29

ROYAUME DU MAROC

AL AWAMIA

REVUE DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE MAROCAINE

Institut National de la Recherche Agronomique

— RABAT —

OCTOBRE 1968

SOMMAIRE

G. BRYSSINE — La dynamique du lessivage d'un sol brun rouge steppique 1

T. IONESCO — Remarques méthodologiques concernant l'étude des ressources pastorales du Maroc 35

M.D. VANHAMME — Contribution à l'étude du régime thermique des sols marocains 69

C.E.E. RUNGS — Une fauvette visiteuse des fleurs d'agrumes .. 107

C.E.E. RUNGS — Contribution à la connaissance de la faune des lépidoptères de la plaine du Tadla 111

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

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

B.P/P.172

ROYAUME DU MAROC

AL AWAMIA

REVUE DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE MAROCAINE

B-P

Institut National de la Recherche Agronomique

— RABAT —

OCTOBRE 1968

LA DYNAMIQUE DU LESSIVAGE D'UN SOL BRUN-ROUGE STEPPIQUE

G. BRYSSINE *

Avec la collaboration de J. GAILLARDO **

SOMMAIRE

I. Observations au sujet du lavage du sol à l'eau pure (distillée).
- A. Elimination des sels.
- B. Nature des sels.
- C. Conclusions.

II. Influence des sels dissous dans les eaux d'arrosage sur la dynamique du lessivage.
- A. Introduction.
- B. Dynamique de l'élimination des sels.
  - a. Dynamique des anions.
  - b. Dynamique des cations.
  - c. pH des eaux de percolation.
  - d. Influence mutuelle des anions sur la dynamique de leur lessivage.
    1. Rapport SO_4^{--}/Cl^-
    2. Rapport HCO_3^-/Cl^-
    3. Rapport SO_4^{--}/HCO_3^-
  - e. Influence mutuelle des cations sur la dynamique de leur lessivage.
  - f. Influence mutuelle des cations et des anions.
    1. Rapport Cl^-/Na^+
    2. Rapport SO_4^{--}/Na^+
    3. Rapport HCO_3^-/Na^+
    4. Rapport $Cl^-/(Ca^{++}+ Mg^{++})$
    5. Rapport $SO_4^{--6}/(Ca^{++}+ Mg^{++})$
    6. Rapport $HCO_3^-/(Ca^{++}+ Mg^{++})$

---

* Chef de la Station de base de Pédologie à la Direction de la Recherche Agronomique.

** Ancienne chimiste à l'Institut National de la Recherche Agronomique.

Al Awamia, 29, pp. 1-34, octobre, 1968.

C. Taux de sels exportés et leur nature
  a. Taux de sels exportés
  b. Nature des sels
    1. Composition chimique des résidus secs
    2. Variations de la composition chimique des résidus au cours du lavage
    3. Composition minéralogique « hypothétique » des résidus secs
    4. Variations de la composition minéralogique au cours du lavage
    5. Influence du nombre d'arrosage sur la composition des résidus secs totaux

D. Conclusions.

I. Observations au sujet du lavage du sol par l'eau pure (distillée)

Dans la première partie de cette note [1] nous avons décrit le processus d'élimination de différents composants des sels des cinq horizons d'un sol brun-rouge steppique de la plaine du Zebra sous l'effet de leur arrosage à l'eau chimiquement pure (distillée). Il en ressort que le caractère de l'élimination de chaque composant dépend de sa nature.

A. Elimination des sels

Ainsi, l'entraînement de l'ion chlore, des cations alcalins et alcalino-terreux des horizons salins (3 à 5) suit une loi exponentielle : départ massif de ces éléments au début de l'opération et diminution progressive de leur taux dans les filtrats au fur et à mesure de l'épuisement de leur stock. Par contre, dans les horizons supérieurs non salins (1 et 2), les courbes d'élimination de ces éléments possèdent une allure de droite, le taux d'éléments dans le filtrat restant constant au cours de l'opération. Ces droites correspondent à la branche terminale des courbes exponentielles lorsque le taux des éléments exportés devient faible, presque imperceptible.

Toutefois, on peut remarquer que l'élimination des cations paraît moins rapide que celle de l'ion chlore. En effet, la pente des courbes d'élimination des cations est moins rapide que celle de ce dernier élément. Ces courbes présentent une allure de droites inclinées par rapport à l'axe des abscisses. Elles sont peu prononcées dans le cas

(1) Al Awamia, n° 14, pp. 47 à 71.

du sodium, plus typiques dans le cas des alcalino-terreux. La transformation de ces courbes exponentielles en droites signifie que la concentration des cations tend à devenir constante au cours du lavage.

La constance de leur concentration dans les eaux de percolation peut être expliquée, dans le cas des alcalino-terreux, par leur dissolution progressive à partir des carbonates et des sulfates, et en particulier, à partir du carbonate de calcium, dont le taux dans ce profil oscille entre 20 et 30 %. L'allure de la courbe du rapport (Ca + Mg)/Na (GRAPH. VI) souligne d'ailleurs l'enrichissement des filtrats en alcalino-terreux vers la fin de l'expérience.

En ce qui concerne le sodium, ce dernier élément proviendrait du complexe absorbant, suite à son déplacement par les alcalino-terreux. L'allure des courbes d'élimination du sodium fait d'ailleurs penser que la désalinisation de ce sol serait accompagnée, vers la fin du lavage, par une désalcalinisation, au moins partielle, du complexe absorbant.

La dissolution progressive des stocks de sels au cours de l'expérience s'observe aussi dans le cas de l'ion sulfate, dont une partie provient du gypse, qui existe dans ce profil, surtout dans le dernier horizon profond. En effet, il semble que la concentration de cet anion à tendance à rester constante au cours du lavage, de sorte que les courbes d'élimination se rapprochent des droites vers le milieu de l'opération. Ce changement dans l'allure des courbes dépend vraisemblablement de la proportion de sulfates solubles (de sodium et de magnésium) qui s'éliminent rapidement au début de l'opération, par rapport aux sulfates peu solubles (gypse) qui maintiendraient leur concentration au même niveau.

Dans le cas des bicarbonates (les carbonates étant absents), provenant de la dissolution partielle du calcaire en présence de CO_2, les courbes d'élimination (droites) montrent la constance de leur concentration au cours de leur lessivage.

L'aspect légèrement arrondi de ces courbes, correspondant aux horizons profonds, nous permet de supposer que la formation des bicarbonates ne devient plus importante qu'après l'élimination de la majorité des sels solubles de la masse du sol. En effet, la convexité de la courbe n'apparaît nettement qu'après cinq lavages, quand le taux de chlorures restants descend en dessous de 1 $^0/_{00}$.

L'élimination des sols et l'enrichissement relatif en bicarbonates semblent provoquer une légère basification des horizons profonds de ce profil.

B. Nature des sels

L'étude des rapports entre les cations et les anions nous permet de faire quelques remarques au sujet de la nature des sels exportés.

Au cours de l'opération, le sodium paraît être entraîné en liaison avec l'ion chlore, sous forme de chlorures. Après l'élimination de la grande majorité de ces derniers son exportation se poursuit sous forme de sulfates, vers le milieu de l'opération, et de bicarbonates, vers la fin.

En ce qui concerne les alcalino-terreux, ils (surtout ceux des horizons profonds) semblent être entraînés de préférence sous forme de sulfates au début de l'opération de dessalage. On les retrouve associés à l'ion bicarbonate à la fin de l'expérience, après le départ massif des sels de sodium facilement solubles.

C. Conclusions

Les résultats obtenus au cours de cette étude concernant le processus de dessalage d'un sol brun-rouge steppique, riche en calcaire fin, nous permet de tirer quelques conclusions. Aussi, l'abaissement du taux de sel dans ce profil peut-il se faire rapidement, sans que cette opération n'entraîne la solonetzation du sol ou de ses horizons profonds après le départ massif des sels solubles. Nous n'avons en effet remarqué ni un accroissement excessif du pH, ni une dispersion des colloïdes.

II. Influence des sels dissous dans les eaux d'arrosage sur la dynamique du lessivage

A. Introduction

Dans le processus de dessalage décrit dans les pages précédentes, l'eau pure (distillée) n'intervenait que comme un agent de dissolution et de transport des produits dissous. Or, dans la nature, ce processus ne s'applique qu'au cas du dessalage naturel sous l'effet de l'eau de pluie et ne concerne que les horizons superficiels. Par contre, les horizons profonds sous-jacents sont mouillés non pas par de l'eau chimiquement pure, mais par des solutions chargées de sels venant des horizons supérieurs. Ces derniers peuvent perturber le développement normal du processus théorique du dessalage en augmentant ou en abaissant la solubilité des sels. Cette perturbation peut s'observer aussi dans le cas de l'irrigation à l'eau des oueds ou des puits. En effet, ces eaux contiennent toujours des sels dont le taux peut varier

dans de très larges limites. Enfin le plâtrage, recommandé pour l'amélioration des solonetz et des sols alcalins (à alcalis), apporte un cation (calcium) et un anion (sulfate) (2,0 g/l de $SO_4Ca\ 2H_2O$).

Dans un travail antérieur (1) nous avons montré que « si le drainage du sol est assuré, la teneur en sels de ce dernier tend vers une valeur limite K, inférieure à la quantité totale des sels apportés par les eaux d'arrosage au cours des irrigations. La valeur chiffrée de cette limite dépend à la fois des propriétés hydriques du sol, de la salure des eaux d'irrigation et du rapport entre le volume d'eau d'arrosage et le volume d'eau retenu dans le sol après chaque irrigation. Plus ce rapport se rapproche de 1, c'est-à-dire plus le volume d'eau d'arrosage se rapproche du volume correspondant à la capacité de rétention, plus le salage du sol sera élevé. Il résulte aussi de cette étude que les irrigations massives des sols salés avec une eau saumâtre peuvent même abaisser, dans une proportion notable, la salure initiale du sol ». Si celle-ci est supérieure à la valeur-limite K, calculée d'après notre formule (1), la teneur en sels du sol diminue avec le nombre d'arrosages. Le sol subit alors le lessivage des sels. Si, par contre, elle est inférieure, la teneur en sels augmente avec le nombre d'arrosages jusqu'au taux correspondant à la valeur-limite K, il y a dans ce cas une accumulation de sels.

Il nous a donc paru intéressant d'étudier cette question dans le cas du sol brun-rouge de la plaine de Zebra. Ces considérations nous ont amené à une étude comparative du lessivage de notre profil sous l'effet, aussi bien de l'eau distillée (que l'on peut assimiler à l'eau de pluie), que sous l'effet de l'eau contenant des sels. Dans ce but, nous avons utilisé l'eau de l'oued Moulouya de pH = 7,55, source d'irrigation de la plaine de Zebra, et de l'eau légèrement sulfatée (solution N/100 soit 0,68 g/l de sulfate de calcium) de pH = 6,05.

Les échantillons de terre pris à cette occasison se sont révélés moins chargés en sels que ceux de la première série. Certes, ces prélèvements ont été effectués à proximité de l'emplacement du profil étudié et aux mêmes niveaux, mais à une autre époque (six mois plus tard). La mobilité des sels solubles peut expliquer les différences constatées.

Les résultats de cette étude sont représentés également sous formes graphiques. Mais, étant dans l'impossibilité matérielle de reproduire tous les graphiques, au nombre de 65, nous ne donnons dans ce texte que les courbes de variation du pH et d'élimination des différents constituants des sels au cours des arrosages. En ce qui concerne

les variations des rapports, soit entre les cations et les anions, d'une part, soit des rapports mutuels, d'autre part, nous nous référons à celles de la première partie de ce travail, en indiquant les changements constatés par rapport à ces courbes de référence. (Les courbes de référence, numérotées de I à VIII, sont données dans la première note).

B. Dynamique de l'élimination des sels

a. Dynamique des anions

L'addition de sulfate de calcium à l'eau d'arrosage ou l'irrigation à l'eau de l'oued Moulouya, contenant à la fois des chlorures, des sulfates et des bicarbonates alcalins et alcalino-terreux (voir tableau III)* n'ont pas modifié l'allure des courbes d'élimination des chlorures, celles-ci gardant en effet leur allure exponentielle (GRAPH. IV a et IX a, b, c).

La présence de sulfates dans les eaux d'arrossage des essais 2 (eau sulfatée) et 3 (eau de la Moulouya) masque le processus de leur élimination de la masse du sol, processus observé pourtant dans le cas des irrigations à l'eau pure (essai 1), où leur concentration dans les filtrats diminuait avec le temps. Par contre, cette dernière reste constante dans les eaux de percolation des essais 2 et 3 et les courbes d'élimination de cet anion deviennent presque droites (GRAPH. IV-b et X-a,b,c).

La présence de sels dans les eaux d'irrigation des essais 2 et 3 n'a pas modifié cependant l'allure des courbes d'élimination des bicarbonates (GRAPH. IV-c et XI-a,b,c).

b. Dynamique des cations

Les courbes d'élimination du sodium au cours du lessivage gardent leur allure exponentielle. Toutefois, dans le cas du lavage avec de l'eau de la Moulouya, ce caractère est moins bien prononcé : elles tendent à se rapprocher d'une droite. Ce changement dans l'allure des courbes est certainement dû à la présence du sodium dont le taux est resté constant dans les eaux de cet oued au cours de l'opération (GRAPH. VI-a et XII-a,b,c).

En ce qui concerne les alcalino-terreux, on voit bien l'influence de ces éléments, apportés par les eaux d'arrosage, sur le déroulement du processus d'élimination. Dans les trois premiers horizons des essais 2 et 3, horizons faiblement salins, ces courbes deviennent nettement

* Les tableaux I à IV et les graph. I à IX figurent dans la 1re partie, Al Awamia 14.

droites. Par contre, celles qui correspondent aux horizons profonds fortement salins gardent encore leur aspect exponentiel (GRAPH. VI-b et XIII-a,b,c). Les cations présents dans les eaux d'irrigation n'empêchent donc pas le départ massif des alcalino-terreux au début de l'arrosage.

c. pH des eaux de percolation

En ce qui concerne les variations du pH au cours de l'opération de lavage des échantillons du sol, on peut faire les remarques suivantes :

Au cours du traitement du sol à l'eau distillée, la réaction des percolats est restée nettement basique (au-dessus de 7,5). Toutefois, une tendance à l'accroissement de l'alcalinité des extraits aqueux des trois derniers horizons et une légère diminution du pH des filtrats des horizons de surface peuvent être observées.

L'addition de sulfate de calcium N/100 (pH = 6,05) dans l'eau d'arrosage a abaissé légèrement la basicité des percolats successifs en dessous des valeurs de pH 7,5. Cette diminution est surtout sensible et progressive dans les filtrats provenant des échantillons des horizons fortement basiques, comme le troisième horizon de notre profil.

Par contre, l'irrigation du sol avec l'eau basique de l'oued Moulouya, (pH = 7,55) a provoqué l'accroissement de l'alcalinité des filtrats (pH final supérieur à 8,0), principalement des échantillons provenant des horizons profonds. Cet accroissement a été progressif au cours de l'expérience (GRAPH. II et XIV).

d. Influence mutuelle des anions sur la dynamique de leur lessivage

1. Rapport SO_4^{--}/Cl^-

L'allure des courbes du rapport SO^{--}_4/Cl^- de l'essai 3 (lavage à l'eau de la Moulouya) diffère peu de celle de l'essai 1 (lavage à l'eau distillée) : rapport plus ou moins constant dans les filtrats provenant des horirzons supérieurs (1 et 2) et prédominance des chlorures par rapport aux sulfates au début du lessivage des horizons sous-jacents et leur diminution progressive au cours de l'opération (GRAPH. V-a). Pour les horizons profonds, la corrélation entre les valeurs de ce rapport et le nombre de lavage est faiblement significative.

La présence des sels dans les eaux de l'oued Moulouya ne modifie pas l'allure de ce rapport. Il reste donc sensiblement analogue à celui de l'essai 1, bien que les valeurs absolues soient plus élevées.

En ce qui concerne l'essai 2 (arrosage à l'eau sulfatée) les courbes de variation de ce rapport, fortement irrégulières, sont peu nettes

surtout pour les échantillons provenant des horizons non ou peu salés (horizons 1, 2 et 3). En valeur absolue, ce rapport est très élevé par rapport à celui de l'essai 1 (prédominance des sulfates). Toutefois, au début du lessivage des horizons profonds (4 et 5), les chlorures prédominent par rapport aux sulfates. La corrélation est mauvaise et, sauf pour le dernier horizon, elle n'est pas significative.

2. Rapport HCO_3^-/Cl^-

Les courbes du rapport HCO_3^-/Cl^- des essais 2 et 3 sont proches de celles de l'essai 1 : constance au cours de l'expérience dans les deux premiers horizons et prédominance des chlorures au début de l'opération dans les filtrats des horizons profonds (GRAPH. V-b). Vers la fin du lessivage, ce rapport tend vers 1 dans l'essai 3, tandis que dans les essais 1 et 2, il oscille entre 1 et 5 (prédominance des bicarbonates). Cette évolution du rapport HCO_3^-/Cl^- avec le temps est significative pour les horizons profonds.

3. Rapport SO_4^{--}/HCO_3^-

Dans ce cas, la présence de sulfates et de bicarbonates dans les eaux de la Moulouya atténue les valeurs de cette relation par rapport à celui de l'essai 1. Cependant l'allure générale des courbes traduisant cet essai ne varie pas beaucoup par rapport à l'essai 1 : même modification progressive des sulfates par rapport aux bicarbonates (GRAPH. V-c). Toutefois, leur taux reste toujours supérieur à celui des bicarbonates. Les courbes se rapportant aux horizons supérieurs se rapprochent des droites parallèles à l'axe des abscisses.

Dans le cas de l'essai 2, l'arrosage à l'eau sulfatée a provoqué certains changements dans l'allure des courbes. Malgré leur irrégularité elles ont tendance à monter lors de l'arrosage des horizons superficiels (accroissement relatif des sulfates par rapport aux bicarbonates) et à baisser dans les horizons profonds (accroissement des bicarbonates par rapport aux sulfates, résultant de l'élimination de ces derniers ?) Cette évolution est significative. Les valeurs de ce raport sont élevées.

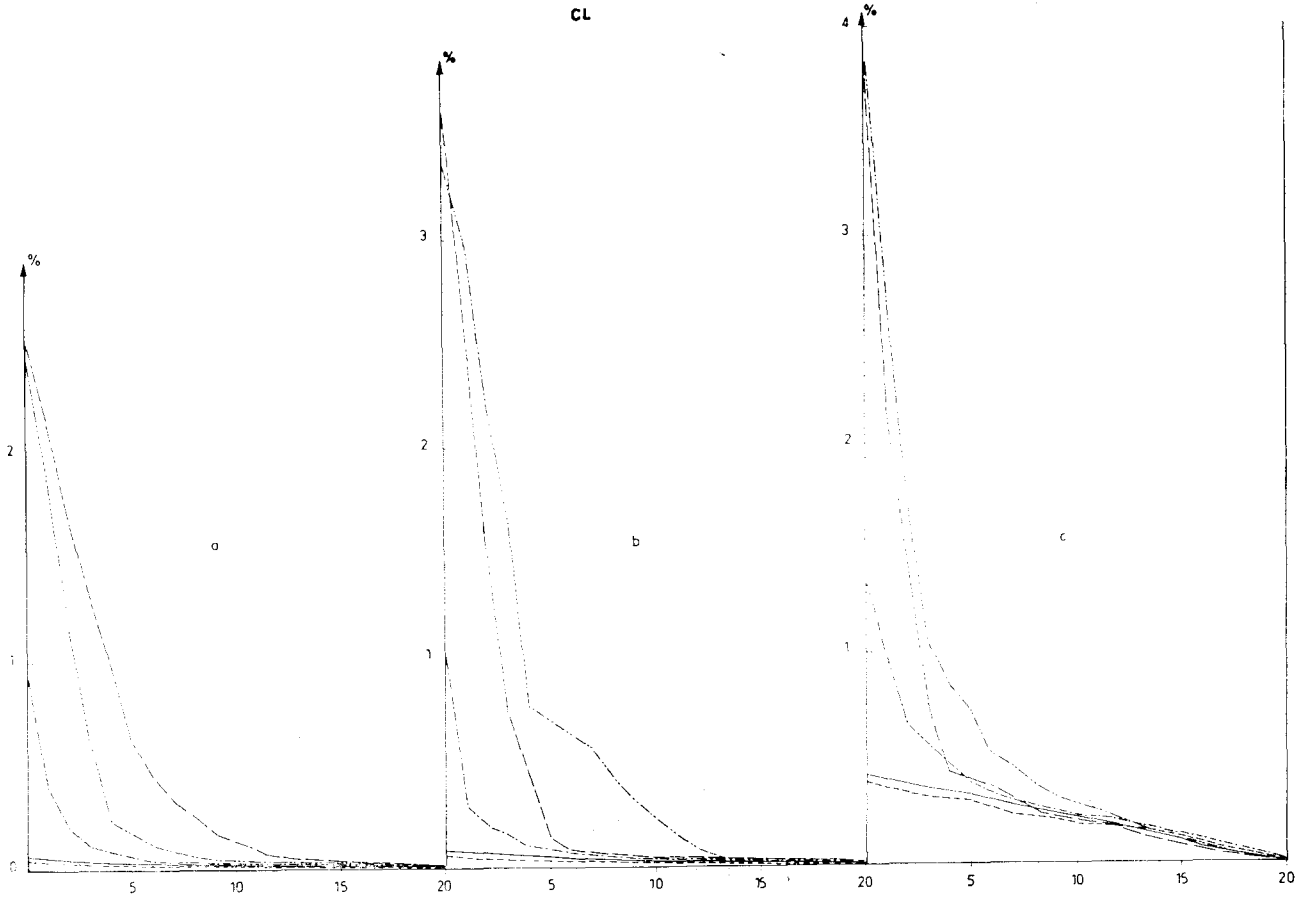
e. Influence mutuelle des cations sur la dynamique de leur lessivage

1. Rapport $(Ca^{++} + Mg^{++})/Na^+$

La présence de cations dans les eaux d'arrosage de l'oued Moulouya paraît modifier profondément l'évolution de ce rapport au cours des lavages successifs. Il resterait relativement constant, malgré des écarts parfois sensibles tout le long de l'essai (GRAPH. VI-c), ce qui signifie que ces deux cations passent dans les filtrats dans des pro-

GRAPHIQUE X *

Elimination des chlorures

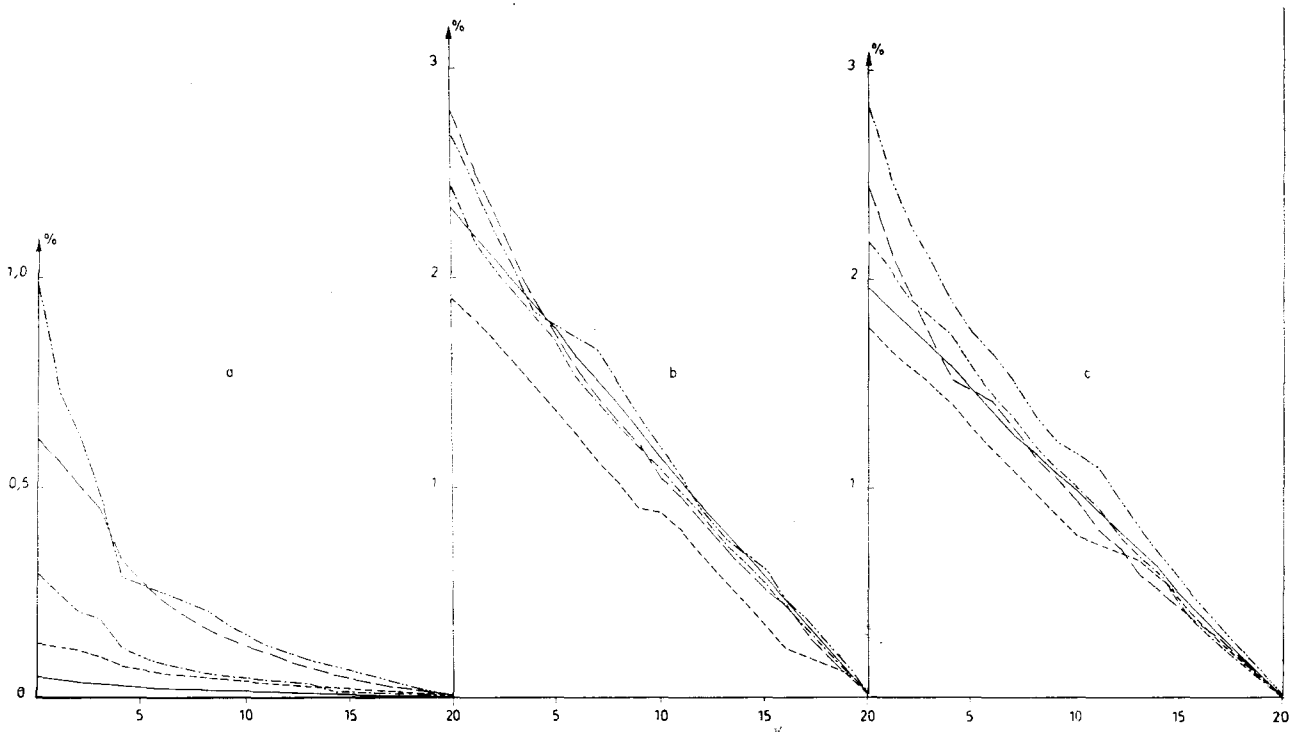


* Les graphiques I à IX ont paru dans Al Awamiai 14.

GRAPHIQUE XI

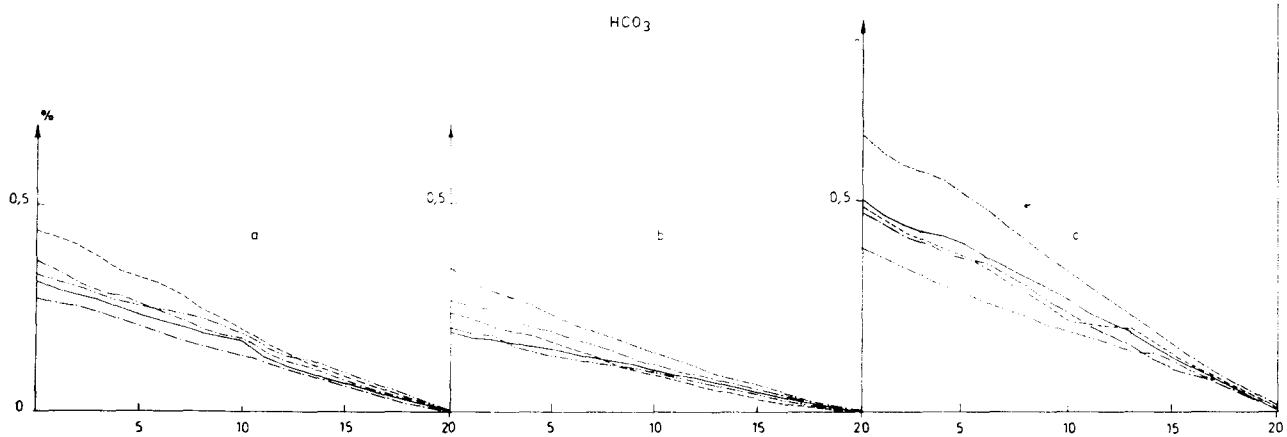
Elimination des sulfates

SO_4



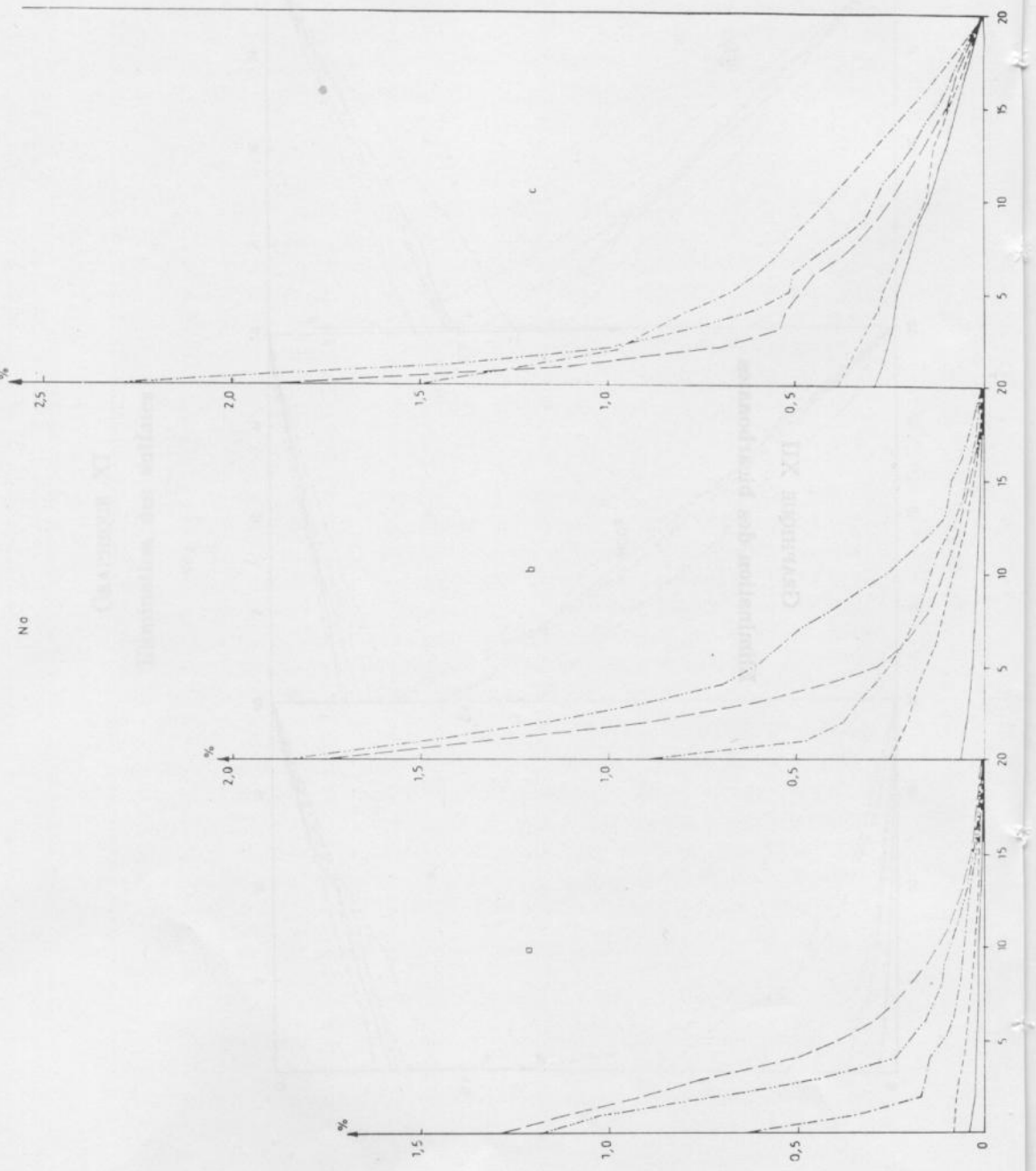
GRAPHIQUE XII

Elimination des bicarbonates



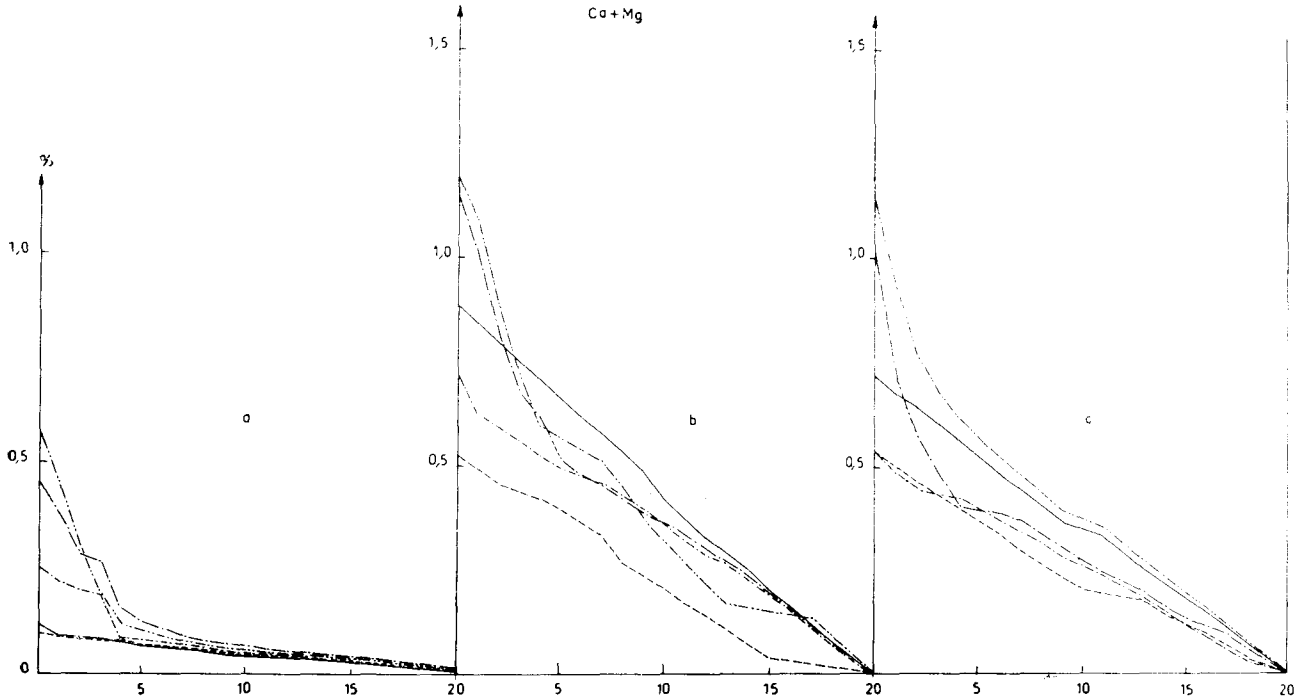
Graphique XIII

Elimination du sodium



Graphique XIV

Elmination des cations : calcium + magnésium



portions équivalentes sans que l'un d'eux prédomine à une étape quelconque du dessalage. Fait exception le troisième horizon où le sodium prédomine au début de l'opération comme dans l'essai 1.

Dans l'essai 2 ce rapport reste constant.

f. Influence mutuelle des cations et des anions

1. Rapport Cl^-/Na^+

La présence de sels dans les eaux d'arrosage apporte quelques changements dans l'évolution de ce rapport au cours de l'opération (GRAPH. VII-a). Si, d'une manière générale, l'évolution de ce rapport au cours de l'irrigation à l'eau sulfatée (essai 2) reste analogue à celle de l'essai 1, il en est autrement dans le cas de l'essai 3. Dans celui-ci, on n'observe pas, d'une manière significative, d'accroissement relatif du taux de sodium par rapport à celui du chlorure (sauf dans les filtrats du même horizon). La présence des chlorures dans les eaux d'arrosage maintient ce rapport a un niveau plus ou moins constant.

2. Rapport SO_4^{--}/Na^+

L'allure générale des courbes du rapport SO_4^{--}/Na^+ de l'essai 3 se rapproche de celle de l'essai 1 (GRAPH. VII-b) : forte prédominance de sodium au début de l'essai, prédominance qui diminue avec le temps pour se maintenir à un certain niveau (de 1 à 3 suivant l'horizon) après 5 arrosages. Par contre, dans le cas de l'irrigation à l'eau sulfatée (essai 2), la proportion de l'ion sulfate croît régulièrement au cours de l'opération suivant une fonction du premier degré — une droite (diminution progressive du sodium dans les eaux de lavage).

3. Rapport HCO_3^-/Na^+

La présence de sels dans les eaux d'arrosage ne semble pas affecter l'allure générale des courbes de ce rapport (GRAPH. VII-c) : elles restent similaires. Toutefois, dans ces essais 2 et 3 le sodium paraît prédominer, même dans les deux premiers horizons (rapport inf. à 1).

4. Rapport $Cl^-/Ca^{++} + Mg^{++})$

L'allure générale des courbes de ce rapport paraît aussi similaire : faibles variations de ces valeurss dans les filtrats des horizons supérieurs et accroissement progressif du taux d'alcalino-terreux par rapport au taux d'ions chlore au cours de l'opération (GRAPH. VIII-c). Cet accroissement paraît rester relativement faible dans les essais 2 et plus important dans l'essai 3.

TABLEAU V **

Taux de sels exportés (en ‰)

	en grammes				en milliéquivalents		
Essai	ED_1*	ED_2*	ES	EM	ED_2	ES	EM
0- 5	1,010	0,577	3,539	3,886	21,7	107,3	121,5
5- 15	0,886	0,804	2,963	3,561	24,8	89,9	111,4
35- 45	2,464	2,457	5,353	6,170	71,2	164,2	186,3
65- 75	6,610	5,161	9,480	9,626	198,0	325,5	330,1
125-135	7,947	5,645	9,226	10,412	221,8	306,1	344,1

TABLEAU VI

Répartition des cations (en % de leur somme)

Anions	Cl			SO_4			HCO_3		
Essai	ED	ES	EM	ED	ES	EM	ED	ES	EM
0- 5	18,3	3,6	19,2	20,2	90,7	67,2	61,4	5,5	13,6
5- 15	20,2	3,6	19,7	22,0	87,8	65,4	57,8	8,6	14,4
35- 45	67,7	31,7	39,9	14,5	61,4	48,6	17,9	6,8	11,5
65- 75	79,8	61,8	65,5	12,7	35,6	30,7	7,6	2,6	3,7
125-135	77,6	61,5	62,2	17,2	36,4	34,1	5,4	2,1	3,7

Répartition des anions (en % de leur somme)

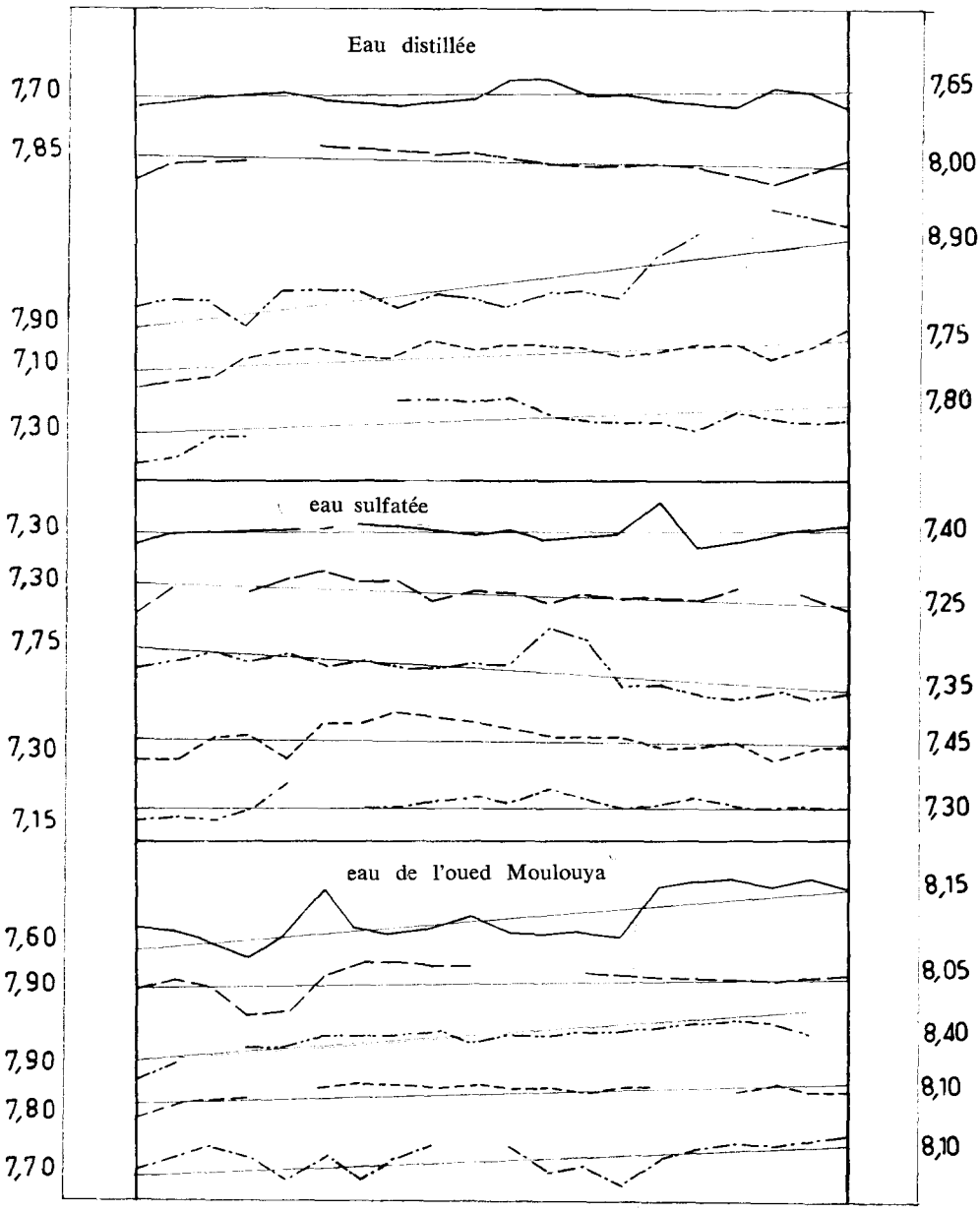
Cations	Na			Ca			Mg		
Essai	ED	ES	EM	ED	ES	EM	ED	ES	EM
0- 5	27,2	5,0	20,7	27,0	85,6	29,7	45,8	9,6	49,6
5- 15	35,2	27,4	31,7	24,0	60,8	25,6	40,7	11,8	42,7
35- 45	66,6	49,6	64,4	12,5	39,3	13,3	28,9	11,1	22,2
65- 75	62,6	53,0	54,7	14,0	30,2	17,0	28,4	16,8	28,3
125-135	55,9	52,4	56,4	16,6	27,6	16,3	27,6	20,1	27,3

* ED_1 - 1re série d'essai, ED_2 - 2e série d'essai.

** Les tableaux 1, 2, 3 et 4 figurent dans la 1re partie, Cf. Al Awamia 14.

GRAPHIQUE XV

Variation du PH au cours des lavages



5. Rapport $SO_4^{--}/Ca^{++} + Mg^{++})$

La présence simultanée de sulfates et d'alcalino-terreux dans les eaux d'arrosage semble profondément modifier l'évolution du rapport $SO_4^{--}/Ca^{++} + Mg^{++})$.

Dans le cas des irrigations avec l'eau de la Moulouya, il est resté relativement constant au cours de l'expérience, tandis que dans l'essai 2, il a augmenté régulièrement avec le nombre d'arrosages (GRAPH. VIII-b) (diminution des alcalino-terreux).

6. Rapport $HCO_3^-/(Ca^{++} + Mg^{++})$

Comme dans le cas du rapport HCO_3^-/Na^+, l'allure des courbes de ce rapport ressemble à celle de l'essai 1 (GRAPH. VIII-c). Notons la prédominance des alcalino-terreux par rapport aux bicarbonates dans l'essai 2, celle-ci diminuant dans les essais 3 et 1.

C. Taux de sels exportés et leur nature

a. Taux de sels exportés

Après avoir suivi dans les précédentes pages la dynamique de l'élimination des différents constituants de la salure, il serait nécessaire d'étudier aussi la composition chimique des résidus recueillis au cours de l'expérience. Dans ce but, nous avons calculé d'abord les taux globaux de sels exportés par essai et par horizon, ainsi que leur composition chimique (cationique et anionique) en additionnant les résultats partiels obtenus après chaque arrosage. Les alcalino-terreux n'étant dosés que globalement, sans distinguer le calcium du magnésium, nous avons estimé leur teneur en milliéquivalents-grammes d'après la somme des anions.

Dans le tableau V nous donnons ces taux globaux, exprimés, soit en grammes par kilo de terre, soit en milliéquivalents grammes pour 1 000.

On peut remarquer d'abord que les taux globaux des sels varient dans les deux séries d'essais à l'eau pure, la deuxième série ED_2 étant moins salée que la première ED_1. La quantité de sels exportés au cours des essais 2-ES (eau sulfatée) et 3-EM (oued Moulouya) est supérieure à celle obtenue par le lavage à l'eau pure 1-ED. Cet accroissement du taux de résidu sec est dû à la présence des sels dans l'eau d'irrigation. Les quantités de sels exportés au cours des essais 2

(*) ED-4 = lavage à l'eau pure - 4e horizon ; EM-5 = lavage à l'eau de la Moulouya 5e horizon ; ES-5 = lavage à l'eau sulfatée 5e horizon.

et 3 sont similaires, leur taux dans les eaux d'irrigation étant très proche.

b. Nature des sels

Il nous a paru intéressant de connaître la nature des sels exportés au cours de ces essais. Dans les tableaux VI nous donnons leur composition cationique et anioniques, en % de leurs résidus totaux respectifs. En ce qui concerne le calcium et le magnésium non séparés au cours de l'analyse, nous les avons estimés, en tenant compte des données du tableau II (composition des extraits aqueux) et du tableau III (composition de l'eau de la Moulouya). Dans cette estimation nous nous sommes bassé sur le fait que dans les extraits secs de notre profil et de l'eau de la Moulouya le calcium et le magnésium se trouvaient en quantités équivalentes.

1. Composition chimique des résidus secs

Les sels provenant du lavage à l'eau pure des horizons supérieurs non salés (1 et 2) sont caractérisés par la prédominance des bicarbonates, principalement alcalino-terreux. En profondeur, les sels sont constitués surtout par des chlorures, le taux de sulfate variant peu d'un horizon à l'autre.

L'apport de sels par les eaux d'irrigation modifie, comme on pouvait s'y attendre, la composition chimique des résidus. Il faut noter d'abord leur enrichissement en sulfates, dans les essais 2 (ES) et 3 (EM). Toutefois, la richesse en chlorure des horizons inférieurs fait baisser le taux relatif de cet anion malgré sa présence dans les eaux d'arrosage. Les résidus du lavage des horizons profonds des essasis 2 et 3 contiennent donc beaucoup de chlorures, tandis que le taux de bicarbonates baisse sensiblement dans ces mêmes horizons. L'apport du sulfate de calcium seul par les eaux d'arrosage dans l'essai 2 enrichit les percolats en calcium. Par contre, la proportion de cations alcalins et alcalino-terreux dans les résidus des essais 1 et 3 reste similaire.

La composition chimique des résidus de l'essai 3 (arrosage à l'eau de la Moulouya EM), se rapproche donc de celle de l'essai 1, (arrosage à l'eau pure — ED), tandis que celle de l'essai 2 (arrosage à l'eau sulfatée — ES) en diffère sensiblement.

2. Variation de la composition chimique des résidus au cours des lavages

Les résultats exposés dans les pages précédentes ne concernent que la composition chimique des résidus globaux. Il nous a paru inté-

TABLEAU VII

Quantité d'anions exportés en milliéquivalents-grammes par kilo de terre au cours des lavages successifs.

		ED			EM			ES		
		Cl	SO_4	HCO_3	Cl	SO_4	HCO_3	Cl	SO_4	HCO_3
0- 5	I	1,85	0,79	2,45	5,24	20,17	3,41	1,84	24,15	1,45
	II	0,80	0,48	2,47	5,96	19,92	4,35	0,91	20,23	2,09
	III	0,52	0,28	2,62	5,13	20,99	4,30	0,62	23,25	1,57
	IV				5,89	20,21	4,25			
5- 15	I	2,03	2,64	4,24	4,93	19,46	3,97	1,89	22,13	3.05
	II	0,85	1,38	4,83	6,15	21,78	4,60	0,46	20,14	2.34
	III	0,98	0,81	3,20	6,39	20,41	4,66	0,51	23,10	1,88
	IV				6,24	20,25	4,53			
35- 45	I	52,29	6,35	3,68	54,52	28,58	2,75	51,68	30,16	3,59
	II	2,20	3,38	3,16	8,69	23,57	6,00	2,78	25,68	3,07
	III	0,75	1,42	3,78	6,15	22,45	4,60	1,09	22,89	2,60
	IV	0,55	0,64	3,35	5,34	18,67	5,26	0,54	22,22	2,00
65- 75	I	107,55	13,98	2,23	202,07	44,07	4,25	192,78	44,37	2,39
	II	28,00	6,47	2,37	13,36	23,95	4,64	4,44	27,43	2,58
	III	5,76	3,07	2,21	6,40	21,75	4,36	2,20	21,98	1,84
	IV	1,35	2,02	2,29	6,29	22,39	4,25	0,71	22,08	1,61
125-135	I	144,21	33,06	2,66	172,76	44,63	3,53	183,94	43,29	1,60
	II	16,15	8,91	2,36	27,15	25,35	3,35	54,85	34,65	1,64
	III	0,80	3,43	3,25	10,29	27,96	2,61	13,29	31,37	1,86
	IV	0,70	2,57	2,80	7,14	23,54	3,99	1,04	24,74	1,59

ressant de suivre les changements de cette composition tout le long de l'opératiton. Dans ce but, nous avons calculé la composition anionique des résidus partiels en groupant les cinq lavages successifs. Ces données sont représentées dans le tableau VII.

On voit bien d'après les données de ce tableau que les chlorures sont pratiquement éliminés au début de l'opération (période 1) même dans les horizons salés. Toutefois, dans certains cas (ED-4, EM-5 et ES-5 (*) l'élimination continuait au cours de la deuxième période. Après dix lavages successifs, la quantité de chlorures exportés est descendue au-dessous de 1,0 meq °/₀₀ dans les essais 1 (ED) et 2 (ES). Par contre, le taux de chlorures restait toujours supérieur à 5 méq °/₀₀ dans les essais 3 (EM), où l'eau d'arrosage contenait cet anion.

Le comportement des sulfates dans l'essai 1 (ED) a été comparable à celui des chlorures : élimination massive au début de l'opération. Au cours des lavages successifs, leur taux est descendu jusqu'à 2 méq °/₀₀ dans les horizons salins (3,4 et 5) et au-dessous de 1 méq °/₀₀ dans les horizons supérieurs. Par contre, dans les essais 2 (ES) et 3 (ED), où les eaux d'arrosage contenaient cet anion, leur taux se maintenait au-dessus de 20 méq °/₀₀.

Toutefois, malgré leur présence dans les eaux d'arrosage dans les essais ES et EM, on constate l'élimination rapide des sulfates au début de l'opération (période 1) dans les horizons profonds (4 et 5), comme dans le cas de l'irrigation à l'eau pure (ED).

En ce qui concerne les bicarbonates, leur taux est resté constant dans tous les essais tout au long de l'expérience. Il semble toutefois que la quantité de bicarbonates éliminés est plus élevée dans l'essai d'irrigation à l'eau de la Moulouya (qui contient cet anion) et plus faible dans l'essai à l'eau sulfatée, comme le montre le tableau VIII, ci-après.

TABLEAU VIII

ED			EM		ES	
0- 5	7,9		16,5		5,9	
5- 15	14,4	13,3	16,1	18,8	7,7	9,5
35- 75	12,2		21,4		11,2	
65- 75	9,1	9,8	12,2	12,5	8,5	7,3
120-135	10,9		12,7		6,1	

La présence du sulfate de calcium seul dans l'eau d'arrosage paraît donc diminuer la formation et l'élimination de bicarbonates. Il en serait de même dans les horizons profonds des essais 1 (ED) et 2 (ES), surtout si l'on élimine l'horizon superficiel (0-5), toujours pauvre en cet élément. Il semble aussi que dans tous les essais le taux de bicarbonates éliminé du 3e horizon (35-45), fortement alcalisé (sodium échangeable = 21 % de la capacité d'échange des bases) a été plus élevé que dans les autres. S'agit-il de la mobilisation du sodium échangeable formant avec l'ion CO_3^- du bicarbonate de sodium, qui se transformerait ensuite en bicarbonate alcalino-terreux ?

3. Composition minéralogique « hypothétique » des résidus secs

Pour se rendre compte de la nature des sels exportés au cours de notre étude nous avons calculé d'après les indications de R. FREY (3) la composition minéralogique « hypothétique » des résidus aussi bien totaux que partiels. « Les règles de combinaisons, d'après cet auteur, sont les suivantes : On unit d'abord le chlorure au potassium, puis au sodium, s'il y a lieu, au magnésium puis au calcium. On unit SO_4 au sodium s'il en reste, puis au calcium, enfin au magnésium. Les restes éventuels de calcium et de magnésium sont unis à CO_2 ». Ces différents sels sont calculés en % du résidu sec, total ou partiel.

La composition minéralogique « hypothétique » des résidus totaux (après 20 lavages) est représentée dans le tableau IX.

D'après les données de ce tableau on peut se rendre compte qu'au cours du lavage des trois premiers horizons, les chlorures passeraient sous forme de chlorure de sodium, tandis qu'en profondeur on verrait apparaître à côté de sels les chlorures alcalino-terreux (magnésium).

Les sulfates seraient présents surtout sous forme de sulfate de calcium et de magnésium sauf dans les résidus des essais 1 où ce dernier (sulfate de magnésium) paraît faire défaut. Toutefois, dans les horizons supérieurs, il se formerait, en plus du sulfate de calcium, du sulfate de sodium qui disparaîtrait en profondeur.

Enfin les bicarbonates se trouveraient sous forme de carbonate de magnésium.

Ces résultats complètent les conclusions auxquelles nous sommes arrivés après l'étude des différents rapports entre les cations et les anions.

TABLEAU IX

Variation de la composition minéralogique du résidu total (20 lavages) suivant la profondeur (en % du résidu total)

Horizons	ClNa	Cl_2Mg	Cl_2Ca	SO_4Na_2	SO_4Ca	SO_4Mg	HCO_3Na	$(HCO_3)_2Ca$	$(HCO_3)_2Mg$	RS
Lavage à l'eau distillée (ED)										
0- 5	22,8	—	4,0	—	14,0	—	—	59,2	—	13,4
5- 15	15,8	—	—	22,0	—	—	5,7	56,5	—	23,1
35- 45	63,6	5,0	—	—	15,7	—	—	2,5	13,7	75,7
65- 75	66,6	13,9	—	—	14,7	—	—	2,3	2,8	177,5
125-135	60,6	12,7	—	—	19,7	1,3	—	—	5,7	191,9
Lavage à l'eau de l'oued Moulouya (EM)										
0- 5	19,2	—	—	1,9	52,6	12,7	—	—	13,6	121,5
5- 15	19,7	—	—	12,5	45,2	8,2	—	—	14,4	111,4
35- 45	39,9	—	—	26,5	16,8	5,3	—	—	11,5	186,3
65- 75	56,4	9,1	—	—	21,8	8,9	—	—	3,7	330,1
125-135	58,0	4,2	—	—	21,0	13,1	—	—	3,7	344,1
Lavage à l'eau sulfatée (ES)										
0- 5	3,7	—	—	1,5	89,2	—	—	5,5	—	107,3
5- 15	3,6	—	—	25,1	62,7	—	—	8,6	—	89,9
35- 45	31,7	—	—	18,2	40,0	3,3	—	—	6,8	164,2
65- 75	54,5	7,3	—	—	35,3	0,3	—	2,6	—	325,4
125-135	52,4	9,1	—	—	27,6	8,8	—	2,2	—	306,1
Composition minéralogique de l'eau de l'oued Moulouya										
	22	—	—	4	52	7	—	—	15	
Composition minéralogique du résidu sec (détermination de la salure)										
0- 5	12	—	—	—			29	84	—	
5- 15	7	—	—	—			56	37	—	
35- 45	53	—	—	—			29	6	6	
65- 75	69	6	—	—			—	6	6	
125-135	46	26	—	—			—	15	2	

* RS - résidu sec.

4. Variation de la composition minéralogique au cours du lessivage

Les résultats exposés dans les pages précédentes ne concernent que la composition minéralogique du résidu global exporté au cours des lavages. Il nous a paru intéressant de suivre aussi les changements de cette composition tout au long de l'opération. Dans ce but, nous avons calculé la composition minéralogique des résidus partiels en groupant les 5 lavages successifs. Les résultats de ces calculs sont présentés sous forme de tableaux (TABL. X-a,b,c).

Lavage à l'eau distillée

On peut se rendre compte qu'au cours de l'irrigation à l'eau distillée, le taux relatif de bicarbonate augmente avec le temps au détriment des autres anions éliminés du sol. On voit même apparaître le bicarbonate de sodium. Cette augmentation est plus sensible dans les horizons non salés et s'atténue dans les horizons profonds.

Les chlorures sont pratiquement lessivés de la masse du sol des horizons salins au bout des dix premiers lavages. Au début, ils sont représentés aussi bien par les chlorures alcalins qu'alcalino-terreux, surtout dans les premières fractions des filtrats. Ils semblent passer ensuite sous forme de chlorures alcalins (de sodium).

Les sulfates s'élimineraient aussi bien sous forme de sulfates alcalins qu'alcalino-terreux. Les premiers (alcalins) paraissent surtout se former au cours de la deuxième partie de l'opération, au détriment des sulfates alcalino-terreux dont le taux devient très faible (exceptiton faite de l'horizon superficiel). On assisterait alors à la mobilisation des sulfates dont le cation (sodium) proviendrait du complexe absorbant.

Lavage à l'eau sulfatée

L'arrosage à l'eau sulfatée a changé complètement la composition minéralogique du résidu.

La teneur en sulfates semble rester invariable au cours de l'expérience dans le premier horizon. Par contre, en profondeur (en dessous de 5 cm), les sulfates alcalins, qui semblaient faire défaut au cours des cinq premiers lavages, font leur apparition après l'élimination massive des chlorures. Ces derniers se trouveraient généralement sous forme de chlorures alcalins (sodium). Les chlorures alcalino-terreux, qui sont présents dans les premiers filtrats des horizons profonds (65-75 et 125-135) disparaissent à partir de la deuxième phase de l'opération.

TABLEAU X-a

Composition minéralogique « hypothétique » des résidus partiels

Lavage à l'eau distillée

PÉRIODES	Composition minéralogique							Composition anionique		
	RS	ClNa	Cl_2 (Ca, Mg)	SO_4Na_2	SO_4 (Ca, Mg)	HCO_3Na	$(HCO_3)_2$ (Ca, Mg)	Cl	SO_4	HCO_3
0-5										
1	5,0	23,8	12,9	0	15,6	0	48,6	36,7	15,6	48,6
2	3,9	20,6	0	2,3	10,0	—	67,1	20,6	12,5	67,1
3+4	3,5	15,1	—	3,0	5,3	—	75,6	15,1	8,3	75,6
5-15										
1	8,9	22,8	0	29,6	0	4,0	43,5	22,8	29,6	47,5
2	7,0	12,1	—	19,7	0	19,8	48,9	12,1	19,7	68,7
3+4	5,0	19,6	—	11,1	5,2	0	64,1	19,6	16,3	64,1
35-45										
1	62,3	83,9	0	0	10,2	0	5,9	83,9	10,2	5,9
2	7,3	30,2	—	26,5	0	1,9	41,4	30,2	26,5	43,3
3	4,9	15,2	—	28,9	—	2,1	55,8	15,2	28,9	57,9
4	4,5	12,1	—	14,2	—	21,7	52,0	12,1	14,2	73,7
65-75										
1	123,8	65,6	21,3	0	11,3	0	1,8	86,9	11,3	1,8
2	36,8	72,3	3,9	—	17,6	—	6,3	76,2	17,6	6,3
3	11,1	52,0	0	19,3	8,4	—	20,4	52,0	27,7	20,4
4	5,7	22,7	—	25,6	9,7	—	41,9	22,7	35,3	41,9
125-135										
1	177,8	61,2	18,8	0	18,6	—	1,5	80,0	19,7	1,5
2	27,4	58,9	0	7,0	25,5	—	8,6	58,9	8,3	8,6
3	7,5	10,7	—	45,9	0	3,3	40,0	10,7	45,9	43,3
4	6,1	11,5	—	39,7	2,7	0	46,1	11,5	42,4	46,1

TABLEAU X-b

Composition minéralogique « hypothétique » des résidus partiels

Lavage à l'eau de la Moulouya

PÉRIODES	Composition minéralogique							Composition anionique		
	RS	ClNa	Cl_2 (Ca, Mg)	SO_4Na_2	SO_4 (Ca, Mg)	HCO_3Na	$(HCO_3)_2$ (Ca, Mg)	Cl	SO_4	HCO_3
0-5		22	0	4	59	0	15	22	63	15
1	29,1	18,0	0	3,2	66,1	0	11,7	18,0	69,3	11,7
2	30,2	19,7	—	8,0	57,0	—	14,4	19,7	65,9	14,4
3	30,6	16,8	—	8,2	60,5	—	14,5	16,8	68,7	14,5
4	30,4	19,4	—	5,6	61,0	—	14,0	19,4	66,6	14,0
5-15										
2	28,4	17,4	0	20,6	48,0	0	14,0	17,4	68,6	14,0
1	32,7	18,8	—	18,9	48,0	—	14,3	18,8	66,9	14,3
3	31,5	20,3	—	18,0	46,9	—	14,8	20,3	64,9	14,8
4	31,1	20,1	—	19,5	45,7	—	14,6	20,1	65,2	14,6
35-45										
1	85,9	63,1	0	17,4	15,9	0	3,2	63,5	33,3	3,2
2	38,3	22,7	0	35,1	26,5	—	15,7	22,7	61,6	15,7
3	34,3	17,9	—	33,4	32,0	—	16,7	17,9	65,4	16,7
4	30,9	20,5	—	26,5	36,0	—	17,0	20,5	62,5	17,0
65-75										
1	250,4	63,2	17,5	0	17,6	0	1,7	80,7	17,6	1,7
2	42,2	31,7	0	25,3	32,0	—	11,0	31,7	57,3	11,0
3	32,5	19,7	—	22,3	44,6	—	13,4	19,7	66,9	13,4
4	32,9	19,1	—	15,7	52,3	—	12,9	19,1	68,0	12,9
135-145										
1	220,9	68,0	10,2	0	20,2	0	1,6	78,2	20,2	1,6
2	55,9	48,6	0	3,4	42,0	—	6,0	48,6	45,4	6,0
3	40,8	25,1	—	13,9	54,6	—	6,4	25,1	68,5	6,4
4	34,7	20,6	—	11,4	56,5	—	11,5	20,5	67,9	11,5

TABLEAU X-c

Composition minéralogique « hypothétique » des résidus partiels

Lavage à l'eau sulfatée

PÉRIODES	Composition minéralogique							Composition anionique		
	RS	ClNa	Cl_2 (Ca, Mg)	SO_4Na_2	SO_4 (Ca, Mg)	HCO_3Na	$(HCO_3)_2$ (Ca, Mg)	Cl	SO_4	HCO_3
0-5										
1	27,4	6,7	0	1,3	86,7	0	5,3	6,7	88,0	5,3
2	22,7	4,0	—	4,7	84,5	—	6,8	4,0	89,2	6,8
3+4	25,8	2,4	—	0,4	911	—	6,1	2,4	91,5	6,1
5-15										
1	27,0	7,0	0	39,5	42,4	0	11,1	7,0	81,9	11,1
2	22,9	2,0	—	52,2	35,6	—	10,2	2,0	87.8	10,2
3+4	25,5	2,0	—	10,8	79,9	—	7,3	2,0	90,7	7,3
35-45										
1	85,4	60,5	0	1,4	33,9	0	4,2	60,5	35,3	4,2
2	31,4	8,7	—	30,7	50,9	—	8,7	8,7	81,6	8,7
3	26,5	4,1	—	29,5	56,7	—	9,8	4,1	86,2	9,8
4	24,8	2,2	—	14,8	74,9	—	8,1	2,2	89,7	8,1
65-75										
1	239,8	50,6	29,7	0	18,9	0	0,7	80,3	18,9	0,7
2	34,5	12,9	0	37,4	42,1	—	7,5	12,9	79,5	7,5
3	26,2	8,9	—	16,7	67,1	—	7,8	8,9	83,8	7,8
4	24,4	2,2		14,8	74,9	—	8,1	2,9	89,7	8,1
125-135										
1	229,1	50,5	29,8	0	18,9	0	0,7	80,3	18,9	0,7
2	91,2	39,9	20,2	—	38,0	—	1,8	60,1	38,0	1,8
3	46,5	28,5	0	17,4	50,1	—	4,0	28,5	67.5	4,0
4	27,4	3,8	—	38,6	51,8	—	5,8	3,8	90,4	5,8

Lavage à l'eau de la Moulouya.

Les variations de composition des sels du résidu de l'essai 3 (arrosage à l'eau de la Moulouya) au cours du lavage seraient intermédiaires entre celles de l'essai 1 (lavage à l'eau distillée) et celles de l'essai 2 (arrosage à l'eau sulfatée). Les sulfates alcalino-terreux représentent la masse principale des sels des horizons supérieurs (0 à 5 et 5 à 15) au cours des lessivages successifs et leur pourcentage reste constant pendant toute la durée de l'opération. La teneur en sulfates du résidu provenant des horizons sous-jacents augmente progressivement avec le nombre des lavages, mais la proportion entre les sulfates alcalins et alcalino-terreux varie peu. Toutefois, les premiers semblent diminuer avec le nombre d'irrigation.

Si le taux de chlorure reste pratiquement constant pendant toute l'opération dans les filtrats des deux premiers horizons, celui des horizons profonds diminue brusquement à partir de la deuxième phase. Il reste toutefois assez appréciable vers la fin de l'essai.

Les bicarbonates sont présents à des taux constants dans les filtrats des deux premiers horizons. En profondeur, ils apparaissent progressivement, surtout vers la fin de l'opération.

5. Influence du nombre d'arrosage sur la composition des résidus secs totaux

Après avoir décrit dans les précédentes pages les variations de la composition « minéralogique » des percolats au cours des arrosages successifs, il serait intéressant de se rendre compte des changements qu'aurait subis la composition chimique ou « minéralogique » des résidus totaux secs au fur et à mesure de l'avancement du lessivage. Ces résidus totaux secs représentent la somme totale des sels éliminés du sol au cours de l'opération. Ils correspondent à la « salure » des sols.

Dans ce but nous avons fait figurer dans les tableaux XI ci-joints leur composition minéralogique à la fin de chaque période définie plus haut : 1, 1 + 2, 1 + 2 + 3 et 1 + 2 + 3 + 4. Cette composition est représentée en % du poids total du résidu. Dans ce tableau nous mentionnons en outre en méq ‰ les poids du résidu partiel et du constituant étudié (chlorure, sulfate, bicarbonate) pour la période donnée.

Lavage à l'eau distillée.

On peut d'abord noter que la composition « minéralogique » des résidus secs des percolats des horizons 1 et 2 non salés (12,4 et

TABLEAU XI-a

Compositon minéralogique « hypothétique » des résidus totaux successifs

Lavage à l'eau distillée

PÉRIODES	Composition minéralogique													Composition anionique		
	RS	ClNa		$Cl_2(Ca,Mg)$		SO_4Na_2		$SO_4(Ca,Mg)$		HCO_3Na		$(HCO_3)_2$ (Ca,Mg)		Cl	SO_4	HCO_3
		méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%			
0-5																
1	5,0	1,2	23,8	0,6	11,9	—	—	0,8	15,6	—	—	2,4	40,6	35,7	15,6	48,6
2	3,9		22,4	0	6,7	0,1	1,0	0,4	131	—	—	2,6	56,7	29,1	14,1	56,7
3+4	3,5	0,5	20,3	0	4,8	0,1	1,5	0,2	11,0	—	—	2,7	65,2	25,1	12,5	65,2
5-15																
1	8,9	2,0	22,8	—	—	2,6	29,6	—	—	0,4	4,0	3,9	43,4	22,8	29,6	47,4
2	7,0	0,9	18,1	—	—	1,4	25,2	—	—	1,4	11,0	3,4	45,8	18,1	25,2	56,8
3+4	5,0	1,0	18,4	—	—	0,6	21,9	—	—	0	8,4	3,2	50,1	18,4	21,9	58,1
35-45																
1	62,3	52,3	83,9	—	—	—	—	16,4	10,2	—	—	3,7	5,9	83,9	10,2	5,9
2	7,3	2,2	78,3	—	—	1,9	2,8	0	9,2	0,1	0,2	3,0	9,6	78,3	12,0	9,8
3	4,9	0,7	74,1	—	—	1,4	4,5	—	8,6	0,1	0,3	2,7	12,7	74,1	13,1	13,0
4	4,5	0,5	70,6	—	—	0,6	5,0	—	8,1	1,0	1,5	2,3	14,9	70,6	13,1	16,4
65-75																
1	123,8	81,2	65,6	26,3	21,3	0	0	14,0	11,3	—	0	2,2	1,8	86,9	11,3	1,8
2	36,8	26,6	67,1	1,4	17,3	—	0	6,5	12,7	—	0	2,3	2,8	84,4	12,7	2,8
3	11,1	5,8	66,1	0	16,2	2,1	1,2	0,9	12,5	—	—	2,3	4,0	82,3	13,7	4,0
4	5,7	1,3	64,8	—	15,7	1,5	2,0	0,6	12,4	—	—	2,4	5,2	80,5	14,4	5,2
125-135																
1	177,8	108,8	61,2	33,4	18,8	0	0	33,1	18,6	0	0	2,7	1,5	80,0	18,6	1,5
2	27,4	16,1	60,9	0	16,3	1,9	0,9	7,0	19,5	—	—	2,4	2,5	77,2	20,4	2,5
3	7,5	0,8	59,1	—	15,7	3,4	2,5	0	18,8	0,3	0,1	3,0	3,8	74,8	21,3	3,8
4	6,1	0,7	57,8	—	15,3	2,4	3,6	0,2	18,4	0	0,1	2,8	5,0	73,1	22,0	5,0

TABLEAU XI-b

Compositon minéralogique « hypothétique » des résidus totaux successifs

Lavage à l'eau de la Moulouya

PÉRIODES	Composition minéralogique													Composition anionique		
	RS	ClNa		$Cl_2(Ca,Mg)$		SO_4Na_2		$SO_4(Ca,Mg)$		HCO_3Na		$(HCO_3)_2(Ca,Mg)$		Cl	SO_4	HCO_3
		méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%			
0-5			*22*		—		*4*		*59*		—		*15*	*22*	*63*	*15*
1	29,1	5,2	18,0	0	0	0,9	3,2	19,5	67,1	—	—	3,4	11,7	18,0	70,3	11,7
2	30,2	6,0	18,9	0	—	2,4	5,6	17,5	62,4	—	—	4,4	13,1	18,9	68,0	13,1
3	30,6	5,1	18,2	—	—	2,5	6,3	18,5	61,8	—	—	4,4	13,6	18,2	68,1	13,6
4	30.4	5,9	18,5	—	—	1,7	6,3	18,5	61,6	—	—	4,3	13,7	18,5	67,9	13,7
5-15																
1	28,4	4,9	17,4	—	—	5,9	20,6	13,6	48,0	—	—	4,0	14,0	17,4	68,6	14,0
2	32,7	6,2	18,1	—	—	6,2	19,7	15,7	48,0	—	—	4,7	14,2	18,1	67,7	14,2
3	31,5	6,3	18,8	—	—	5,7	19,1	14,8	47,6	—	—	4,7	14,4	18,8	66,7	14,4
4	31,1	6,3	19,2	—	—	6,1	19,2	14,2	47,1	—	—	4,5	14,4	19,2	66,3	14,4
35-45																
1	85,9	54,6	63,5	—	—	15,0	17,4	13,7	15,9	—	—	2,8	3,2	63,5	33,3	3,2
2	38,3	22,7	50,9	—	—	13,4	22,8	10,2	19,2	—	—	6,0	7,1	50,9	42,0	7,1
3	34,3	17,9	43,8	—	—	11,5	25,1	11,0	21,9	—	—	5,7	9,1	43,8	47,0	9,1
4	30,9	20,5	40,0	—	—	8,2	25,4	11,1	24,2	—	—	5,2	10,4	40,0	49,6	10,4
65-75																
1	250,4	158,3	63,2	43,8	17,5	0	—	44,1	17,6	—	—	4,3	1,7	80,7	17,6	1,7
2	42,2	13,3	58,7	0	15,0	10,7	3,6	13,5	19,7	—	—	4,6	3,0	72,8	23,3	3,0
3	32,5	6,4	54,8	—	13,5	7,3	5,5	14,5	22,2	—	—	4,4	4,1	68,3	27,7	4,1
4	32,9	6,3	51,5	—	12,2	5,2	6,5	17,2	24,9	—	—	4,2	4,9	63,7	31,4	4,9
135-145																
1	220,9	150,2	68,0	22,5	10,2	0	—	44,6	20,2	—	—	3,5	1,6	78,2	20,2	1,6
2	55,9	27,2	64,1	0	8,1	1,9	0,7	23,5	24,6	—	—	3,4	2,5	72,2	25,3	2,5
3	40,8	10,2	59,1	—	7,1	5,7	2,4	22,3	28,5	—	—	2,6	3,0	66,2	30,9	3,0
4	34,7	7,2	55,3	—	6,4	4,0	3,3	19,6	31,2	—	—	4,0	3,8	61,7	34,5	3,8

TABLEAU XI-c

Compositon minéralogique « hypothétique » des résidus totaux successifs

Lavage à l'eau sulfatée

PÉRIODES	Composition minéralogique													Composition anionique		
PÉRIODES	RS	ClNa		$Cl_2(Ca,Mg)$		SO_4Na_2		$SO_4(Ca,Mg)$		HCO_3Na		$(HCO_3)_2(Ca,Mg)$		Cl	SO_4	HCO_3
		méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%	méq	%			
0-5																
1	27,4	1,8	6,7	—	—	0,4	1,3	23,8	86,7	—	—	1,5	5,3	6,7	88,0	5,3
2	22,7	0,9	5,5	—	—	1,4	2,8	19,2	85,7	—	—	1,5	6,0	5,5	88,5	6,0
3+4	25,8	0,6	4,4	—	—	0,1	1,9	23,5	87,6	—	—	1,6	6,0	4,4	89,5	6,0
5-15																
1	27,0	1,9	7,0	—	—	10,7	39,5	11,5	42,4	—	—	3,0	11,1	7,0	81,9	11,1
2	22,9	2,4	4,7	—	—	12,0	45,3	8,2	39,3	—	—	5,3	10,7	4,7	84,6	10,7
3+4	25,5	2,9	3,8	—	—	2,8	33,6	20,4	53,0	—	—	7,2	9,5	3,8	86,6	9,5,
35-45																
1	85,4	51,7	60,5	—	—	1,2	1,4	29,0	33,9	—	—	3,6	4,2	60,5	35,3	4,2
2	31,4	2,7	46,7	—	—	9,8	9,3	15,9	38,4	—	—	3,1	5,7	46,7	47,7	5,7
3	26,5	1,1	38,7	—	—	7,8	13,0	15,0	41,8	—	—	2,6	6,4	38,7	54,8	6,4
4	24,8	0,6	33,3	—	—	3,7	13,3	18,6	46,7	—	—	2,0	6,7	33,3	60,0	6,7
65-75																
1	239,0	120,9	50,6	71,2	29,8	0	0	45,2	18,9	—	—	1,7	0,7	80,4	18,9	0,7
2	34,5	4,5	45,7	0	26,0	12,9	4,7	14,5	21,8	—	—	2,6	1,7	71,7	26,5	1,7
3	26,2	2,3	42,5	—	23,7	4,4	5,8	17,6	25,8	—	—	2,0	2,1	66,2	31,6	2,1
4	24,4	0,7	39,5	—	21,9	2,9	6,2	19,2	29,8	—	—	1,6	2,4	61,4	36,0	2,4
135-145																
1	229,1	115,7	50,5	68,3	29,8	0	0	43,3	18,9	—	—	1,6	0,7	80,3	18,9	0,7
2	91,2	36,4	47,5	18,4	27,1	—	—	34,7	24,3	—	—	1,6	1,0	74,6	24,3	1,0
3	46,5	13,3	45,1	0	23,6	8,3	2,3	23,3	27,6	—	—	1,9	1,5	68,7	29,9	1,5
4	27,4	1,0	42,2	—	21,9	10,6	4,8	14,2	29,3	—	—	1,6	1,8	64,1	34,1	1,8

20,9 méq) * reste relativement constante quelque soit le nombre de lavages. On observe seulement, au fur et à mesure du déroulement de l'opération, une légère diminution de leur teneur en chlorures et en sulfates et l'enrichissement progressif en bicarbonates.

Dans le troisième horizon, moyennement salé (79,0 méq °/₀₀), on note une diminution sensible des chlorures dont le taux dans le résidu passait de 83,9 méq à 70,0 et un accroissement du taux de bicarbonates, la teneur en sulfates, dans les résidus successifs restant sans changement notable.

Dans les horizons profonds (4 et 5), fortement salés (respectivement 177,4 et 218,8 méq °/₀₀), la composition minéralogique des résidus successifs varie de nouveau relativement peu. Dans ce cas, la composition « minéralogique » ou chimique est déterminée par la nature des premiers percolats très chargés en sels et varie ensuite lentement. Dans le cas des sols de la plaine de Zebra, on constate une légère diminution du taux de chlorure et l'enrichissement en sulfates et en bicarbonates dans les résidus totaux successifs. Un fait est à souligner : les chlorures alcalino-terreux qui passaient seulement au cours de la première période, seraient présents dans les résidus totaux des extractions suivantes malgré leur absence dans les percolats ultérieurs. Par contre, les sulfates alcalins, absents dans les premiers filtrats apparaissent dans les résidus totaux au fur et à mesure de l'avancement du lessivage.

Lavage à l'eau de l'oued Moulouya.

La composition chimique et minéralogique des résidus secs totaux des percolats successifs provenant du lavage des horizons supérieurs (1 et 2) peu salés se rapproche de celle des eaux d'irrigation, surtout vers la fin de l'opération.

Le taux de chlorure augmente dans les percolats des horizons peu (3) et fortement salés (4 et 5), tandis que celui de sulfate diminue par rapport à leur teneur dans l'eau de l'oued, sous l'effet de la salure initiale des sols. La différence entre la composition des résidus secs et celle de l'eau de l'oued est plus élevée au début du lavage dans les sols fortement salés et plus atténuée dans le sol moyennement salé (horizon 3). Au fur et à mesure du lessivage la composition chimique des résidus tend à se rapprocher de celle de l'eau d'irrigation. Toutefois, elle en reste sensiblement différente même vers la fin de l'opération. Ainsi, le taux de sulfate dans les résidus des derniers lavages du troisième horizon ne représente que 79 % de leur teneur

* on peut admettre qu'en moyenne 1,0 méq °/₀₀ correspond à 0,07 g de résidu.

dans les eaux d'irrigation et 50-55 % dans les résidus des lavages des quatrième et cinquième horizons. L'ensemble des changements de la composition chimique des résidus entre les premiers et derniers lavages conduit à une différenciation assez sensible des résidus.

Lavage à l'eau sulfatée.

Cette différence dans la composition des résidus des étapes successives du lessivage se fait sentir aussi dans le cas de l'arrosage à l'eau sulfatée seule et de la même manière que dans le cas de l'irrigation à l'eau de la Moulouya. L'absence de chlorures et de bicarbonates dans la solution employée fait augmenter la proportion de sulfates dans les résidus des percolats des horizons non salés au-delà de 80 %, sans que cette proportion atteigne 100 % (eau sulfatée). Dans les percolats des horizons salés, par contre, les proportions relatives des composants de la salure des résidus se rapprochent sensiblement de celles observées dans les résidus provenant de l'irrigation avec l'eau de la Moulouya.

D. Conclusion

1. Cette étude nous a montré que l'apport de sels par les eaux d'irrigation ne change pas d'une manière sensible la dynamique de l'élimination des sels d'un sol salin, surtout celle des composants mobiles comme les chlorures et qui restent, sur le plan physico-chimique, neutres par rapport aux constituants des sols. L'apport d'autres sels, par les eaux d'irrigation, tels que les sulfates, masque le processus naturel de leur élimination de la masse du sol suivant une loi exponentielle.

2. En ce qui concerne la composition chimique des résidus des percolats successifs on peut noter qu'elle subit des changements notables au cours du lessivage. Les eaux de percolation, riches en chlorures au début de l'opération, s'appauvrissent et s'enrichissent progressivement en sulfates et en bicarbonates quand le degré de salure diminue au cours du lessivage. Dans le cas de l'irrigation à l'eau saumâtre, la présence de sels dans le sol se manifeste au début de l'opération et la composition chimique des percolats se rapproche de celle de la salure des sols. Par la suite, leur composition tend, sans y arriver complètement, vers la composition des eaux d'irrigation.

3. Enfin, une dernière remarque s'impose. Elle intéresse la détermination de la nature de la salure et son bilan ionique ou la composition minéralogique.

En effet, le bilan ionique varie suivant le nombre de lavages et parfois d'une manière sensible.

Ces variations sont faibles dans le cas de l'irrigation à l'eau douce. Toutefois, certains sels peuvent apparaître si l'on augmente le nombre d'arrosages. Ces changements sont, par contre, plus sensibles dans le cas de l'irrigation à l'eau saumâtre et varient suivant la salure des sols. Dans les sols non salés la composition des résidus secs se rapproche de celle des eaux d'irrigation légèrement modifiée. Par contre, dans les sols fortement salés cette composition est très voisine de celle de la salure des sols et évolue progressivement vers la salure de l'eau d'irrigation au fur et à mesure de l'avancement de l'opération. Cet effet de la salure initiale des sols reste atténué dans les horizons ou sols moyennement salés.

ملخص

يعرض المؤلف في هذا العمل، في المرحلة الاولى قوة حركة الاغتسال لتربة بنية حمراء تحت تاثير الرشاش بماء يحتوي على الاملاح، ويدرس بعدذلك تاثير طبيعة مياه الرشاش على التركيب الكمائي للرواسب الجافة للمادة المصفية .

Résumé

Dans le présent travail, l'auteur expose, dans une première partie, la dynamique du lessivage d'un sol brun-rouge sous l'effet de l'arrosage avec une eau contenant des sels. Il étudie ensuite, l'influence de la nature des eaux d'arrosage sur la composition chimique des résidus secs des percolats.

Resumen

En la primera parte del presente trabajo el autor explica la dinámica del lavado de un suelo pardo-rojo regado con agua salobre Entonces estudia la influencia de la naturaleza de las aguas de riego sobre la composición química de los residuos secos del percolado.

Summary

The first part of this paper explains the dynamics of leaching in a red brown soil as influenced by irrigation with water containing salts. Subsequently the influence is studied of the nature of the irrigation waters on the chemical composition as shown in the dry residues of the percolates.

BIBLIOGRAPHIE

BRYSSINE, G. et G. CHEROTZKY — 1952. Note sur la relation entre la salure du sol, celle de l'eau d'arrosage et le régime des irrigations. — TSP SSNPM, T. 4-5, pp. 73-79, Rabat.

BRYSSINE, G., J. GAILLARDO et A. GROENEMAN — 1965. La dynamique du lessivage des sels d'un sol brun rouge steppique. — Al Awamia, N° 14, pp. 47-71, Rabat.

FREY, R. — 1933. Les analyses des eaux et leur interprétation géologique. — Notes et mémoires du Service des Mines et de la Carte géologique, N° 26, 68 p., Rabat.