneier. (en russe)
Doklady Akad. Nauk, IV, 5. 19-5, 1954.

9. **BROWN, A.S. & GILVIN, H.** - Carbon dioxide fixation by green plants. Ann. Rev. Plant Physiology. 1: 2-25 - 1950.

Notes bibliographiques.

1. ANSIAUX, J.R. - L'évolution des teneurs et des rapports ioniques dans les différents organes de la plante de Tomate au cours de la croissance.
Acad. roy. Belg. Cl. Sci. Mém. couronné, ms. 9193, 42 tabl. & 13 graph. - 1956.
- ~~ACKER, H.O. & MONK, J. -~~
2. ALESHIN, S.M. - Effect of aluminium and phosphate ions on electrical potential of wheat root.
Doklady Akad. Nauk. SSSR 70(3). 523-529. 1950.
3. AMBERGER, A. - Zur Frage des Wasserverbrauches unter dem Einfluss der Düngung.
Z. Acker-Pflanzbau, XCIX, I, 45-54, 1955.
C.R. ; Bull. Anal., C.N.R.S., XVI, 10, 2ep., p. 3923 (1955).
4. ATTERBERG - Die Beurteilung des Bodenkraft nach der Analyse der Haferpflanze.
Landw. Yb. 15 - 1886 - 1887
16
5. BEAUFILS, E.R. - Recherches sur la variation des constituants minéraux dans les feuilles de latex de l'Hévéa brasiliensis.
Rev. gén. caoutch. XXXII - 4 323-31 - 1955.
6. BENSON, K.C., LYON, C.B. & BARRENTINE, M.W. - Ionic absorption by Tomato plants as correlated with variations in the composition of the nutrient medium.
Plant Physiology Vol 19 n°2 245-258. 1944.
7. BECKENBACH, J.R. - Functional relationship between boron and various anions in the nutrition of tomato.
Florida Agr. Exp. Stat. Bull. 395; 1-34; 1944.
8. BELOUSSOV, M. et SIVIGENSKAYA, Z. - Méthodes du diagnostic des conditions nutritives du cotonnier. (en russe)
Khlopkovodstvo, Moscou, IV, 9, 30-5. 1954.
9. BENSON, A.A. & CALVIN, M. - Carbon dioxide fixation by green plants. Ann. Rv. Plant Physiology, 1, 1-25. 1950.

- 305 -
10. BIDDULPH - In mineral Nutrition of Plants.
Univ. Wisc. Press 261. -1951.
 11. BINGHAM, P.T. et MARTIN, J.P. - Effects of Phosphorus fertili-
sation on the minor element nutrition of citrus.
Citrus Leaves, XXIV, 6, pp.8-9, 1955.
 12. BLACK, C.A. - EVALUATION of Nutrient Availability in Soils, and
Prediction of Yield Response to Fertilisation.
Iowa State College Journal of Science - Vol 6 - n°1 -
August 15, 1955.
 13. BLANCHET, R. - Quelques aspects de l'absorption des éléments
fertilisants et de leur utilisation à la croissance de la
plante -
Comptes Rendus du 6e. Congrès de la Science du Sol - Paris
1956 - IV-19 - 119-130 - 1956.
 14. BOLLE JONES, E.W. - Comparative effects of ammonium and nitrate
ions on the growth and composition of *Hevea brasiliensis*.
Phys. Plant. 8 (3) - 1955 - 606-629. 1955
 15. BORSCH, Karl - Gehalt der Pflanzen an Mineralstoffen.
Tabulae Biologicae - Junk, V (XI) - 1935.
 16. BOWER, C.A. & WADLEIGH, Ch. - Growth & cationic accumulation
by four species of plants as influenced by various levels
of exchangeable sodium.
Soil. Soc. Amer. Proc. 13, 218-223. 1948.
 17. BROESHART, H. The application of foliar analysis in Oil Palm
cultivation.
Excelsior - 's Gravenhage, pp 114 - 1955.
 18. BROWN, R.J. - Soil Science 56 - 213 - 1943.
 19. BROYER, T.C. - The nature of the process of inorganic solute
in accumulation in roots.
In mineral nutrition of plants - Univ. Wisc. Press.
187 - 251 - 1951.
 20. CAIN, J.C. - The effect of potassium and magnesium on the
absorption of nutrients by apple trees in sand culture.
Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 65 - 25-31 - 1955.
 21. CAIN, J.C., BOYNTON, D. - Some effects of season fruit crop
and nitrogen fertilization on the mineral composition of
Mc Intosh apple leaves.
Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 51 - 13-22 - 1948.

22. de CANDOLLE - Physiologie Végétale - T I p. 360 - Paris 1832.
23. CAPO, B.G. & SAMUELS, G. - The development of a mathematical concept to interpret the relation between plant composition and crop yield.
Journ. Agr. Univ. Puerto Rico - XXVII- n°4 - 1953.
24. CHANG, H.T. & LOOMIS, W.E. - Effects of carbon dioxide on absorption of water and nutrients by Roots.
Plant Physiology 20 - 221- 233, - 1945.
25. CHAPMAN, G.W. - GRAY, H.M. - Leaf analysis of the Oil palm.
Ann. of Bot. N.S. Vol. XIII n° 52 - 1949.
26. COLBY, H.L. - Effects of starvation on distribution of mineral nutrients in french prune trees grown in culture solutions.
Pl. Phys. 8 - 357-394, 1953.
27. COLLANDER, R. - Selective absorption of cations by higher plants.
Plant Physiology - Vol 16 - n°4 - 691- 720, 1941.
28. CONSTABLE, D.H. - Manurial diagnosis for Hevea brasiliensis.
Rubb. Res. Inst. Ceylon, Bull. 56, 55 pp. (1955).
29. COTTENIE, A. et VAN DEN HENDE, A.
La variabilité de la teneur en éléments minéraux dans les tissus végétaux sous l'influence de la fumure.
Ve. Cong. Int. Sci. Sol, Léopoldville, 16-21 août 1954, III,
297-309, (1955).
30. COTTENIE, A. - De mogelijkheden van de spectraalanalytische methodes voor de bepaling van K, Na, Ca en Mg in plantaardig materiaal.
Mededelingen van de Landbouwhogeschool in de Opzoekingsstations van de Staat te Gent - 1956.
31. COTTENIE, A. - De mogelijkheden van de spectraalanalytische methodes voor de bepaling van K, Na, Ca, Mg in plant-aardig materiaal. 1954.
32. CROWTHER - Seasonal variation in development of field.
Ann. Bot. Lond. N.S. 5 - 509-533, - 1941.
33. CZAPECK, Fr. - Biochemie des Pflanzen - 2es Band.
Jena, Fischer, 1905 1026 Bl.
34. DEAN, L.A. & FRIED, M. - Soil and fertilizer Phosphorus.
Ac. Press. New-York. - 1953.

- 207 -
35. DE JONGHE et VAN DEN HENDE - Over enelle en nauwkeurig methodes voor de bepaling van minerale bestanddelen in planten materiaal.
(Overdruk uit de medelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstation van de Staat te Gent, 1951, Deel XVI, N°3. 1951.
36. DICKY, R.D. - DROSDOFF, M. - HAMILTON, J. -
Copper deficiency of Tung in Florida.
Florida Agric. Expt. Station Bull. 447 - 1948 - p 5. 1948.
37. DROSDOFF, M. - Copper deficiency of Tungtrees.
Proc. Am. Soc. for Hort. Sci. Vol 42 - 1943, p. 79. 1943.
38. DROSDOFF, M. - Role of leaf analysis/fertilization of Tung tree.
Analyse des plantes et des problèmes des engrais minéraux.
Paris 1954 - pp. 181-190, 1954
39. DROSDOFF, M. - PAINTER, J.H. - A chlorosis of tung leaves associated with low potassium content.
Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 41 - 45 - 51. 1942
40. RATON, F.N. - MAC CALLUM, R.D. - MAYHUGH, M.S. -
Quality of irrigation waters of the Hollister area of California with special reference to boron content and its effect on apricots and prunes.
Techn. Bull. U.S. Dep. Agric. 746 - 1941, 1-59, 1941.
41. EMMERT, EM. - Plant tissue test as a guide to fertilizer treatment of Tomatoes.
Kent Agric. Exp. Station Bull. 430 - 1942.
42. EVANS, H.J. - Role of molybdenum in plant nutrition.
Soil Science, LXXI, 3; pp 199-208. (1956).
43. FISHER FLAKE, L. - Nutrient balance affects corn yield and stalk strenght.
Better crop with plant food, 38 (4); 15-16. 1954.
44. FRANC de FERRIERES, P. - Pluvisité et récolte avec et sans engrais potassiques 1) à Lieusaint
2) dans le N-O de la France
Soc. Comm. des potasses d'Alsace 1950.
45. FRANC de FERRIERES, P. - Le potassium dans la nutrition de la plante et les engrais potassiques.
Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux.
Colloque organisé par l'IRHD - pp 90 à 101 - 1954.

46. GAUCH, H.J. & DUGGES, W.H. - The physiological action of boron in higher plants. A review and interpretation.
 Margl. Agric. Expt. Stat. Bull. 80 : 1-43 ; 1954.
47. GILBERT, B.E. - The adaptation of certain colorimetric methods to the estimation of nitrates, phosphates and potassium in plant solutions.
 Plant Physiology I - ; 191-199, 1946
48. GILS, A. - Méthodes rapides d'analyses minérales.
 C.R. de recherches de l'IRSI, Travaux du Céra, n°3 : 7-60, juin 1950.
49. GOODALL, D.W. & GREGORY, F.C. - Chemical composition of plants as an index of their nutritional status.
 Imp. Bureau of Hort. and Pl. Crops Techn. comm. n°17 - 1947.
50. GOSSARD, A.C. - A study of methods of sampling pecan leaves for total nitrogen analysis.
 Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 42 : 109-114 ; 1943.
51. HALLAIS, P. - Biochemistry III - Rep. Sug. Cane Res. Station 7 - 1937 - ; 19429, 1937.
52. HALLAIS, P. - Nouvelles techniques de diagnostic foliaire au service du redressement alimentaire et de la conduite de la maturation de culture de la canne à sucre.
 Analyses des plantes et problèmes des engrais minéraux. Paris 1954 p. 136. Paris 1954.
53. HAMMOND, L.G. - ALLAWAY, W.H. - LOOMIS, W.E. - Effects of oxygen and carbon dioxide upon absorption of potassium by plants.
 Pl. Phys. 30 (2) - 193 ; 155-161, 1955.
54. HEINRICH, R. - Grundlagen zur Beurteilung des Ackerkrume in Beziehung auf Landwirtschaftliche Produktion.
 1882.
55. HELMKAMPP, A. - Untersuchungen über die Feststellung des Düngungsbedürfnisses der Ackerböden durch die Pflanzenanalyse.
 Landw. 40 - ; 85-183, 1892.
56. HERSHBERG - Leaf composition in relation to nitrogen and phosphorus requirements of citrus trees in Israel.
 Analyses des plantes et problèmes des engrais minéraux. Paris - 1954 ; 91-193, Paris 1954

- 57. HEVESY, G.- LINDERSTROM LANG K.- NIELSEN, O. -
Interaction between the phosphorus atoms of the wheat seedling
and the nutrient solution.
- 58. Hevesy G. ^{Mh. Bot. 33, A-1-16, 1946} ^{Nature 140, 725, 1937}
- 59. HEWITT, E.I. - The application of culture methods in the study
of nutrient uptake and composition in relation to plant
growth.
2e. Colloque sur l'analyse/ des plantes et problèmes des
fumures minérales.
Paris 1956.
- 60. HEWITT, E.J. - BOLLE JONES, E.W. - Studies on iron deficiency
of crops :
II The interrelationships of iron and potassium in the potato
plant.
J. Hort. Sci. 23-1953 p. 185. 1953.
- 61. HOAGLAND-BROYER. - General nature of the process of salt
accumulation by roots with description of experimental
methods.
Plant Phys. 11 471- 507 1936.
- 62. HOMES, M.V. - L'Alimentation minérale du Cacaoyer.
(Theobroma Cacao L).
INREAC - Série scientifique n° 58 - 1953.
- 63. HOMES, M.V. - L'Alimentation minérale des végétaux.
Note 1.
Bull. Sté Roy. Bot. Belg. t. 83 55-76 1950.
- 64. HOMES, M.V. - L'Alimentation minérale des Végétaux.
Note 2.
Bull. Sté Roy. Bot. Belg. t. 84 101-122 1951.
- 65. HOMES, M.V. - L'Alimentation minérale des Végétaux.
Note 3.
Bull. Sté Roy. Bot. Belg. t. 85 115-134, 1952.
- 66. HOMES, M.V. & VAN SCHOOR, G.H.J. - L'Alimentation minérale des
végétaux. Note 4.
Bull. Sté Roy. Bot. Belg. t. 85 135-146 1952.
- 67. HOMES, M.V. - Action de divers phosphates sur la croissance du
Maïs.
Annales de Physiologie Végétale de l'Université de Bruxelles.
Vol. I. - Fasc. 1 - p. 1-34, 1956.
- 68. HOMES, M.V. - La pénétration des chlorures dans les cellules
de la racine charnue du Navet.
Protoplasma, tome XVIII ; 161-193, 1933.

69. HOMES, M.V. *L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais*
chim. ques. Messon. Paris - 1953.

70. HOMES, M.V. & VAN SCHOOR, G.H.J. - Composition minérale
du tabac en fonction du milieu nutritif,
sur l'analyse minérale des végétaux
2e. Colloque - Paris - 1956.

71. HOMES, M.V. & VAN SCHOOR, G.H.J. -
L'Alimentation minérale du Cacaoyer- (Theobroma Cacao L.)
INEAC- Série scientifique n° 58 - 1953.

72. HOWELL, R. W. - The effect of external concentration of
phosphorus on the distribution of phosphorus and other
elements within the soybean plant.
Proc. Pl. Physiol. Meet. Michigan, 5-8 sept. 1955.
Plant Physiol., XXX, suppl., p. XVIII (1955).

73. ILJIN, W.S. - Beiheft - Bot. Central bl., 50 - 95, 1932.

74. ILJIN, W.S. - Nutricion mineral de las plantas.
Estudio critico-
Rev. Fac. Agr. Caracas - Venezuela - Vol 1 n° 3 - 1954
223-307, 1954

75. ILJIN, W.S. - Yield and chemical composition of commercially
fertilized plants in the tropics.
Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux.
Paris - 1954 - p 143. Paris 1954

76. INNES, R.F. - Plant analysis in relation to the nutrition of
sugarcane in Jamaica. Proc. 1948. B.W. 1. Sugar Technologist
92-114, 1948.

77. JACOB, W.C.- van MIDDELEN, C.H.- NELSON W.L., WELSH, C.D.-
HALL, N.S.-
Utilization of phosphorus by potatoes.
Soil Sci. 68, p 113, 1949.

78. JENNY, H. - Contact phenomena between absorbents and their
signification in Plant nutrition.
Mineral Nutrition of Plants - Univ. Wisc. Press, 107-133,
1951.

79. JOHAN HOWARD, E.- The calcium and potassium nutrition of
cotton as influenced by sodium.
Plant Physiology - 30 (1) - 1955, 4-10, 1955

- ~~JOHAN HOWARD, E. - The Calcium and Potassium nutrition of cotton as influenced by Sodium.
Plant Physiology - 30(2) - 1955 - 4 - 10.~~
- 80 JOHNSTON, E.S. & HOAGLAND, D.R. - Minimum Potassium level required by tomato plants grown in water cultures.
Soil Science 27 89-109 1929.
81. LAGATU, H. & MAUME, L. - Evolution remarquablement régulière de certains rapports physiologiques (chaux, magnésie, potasse) dans les feuilles de la vigne bien alimentée.
C.R. Ac. Sci. 179. 782-785 1924.
82. LAGATU, H. & MAUME, L. - Diagnostic de l'alimentation d'un végétal par l'évolution chimique d'une feuille convenablement choisie.
C.R. Ac. Sci. -Paris 182 653-655 1926.
83. LALL, K.N. & SUBBA RAO, M.S. - Role of Zinc in crop production.
Trop. Agr. t.28 n° 7-12 - p 117 - 1951.
- ~~84. LALL, K.N. & SUBBA RAO, M.S. - Role of Zinc in crop production.
Trop. Agric. t.28 n°742 - p 117 - 1951.~~
84. LEARCH, W. & TAPER, C.D. - Studies in plant nutrition : II- The absorption of iron and manganese by kidney bean, tomato and onion from culture solutions.
Canadian Journal botany- 32(5) 561-570 1954.
85. LEHR, J.J. et VAN WESEMAEL, J.C. - Variations in the uptake by plants of soil phosphate as influenced by sodium nitrate and calcium nitrate.
Soil Science, Oxford, VII, I, 148-55 (1956).
86. LEYTON, L. - Needle composition in relation to the growth and nutrition of japanese larch.
2e. Colloque sur l'Analyse des plantes et Problèmes des engrais minéraux. - Paris 1956.
87. LIBBIG, Yvonne - Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology.
Taylor and Walton -
Ann.Chem. & Pharm. 105 - London 1858 - p 109.
- 88 LINDNER, R.C. - Rapid analytical methods for some of the more common inorganic constituents of plants tissues.
Plant Physiology, 19; 76-89. n°1 - 1944.

89 LINDNER, R.O. & HARLEY, C.P. - A rapid method for the determination of nitrogen in plant tissue.
Science (N.S.) 96 ; 565-566 ; 1942.

90 LUNDEGARDH, H. - Leaf analysis. (Transl. by R.L. Mitchell)
Hilger-Watts Ltd - London 1951 - pp 176.

91 LUNDEGARDH, H. - Physiological aspects on tissue analysis as a guide to soil fertility.
Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux, I.R.H.O., p. 1-6 -1954.

92 MACY, P. - The quantitative mineral nutrient requirements of plants.
Plant Physiol., 11, 749-764 ; 1936.

93 MATHER, K. - Statistical analysis in Biology.
Methuen et Co -London. 1943

94 MITCHELL, H.L. - The effect of varied solar radiation upon the growth, development and nutrient content of white pine seedlings grown under nursery conditions.
Black Rock For. Pap. 1, 16-22 ; 1936.

95 MITCHELL, H.L. - Cobalt and Nickel in soil and plants.
Soil Science 60 -p 63 - 1945.

96 MITCHELL, R.L. - The spectrochemical analysis of plant material.
2e. Colloque des plantes et problèmes des engrais minéraux - Paris 1954.

97 MITCHELL, R.L. - REBETH, J.W. & JOHNSTON, I.M. - Soil copper status and plant uptake.
2e. Colloque sur l'Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux Paris 1956.

98 MITSCHERLICH, E. A. - Das Liebig'sche Gesetz von Minimum und das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren.
Ber. K. Deutsch. Akad. d. Natur. 150 zu Halle 182-195 ; 1926

99 NEUBAUER, H. - Die Keimpflanzenmethode.
Landw. Vers. Sta. 100 - p 119 - 1932.

100 NIGHTINGALE, G.F. - Potassium and Phosphate nutrition of pineapple in relation to nitrate and carbohydrate reserves.
Bot. Gaz., 104, 191-223 ; 1942.

101 OVERSTREET, R. & JACOBSON, L. - Mineral nutrition of plants.
Ann. Rev. Plant Physiol. Vol 3 ; 5-83 ; 1952.

102. PAGE, N.R. & BURKHART, L. - Extraction and distribution of soluble minerals in the peanut plant. Proc. Assoc. south agric. Workers, 42, 210-211. 1941.

103. PALISSY - Recette véritable par laquelle tous les hommes de la France pourront apprendre à multiplier et augmenter leurs trésors. La Rochelle 1563. Extrait des oeuvres de maistre Bernard Palissy par Fillon -Audiat, 1888.

104. PARACELSE, T.B. - Die Bücher und Schriften des edlen, hochgelehrten und bewehrten Philosophie und Medici Philippi Theophraste Bombast von Hohenheim, Peracelsi genannt... Huserum Brisgoium, Basel Vol 7 - p. 141.

105. PARNASSE und WAGNER - Biochem. Zeitschrift 125, 253 - 1921.

106. POSSINCHAM, J.V. - The effect of molybdenum on the organic and inorganic phosphorus of plants. Austr. Journ. Biol. Sci. - 1954.

107. PREVOT, P. - Les bases du diagnostic foliaire, application à l'arachide. Oléagineux 3e. année; n°2 - 1953.

108. PREVOT, P. & OLLAGNIER, M. - Application du diagnostic foliaire à l'arachide. Oléagineux 6e. année n°6 - 1951.

109. PREVOT, P. & OLLAGNIER, M. - Peanut and Oil Palm diagnosis interrelations of N, P, K, Ca, Mg. Plant Phys. t. 29 - n°1 - p 26 - 1954.

110. PREVOT, P. & ASCHBIDECKER, D. - Nutrition minérale du Palmier à Huile. Oléagineux 9 (1) ; 13-19, 1954.

111. PURVIS, E.R. et PETERSON, H.K. - Methods of soil and plant analysis for Molybdenum. Soil. Sci., LXXXI, 3, 223-8, (1956).

112. REDI - Philosophical transactions 1698 - Vol. 20 p. 285. dans A source book of Agricultural chemistry - Browne C.A. Chronica botanica Vol 8 n°1 - 1944.

113. REMY, T. - Die Blattanlyse als Hilfsmittel zur Feststellung des Düngesbedürfnisses der Hopfenböden. Jb. VersAnst. Brau. Berl. 6, 83-85, 1903.

114 REUTHER, W. & BOYNTON, D. - Variations in potassium content of the foliage from certain New York orchards. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 37, 32-38 - 1940.

115 REUTHER, W. & SMITH, P.F. - Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees. Analyse des plantes et le problème des engrais minéraux Paris 1954, p.166. *Paris 1954*

116 REUTHER, W. & SMITH, P.F. - A preliminary report on the relations of nitrogen potassium and magnesium fertilization to yield, leaf composition and the incidence of zinc deficiency in oranges. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc. 56 ; 27-33 ; 1950.

117 RICHARDS, S.J. - HAGAN, R.M. & MAC CALLA, M. - Soil temperature and plant growth. Chapitre 5 de Soil Physical condition and plant growth. B.F. Shaw. Ac. press New York - 1952.

118 ROBERTSON, R.N. - Mechanism of absorption and transport of inorganic nutrients in plants. Ann. Rev. Pl. Phys. -2; 1-25 ; 1952.

119 ROACH, W.A. - The use of leaf analysis, plant injection and curative treatment for the determination of mineral deficiency in plants. Am. Appl. Biol. 34 ; 153-159 ; 1947.

120 RUSSEL, M.B. - Soil aeration and plant growth. Chapitre 4 dans Soil Physical condition and Plant growth. BT Shaw - Ac. press - New York - 1952.

121 SACHS, J. - Über den Einfluss der Chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Transpiration des Pflanzen. Landwirtschaft. vers. 1 ; 203-240 ; 1859.

122 de SAUSSURE - Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804 - p. 272. *Paris 1804*

123 SALGADO, M. - The nutrient content of nut Water in relation to available soil nutrients as a guide to the manuring of the coconut palm. Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux - Paris 1954 ; 217-239, *Paris 1954*.

124 HORSTMAR SALM - Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen. 1856. Braunschweig. 1876.

125. SCHEIDECKER, D. & PREVOT, P. - Nutrition minérale du Palmier à Huile à Pobé.
Oléagineux 9e. année n°1 - 1954.
126. SEDBERRY, J.E. - Effects of applications of magnesium and sodium on the absorption of other cations and phosphorus by cotton.
Univ. Bull. Louisiana Sta. Univ., XLVII, 2, nolle sér., p.11
1955.
127. SHEAR, C.B. & CRANE, H.L. - Nutrient element balance.
U.S. Dept. Agr. Yearbook ~~1943-1947~~; 592 - 601; 1943.
128. SHEAR, C.B. - CRANE, H.L. & MYERS, A.T. - Nutrient element balance : Potassium - Magnesium and Calcium interrelation effects on growth, mineral composition and heavy metal nutrition.
U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. - p. 52 -1953.
129. SHEAR, C.B. - CRANE, H.L. & MYERS, A.T. - Nutrient element balance :
1. a fundamental concept in plant nutrition
Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 47-~~1945~~ pp; 239-248; 1945
 2. application of the concept to the interpretation of foliar analysis.
Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 51 ~~1946~~; 319-326; 1948.
 3. Potassium, magnesium and calcium interrelations effects on growth mineral composition and heavy-metal nutrition of tung tree in sand culture.
U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. - ~~1953~~ p1085; 1953.
130. SIDERIS, C.P. & KRAUS, A.M. - The effect of sulphur and phosphorus on the availability of iron to pineapple and maize plants.
Soil Science 37 - p. 85 - 1933.
131. SITTON, B.J. - Response of bearing tung trees to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers.
Proc. Am. Journ. Soc. Hort. Sci. 52 ; 25-39 ; 1948.
132. SMITH, P.F. - REUTHER, W. - SPECHT, A.W. & HERNEIER, G. - Effect of differential nitrogen potassium and magnesium supplied to young Valencia orange trees in sand culture on the mineral composition especially of leaves and fibrous roots.
Plant Phys. 79. 1954.
133. SNEDECOR, G.W. - Statistical methods.
Iowa State College Press. - 1946.

134. SPENCER, D. & WOOD, J.G. - The role of molybdenum in nitrate reduction in higher plants.
Austr. Journ. Biol. Sci. 7(4) ; 425-434 ; 1954.

135. STEENBERG, F. - Yield curves and chemical Plant analysis.
Plant and Soil III n°2.

136. STEENBERG, F. - Manuring, plant production and the chemical composition of the plant.
Plant Soil, V, 3, 226-42 ; 1954.

137. STEENBERG, F. - Manuring and plant production.
in : Analyse des Plantes et Problèmes des engrais minéraux, I.R.H.O. - Paris 1954.

138. STENSON, C.H. - Relation of Water soluble Boron in Illinois soils to Boron content of Alfalfa.
Soil Sci. Vol. 75 n° 1-1953 - p. 31. 1953.

139. STEWARD, J. & LEONARD, C.D. - Chelates as sources of iron for plants growing in the field.
Nature Vol. 170 - p 714 - 1952.

140. STOUT, P.R. & OVERSTREET, R. - Soil chemistry in relation to inorganic nutrition of plants.
Ann. Rev. Plant Physiol. 1 ; 305-343 ; 1950.

141. THOMAS, W. - Foliar diagnosis : principles and practice.
Plant Phys., 12 ; 571-599 ; 1937.

142. THOMAS, W. - Present status of diagnosis of mineral requirements of plants by means of leaf analysis.
Soil Sci. 59, 1945 ; 353-374. 1945.

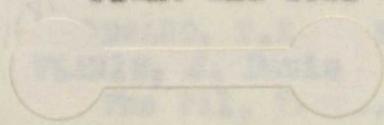
143. THOMAS, W. - MACK, W.B. & SMITH, C.B. - Leaf concentrations of five elements in relation to optimum nutrition of a number of horticultural crops.
Agr. Exp. Sta. St Coll. Pennsylvania - Bull. 564 - 1-16 ; 1953.

144. THORNTON, S.P. - A field and laboratory test on plant material for diagnosing phosphorus deficiencies.
Bull. Ind. Agr. Exp. Sta. 395 - 1-20 ; 1932.

145. TYNER, E.H. - The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content.
Soil. Science Soc. Am. Proc. 11 ; 317-323 ; 1946.

146. ULRICH, A. - Plant analysis methods and interpretation of results.
Amer. Potash Inst. Washington 6.D.C. - 1948.

- 147 ULRICH, A. - Plant analysis as a guide in the fertilization of sugar beets.
Am. Soc. Sugar Beet. Techn. Proc. p 88 - 1946.
- 148 ULRICH, A. - Plant analysis as a diagnostic procedure.
Soil Sci., 55, 101-112 ; 1943.
- 149 ULRICH, A. - Physiological bases for attesting the nutritional requirements of plants.
Ann. Rev. Plant Physiol., 3 ; 353-374 ; 1952.
- 150 VAN GINNEKEN, P.J. - Onderzoek omtrent de minerale samenstelling van loof en wortel van suiker beeten.
Mededelingen van het Instituut voor rationele Suikerproductie, XIII - 1943.
- 151 VAN SCHOOR, G.H.J. - Proportions des éléments minéraux dans la plante et dans le milieu nutritif.
Bull. Cl. Sci. 5e. série - Tome XLI - 1955.
- 152 VAN SCHOOR, G.H.J. - Action du milieu sur la composition/de cationique
Zebryna pendula Schnitzl.
Bull. Académie des Sciences - ~~1954~~ 5e. série Tome XL- 1954.
- 153 VAN SCHOOR, G.H.J. - Proportions des éléments minéraux dans la plante et dans le milieu nutritif.
Acad. roy. Belg., Bull. Classes Sci., 5e. série, XLI, 10, p. 1147-1167, 1955.
- 154 VAN SCHOOR, G.H.J. - Composition minérale du palmier à huile "Elaeis guineensis Jacq.", en fonction du milieu nutritif.
Ve. Congr. Int. Sci. Sol, Léopoldville, 16-21 août 1954, III, p. 332-343 - 1955.
- 155 VAN SCHOOR, G.H.J. - Détermination approchée de la richesse utile en cations d'un substrat de culture.
Annales de Physiologie Végétale de l'Université de Bruxelles. Vol I - Fasc. 3 - pp 55 à 79 - 1956.
- 156 VAN SCHOOR, G.H.J. - Composition minérale du cotonnier en fonction du milieu nutritif.
~~Note présentée au~~ 2e. Colloque sur l'analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux - Paris 1956 - ~~sous-press.~~
- 157 VERVELDE, G.J. - A physico chemical analysis of salt accumulation by plant roots.
Plant and Soil - VI - 3 - 226-244 ; 1955.



158 VLAMIS, J. - DAVIS, H.R. - Effects of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. Plant Phys. 19 ; 33-52 ; 1944.

159. WADLEIGH, C.H. - RICHARDS, L.A. - Soil moisture and the mineral nutrition of plants. Mineral Nutrition of Plants - University of Wisconsin Press - Madison - Wis. 1953 - 411-451, 1953.

160 - WALLACE, T. - The application of trace elements to crops. An. des Plantes et problèmes des engrais minéraux. p. 22. Paris 1954.

161. WALLERIUS, J.G. - Agricultural Fundamenta Chemica. Upsala 1761. dans : A Source Book of Agricultural Chemistry - Browne C.A. - Chronica botanica Vol 8 n°1 - 1944.

162. WALSH, T. - CLARCKE, C.J. - Proc. Roy. Irish Acad. 50 B - 245 - 1945.

163. WANDER, I.W. - The effect of calcium phosphate accumulation in sandy soil on the retention of magnesium and manganese and the resultant effect on growth and production of grapefruit. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 55 ; 81-91, 1950.

~~WANNER - Benschwein bot. Ges. 58 - 123-130 - et 383-90. (1948)~~

164. WEBB, J.R., OHLROGGE, A.J. et BARBER, S.A. - The effect of magnesium upon the growth and the phosphorus content of soybean plants. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer., XVIII, 4, 458-62, 1954.

165. WEINHOLD, - Analyse von Unkrüatern des Bodens der Versuchstation Chemnitz. Landw. Vers. Sta. 4 ; 188-193 ; 1862.

166. WERK, O. - Untersuchungen zum Duerreffekt II ueber den Kalium und Calciumgehalt feucht und trocken gezogener Pflanzen. Flora 141 (2) ; 312-355 ; 1954.

167. WITHROW, R.B. - Light as a modifying influence on the mineral nutrition of plants - Chap. 16 - Mineral Nutrition of Plants - University of Wisc. Press, Madison Wis. - 1953.

168. WOODWARD, T.E. - Some thoughts and experiments concerning vegetation. The Phil. Trans. of the Roy. Soc. London Vol. 21 - 1699. dans : A Source Book of agricultural Chemistry - Browne C.A. Chronica botanica Vol 8 - n°1 - 1944