

**CONTRIBUTION DE L'ANALYSE DES SUCS
A L'ÉTUDE DE LA NUTRITION MINÉRALE
DU SORGHO FOURRAGER**

PAR

W. ROUTCHENKO* et J. FORESTIER**

RÉSUMÉ

L'analyse des sucres est appliquée au sorgho fourrager poussé sur solution nutritive et sable en serre. Les différences entre six répétitions sont faibles et ne modifient pas l'interprétation des résultats.

Des variations légères dans l'équilibre de la solution nutritive perturbent la composition des sucres à l'état jeune et au stade de la floraison.

Un essai est effectué pour définir une composition optimum des sucres de Sorgho fourrager au stade de la floraison pour une croissance végétative maximum.

SUMMARY

The analysis of plant juices is applied to the fodder sorghum grown on nutritive solutions and sand in a greenhouse.

The differences between six repetitions are little and do not change the interpretation of the results.

Weak variations in the nutritive solution perturb the composition of the juice of the young plants and at the flowering stage.

A trial is being made to establish an optimum composition of fodder sorghum juice at the flowering stage for a maximum vegetative growth.

* I.N.R.A.

** Maître de recherches de l'O.R.S.T.O.M.

Le diagnostic de la nutrition minérale des plantes repose sur les variations des indices analytiques relatifs à la composition chimique de leurs tissus lorsque les conditions alimentaires du milieu subissent des changements.

Cependant, l'évolution des indices de la plante d'une part, et celle des indices du milieu d'autre part, ne sont pas nécessairement parallèles. De plus, les différents organes composant le végétal ne réagissent pas d'une manière uniforme aux variations de chacun des facteurs du milieu.

C'est ainsi que la composition chimique des tissus conducteurs ou de leur extrait subit des variations d'une ampleur plus importante que celles qui affectent les tissus assimilateurs (MAGNITSKI, 1958 ; ROUTCHENKO et DELMAS, 1959 ; BLANC, 1964 ; CARLE, 1964).

La détermination des différentes formes sous lesquelles les éléments métabolisables se trouvent dans les sucs ou extraits des tissus conducteurs renseigne, à la fois, sur le niveau de l'absorption et sur l'intensité des phénomènes d'intégration des ions absorbés, autrement dit : sur l'utilisation des éléments de la plante.

La méthode de diagnostic de la nutrition appliquée au cours de la présente étude repose sur ces principes.

Les aspects théoriques de l'analyse des sucs ainsi que les procédés analytiques ne sont pas rappelés ici. Ils ont fait l'objet de différentes communications de W. ROUTCHENKO à l'Académie des Sciences et à l'Académie d'Agriculture (1959-1967) ainsi que d'une publication détaillée dans les Annales Agronomiques (1967).

Le but de notre étude fut d'appliquer cette méthode à une plante d'origine tropicale, les sujets étant le contrôle de la reproductibilité des résultats, la mise en évidence de la répartition des éléments dans la plante, en vue du choix de l'organe à analyser ; enfin la sensibilité a été testée en considérant les variations de la composition chimique des extraits en fonction de l'équilibre de l'alimentation cationique.

Conditions générales de l'expérimentation.

La plante utilisée est le Sorgho fourrager, variété 77 F, qui est un hybride sorgho × sudan. Ce sorgho, cultivé en champ atteint environ 2,20 m au moment de la sortie de l'épi dans le sud-ouest de la France.

Les cultures sont faites en vase de végétation en matière plastique, de 22 cm de diamètre et 27 cm de hauteur qui contiennent 2,5 kg de gravier, 10 kg de sable et 2,3 l de solution nutritive. Le sable utilisé a une granulométrie correspondant pour moitié à un diamètre de 0,5 à 1 mm et pour l'autre moitié de 1 à 2 mm. Un premier essai avec un sable contenant 70 % d'éléments inférieurs à 0,5 mm et 30 % entre 0,5 et 1 mm a déterminé des phénomènes d'asphyxie et n'a pu être utilisé.

La solution nutritive comprend tous les éléments majeurs et apporte l'azote uniquement sous forme nitrique. Quant aux oligo-éléments, ils sont fournis sous forme de chélat E.D.D.H.A. pour le fer à raison de 60 mg/l de formule commerciale à 4 % de fer, de sulfate de manganèse à 2,55 mg/l, de sulfate de zinc à 0,50 mg/l, d'acide borique à 2,83 mg/l et de molybdate d'ammonium à 0,092 mg/l.

Cette solution nutritive a un pH initial compris entre 4,60 et 4,80, tandis que celui des percolats remonte à 5,50 et 6,10. Les solutions sont apportées le matin en quantité suffisante pour submerger le sable. Le temps de submersion, et le niveau de la solution dans les vases sont réglés en fonction de l'âge de la plante. Le niveau de la solution est

éventuellement rétabli dans la soirée avec de l'eau permutée, si l'évaporation constatée dans la journée a été particulièrement intense. Un rinçage complet du sable à l'eau permutée a lieu tous les huit jours pour éviter une concentration excessive des éléments non absorbés dans les vases de végétation.

La technique d'obtention des extraits par éthérolyse et pression conduit à des sucres exprimés et non à une sève *sensu stricto*.

RÉPARTITION DES ÉLÉMENTS DANS LA PLANTE.

Pour l'analyse des sucres, comme dans le cas du diagnostic foliaire, il est nécessaire de définir soigneusement la position de l'organe sur lequel portera l'analyse, car il existe des variations importantes de composition en fonction de cette position et de l'âge de la plante. A cet effet, une série d'analyses fut effectuée sur 12 plants de sorgho arrivés au stade de sortie de l'épi. Furent prélevés séparément :

— La moitié basale des nervures des feuilles en position :

1 et 2 en bas de plante

3 et 4

5 et 6

7 et 8

9 (seulement pour l'analyse de l'azote minéral).

— L'épi.

— Les entre-nœuds débarrassés des graines foliaires en position :

1 et 2 à la base

3 et 4

5 et 6

7 et 8

hampe florale.

— Le « collet » qui correspond aux deux ou 3 premiers nœuds et entre-nœuds d'où partent les racines secondaires.

— Une fraction de système racinaire correspondant à des racines secondaires avec leur chevelu. La fraction analysée ne constitue pas un échantillon moyen de l'ensemble du système racinaire mais seulement un exemple.

— Le schéma n° 1 montre la position respective des entre-nœuds et des feuilles. Dans la partie basse de la tige, la feuille engaine tout l'entre-nœud et une partie de l'entre-nœud suivant. A partir du 4^e entre-nœud, la feuille n'engaine qu'une partie de l'entre-nœud et laisse paraître le nœud supérieur.

Les dimensions et les poids moyens des échantillons analysés figurent au tableau I.

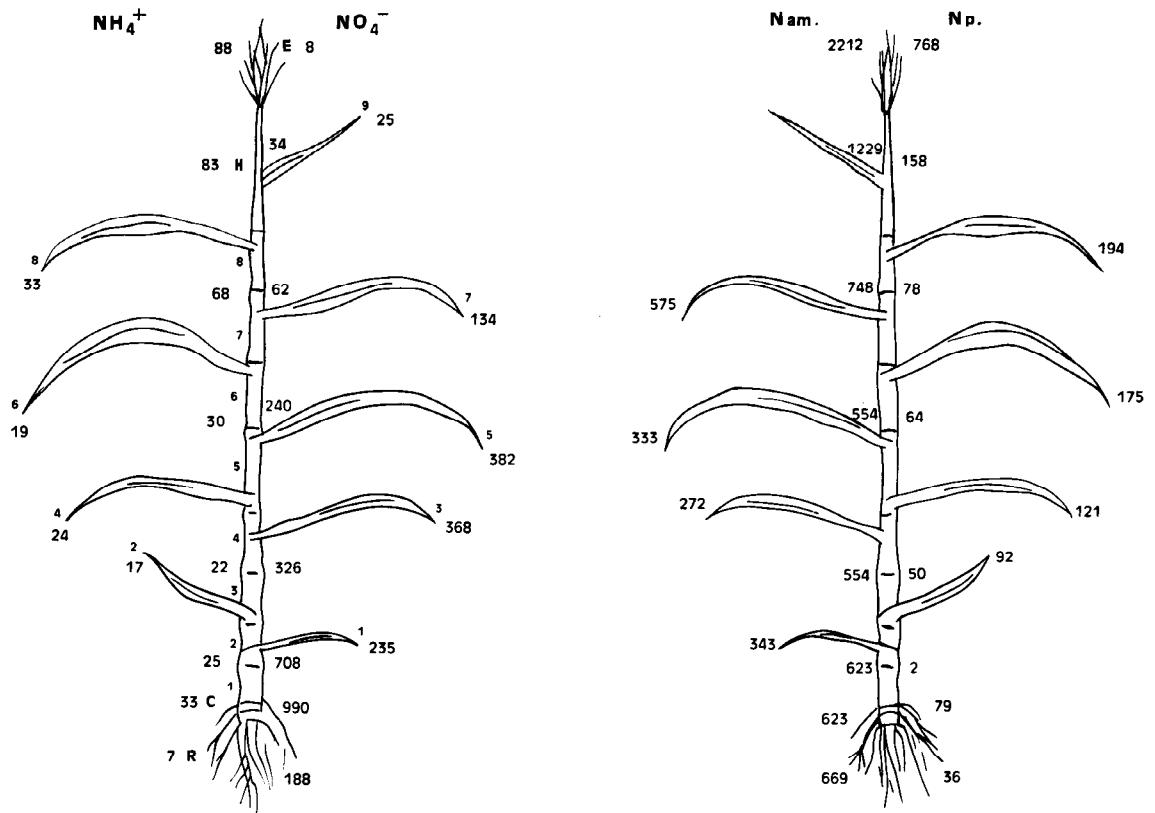


Fig. 1. — Azote.

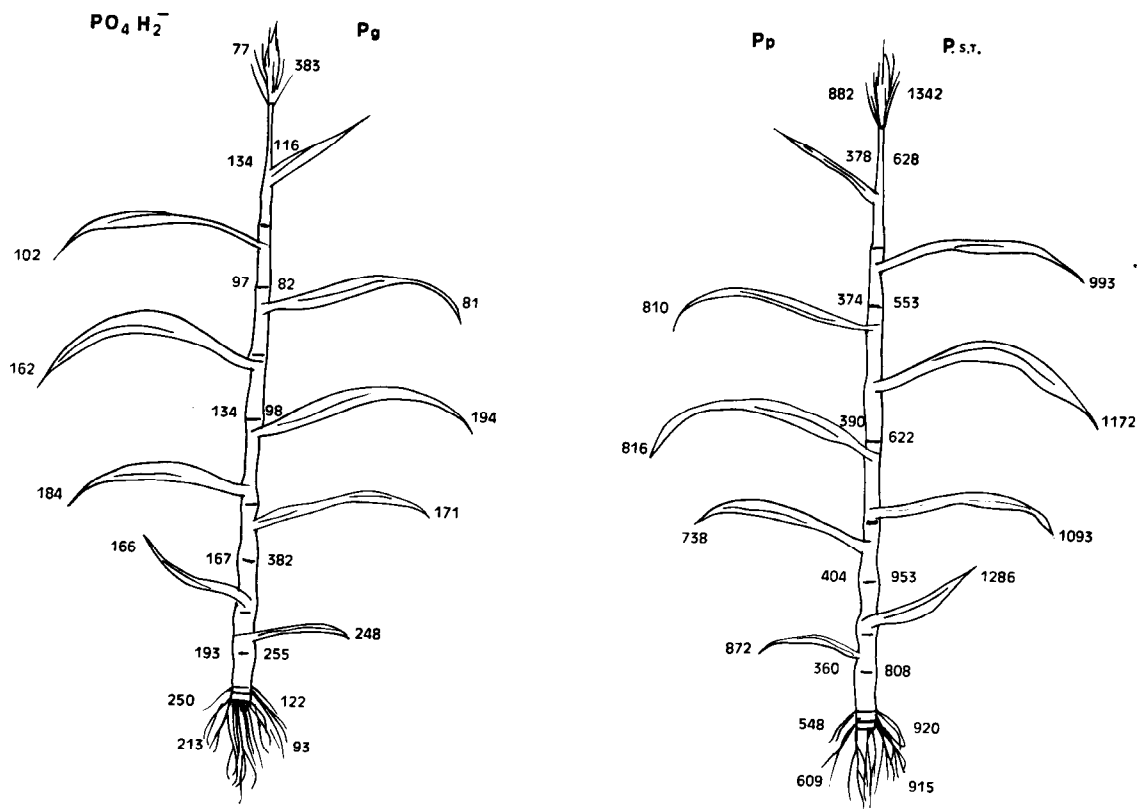


Fig. 2. — Répartition dans la plante.

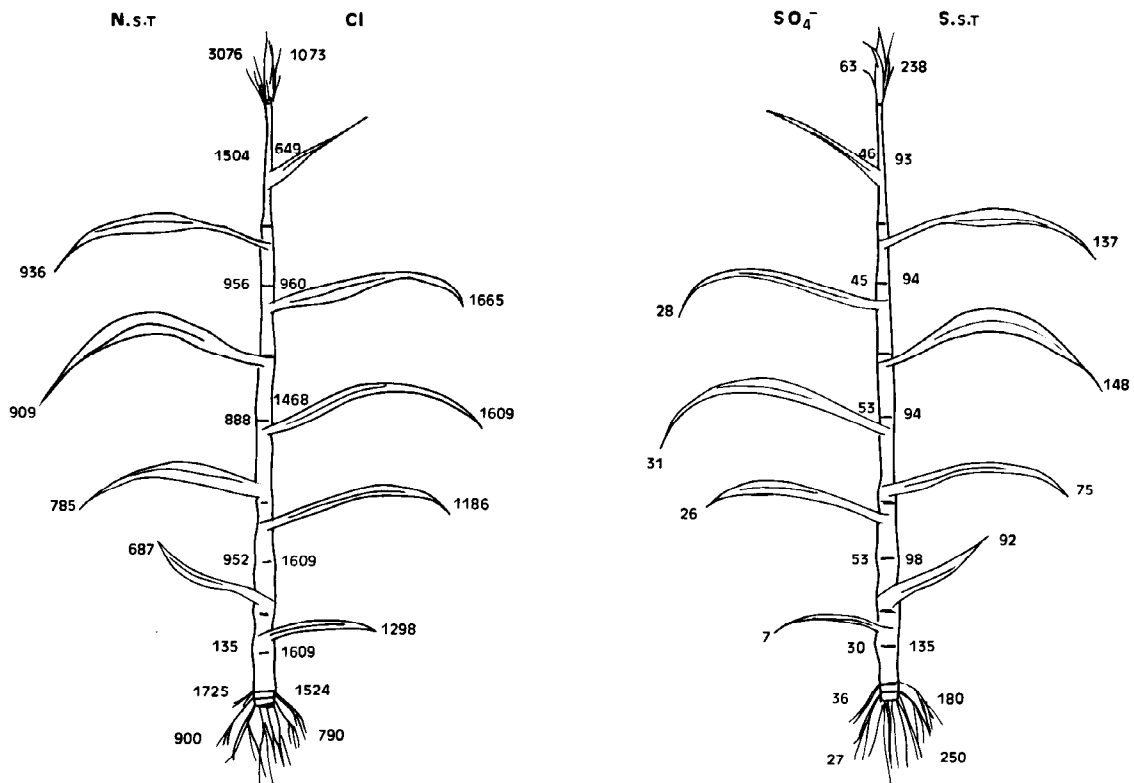


Fig. 3. — Répartition dans la plante.

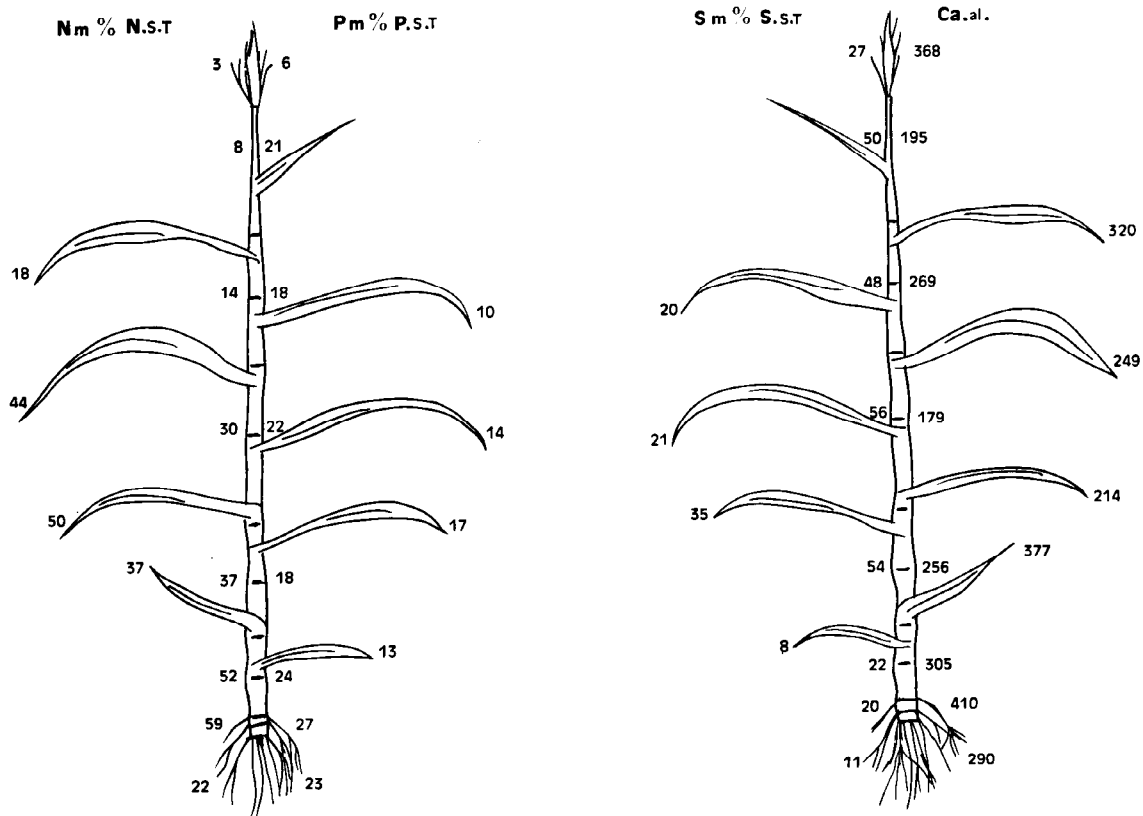


Fig. 4. — Répartition dans la plante.

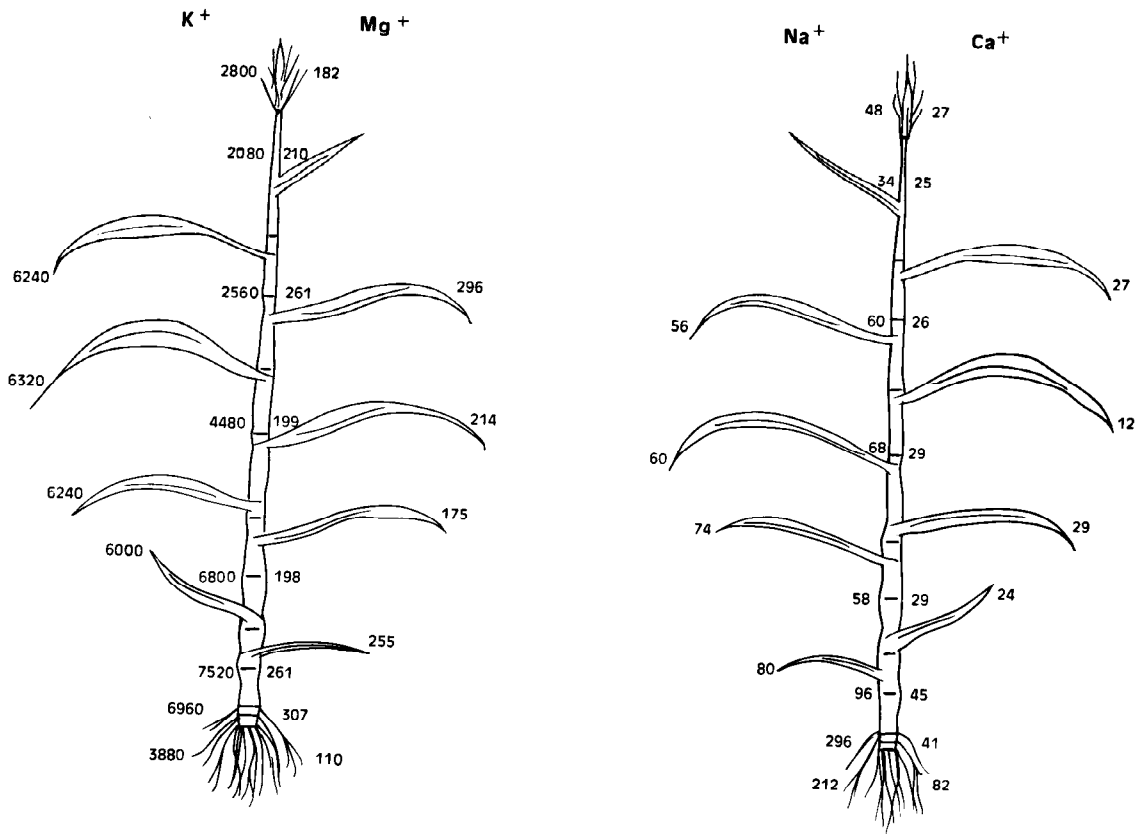


Fig. 5. — Répartition dans la plante.

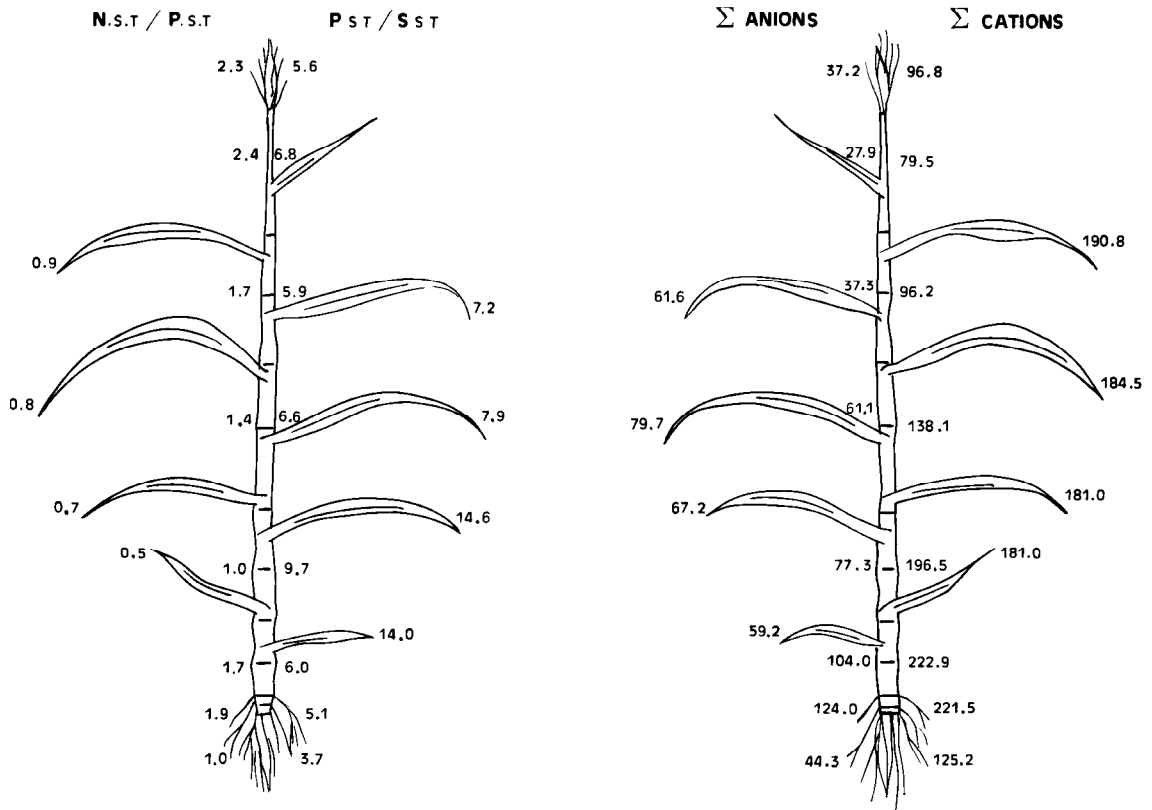


Fig. 6. — Répartition dans la plante.

TABLEAU I

	Longueur en cm	Poids en g	Poids en g par cm de long
<i>Entre-nœuds :</i>			
Collet.....	5	14,9	
1+2.....	34	39,4	1,16
3+4.....	51	48,4	0,95
5+6.....	60	40,5	0,68
7+8.....	57	26,5	0,46
hampe.....	54	12,3	0,23
<i>Feuilles :</i>			
1+2.....		3,6	
3+4.....		7,3	
5+6.....		9,0	
7+8.....		8,7	
9.....		2,0	
<i>Epi.....</i>	28	15,1	0,54
<i>Gaines.....</i>		33,7	
<i>Tiges secondaires...</i>		233,1	
	289	484,5	0,90

Pour les feuilles, le poids s'entend sans la $\frac{1}{2}$ nervure prélevée pour l'analyse.

L'évolution des teneurs de la sève en différents éléments selon la position du tissu conducteur prélevé se caractérise comme suit : le taux de l'azote nitrique baisse très nettement de la base au sommet de la tige (708 mg d'azote/litre d'extrait dans les deux premiers nœuds et 34 mg/l dans la hampe) par suite d'une réduction progressive. Dans les feuilles les taux les plus élevés se retrouvent au niveau des feuilles 3 à 6. L'épi contient très peu d'azote nitrique.

Les taux d'azote ammoniacal restent bas dans les feuilles et à la base de la tige. Les taux les plus élevés se rencontrent dans l'épi, la hampe, et aux deux derniers entre-nœuds. Ils peuvent provenir d'une dégradation de l'azote organique dans la plante, comme aussi d'une concentration dans la région de croissance, des ions NH_4^+ absorbés et non intégrés.

L'azote aminé et amidé est particulièrement abondant dans les parties hautes et jeunes de la plante : épi, hampe, 7^e et 8^e feuilles. L'azote précipité par l'alcool principalement protéique soluble, croît régulièrement de la base au sommet de la plante, aussi bien dans la tige que dans les feuilles. L'épi est particulièrement riche en azote organique, surtout protéique.

Le sorgho est riche en azote minéral dans la partie basse. L'azote soluble total est élevé dans la partie supérieure de la plante (épi et hampe), et présente un niveau comparable (800 à 950 mg/l) dans la tige et les feuilles de la partie médiane (feuilles et entrenœuds 3 à 8).

Les taux du phosphore restant sous forme minérale diminuent de bas en haut tant dans les feuilles que dans la tige. Les teneurs sont voisines dans la tige et les nervures des feuilles pour un même niveau. Le phosphore lié aux glucides présente une décroissance analogue, un peu moins régulière dans la tige, et s'accumule dans l'épi.

Le phosphore précipité par l'alcool garde une stabilité relative des taux quel que soit l'étage, et avec une teneur dans les nervures des feuilles approximativement double de celle des tiges (800 contre 400 mg/l).

Le phosphore soluble total décroît dans les parties hautes de la plante sauf dans l'épi.

Le soufre sous forme minérale est à des taux faibles dans les deux premiers étages foliaires ou internodaux, puis reste à un niveau sensiblement constant. Les taux dans les tiges sont pratiquement le double de ceux des feuilles.

Le soufre soluble total est à un taux presque constant dans la tige, exception faite pour la partie basse plus riche. Par contre, il s'élève dans les feuilles avec l'étage, et l'épi est particulièrement riche.

Les teneurs en chlore diminuent progressivement de bas en haut dans la tige, et augmentent des feuilles basses vers les feuilles hautes, de sorte que la teneur des tiges est supérieure à celle des feuilles jusqu'au quatrième entre-nœud, puis celle des feuilles la dépasse à partir de la cinquième.

Le pourcentage d'azote minéral par rapport à l'azote soluble total diminue dans la tige en passant de 59 % dans le collet à 8 % dans la hampe. On observe un gradient analogue dans les feuilles. Par contre, le pourcentage du phosphore minéral au sein du phosphore soluble total reste à peu près constant sur toute la hauteur de la tige, mais tend à diminuer dans les feuilles des étages supérieurs. Dans la tige, le pourcentage du soufre minéral par rapport au soufre soluble total varie peu. En ce qui concerne les rapports entre la fraction minérale des éléments métaboliques et les teneurs totales, les feuilles en position 1 et 2 donnent des valeurs plus faibles que les feuilles 3 et 4.

Le taux de l'azote soluble total par rapport au phosphore soluble total augmente dans les feuilles et la tige de la base au sommet de la plante. Le taux de phosphore soluble total par rapport au soufre soluble total diminue dans les feuilles de bas en haut.

Les taux de potassium sont stables dans les feuilles des différents étages. Par contre, il existe un gradient décroissant très net dans la tige de la base au sommet.

Le magnésium présente des taux comparables dans les nervures des feuilles et l'entre-nœud correspondant. Les fluctuations en fonction de l'étage sont faibles.

Pour le sodium, on observe une réduction du taux de bas en haut, plus régulière dans les feuilles que dans la tige.

Le calcium est présent en faible quantité, peu différencié suivant les différents étages, dans la tige comme dans les feuilles. Les teneurs en calcium précipité à l'alcool sont dix fois plus élevées mais ne semblent pas varier d'une façon systématique.

La somme des anions diminue régulièrement dans la tige en fonction de l'étage ; le maximum se situe au niveau des feuilles 5 et 6. La somme des cations diminue dans la tige du pied au sommet. Elle augmente légèrement dans les feuilles les plus hautes.

La zone du « collet » semble constituer une barrière pour le passage du sodium.

Pour certains ions on observe des concentrations : c'est le cas pour l'azote ammoniacal ou nitrique, le chlore, le potassium et le magnésium. Certains corps se trouvent à des taux comparables de part et d'autre de cette barrière tel l'azote aminé ou amidé, le phosphore minéral, le soufre minéral. Le phosphore glucidique est en plus faible quantité dans les racines que dans la tige. Les substances précipitées par l'alcool (azote, phosphore organique) sont à des taux plus élevés dans le collet et la racine que dans la tige.

La répartition des éléments présentée ici correspond à celle d'une plante saine ayant une bonne croissance.

En conclusion de cette étude de la répartition des éléments dans le sorgho, l'organe de référence propre à fournir les meilleures indications quant à l'état d'alimentation de la plante pourrait être la cinquième ou sixième feuille, qui laisse au minimum 3 feuilles sous l'épi. Il a l'avantage d'offrir une forte teneur en N nitrique (à niveau comparable avec l'étage inférieur), élément essentiel dans un diagnostic sur la nutrition, une richesse en chlore permettant de juger de l'accumulation de cet élément dans la plante. Quant aux autres éléments, cet étage présente des valeurs moyennes, ce qui permet une appréciation précise aussi bien en cas d'insuffisance que d'excès.

VALEURS DES RÉSULTATS

Pour juger de la reproductibilité des résultats obtenus, six échantillons ont été constitués. Chacun correspondait à un extrait de la base de la tige de sept plantes. Ces sorghos avaient atteint le stade d'apparition de la septième feuille et provenaient de six vases de végétation différents mais alimentés avec la même solution nutritive.

Les résultats analytiques figurent au tableau II.

Les écarts que l'on peut constater correspondent à la somme des variations qui ont pu se produire à la suite :

- de différences intéressant les conditions culturales,
- du comportement individuel d'origine génétique des plantes,
- des variations dues aux conditions de prélèvement et à l'application du procédé analytique,
- de la précision des dosages et des erreurs de manipulation.

TABLEAU II
Résultats d'analyse de 6 échantillons ayant reçu le même traitement

Échantillon	Unité employée	1	2	3	4	5	6	Moyenne	Écart maximum à la moyenne	
									Valeur absolue	en %
Indice développement (Poids de 10 plantes).....	g	101.8	101.5	87.2	83.2	81.8	70.0			
Azote NO ₃	mg/l	1.168	1.160	1.072	1.020	1.168	1.104	1.115	95	8,6
Azote NH ₄	—	23	22	28	24	27	11	22.1	11	51,1
Azote aminé+amidé.....	—	395	414	438	408	427	411	416	22	5,3
Azote protéique.....	—	113	119	126	112	131	115	119	12	10,1
Azote total calculé.....	—	1.699	1.713	1.664	1.564	1.753	1.641	1.672		
Azote soluble total dosé.....	—	1.520	1.760	1.600	1.572	1.536	1.608	1.599	161	10,1
Phosphore PO ₄ H ₂	—	83	83	64	81	85	62	76	14	18,4
Phosphore glucidique.....	—	51	67	65	59	60	70	62	11	17,7
Phosphore protéique précipité à l'alcool.....	—	354	351	346	362	354	342	352	10	2,8
Phosphore total calculé.....	—	448	501	475	502	499	474	490		
Phosphore total dosé.....	—	488	492	464	494	502	472	485	21	4,3
Soufre SO ₄	—	44	51	42	34	42	49	44	10	22,7
Soufre soluble total.....	—	83	94	86	84	99	80	88	11	12,5
Chlore Cl.....	—	513	513	513	542	482	542	518	36	6,9
Σ des anions.....	m.e/l	103.4	103.3	95.8	92.9	102.3	99.3	99.5		
Nm % NST.....	—	70.1	69.0	66.1	66.8	68.1	67.9	68.0		
Pm % P.S.T.....	—	17.0	16.6	13.5	16.1	17.0	13.1	15.5		
Sm % S.S.T.....	—	53.0	54.3	48.8	40.5	42.4	61.3	50.0		
N.S.T./P.S.T.....	—	3.5	3.4	3.5	3.1	3.5	3.5	3.4		
P.S.T./S.S.T.....	—	5.9	5.3	5.5	6.0	5.0	5.9	5.6		
K.....	mg/l	4.525	4.600	4.625	4.590	4.600	4.500	4.573	73	1,6
Ca.....	—	22	20	20	15	20	20	20	5	25,0
Mg.....	—	145	158	131	152	149	158	149	18	12,1
Na.....	—	34	31	31	31	34	44	34	10	29,4
Σ des cations.....	m.e/l	132.3	135.0	133.8	134.2	134.7	132.3	133.7		
K % Σ cations.....	—	87.7	87.3	88.6	87.7	87.5	87.2	87.7		
Ca % Σ cations.....	—	0.9	0.7	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7		
Mg % Σ cations.....	—	9.1	9.8	8.1	9.4	9.2	10.0	9.3		
Na % Σ cations.....	—	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	1.1		
NH ₄ % Σ cations.....	—	1.2	1.2	1.5	1.3	1.4	0.6	1.2		
Ca précipité à l'alcool.....	mg/l	207	207	221	190	202	202	203	18	8,9
Σ cations/Σ anions.....	m.e/l	1.28	1.31	1.40	1.44	1.32	1.33	1.34		

Si l'on exprime les écarts maxima en pourcentage de la moyenne et qu'on les rapproche de la valeur absolue de l'écart, on constate que les écarts importants en pourcentage correspondent le plus souvent à des valeurs absolues basses et, par contre, les écarts faibles en pourcentage (moins de 10 %) correspondent à des valeurs absolues moyennes ou élevées.

La variabilité relativement élevée qui peut s'observer lorsque les taux particulièrement bas se situent à la limite des possibilités analytiques ne modifie pas la signification des résultats ; car ces taux se situent tous dans la même zone de déficience.

Les écarts constatés en valeur absolue ou relative permettent de juger des erreurs possibles et d'en tenir compte dans l'interprétation.

INFLUENCE DE L'ÉQUILIBRE CATIONIQUE SUR L'ALIMENTATION DU SORGHO FOURRAGER

Afin d'apprécier l'ampleur des modifications qui se produisent dans la composition des sucres en fonction des niveaux alimentaires, une expérience a été entreprise portant sur des variations relativement faibles de la composition des solutions nutritives. Les variations ont porté uniquement sur l'équilibre entre les cations.

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.

L'équilibre anionique en milliéquivalents était :

N (NO_3^-) : 12 — P (PO_4H_2^-) : 4 — S (SO_4^{--}) : 5 — Cl^- : 1,4

Les cations considérés sous forme de rapports Ca/Mg et K/Na à 3 niveaux chacun, étaient combinés factoriellement de sorte qu'il y avait 9 traitements reproduits 3 fois.

Compte tenu de l'utilisation du chélat de fer et des impuretés des sels, les équilibres cationiques en milliéquivalents furent les suivants :

1 ^{er} facteur, rapport Ca/Mg, niveau	1 Ca = 10	Mg = 7
	2 Ca = 12	Mg = 5
	3 Ca = 14	Mg = 3
2 ^e facteur, rapport K/Na, niveau	a K = 3	Na = 2,7
	b K = 4	Na = 1,7
	c K = 5	Na = 0,7

soit, en pourcentage :

Traitement	Ca	Mg	K	Na
1 a	44.05	30.84	13.22	11.89
2 a	52.86	22.03	13.22	11.89
3 a	61.67	13.22	13.22	11.89
1 b	44.05	30.84	17.62	7.49
2 b	52.86	22.03	17.62	7.49
3 b	61.67	13.22	17.62	7.49
1 c	44.05	30.84	22.03	3.08
2 c	52.86	22.03	22.03	3.08
3 c	61.67	13.22	22.03	3.08
	74.89	25.11		

Jusqu'au sixième jour, les plantes reçoivent uniquement de l'eau distillée.

La solution nutritive à 45,1 mé/l (anions+cations) était introduite diluée 1 : 9 à partir du sixième jour après le repiquage des plantules pour être progressivement employée aux concentrations prévues à partir du 19^e jour. Sept plants de sorgho étaient repiqués dans chaque pot. Trois d'entre eux étaient prélevés pour analyse 33 jours après repiquage, les quatre autres lorsque 80 % des plants du traitement présentaient leurs épis complètement dégagés de la feuille terminale, soit 74, 83 ou 88 jours après le repiquage selon le traitement.

ANALYSE DES JEUNES PLANTS.

Cette analyse faite 33 jours après le repiquage concerne des plants dont la partie aérienne pèse de 15 à 20 g. La quantité de solution nutritive ajoutée journallement de 2,3 l nécessaire pour submerger le sable dépasse largement les besoins de la plante.

Les résultats analytiques figurent dans les tableaux suivants :

TABLEAU III

Production de matière végétale. Indice de développement

	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	113	154	184
K : 4 — Na : 1,7	176	220	180
K : 5 — Na : 0,7	203	209	214

Cet indice est le poids en frais des parties aériennes calculé pour 10 plantes.

Il apparaît que l'accroissement du pourcentage de sodium en remplacement du potassium dans la solution nutritive est défavorable à la croissance de la plante, de même qu'un rapport Ca/Mg de 10/7. Une petite quantité de sodium ne paraît pas avoir d'effet dépressif, la production maximum de matière fraîche correspondant au rapport K/Na = 4/1, 7 et Ca/Mg = 12/5. Les différences sont faibles avec les indices calculés pour l'équilibre K/Na = 5/0,7. Dans ce dernier cas le rapport Ca/Mg n'a pas d'influence sur la production.

TABLEAU IV

Évolution de la teneur en potassium en mg/l

	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	3.680	3.880	3.880
K : 4 — Na : 1,7	4.280	4.120	4.200
K : 5 — Na : 0,7	4.800	4.640	4.600

La teneur en potassium semble indépendante de l'équilibre Ca/Mg, bien qu'une tendance paraisse exister pour accroître l'importance des fluctuations lorsque Ca/Mg est 10/7. L'augmentation de K dans la solution nutritive de 1 mé/l augmente la teneur en K du suc de 10 %, soit environ 400 mg/l ou 10 mé/l. Les plus fortes productions végétales sont compatibles avec un niveau dépassant 4.000 mg/l de K à ce stade de développement de la plante (apparition des tiges secondaires).

TABLEAU V

Évolution de la teneur en sodium en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	112	138	116
K : 4 — Na : 1,7	98	78	78
K : 5 — Na : 0,7	68	76	100

La teneur en sodium du suc augmente en même temps que celle de la solution, surtout au-dessus de 2 mé Na/l de solution. En dessous de 100 mg Na/l de suc, le sorgho fourrager accepte bien le sodium. Il n'y a pas d'influence du rapport Ca/Mg de la solution nutritive.

Les taux évoluent en sens inverse des variations du potassium sans qu'il soit possible de noter une liaison étroite.

TABLEAU VI
Évolution de la teneur en calcium en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	90	40	80
K : 4 — Na : 1,7	36	24	40
K : 5 — Na : 0,7	22	24	34

Le remplacement du sodium par le potassium diminue le taux de calcium dans le suc de façon d'autant plus nette que le calcium est apporté en quantité moindre.

TABLEAU VII
Évolution de la teneur en magnésium en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	492	401	350
K : 4 — Na : 1,7	277	265	173
K : 5 — Na : 0,7	247	169	128

Une influence double sur la teneur en magnésium est très sensible. D'une part, il y a une augmentation régulière lorsque croît la teneur en magnésium de la solution nutritive : 2 mé Mg supplémentaires par litre de solution nutritive donnent 5 mé Mg supplémentaires par litre de suc.

D'autre part, si le potassium remplace le sodium, il y a diminution nette de la teneur en magnésium du suc, mais non linéaire. La teneur en magnésium ne dépend pas exclusivement du rapport Mg/K. Le sodium intervient d'une façon complexe.

Une teneur des sucs de 200 mg/l de magnésium paraît souhaitable mais un chiffre plus bas permet encore une bonne croissance du jeune sorgho.

TABLEAU VIII
Évolution de la teneur en calcium précipité par l'alcool en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	127	272	287
K : 4 — Na : 1,7	196	220	260
K : 5 — Na : 0,7	173	182	280

L'accroissement du taux de calcium dans la solution nutritive fait augmenter le taux de calcium lié aux acides organiques qui précipitent en présence de l'alcool, alors que le remplacement de Na par K abaisse très légèrement cette même teneur.

TABLEAU IX
Évolution de la teneur en calcium total en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	217	312	367
K : 4 — Na : 1,7	232	244	300
K : 5 — Na : 0,7	195	206	314

Les conclusions sont les mêmes dans le cas des variations de teneur du calcium total, mais l'influence du remplacement de Na par K devient nette comme pour le calcium sous forme libre. 4 mé de calcium supplémentaires en solution ont augmenté le taux en calcium des sucs de la plante de 110 mg soit 5,5 m. équivalents.

TABLEAU X
Évolution du taux d'azote nitrique en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	368	304	288
K : 4 — Na : 1,7	381	365	241
K : 5 — Na : 0,7	387	301	339

L'augmentation du rapport Ca/Mg dans la solution nutritive tend à diminuer le taux d'azote nitrique trouvé dans les sucs dans la plupart des cas.

TABLEAU XI
Évolution du taux d'azote aminé+amidé en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	487	623	445
K : 4 — Na : 1,7	506	565	524
K : 5 — Na : 0,7	435	486	461

Les teneurs en azote aminé+amidé sont élevées. L'équilibre Ca/Mg de 12/5 paraît correspondre à un maximum de teneur pour ces formes d'azote.

TABLEAU XII
Évolution du taux d'azote protéique en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	107	143	137
K : 4 — Na : 1,7	125	127	127
K : 5 — Na : 0,7	114	112	122

Les variations du taux d'azote protéique sont très faibles à l'exception du traitement K 3/Na 2,7 pour lequel les variations du rapport Ca/Mg déterminent des changements importants de la fraction protéique.

TABLEAU XIII

Évolution du taux d'azote soluble total en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	1.025	1.108	939
K : 4 — Na : 1,7	1.038	1.084	926
K : 5 — Na : 0,7	975	957	976

TABLEAU XIV

Évolution du rapport N m % N.S.T.

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 -- Na : 2,7	42,0	30,9	38,0
K : 4 — Na : 1,7	39,2	36,2	29,7
K : 5 — Na : 0,7	43,7	37,5	40,3

Les taux d'azote soluble total varient peu. De même l'examen du rapport N minéral % Azote soluble total indique l'absence d'un effet caractéristique sur le niveau de production de la matière fraîche.

Dans les limites étudiées, les variations de l'équilibre entre K-Na-Ca-Mg de la solution nutritive semblent avoir eu peu d'effet sur l'organisation de l'azote.

TABLEAU XV

Évolution du rapport P m % P.S.T.

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	68,9	30,3	27,6
K : 4 — Na : 1,7	16,0	12,2	13,1
K : 5 — Na : 0,7	10,0	14,4	11,5

On constate un effet important sur l'organisation du phosphore.

TABLEAU XVI

Évolution des taux du phosphore minéral en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	279	124	107
K : 4 — Na : 1,7	61	47	51
K : 5 — Na : 0,7	39	55	43

TABLEAU XVII

Évolution du taux de phosphore glucidique en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	43	65	61
K : 4 — Na : 1,7	62	54	50
K : 5 — Na : 0,7	84	77	66

TABLEAU XVIII

Évolution du taux de phosphore protéique en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	83	220	219
K : 4 — Na : 1,7	259	284	287
K : 5 — Na : 0,7	268	249	266

TABLEAU XIX

Évolution du taux de phosphore soluble total en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	405	409	387
K : 4 — Na : 1,7	382	385	388
K : 5 — Na : 0,7	391	381	375

Le tableau XIX montre bien qu'aucun des traitements n'a d'effet spécifique au niveau de l'absorption du phosphore puisque le taux de phosphore soluble total reste pratiquement constant. Des variations apparaissent nettement si l'on considère la forme de P : d'une part pour le phosphore minéral qui s'accumule en présence d'un rapport K/Na faible, effet renforcé pour les faibles valeurs du rapport Calcium/Magnésium (tableau XVI), et d'autre part pour le phosphore protéique dont la formation se trouve ralentie dans les mêmes conditions (tableau XVIII). Les taux de phosphore glucidique élevés correspondent au rapport K/Na le plus haut (tableau XVII).

L'expérience indique qu'une mauvaise intégration de P dans les composés organiques est principalement due à la faiblesse relative du potassium et du calcium par rapport au sodium et au magnésium.

Il apparaît que pour le sorgho au stade considéré, un rapport P m % P.S.T. voisin de 12 pourrait être considéré comme satisfaisant.

TABLEAU XX

Évolution du rapport S m % S.S.T.

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	29,6	22,3	12,9
K : 4 — Na : 1,7	29,5	34,9	26,7
K : 5 — Na : 0,7	30,3	43,7	31,3

TABLEAU XXI
Évolution du taux de soufre soluble total en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	103	112	11
K : 4 — Na : 1,7	88	83	86
K : 5 — Na : 0,7	119	71	80

Le rapport du soufre minéral en pourcentage du soufre soluble total augmente lorsque le potassium remplace le sodium, d'autant plus sensiblement que pour les mêmes conditions l'absorption du soufre est réduite. Le remplacement du magnésium par le calcium tend à diminuer l'effet dépressif du potassium sur l'organisation du soufre.

Donc, il semble qu'un rapport élevé K/Na a un effet inverse sur l'organisation du soufre à celui qu'il exerce sur le phosphore.

TABLEAU XXII
Évolution des taux du soufre organique en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	76	87	101
K : 4 — Na : 1,7	62	54	63
K : 5 — Na : 0,7	83	40	55

TABLEAU XXIII
Évolution des taux de chlore en mg/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	2.224	2.053	2.210
K : 4 — Na : 1,7	1.397	1.483	1.597
K : 5 — Na : 0,7	1.426	1.654	1.511

Il apparaît bien qu'un rapport potassium/sodium faible conduit à une absorption supplémentaire du chlore par la plante.

TABLEAU XXIV
Évolution de la somme des cations en mé/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	149,3	143,6	142,6
K : 4 — Na : 1,7	140,8	134,2	129,9
K : 5 — Na : 0,7	150,6	141,7	138,5

La somme des cations minéraux dosés augmente lorsque le magnésium remplace le calcium. Ceci est partiellement dû au fait qu'une partie du calcium est masquée du fait de sa liaison avec les acides organiques (augmentation du taux de calcium précipité à l'alcool), et aussi à l'absorption et migration plus aisée du magnésium.

On observe un minimum dans la teneur en cations lorsque le rapport K/Na est de 4/1,7.

TABLEAU XXV

Évolution de la somme des anions en mé/l

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	99.9	85.1	84.4
K : 4 — Na : 1,7	70.2	71.2	65.2
K : 5 — Na : 0,7	71.4	71.8	69.8

La somme des anions diminue lorsque K remplace Na. Ceci est lié à l'abaissement des taux de chlore lorsque le niveau de Na s'abaisse dans le milieu, et à une meilleure organisation de P lorsque le niveau de K augmente.

La somme des anions diminue également lorsque Ca remplace partiellement Mg, par suite de la diminution du taux de l'azote nitrique que l'on enregistre.

TABLEAU XXVI

Évolution du rapport cations/anions

Traitement	Ca : 10 Mg : 7	Ca : 12 Mg : 5	Ca : 14 Mg : 3
K : 3 — Na : 2,7	1,5	1,7	1,7
K : 4 — Na : 1,7	2,0	1,9	2,0
K : 5 — Na : 0,7	2,1	2,0	2,0

Le rapport de la somme des cations à celle des anions minéraux est faible lorsque le rapport potassium/sodium est faible. Il y aurait donc un affaiblissement de la production d'acides organiques nécessaire pour maintenir l'équilibre ionique des sucres. La production de matière fraîche la plus élevée correspond à un rapport voisin de 2 c'est-à-dire lorsque la totalité des acides minéraux est salifiée par la moitié des cations minéraux présents, l'autre étant liée aux acides organiques.

En résumé, dans le cas du sorgho fourrager au stade considéré, des variations faibles de l'équilibre cationique de la solution nutritive apportent des modifications au statut minéral des sucres et influencent principalement l'organisation du phosphore et du soufre.

La concentration de chaque élément dans le milieu influence son taux dans les sucres : le sodium faiblement dans la partie aérienne, le calcium, puis le magnésium d'une façon plus accusée, le potassium fortement. En outre, le niveau de l'alimentation en potassium et sodium agit sur le taux de magnésium, et sur celui du chlore.

Le rapport K/Na faible gêne l'organisation du phosphore, alors qu'un rapport K/Na élevé paraît agir défavorablement sur les synthèses des substances organiques contenant du soufre.

ANALYSE DES PLANTS AU STADE PRÉ-FLORAL.

Pour amener les plants au stade pré-floral, il était nécessaire d'apporter un volume journalier de solution important afin de compenser l'évapotranspiration, la culture étant faite en été, et sous serre. Dans ces conditions, vu les concentrations ioniques des solutions,

les plantes se sont trouvées en présence de grandes quantités de sels, et l'absorption des éléments minéraux a peut-être dépassé les besoins des plantes. Ceci conduit à des différenciations de leur composition chimique souvent moins importantes qu'au moment du premier prélèvement.

Les sorghos de chaque traitement ont été coupés lorsque 80 % d'entre eux avaient leur épi entièrement dégagé de la dernière feuille. L'homogénéité n'était pas parfaite.

Les tableaux XXVII-XXVIII-XXIX résument les observations que nous avons pu effectuer sur la croissance des sorghos pour chacun des traitements. Chaque valeur correspond à la moyenne de 12 pieds (3 vases de 4 pieds). Les poids sont ceux de la matière fraîche en grammes.

L'indice de développement est le poids moyen de 10 feuilles en position 5 et 6, déduction des demi-nervures utilisées pour l'analyse.

TABLEAU XXVII

Mesures concernant la croissance des sorghos en fonction des traitements

Eq. cation. de la solution nutritive en mé/l				Indice de développement	Longueur totale du pied en cm	Longueur de l'épi en cm	Nb. tiges secondaires par pied	Pds tiges secondaires par pied	Nb. feuilles par pied sur tige principale
K	Na	Ca	Mg						
3	2,7	10	7	38,9	280	27	3,9	335	10,0
3	2,7	12	5	38,5	299	27	2,7	164	10,2
3	2,7	14	3	42,0	295	28	3,5	225	10,4
4	1,7	10	7	38,3	294	28	3,8	332	9,4
4	1,7	12	5	43,6	307	29	3,8	222	9,8
4	1,7	14	3	41,2	300	27	3,2	186	10,4
5	0,7	10	7	44,6	323	29	3,3	241	10,0
5	0,7	12	5	44,8	289	28	3,8	223	8,9
5	0,7	14	3	44,1	307	29	3,9	285	9,5

TABLEAU XXVIII

Indices relatifs à la croissance des sorghos en fonction des traitements

Eq. cation. de la solution nutritive en mé/l				Poids T. P. en g. (9)	Poids feuille T.P. (10)	Poids épi (11)	Poids de la partie aérienne de la T.P. (9+10+11)	Poids collet	Poids total par pied
K	Na	Ca	Mg						
3	2,7	10	7	173	38	18	229	14	578
3	2,7	12	5	186	40	17	243	19	426
3	2,7	14	3	202	47	19	268	18	511
4	1,7	10	7	174	39	14	227	13	572
4	1,7	12	5	214	46	19	279	14	515
4	1,7	14	3	192	44	15	251	19	456
5	0,7	10	7	236	49	22	307	15	563
5	0,7	12	5	201	42	15	258	15	496
5	0,7	14	3	210	42	10	270	10	565

TABLEAU XXIX

Valeurs illustrant le rythme de la croissance des sorghos en fonction des traitements

Éq. cation. de la solution nutritive en mé/l				Poids T.P. en g. par mètre	Nb. de jours séparant le repiquage de la floraison	Accroissement moyen journalier du poids total	Accroissement moyen journalier en poids de la partie aérienne de la T.P.
K	Na	Ca	Mg				
3	2,7	10	7	62	88	6,6	2,6
3	2,7	12	5	62	88	4,8	2,8
3	2,7	14	3	68	88	5,8	3,0
4	1,7	10	7	59	83	6,9	2,7
4	7,7	12	5	70	83	6,2	3,4
4	1,7	14	3	64	88	5,2	2,9
5	0,7	10	7	73	88	6,4	3,5
5	0,7	12	5	70	74	6,8	3,5
5	0,7	14	3	68	83	6,8	3,3

Le traitement à K prédominant donne une tige principale plus longue avec un nombre moyen de feuilles plus bas, ce qui correspond à un allongement plus grand des entrenœuds.

Entre le 7 juillet et la date de récolte, soit pendant 32, 41 ou 46 jours dans le cas des récoltes à 74, 83 et 88 jours, l'accroissement de la longueur de la tige fut respectivement de 7,2 centimètres par jour, 6,15 et 5,5 cm/j. Le rapport K/Na le plus élevé de la solution nutritive donne la meilleure croissance journalière.

Il existe une bonne corrélation entre la valeur de l'indice de développement et le poids de la tige principale, mais non avec le poids total par pied comprenant les pousses secondaires, ni avec l'accroissement quotidien de la matière verte.

Enfin, on note que la production maximum de la partie aérienne de la tige principale, ou le poids maximum de la tige principale par unité de longueur correspondent à des rapports Mg/K dans la solution nutritive compris entre 1,0 et 1,4.

Les traitements correspondant au rapport K/Na = 3/2,7 qui ont l'indice de développement le plus faible et la plus petite production journalière de matière fraîche présentent une légère accumulation de potassium dans le suc bien que la solution nutritive soit la moins riche en potassium.

Le calcium sous forme ionique n'offre pas de variation sensible quel que soit le traitement. Le sodium reste également à des taux remarquablement constants dans le suc malgré l'importante variation des taux dans la solution nutritive, ce qui indique que le sorgho offre une barrière très forte au niveau du collet pour limiter la migration du sodium vers la partie aérienne, barrière plus efficace au stade pré-floral qu'au stade de l'apparition des tiges secondaires.

Le magnésium est le cation qui varie le plus en pourcentage. On peut faire les mêmes constatations qu'au stade de l'apparition des tiges secondaires : l'augmentation du magnésium dans la solution nutritive accroît le taux de Mg dans le suc, alors que l'accroissement du potassium de la solution diminue le taux du magnésium du suc.

TABLEAU XXX

Évolution des taux de cations selon les traitements en mg/l

Concentration solution nutritive en mé/l				K	Ca	Mg	Na	Ca précipité alcool	Ca total
K	Na	Ca	Mg						
3	2,7	10	7	7.280	36	313	100	292	328
3	2,7	12	5	6.720	26	257	48	362	388
3	2,7	14	3	7.120	37	223	74	392	429
4	1,7	10	7	6.320	31	337	68	316	347
4	1,7	12	5	6.400	26	200	72	338	364
4	1,7	14	3	6.800	25	139	70	373	398
5	0,7	10	7	6.680	25	205	68	285	310
5	0,7	12	5	6.720	29	224	76	327	356
5	0,7	14	3	6.960	27	151	72	440	467

TABLEAU XXXI

Évolution des rapports entre les cations selon les traitements

Concentration solution nutritive en mé/l				cations en mé/l	% de la somme des cations				
K	Na	Ca	Mg		K	Ca	Mg	Na	NH ₄
3	2,7	10	7	218,9	85,3	0,8	11,9	2,0	—
3	2,7	12	5	197,1	87,4	0,6	10,9	1,1	—
3	2,7	14	3	206,7	88,3	0,9	9,0	1,6	0,2
4	1,7	10	7	199,2	81,4	0,8	15,8	1,5	0,5
4	1,7	12	5	185,2	88,6	0,7	9,0	1,7	—
4	1,7	14	3	190,3	91,6	0,7	6,1	1,6	—
5	0,7	10	7	192,7	88,9	0,6	8,9	1,6	—
5	0,7	12	5	195,8	88,0	0,8	9,5	1,7	—
5	0,7	14	3	196,3	90,9	0,7	6,4	1,6	0,4

L'équilibre potassium-sodium dans l'intervalle expérimenté n'influe pas sur les taux du calcium précipité par l'alcool. Mais l'augmentation du calcium dans la solution conduit à la formation de complexes organo-calciques en plus grande quantité, ce qui indique une absorption et une activité métabolique accrues.

La comparaison avec les valeurs obtenues au stade de l'apparition des pousses secondaires, montre qu'avec le temps existe un enrichissement en potassium et en calcium précipitant à l'alcool à côté d'un appauvrissement en magnésium et sodium.

On constate que les trois traitements qui ont donné les plus faibles rendements sont ceux où K représente moins de 88 % de la somme des cations et Mg plus de 10 %. Les rapports dans les sucs les plus favorables semblent se situer au niveau :

K ⁺	=	88 - 90	%
Mg ⁺⁺	=	8 - 9,5	%
Ca ⁺⁺	=	0,6 - 0,8	%
Na ⁺	=	1,5 - 1,7	%
NH ₄ ⁺	=	0 - 0,5	%

Le traitement qui présente les meilleurs indices de rendement donnerait par litre de suc extrait des nervures des cinquième et sixième feuilles les concentrations suivantes que l'on pourrait retenir en première approximation, comme correspondant à l'équilibre cationique optimum :

174	mé de potassium	ou 89,5 %	de la somme des cations
16	mé de magnésium	8,2	
3,1	mé de sodium	1,6	
1,4	mé de calcium	0,7	

soit 194,5 mé en somme de cations

et environ 350 mg de calcium précipitable à l'alcool.

Les traitements à faible taux de potassium, principalement si le taux de calcium est également bas conduisent à des plus fortes teneurs en azote nitrique, mais à une organisation de l'azote aminé et amidé à peine différente des autres traitements. L'effet du rapport Ca/Mg avait été noté au stade de l'apparition des pousses secondaires, mais celui de l'équilibre potassium-sodium n'était pas encore apparent. Les différences dans les taux d'azote soluble total proviennent presque essentiellement des variations intéressant l'azote nitrique et font ressortir le rôle prépondérant de l'équilibre potassium-sodium et potassium-magnésium.

TABLEAU XXXII

Évolution des taux d'azote en mg/l

Concentration de la solution nutritive en mé/l				NO ₃	NH ₄	Nam	Np	NST
K	Na	Ca	Mg					
3	2,7	10	7	693	—	488	128	1.309
3	2,7	12	5	632	—	480	138	1.250
3	2,7	14	3	448	5	523	124	1.140
4	1,7	10	7	394	15	561	180	1.150
4	1,7	12	5	348	—	568	117	1.033
4	1,7	14	3	296	—	488	114	898
5	0,7	10	7	384	—	432	104	920
5	0,7	12	5	332	—	576	123	1.031
5	0,7	14	3	278	10	530	157	975

Les taux de phosphore sont en général très élevés, mais l'équilibre entre les différentes formes est respecté. L'absorption du phosphore appréciée par les taux de phosphore soluble total présente une augmentation régulière lorsque les rapports Ca/Mg ou K/Na augmentent. Il en est de même du phosphore minéral (PO₄H₂).

Les taux de soufre minéral (SO₄) paraissent un peu faibles, mais les teneurs en soufre total sont fortes, donc présence d'une quantité notable de soufre organisé.

D'une façon générale, l'organisation des éléments anioniques paraît bonne.

Le chlore est un peu plus élevé pour le traitement où le sodium domine, surtout si le calcium est faible.

TABLEAU XXXIII

Évolution des taux de phosphore et de soufre en mg/l

Concentration solution nutritive en mé/l.				PO ₄ H ₂	P gluc.	P prot.	PST	SO ₄	SST
K	Na	Ca	Mg						
3	2,7	10	7	131	77	844	1.052	22	144
3	2,7	12	5	152	104	913	1.169	27	118
3	2,7	14	3	171	96	906	1.173	14	110
4	1,7	10	7	116	108	875	1.099	33	145
4	1,7	12	5	171	97	913	1.181	26	132
4	1,7	14	3	183	129	894	1.206	14	163
5	0,7	10	7	150	96	873	1.119	13	150
5	0,7	12	5	211	109	863	1.183	18	189
5	0,7	14	3	213	123	931	1.267	16	116

TABLEAU XXXIV

Évolution des taux d'anions

Concentration de la solution nutritive en mé/l				NO ₃	PO ₄ H ₂ en mg/l	SO ₄ Cl		anions en mé/l
K	Na	Ca	Mg			en mg/l		
3	2,7	10	7	693	131	22	2.032	112,3
3	2,7	12	5	632	152	27	1.524	94,6
3	2,7	14	3	488	171	14	1.778	91,4
4	1,7	10	7	394	116	33	1.581	78,4
4	1,7	12	5	348	171	26	1.609	77,3
4	1,7	14	3	296	183	14	1.524	70,8
5	0,7	10	7	384	150	13	1.440	73,6
5	0,7	12	5	332	211	18	1.553	75,3
5	0,7	14	3	278	213	16	1.609	73,1

TABLEAU XXXV

Évolution des indices

Concentration solution nutritive en mé/l				Indice développement	N m % N S T	P m % P S T	S m % S S T	N S T / P S T	P S T / S S T	C ⁺ / A ⁻
K	Na	Ca	Mg							
3	2,7	10	7	38,9	52,9	12,5	15,3	1,2	7,3	1,95
3	2,7	12	5	38,5	55,6	13,0	22,9	1,1	9,9	2,08
3	2,7	14	3	42,0	42,8	14,6	12,7	1,0	10,7	2,26
4	1,7	10	7	38,3	35,6	10,6	22,8	1,0	7,6	2,54
4	1,7	12	5	43,6	33,7	14,5	19,7	0,9	8,9	2,40
4	1,7	14	3	41,2	33,0	15,2	8,6	0,7	7,4	2,69
5	0,7	10	7	44,6	41,7	13,4	8,7	0,8	7,5	2,62
5	0,7	12	5	44,8	32,2	17,8	9,5	0,9	6,3	2,60
5	0,7	14	3	44,1	29,5	16,8	13,8	0,8	10,9	2,69

Dans le tableau XXXV, il apparaît que les meilleurs rendements correspondent aux rapports N m % N S T inférieurs à 50 % et N S T/P m % P S T inférieur à l'unité. Les rapports P m % P S T sont peu différenciés. L'évolution de P m % P S T pour un même niveau de K paraît être commandée par les niveaux de Ca et Mg. Quant au soufre, les meilleurs rendements correspondent à des rapports S m % S S T voisin de 10 et les moins bons à des valeurs doubles.

En ce qui concerne le rapport cations/anions, les valeurs voisines ou inférieures à 2 correspondent aux rendements les plus bas.

CONCLUSION

L'étude effectuée sur des cultures de sorgho fourrager poussant en solution nutritive, a permis de se rendre compte des possibilités qu'offre l'analyse des sucs exprimés.

— La technique d'analyse est sensible et permet une bonne reproductibilité des résultats. La précision est en général satisfaisante, compte-tenu de l'ampleur des variations possibles des teneurs et les échelles utilisées lors de l'interprétation des résultats.

— L'étude de la répartition des éléments minéraux et des substances organiques solubles néoformées est pleine d'intérêt pour une meilleure connaissance des différents mécanismes intéressant la nutrition de la plante. Les variations de la composition des sucs exprimés en fonction de l'organe et de sa position imposent un choix précis de l'organe de référence à analyser comme c'est le cas dans le diagnostic foliaire. L'exemple de répartition rapporté dans l'étude dépend vraisemblablement des conditions de la nutrition.

— L'expérience factorielle sur l'influence de l'équilibre cationique de la solution nutritive confirme la sensibilité des sucs exprimés des tissus conducteurs comme matériau d'analyse pour l'appréciation de la nutrition minérale des végétaux. Elle indique d'autre part que seules des déficiences assez prononcées peuvent être mises en évidence par l'appréciation des fractions organiques et minérales considérées globalement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLANC (D.), 1964. — Recherche d'un test analytique pour contrôler la nutrition azotée de la tomate. Colloque européen sur le contrôle de la nutrition minérale. Montpellier.
- CARLE (J. et coll.), 1964. — Taux comparé du pétiole et du limbe de vigne pour quelques éléments minéraux. *C. R. Acad. Sci.*, 259, n° 8, 1541.
- DELMAS (J.), ROUTCHENKO (W.), BAUDEL (C.), 1959. — Contrôle de la nutrition des plantes par l'analyse du suc. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 45, p. 796-802.
- MAGNITSKI (K.P.), 1958. — Nouvelle méthode d'analyse des plantes et des sols.
- ROUTCHENKO (W.), 1962. — Contribution à l'étude des variations de la composition du suc de maïs soumis à deux types d'alimentation azotée. *C. R. Acad. Sci.*, 254, pp. 4199-4201.
- ROUTCHENKO (W.), 1967. — Appréciation des conditions de la nutrition minérale des plantes basée sur l'analyse des sucs extraits des tissus conducteurs. *Ann. Agr.* Vol. 18, n° 4, pp. 361-402.