

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

(Côte d'Ivoire)

Laboratoire d'Agronomie

ETUDE DES CAPACITES D'ECHANGE EN CATIONS DES
SYSTEMES RADICULAIRES DE QUELQUES PLANTES.

par

G. HAINNAUX

Rapport du Stage fait à la Station I.N.R.A. d'Antibes
au mois de novembre 1966.

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	1
Généralités - Bibliographie	2
Technique et méthodologie	11
Introduction	11
Méthode Blanc de mesure de la capacité de saturation	11
Obtention du matériel	12
Résultats expérimentaux ..	15
Généralités	15
Méthode de calcul de la CEC	15
Etudes préliminaires	16
. du rinçage	16
. des interférences.....	17
. de l'attaque acide	18
Résultats	19
. oeillet ..	19
. maïs	19
. blé	22
. Ray-grass	23
Etude des facteurs de variation de la CEC	24
Matériel expérimenté	24
Traitements	24
Résultats	25
Conclusion	27
Conclusion générale	28
BIBLIOGRAPHIE	29

INTRODUCTION.

-1-

Par ses études sur les propriétés physico-chimiques de la membrane racinaire, Lundegarth en 1932 établit l'existence d'une différence de potentiel entre le sol et les racines des plantes.

La couche superficielle des membranes racinaires se comporterait d'après cet auteur, comme un colloïde à propriétés acides dominantes; son potentiel électro-négatif étant la conséquence d'une dissociation de ses groupements acides.

Tendeloo et Vervelde en 1944, Venema en 1952 et Hartree en 1957 aboutissent à des conclusions identiques. Pour ces auteurs, les racines peuvent être caractérisées par leur constante de dissociation.

Pour leur part, Williams et Coleman notent l'existence d'une double couche ionique associée aux surfaces racinaires.

Donc, bien que le nombre d'expériences probantes mettant en évidence la nature physiochimique de la membrane racinaire soit encore rare (Chaussidon 1963), on peut penser qu'il existe à la surface des racines des sites ionisables qui leur confèrent des propriétés d'échange en ions.

En outre, la présence de charges superficielles, pourrait, en agissant sur la composition ionique du milieu au voisinage immédiat de la racine, intervenir qualitativement sur la nutrition minérale.

CAPACITE D'ECHANGE EN BASES DES RACINES : Généralités - Bibliographie.

Devaux en 1916 fut le premier à rapporter l'existence des capacités d'échange des racines. Pour lui, les membranes racinaires et les particules du sol à leur contact forment un système colloïdal ayant partout les mêmes propriétés absorbantes.

Ratner en 1944 suggère le premier qu'il existe entre le sol et la plante un échange de cations en équilibre dynamique. Pour Elgabaly, Jenny et Overstreet, ces échanges peuvent se faire lorsqu'il y a simplement contact étroit entre les particules colloïdales argileuses et les racines. Ces auteurs expliquent ces phénomènes de contact comme résultant de l'échange d'ions issu de l'enchevêtrement des doubles couches associées aux racines et aux particules du sol. A l'inverse des précédents, Lundegarth n'admet pas l'échange par contact direct entre les racines et les colloïdes. Il considère la solution du sol comme un intermédiaire indispensable entre le sol et la plante. Quant à Langerwerff, il oppose à la théorie de Jenny un argument d'ordre thermodynamique. Chaussidon en 1963 estime qu'entre le sol et les racines il y a un film d'eau où est constituée une double couche ionique diffuse. Il considère qu'il n'existe alors qu'un seul système : sol-solution-plante.

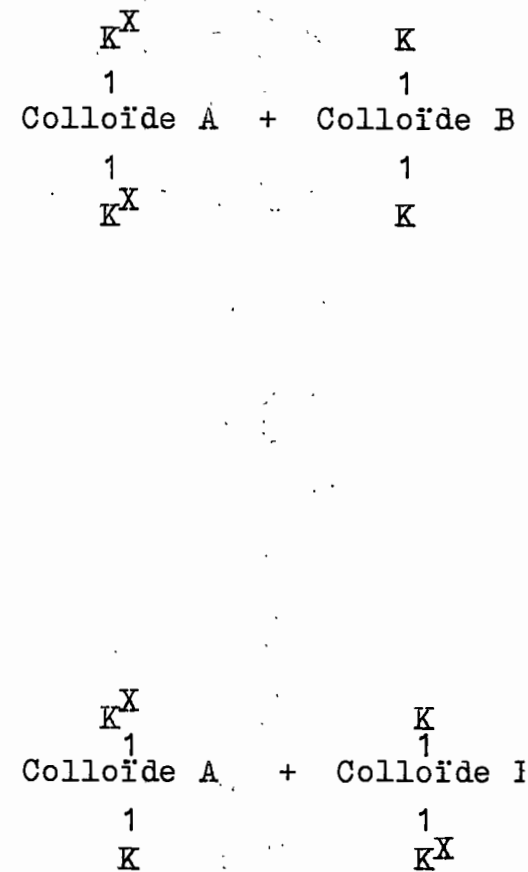
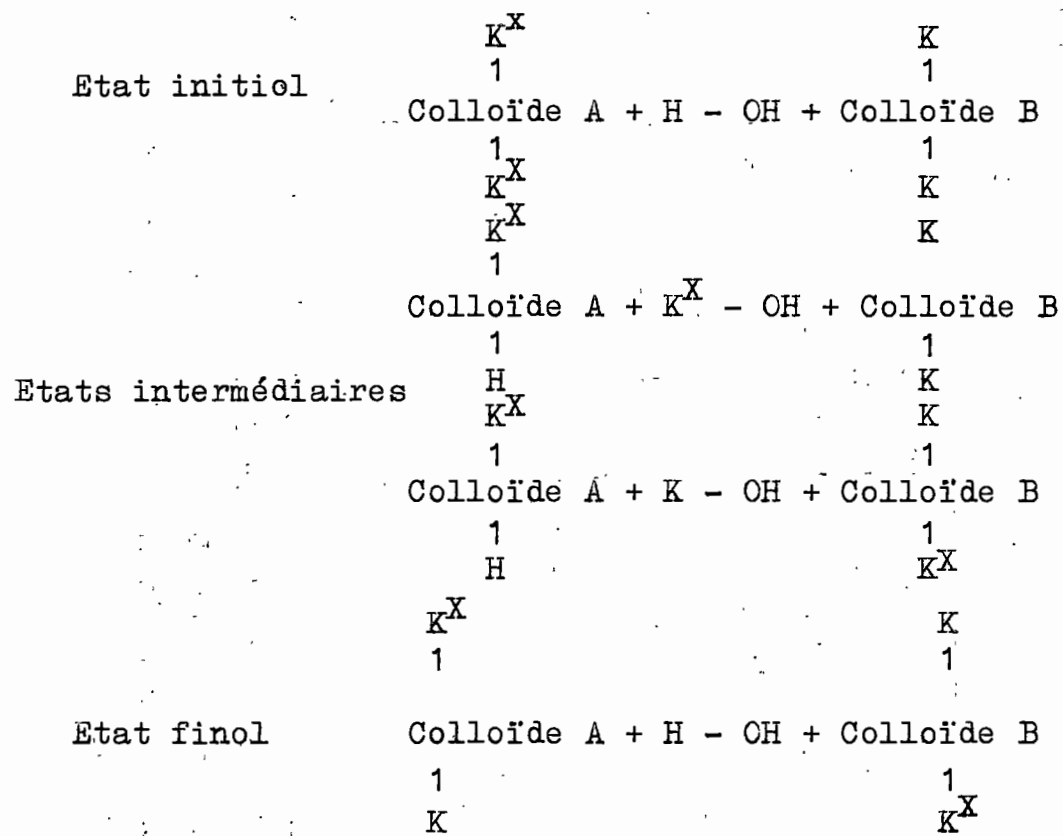
Les caractéristiques physico-chimiques de chacun des constituants du système déterminent en partie la statique et la dynamique des cations minéraux à leur voisinage. En tant que système absorbant chacun de ces constituants rivalise avec l'autre pour fixer les cations. Ces phénomènes peuvent donc avoir des implications agronomiques importantes.

D'après Elgaboly et Wicklander :

1) La répartition relative des cations mono et bivalents est déterminée par la capacité d'échange de chacune des phases échangeuses: sol et racines.

Echange par l'intermédiaire de la
solution du sol

Echange par contact



2) Toutes choses égales par ailleurs, une espèce végétale déterminée absorbera proportionnellement plus d'ions monovalents et moins d'ions bivalents si la capacité d'échange du sol croît.

3) Si l'on mélange deux sols de capacités d'échange différentes, le rapport Ca/Na augmente dans la plante quand la proportion du sol à faible capacité d'échange croît.

4) De deux espèces végétales, celle dont les racines auront la plus forte capacité d'échange absorbera à partir d'un même sol plus de cation bivalents et moins de monovalents.

Les auteurs insistent sur le fait que l'activité des ions dans le système sol-plante joue un rôle important dans l'alimentation minérale des végétaux, ce, indépendamment du mécanisme responsable de la prise des ions à partir du milieu environnant.

Pourtant, certains auteurs dont Epstein (1956) et Laties (1959) doutent de la signification de la CEC dans la nutrition minérale des plantes. Cependant trop de faits convergent qui montrent les interactions capacité d'échange en cation des plantes - nutrition minérale pour rejeter l'influence de la CEC :

- Dans le cas de l'alimentation calcique (Ca^{++}) Mme Blanc (1955) dans son étude sur la capacité de saturation en Ca des porte greffes de vigne et leur résistance à la chlorose calcaire conclut que cette résistance est en rapport avec la capacité de saturation en Ca. Pour les porte-greffes ayant une faible CECa la résistance est élevée alors que ceux à forte CECa sont très sensibles à la chlorose.

- Dans le cas de l'alimentation potassique (K^+)
Dans le cadre de nombreuses études sur les associations prairiales graminées-légumineuses, tous les auteurs s'accordent pour reconnaître que les différences d'absorption en K par cette association prairiale proviennent de leur CEK très différentes. Les légumineuses à forte CEK absorbent relativement moins de potassium que les graminées à faible CEK.

Relation entre la CEC et l'absorbtion de K^+ .

Plantes	CEC en meq/100 g MS	Absorbtion relative du K
Agrotis	16	100
Pâturin	21	72
Brôme	24	27

Relation entre CEC, absorbtion de K^+ , et K^+ dans le sol

Plantes	CEC en meq/100 g MS	K^+ dans la plante	K^+ dans le sol
Avoine	22,8	50	100
Seigle	12,3	90	100
Blé	9,0	155	100

Relation entre CEC et absorbtion de P_2O_5 .

Plantes	CEC en meq/100 g MS	meq P_2O_5 prélevé par pot
Blé	9	2,95
Chénopode	25	8,89
Renouée	41	13,71
Armoise	59	18,76

Variation de la CEC avec le milieu de culture
de la plante.

Plantes	Cultures au champ		Cultures en pot	
	Limon sableux	Argile avec cailloux	Gravier	Sable et Vermiculite
Ray-grass	23	24	23	23
Trèfle	14	16	46	21
Orge	-	17	23	
Blé	10	14	18	

Variation de la CEC de l'orge avec l'âge
de la plante.

Age en j	CEC
3	7,77
6	5,04
9	4,68
12	3,83

- Cas d'autres cations (Al^{+++} , Mn^{++})

Certains auteurs (Randall) expliquent par des mesures de CEC certaines résistances de plantes à des doses toxiques d'aluminium et de manganèse.

- Dans le cas de l'alimentation phosphatée Mouat et Walker en 1959 concluaient que la base de la compétition pour P_2O_5 entre les plantes était fonction de la CEC des racines.

Pour Asher et Ozanne en 1961, les plantes à haute CEC seraient les plus aptes à absorber le phosphore provenant des phosphates naturels. Elles déplaceraient plus facilement que les plantes à faibles CEC les cations divalents associés au phosphate et le rendraient ainsi plus assimilable.

- Dans le cas de l'alimentation azotée les premiers, McLean, Adams, et Franklin (1956) ont mis en évidence une corrélation positive entre la CEC et la teneur en azote d'une vingtaine d'espèces. Mme Blanc conclut de ses expériences sur la nutrition azotée qu'il ne lui a pas été possible de confirmer les résultats obtenus par Mclean. Toutefois ses chiffres confirment les résultats d'Helmy et Elgababy selon qui la CEC et le taux d'azote total des racines augmentent quand le taux d'azote du sol croit. Il pourrait s'agir dans ce cas d'une action indirecte sur la morphogénèse des racines. En effet l'apport d'azote provoque l'apparition de racines très fines donc de grande surface pour un faible poids. Or les CEC sont exprimées en meq par 100 g de matière sèche. Donc si pour un même poids, la surface de racines est supérieure, on comprend que si la CEC résulte de propriétés de surface, elle soit plus importante.

Parmi les autres facteurs de variation de la CEC les différents auteurs ont distingués :

- le contenu pectinique de la plante (Keller)
- la distance de l'apex de l'échantillon étudié (Knight)
- le milieu de culture (Heintze)
- l'âge de la plante (Smith et Wallace)
- l'action de diverses substances en particulier
 - + les métaux lourds (Crooke)
 - + certaines substances chimiques comme le 2-4-D, NaCN, $Na_3 AsO_3$

Variation de la CEC avec le contenu pectinique

Plantes	CEC	Pectines
Blé	25 meq/100 g MS	25 meq/100 g MS
Tomate	62 meq/100 g MS	72

Variation de la CEC avec la distance de l'apex

Distance de l'apex en m	CEC en meq/100 g MS	Pectines mg/100 g MS	Respiration CO ₂ cm ³ /100/h	N % de MS
0 - 2,5	134	63	212	2,17
2,5 - 5	120	56	201	2,15
5 - 10	57	53	152	2,06
10 - 20	65	51	160	2,06
20 - 40	39	50	130	1,96
40 - 60	28	48	114	1,92
60 - 80	26	48	116	
80 - 100	30	45	110	
100 - 120	33	50	94	
120 - 140	46	36	80	
racine entière	26			1,64

Il faut aussi distinguer comme important facteur de variation, la méthode employée lors de la détermination de la CEC.

Ces méthodes sont au nombre de trois d'après le classement établi par Mme Blanc :

1) Mesure de la capacité d'échange par saturation des racines avec une solution d'un sel neutre et mesure de la quantité de cations fixés par échange avec une "solution de remplacement"

2) Utilisation des titrages potentiométriques pour mesurer l'hydrogène échangeable présent à la surface de la racine par addition d'eau de chaux jusqu'à pH 7.

La mesure peut être répétée après électrodialyse des racines, ce qui permet de déterminer la capacité d'échange totale des racines.

3) Mesure de l'activité cationique dans les systèmes radiculaires au moyen d'une électrode à membrane d'argile. Cette méthode a permis à Mclean et Baker de mesurer l'énergie de fixation des cations mono et divalents par des espèces différentes.

CEC et composition minérale de la plante

Plantes	CEC	Somme des cations	Somme des anions
Avoine	22,8	73	46
Trèfle blanc	30,2	191	73
Pois	35,0	136	49
Pomme de terre	38,1	358	132
Luzerne	40,0	215	84
Chou fourrager	47,5	159	-
Laitue	65,1	236	110

Variation de la CEC avec les méthodes

Auteurs	Blé	Orge	Maïs	Trèfle	Pois	Ray-grass
Drake	9	12	26	47	-	24
McLean	14	13	13	-	-	24
Mattson	-	22	-	-	71	-
Graham	20	23	-	-	-	-
Blanc	-	-	25	-	44	38
Keller	23	-	29	-	-	-
Heintze	18	22	14	46	48	23

TECHNIQUE ET METHODOLOGIE

INTRODUCTION

Notre travail lors du stage que nous avons effectué au mois de novembre 1966 au laboratoire de Mme Blanc fut d'étudier et de mettre en oeuvre la méthode qu'elle a utilisée pour ses études sur les CEC des racines.

I) "Méthode Blanc" de mesure de la capacité de saturation

C'est la méthode de Williams et Coleman. Le principe en est le suivant :

Les racines sont saturées par une solution de sel neutre et les cations fixés sont déplacés à leur tour par une solution acide.

Cependant, les conditions opératoires doivent être soigneusement définies si l'on veut obtenir des résultats reproductibles.

En effet, à un instant donné, les ions se trouvent dans les racines sous deux formes :

- une partie des ions est retenue par les charges présentes sur la racine et constitue la partie adsorbée susceptible d'être échangée.

- l'autre partie des ions est absorbée et n'intervient pas dans le phénomène d'échange qui seul nous concerne du point de vue des CEC.

Or, il est difficile par action d'une solution acide, de distinguer entre la fraction adsorbée et la partie absorbée. La solution acide est en effet capable, sous certaines conditions, d'extraire la presque totalité des ions présents dans la racine.

Il importe donc pour mesurer les CEC de fixer de façon précise le mode opératoire et de s'y tenir fidèlement.

Celui que nous donnons tient compte des divers résultats des études préliminaires faites par Mr. Blanc en ce qui concerne :

- A) la libération des cations de la racine par une solution acide
 - 1) choix de l'acide
 - 2) influence du temps de contact.

B) la saturation des charges de la racine par une solution d'un sel neutre

- 1) influence de la concentration de la solution
- 2) choix du cation.

Il donne pour des échantillons semblables, des résultats reproductibles.

Mode opératoire :

Un échantillon de cinq grammes de racines fraîches (correspondant à peu près à 250 mg de matière sèche) est saturé en ions H^+ par contact de 3 minutes dans 100 cc d'acide chlorhydrique N/20. (le rapport du volume de la solution traitante à la masse de matière fraîche est impératif)

Sur l'acide ainsi recueilli on peut déterminer les quantités d'éléments adsorbés au moment du prélèvement.

Les racines H^+ ainsi obtenues sont lavées à l'eau distillée jusqu'à élimination complète de l'acide. Elles sont alors plongées dans 100 cc d'une solution de $Ca(NO_3)_2$ N/20 pendant trois minutes, lavées à l'eau distillée pour éliminer les ions Ca^{++} en excès et plongée trois minutes dans 100 cc d'HCl N/20.

Les ions Ca^{++} libérés par l'acide sont dosés au photomètre de flamme. Les résultats sont exprimés en méq. pour 100 g de matière sèche. Il est donc important, le phénomène étudié étant un phénomène de surface, de travailler sur des échantillons homogènes du point de vue du calibre des racines qui les constituent.

II) Obtention du matériel

Pour obtenir un matériel homogène et sain, les plantes étudiées sont obtenues par culture sur perlite. Ce matériau est tel qu'il permet une bonne aération des racines et assure un bon drainage.

Les solutions nutritives utilisées dérivent d'une solution type (solution B) de faible concentration (environ N/300). On en apporte pour chaque pot de culture 200 cc deux fois par jour.

Les jeunes plantules de cinq jours sont mises en place à raison d'une dizaine par pot. Au bout de six semaines, les racines sont délicatement séparée du substrat par immersion dans l'eau de façon à ne pas en briser les extrémités particulièrement actives dans les phénomènes d'adsorption.

Les racines, lavées deux fois à l'eau déminéralisée, sont triées de façon à n'en conserver que le chevelu pour en constituer des échantillons homogènes.

COMPOSITION DES SOLUTIONS NUTRITIVES

A) Composition de la solution de base (meq pour 1 litre) B

	NO ₃	SO ₄	PO ₄ H ₂	Total
K	3		2	5
Ca	8			8
Mg		2		2
Total	11	2	2	15

B) Eléments mineurs

A 1 litre de solution de base on ajoutait :

- 0,4 cc d'une solution de Citrate de fer à 800
- 2 cc d'une solution X comprenant

SO ₄ Mn, H ₂ O	3,08 g/l
SO ₄ Zn, 7H ₂ O	4,41 g/l
BO ₃ H ₃	2,82 g/l
SO ₄ Ca, 5H ₂ O	0,98 g/l
Mo 7 O ₁₄ NH ₄ , 4H ₂ O	0,46 g/l

C) Solutions dérivées de la solution de base (cc pour 50 l d'eau)

	Solution de base B	A	C
SO ₄ Mg 2N	50 cc	10 cc	100 cc
(NO ₃) ₂ Ca 2N	200	40	400
PO ₄ H ₂ K N	100	20	200
NO ₃ K N	150	30	300
Solution X	100	100	100
Citrate Fe 1 %	20	20	20

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Généralités.

Nous avons utilisé une méthode de détermination identique, à quelques aménagements près dus à Mr. Muller, à la méthode mise au point par Mme Blanc.

Les échantillons de racines fraîches sont placés dans un récipient cylindrique en plastique :

- haut de 90 mm et percé latéralement de 30 orifices de 4 mm de diamètre dans sa moitié inférieure.
- de diamètre 30 mm, le fond étant en maille de nylon 1x1 mm.

Ce récipient est plongé successivement dans les divers réactifs conformément au protocole.

Pour récupérer le percolat sur lequel on dose les cations libérés, il a été procédé de deux façons

- 1) on a filtré sous vide et rincé les racines sur le filtre. L'ensemble percolat (100 cc) et filtrat (100 cc) étant recueilli dans une fiole jaugée de 200 cc
- 2) on a filtré sous vide sans rincer. On ne recueille que les 100 cc du percolat.

Méthode de calcul de la CEC

Les dosages sont fait au photomètre de flamme.

L'étalonnage de l'appareil a été fait avec des solutions connues préparées au laboratoire.

Le zéro du galvanomètre est obtenu avec une solution Hcl N/40. et le maximum (graduation 150) avec une solution de Hcl N/40 contenant 10 mg/l de calcium.

Nous avons trois solutions intermédiaires en milieu Hcl N/40 qui contenaient :

2 mg/l de calcium

5 mg/l de calcium

8 mg/l de calcium

Nous avons ainsi 5 points qui nous permettaient de tracer la courbe d'étalonnage de l'appareil. C'est une droite.

Soit x la graduation lue lors d'un dosage, la concentration en mg/l de calcium est donc $x/15$.

Or le calcium étant bivalent et sa masse atomique étant de 40 on a : Ca en meq/l = $\frac{2}{40} \times \frac{x}{15} = \frac{x}{300}$

Si nous dosons dans 200 cc, soit $\frac{1}{5}$ de litre

$$\text{Ca en meq} = x/1500$$

Si m en g est le poids des racines sèches constituant l'échantillon, la CEC est alors : $\text{CEC} = \frac{x}{15m}$ en meq/100 g MS.

Etudes préliminaires

Ces études ont eu pour but

1) de fixer le nombre et l'importance des rinçages qu'il fallait faire subir aux échantillons après leur passage dans les divers réactifs (Hcl et $(\text{NO}_3)_2 \text{Ca}$).

2) d'éliminer les interférences entre le calcium et les ions parasites probablement présents dans le percolat lors du dosage de cet élément au photomètre de flamme.

I) Etude du nombre de rinçages

Les rinçages sont faits avec 100 cc d'eau déminéralisée pour chaque échantillon.

Nous avons fait dix rinçages successifs et récupéré à chaque fois le liquide de rinçage dans lequel on a dosé le calcium (les chiffres indiqués correspondent à la lecture sur le galvanomètre.

Nombre de rinçage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N° de l'échantillon										
1	1110	200	40	20	12	6	2	0,5	0	0
2	1320	150	26	12	9	4	1	0	0	0
3	1250	120	38	21	11	6	1	0	0	0
4	1160	120	25	10	5	3	1	0	0	0

On voit que pratiquement, au bout du cinquième rinçage, l'eau de rinçage contient en moyenne $\frac{100}{150} \gamma$ /cc (lecture 10).

Si l'on suppose qu'il reste environ 3 cc d'eau de rinçage accrochés aux racines, c'est à dire $\frac{3 \times 100}{150} = 2 \gamma$ /cc de calcium. Cela représente une erreur moyenne sur la CEC (lecture moyenne de 30) de 1 %

II) Etude des interférences

Nous nous sommes limité à l'étude de l'interférence phosphore calcium qui est la principale cause d'erreur en ce qui concerne le dosage du calcium.

Nous avons préparé diverses solutions en milieu Hcl N/40 contenant 5, 10, 20 γ /cc de Ca en présence de 0, 2, 10, 20, 50, 100, 200 γ /cc de P₂O₅ amené sous forme de PO₄ H₂ K ou PO₄ H₃.

Le tableau ci-dessous indique les lectures faites sur le galvanomètre. On réglait le 100 du galvanomètre avec la solution ne contenant pas de P₂O₅.

	Ca	P ₂ O ₅						
		0	2	10	20	50	100	200
PO ₄ H ₂ K	5	100	99	92	88	98	100	104
	10	100	97	88	86	85	86	92
PO ₄ H ₃	20	100	90	87	77	76	78	79
PO ₄ H ₃	10	100	95	84	83	83	83	82,5

Si on trace les courbes Emission = f (P₂O₅) on constate qu'il en existe deux types selon la forme de l'apport du phosphore.

- Phosphore apporté sous forme PO₄ H₃

On obtient une courbe à palier stable à partir d'une concentration en P₂O₅ de 10 γ /cc.

- Phosphore apporté sous forme PO_4H_2K .

La courbe d'abord décroissante, passe par un minimum puis recroît.

Cela est du à l'influence de K qui à forte concentration interfère.

En fait, on peut dire que la courbe obtenue est la résultante de deux courbes (voir graphique A)

. une courbe due à PO_4H_2 du type de celle vue avec PO_4H_3

. une courbe due à K^+ qui serait décroissant puis croissante.

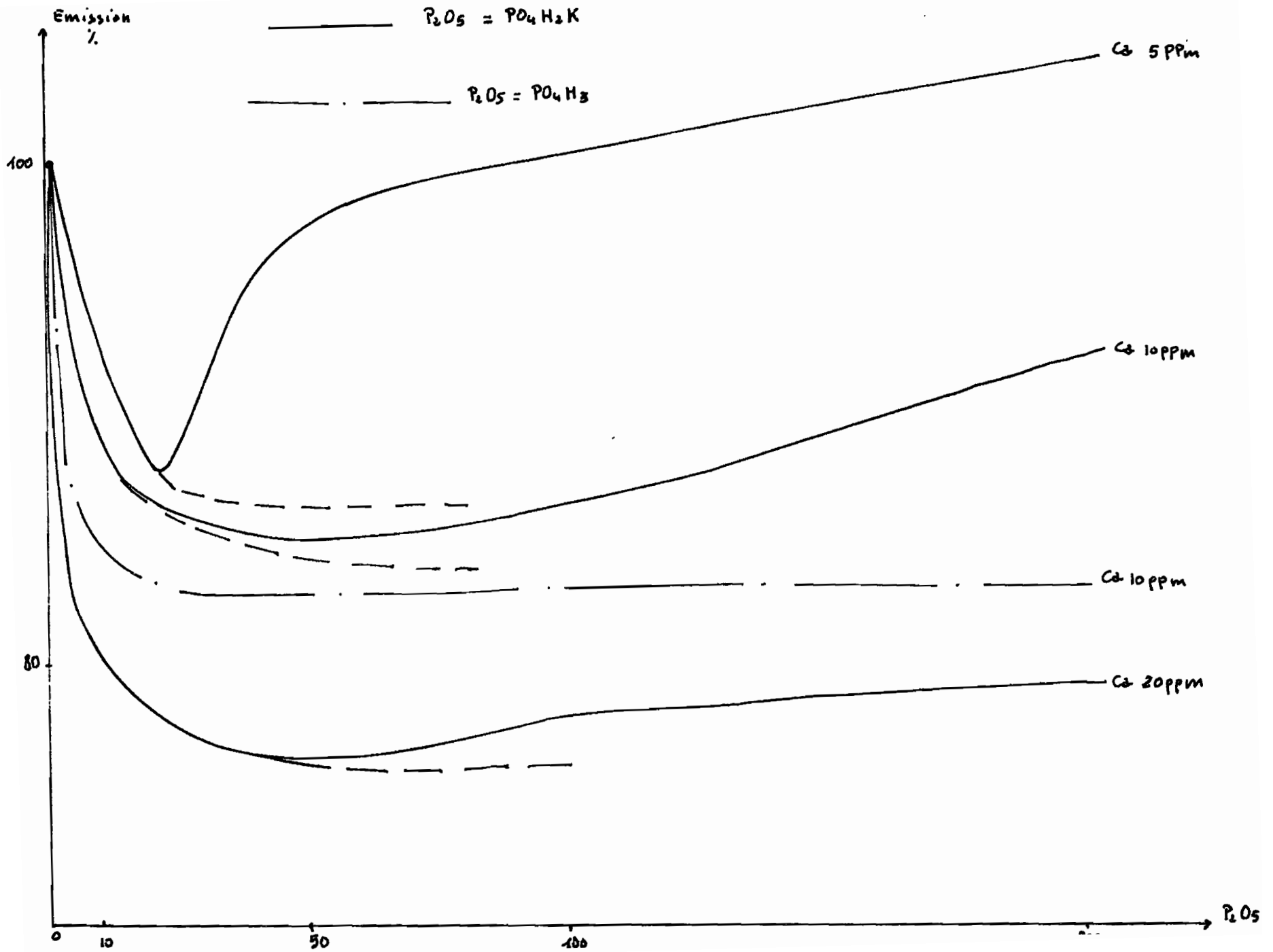
En conclusion de cette étude, si l'on veut faire un bon dosage du calcium, il faut opérer en présence d'une surcharge minimum de 10 /cc de P_2O_5 sous forme PO_4H_3 .

III) Etude de l'attaque par l'acide des échantillons

Pour vérifier que l'utilisation d'une solution acide de remplacement n'était pas préjudiciable aux échantillons traités ; c'est à dire qu'elle n'extrayait que les cations adsorbés et pas les cations absorbés, nous avons mesuré les CEC d'échantillons de racines de blé âgées de 15 jours avec

- 1) du calcium ordinairement présent dans les racines
- 2) du strontium jamais présent dans les racines.

Solution nutritive	N° échantillon	Tare (g)	Poids total (g)	MS (g)	CEC	Cation
A	1	13,056	13,303	0,247	14,2	Calcium
B	2	15,387	15,580	0,193	17,3	
C	3	13,967	14,192	0,225	17,8	
A	4	14,445	14,664	0,219	11,4	Strontium
B	5	12,246	12,447	0,201	13,7	
C	6	16,194	16,357	0,163	13,9	



En comparant les valeurs obtenues on constate que CECa est supérieure dans tous les cas à CE Sr. On peut donc penser que la solution acide attaque la racine et extrait non seulement les cations adsorbés, mais aussi une partie des cations absorbés.

Résultats

Nous avons étudié quatre plantes :

- l'Oeillet
- le blé
- le Maïs
- le Ray-grass

I) Oeillet

A) Racines vivantes

Nous avons fait trois échantillons avec les racines de 100 boutures âgées de 15 jours cultivées sur perlite et conservées trois mois au frigidaire.

Echantillon	Tare de la capsule (g)	Poids total (g)	Matière sèche (g)	Lecture galva	CEC meq/100 g MS
1	12,930	13,197	0,267	98	24,4
2	14,269	14,534	0,265	94	23,7
3	17,446	17,685	0,239	88	24,6

II) Maïs

A) racines vivantes

Nous avons distingué sur les racines qui étaient âgées de 25 jours trois zones :

- 1 segment initial (1/5 de la longueur) très dur
- 1 segment moyen (2/5) brun et très ramifié
- 1 segment terminal (2/5 à partir de l'apex) blanc et sans ramification.

N° Echantillon	Tare (g)	Poids total (g)	MS (g)	Lecture	CEC
1	19,857	20,153	0,296	57	12,8
2	17,229	17,536	0,307	34	7,4
3	10,485	10,785	0,300	44	9,8
4	11,049	11,361	0,312	32	6,8
5	19,364	19,683	0,319	43	8,9
6	14,445	14,714	0,269	37	9,2
7	16,194	16,457	0,263	33	8,4
8	13,056	13,300	0,244	30	8,2
9	15,387	15,612	0,225	31	9,2
10	12,662	12,935	0,273	35	8,5
11	12,930	13,168	0,238	38	10,6
12	14,269	14,506	0,237	40	11,4
13	17,446	17,665	0,219	52	15,8
14	11,221	11,443	0,222	51	15,3
15	9,958	10,175	0,217	46	13,9

Les résultats confirment ceux de Crook et Kinght qui avait montré un gradient croissant d'activité au fur et à mesure que l'on se rapprochait de l'apex.

B) Racines mortes

Le lot initial de racines dont nous disposions a été divisé en deux parties :

1 partie traitée aussitôt après récolte (cf A)

1 partie traitée 24 h après.

N° Echantillon	Tare (g)	Poids total (g)	MS (g)	Lecture	CEC
1	13,967	14,293	0,316	33	7,0
2	13,418	13,740	0,322	36	7,4
3	13,418	13,663	0,245	29	7,9
4	12,388	12,652	0,264	28	7,1
5	-	-	-	-	-
6	14,445	14,689	0,244	68	18,6
7	12,246	12,481	0,235	68	19,3
8	16,194	16,444	0,250	70	18,7
9	13,056	13,301	0,245	69	18,8
10	15,387	15,625	0,238	67	18,8
11	12,388	12,584	0,246	48	13,0
12	12,662	12,883	0,221	52	15,7
13	13,417	13,637	0,220	54	16,3
14	13,417	13,681	0,264	66	16,6
15	12,246	12,493	0,247	56	15,5

On remarque que le gradient d'activité n'existe plus. Si le segment initial reste peu actif, le segment intermédiaire augmente son activité d'une façon spectaculaire alors que le segment terminal reste sensiblement au même niveau.

III) Blé

Ce blé a été planté dans les mêmes conditions et en même temps que le maïs précédent :

- culture sur sable
- arrosage périodique avec de l'eau déminéralisée.

Nous comparerons les deux procédés de récupération du percolat à doser :

- avec rinçage
- sans rinçage

A) Racines vivantes

L'analyse du tableau de résultat ne permet pas de conclure. Si l'on excepte la valeur 15,1 qui semble aberrante, on ne trouve de différence significative entre les deux procédés.

N° Echantillon	Tare (g)	Poids total (g)	MS (g)	Lecture	CEC
1	14,445	14,663	0,218	31	9,5
2	12,246	12,474	0,228	28	8,2
3	16,194	16,425	0,231	26	7,5
4	13,056	13,289	0,233	22	6,4
5	15,387	15,615	0,228	25	7,3
6	13,967	14,194	0,227	63	9,3
7	13,418	13,643	0,225	46	6,8
8	12,388	12,612	0,224	101	15,1
9	12,662	12,888	0,224	61	9,5
10	13,417	13,639	0,222	56	8,9

B) Racines mortes

N° Echantillon	Tare (g)	Poids total (g)	MS (g)	Lecture	CEC
1	14,445	14,697	0,252	56	14,8
2	12,246	12,490	0,244	52	14,2
3	16,194	16,440	0,246	47	12,8
4	13,056	13,303	0,247	51	13,8
5	-	-	-	-	-
6	15,387	15,629	0,242	143	19,2
7	13,967	14,208	0,241	98	13,6
8	13,414	13,687	0,269	74	9,2
9	12,388	12,514	0,126	104	13,7
10	13,967	14,216	0,249	80	10,7

Nous notons que pour des échantillons constitués par la totalité du système racinaire, la mort entraîne une augmentation de la CEC.

IV) Ray-grass

Nous disposons de deux clones dont des éclats avaient été repiqués en 1965 sur pots riviera.

N° Echantillon	Tare (g)	Poids total (g)	Ray- grass	Lecture	CEC
1	13,418	13,742	0,329	88	13,6
2	12,388	12,732	0,344	75	10,9
3	12,662	13,009	0,347	60	8,7
4	13,417	13,793	0,376	95	14,5
5			0,354	72	6,8
6			0,381	142	12,6
7			0,359	121	11,2

La grande variabilité des résultats tient certainement au fait que le matériel utilisé étant très âgé, était particulièrement hétérogène.

ETUDE DES FACTEURS DE VARIATIONS DE LA CEC.

A) Matériel expérimenté

On a cultivé deux espèces :

- Blé (36 pots)
- Oeillet (48 pots)

dans des pots de polyéthylène de 1 litre.

B) Traitements

Pour le blé, on a 3 séries de 12 pots tous remplis de sable.

Pour les oeilletts on a 3 séries de douze pots remplis de sables et 3 séries de 4 pots remplis de terre.

Chacune des séries est arrosée avec une des trois solutions A, B ou C.

A contient 2,2 meq/l d'azote

B contient 11 meq/l d'azote

C contient 22 meq/l d'azote

Nous avons mesuré les CEC des racines

- 1) au bout de 3 semaines de végétation
- 2) au bout de 4 semaines de végétation
- 3) au bout de 5 semaines de végétation

C) Résultats

1) En 3ème semaine de végétation

Solution nutritive	N° échantillon	Tare	Poids total	MS	CEC	Plante
A	1	14,445	14,658	0,213	15,7	Blé
	2	12,246	12,474	0,228	14,7	
	3	16,224	16,448	0,224	14,5	
	4	13,056	13,304	0,248	16,3	
B	5	15,387	15,604	0,217	23,0	Blé
	6	13,967	14,179	0,212	20,6	
	7	13,418	13,647	0,229	23,1	
	8	12,388	12,617	0,229	21,9	
C	9	12,662	12,889	0,227	22,0	Blé
	10	13,417	13,637	0,220	34,8	
	11	19,857	20,090	0,233	26,2	
	12	17,229	17,469	0,240	23,9	
A	13	-	-	0,369	16,9	Oeillet
B	14	-	-	0,251	21,6	
C	15	-	-	0,207	29,6	

2) En 4ème semaine de végétation

Solution nutritive	N° échantillon	Tare	Poids total	MS	CEC	Plante
A	1	-	14,749	0,304	12,8	Blé
	2	-	12,500	0,254	9,8	
	3	-	16,479	0,285	9,3	
	4	-	13,360	0,304	12,5	
B	5	-	15,622	0,235	18,4	Blé
	6	-	14,240	0,273	13,5	
	7	-	13,709	0,291	19,2	
	8	-	12,659	0,271	14,9	
C	9	-	12,997	0,335	20,6	Blé
	10	-	13,718	0,301	19,1	
	11	-	20,141	0,284	17,3	
	12	-	17,525	0,296	17,3	
A	13	10,706	11,167	0,461	10	Oeillet
B	14	11,293	11,778	0,485	18,3	
C	15	19,484	20,012	0,528	26	

3) en 5ème semaine de végétation

Solution nutritive	N° échantillon	Poids total	Tare	MS	CEC	Plante
A	1	14,693	14,446	0,227	9,2	Blé
	2	12,529	12,274	0,255	8,1	
	3	13,329	13,056	0,273	8,4	
	4	16,532	16,240	0,292	8,9	
B	5	15,630	15,418	0,212	13,9	Blé
	6	14,218	13,908	0,310	12,3	
	7	13,656	13,454	0,202	13,6	
	8	12,631	12,414	0,217	12,4	
C	9	13,201	12,987	0,214	21,8	Blé
	10	13,723	13,507	0,216	24	
	11	20,109	19,891	0,218	23,2	
	12	17,517	17,303	0,214	22,1	
A	13	12,104	11,515	0,589	11	Oeillet
B	14	12,724	12,254	0,470	21,1	
C	15	21,128	20,615	0,511	19,2	

D) Conclusion

Ces résultats confirment dans leur ensemble les observations déjà faites par de nombreux auteurs :

- la CEC diminue avec l'âge
- la CEC augmente avec la nutrition azotée.

Conclusion générale

Ce stage fut pour nous l'occasion d'une première prise de contact relativement importante avec un laboratoire de recherche scientifique.

Il nous a permis de nous initier au travail de laboratoire et par là de compléter notre formation jusqu'à maintenant principalement scolaire.

L'étude des travaux entrepris par Mme Blanc sur les capacités d'échange en cations des systèmes radiculaires nous a montré la façon d'aborder un sujet de recherche et à constitué un exemple de méthode de travail.

Quant aux manipulations que nous avons pu faire, elles nous ont permis de vérifier et de confirmer les résultats classiques sur les CEC qui figurent dans la bibliographie.

BIBLIOGRAPHIE

- ANSTETT, A., FREJAT, A. et LEMAIRE, F.
Capacité d'échange en cation des systèmes radiculaires
Ann. Agro. à paraître.
- ASHER, C.J., and OZANNE, P.G. 1961
The cation exchange capacity of plant roots and its
relationship to the uptake of insoluble nutrients
Austral. J. agric. Res. 12 (5) : 755-766.
- BEAR, F.E. - Chemistry of the soil.
American chemical society - Monographs series N° 160.
- BLANC-AICARD 1955
Etude préliminaire sur l'adsorption radiculaire des cations
Ann. agron. 4 : 615-633.
- BLANC-AICARD 1958
Influence de la nutrition azotée sur les propriétés
d'échange des racines C.R. Acad. Sci. 246 : 2035-2037.
- BROESHART, H. 1962
Radioisotopes in soil-plant nutrition.
Symposium de Bombay mars 1962.
- BROYER, T.C. and OVERSTREET, R. 1940
Cation exchange capacity in plant roots in relation to
metabolic factors. Amer. J. Bot. 27 : 425-430.
- BARTLETT, 1964
Root exchange capacities. Soil Science 98 : 351.
- BOULD, G. 1963
Cation exchange properties of roots, nutrition of plants
in soil. Plant Physiol. 3 : 61-65.
- CHAUSSIDON, J. 1963
Rappel de quelques principes de physico-chimie.
Bull. Soc. Fr. Physiol. Veg. 9 (4) : 220.

CROOKE, W.M. 1953

Effect of heavy-toxicity metal on the cation exchange capacity of plant roots. Soil Sci. 86 : 231.

CROOKE, W.M., and KNIGHT, A.H. 1962

An evaluation of published data on the mineral composition of plant in the light of the CEC of their roots. Soil Sci. 93 (6) : 365-373.

CROOKE, W.M., KNIGHT, A.H. and McDONALD, I.R. 1960

- . CEC and pectin content of storage tissues dishes. Plant and Soil 13 : 55.
- . CEC and pectin gradients in leek root segments. Plant and Soil 13 : 23.

DRAKE, M., VENGRIS, J. and COLBY, W.G. 1951.

CEC of plant roots. Soil Sci. 72 : 139-148.

DRAKE, M., CAMPBELL, J.D. 1956

CEC of plant roots as related to plant nutrition. Proc. Amer. Soc. Hortic. 67, 563.

ELGABALY, M.M., JENNY, H. and OVERSTREET, R. 1943

Effect of clay mineral on the uptake of Zn and K by barley roots. Soil Sci. 55 : 257.

ELGABALY, M.M. and WICKLANDER, L. 1949

Effect of exchange capacity of clay mineral and acidoid content of plant on uptake of Na and Ca by excised barley and pea roots. Soil Sci. 67 : 419.

The mechanism of anion uptake by plant roots
Soil Sci. 93 : 281.

EPSTEIN, E. 1955

Passive permeation and active transport of ions in plant roots. Plant Physiol. 30 : 529.

HANDLEY, OVERSTREET 1961

Effect of various cations upon absorption of Cs ¹³⁷
Plant Physiol. 36 : 66.

HELMY, A.K. and ELGABALY, M.M. 1958

Exchange capacity of plant roots
Plant and soil 10 (1) : 78.

HEINTZE, S.G. 1961

Studies on CEC of roots. Plant and Soil 13 : 365.

McLEAN, E.O., ADAMS, D. and FRANKLIN, R.E. 1956

CEC of plant roots as related to their nitrogen contents.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20 : 345.

LUNDEGARTH, H. 1942

Electrochemical relations between the root system and
the soil. Soil Sci. 51 : 177.

MATTSON, S. 1948

Laws of ionic exchange
Annals of the Royal Agric. College of Sweden 15 : 308.

MOUAT, M.C. 1960

Interspecific differences in Sr uptake by pasture plants
as a function of their root CEC.
Plant and Soil 16 (2) : 263.

MULLER, J. 1963

Données expérimentales sur les phénomènes de contact entre
particules et racines. Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég. 9 (4) :
223.

MULLER, J. 1966

Notes personnelles.

SMITH, L., and WALLACE, A. 1956

CEC of roots and its relation to Ca and K content of plants. Soil Sci. 81 (2) : 97.

SUTCLIFFE, J.M.

Mineral salt absorption in plants.

Pergamon - Press - London.

WIERSUM, L.K. and BAKEMA, K. 1959

Competitive adaptation of the CEC of roots.

Plant and Soil 11 (3) : 287.
