

OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE DE LA

BASSE MOULOYA

RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT

DE LA RIVE GAUCHE DE LA BASSE MOULOYA

-:-:-

DEUXIEME PARTIE

Chapitre 8

C H I M I E D E S E A U X

POSSIBILITES ET LIMITES D'UTILISATION

Décembre 1962

I - HYDROCHIMIE

A.- Les eaux de surface

a) L'eau de la Moulouya : a une concentration variant approximativement de 430 (période de crue) à 1 100 mg/l (période d'étiage). La figure II-8-1 ci-contre et la pièce II-8-1 en annexe illustrent en détail cette variation.

Lorsque les crues seront absorbées par la retenue de Mechra-Klila, et compte tenu de l'évaporation qui en découlera, la concentration de l'eau d'irrigation se situera aux environs de 750 mg/l, avec des oscillations suivant les variations climatologiques et hydrologiques.

En ce qui concerne sa composition chimique (voir figure n° II-8-4), ce qu'il faut retenir c'est que l'eau de la Moulouya est, toute l'année, riche en sulfate, calcium et magnésium : il y a toujours en milliéquivalents, plus de calcium que de sodium et plus de sulfate que de chlore, les différences étant surtout fortes en hiver donc à l'époque où le débit de la Moulouya est le plus fort. Notons également qu'il y a aussi une proportion appréciable de magnésium (environ 30 %, en milliéquivalents, de la totalité des cations).

b) L'eau de l'oued Zelouane a les mêmes qualités chimiques que celle de la nappe phréatique puisqu'elle provient exclusivement de cette dernière. Elle est un peu plus chargée en sels à cause de l'évaporation plus active.

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

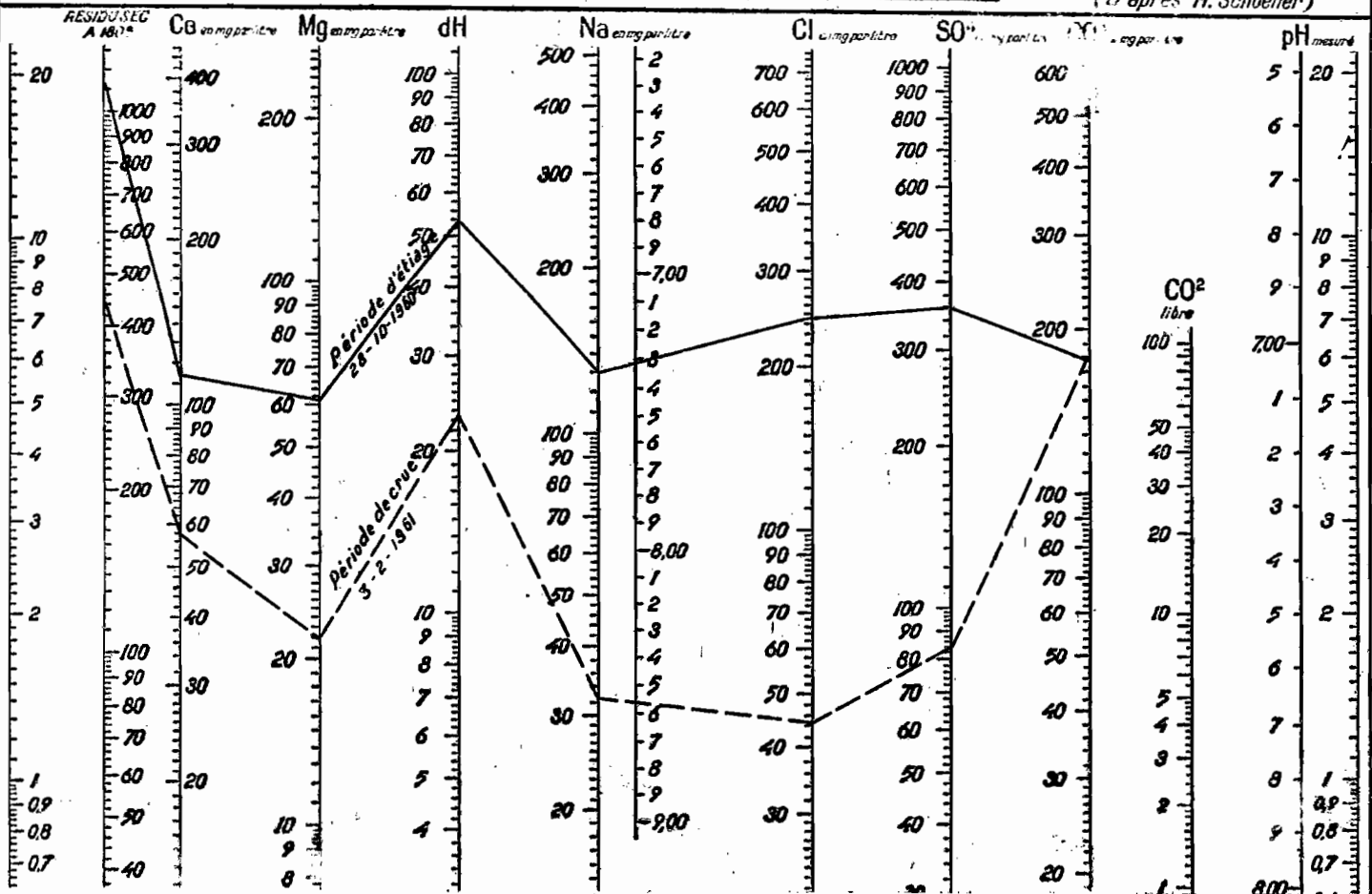
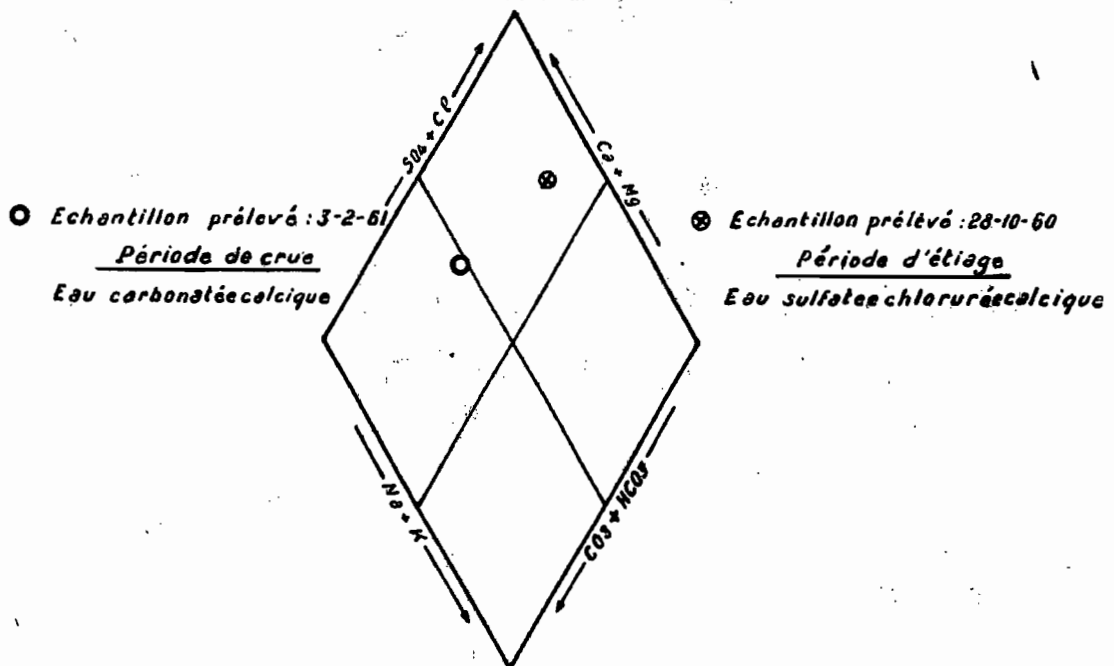


Diagramme en Losange



Détail du résultat d'analyse

Date:	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	CO ₂	Sel totaux Resistivimètre	r Mg r Ca	r SO ₄ r Cl	Dh
28-10-60	116	60.8	130	248.5	360	176.9	1130	0.8	1.1	54
3-2-61	58	21.9	33	44.4	84	189.1	450	0.6	1.4	23.5

Caractéristiques des eaux de la MOULOUYA
En période d'étiage et de crue

(Fig. II-8-1.)

En voici une analyse (en mg/l¹) (échantillon prélevé le 7 - 5 - 1962 au pont de Zelouane) :

Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	Résidu sec pesé
295	200	1143	2384	380	176	5 454

B.- Les eaux souterraines

a) Méthodes d'étude : 600 échantillons ont été prélevés dans les puits du Bou-Areg entre le 27 Janvier et le 7 Avril 1 962, et 450 dans le Gareb entre le 16 Avril et le 21 Juin 1962. Pour chaque échantillon on a déterminé les concentrations en Ca, Mg, Na, SO₄, et CO₃, ainsi que le résidu sec à 180° (pesé et calculé).

Ces résultats ont permis de constituer

- Deux cartes des zones d'égal résidu sec (Gareb et Bou-Areg) : pièces n° II-8-2 et 3 en annexe
- Deux diagrammes en losange (Gareb et Bou-Areg) : pièces n° II-8-5
- Une série de diagrammes logarithmiques : pièces n° II-8-6

Rappelons brièvement les principes de ces deux derniers :

1°) Soit un losange ABCD (fig. II-8-2). Sur les côtés CB et CD, on détermine les points E et F tels que

$$CE = \frac{rCa + rMg}{rCa + rMg + rNa} \times 100 \quad \text{et} \quad CF = \frac{rCO_3}{rCO_3 + rSO_4 + rCl} \times 100$$

r étant le milliéquivalent de l'ion considéré, soit sa teneur en milligrammes par litre divisée par le rapport poids atomique/ valence. En menant de E et F des parallèles respectivement à CD et CB, on détermine le point H représentant l'eau analysée. Cette méthode permet en particulier de différencier des types d'eau par leur position sur le diagramme, ainsi que leur mélange.

.../...

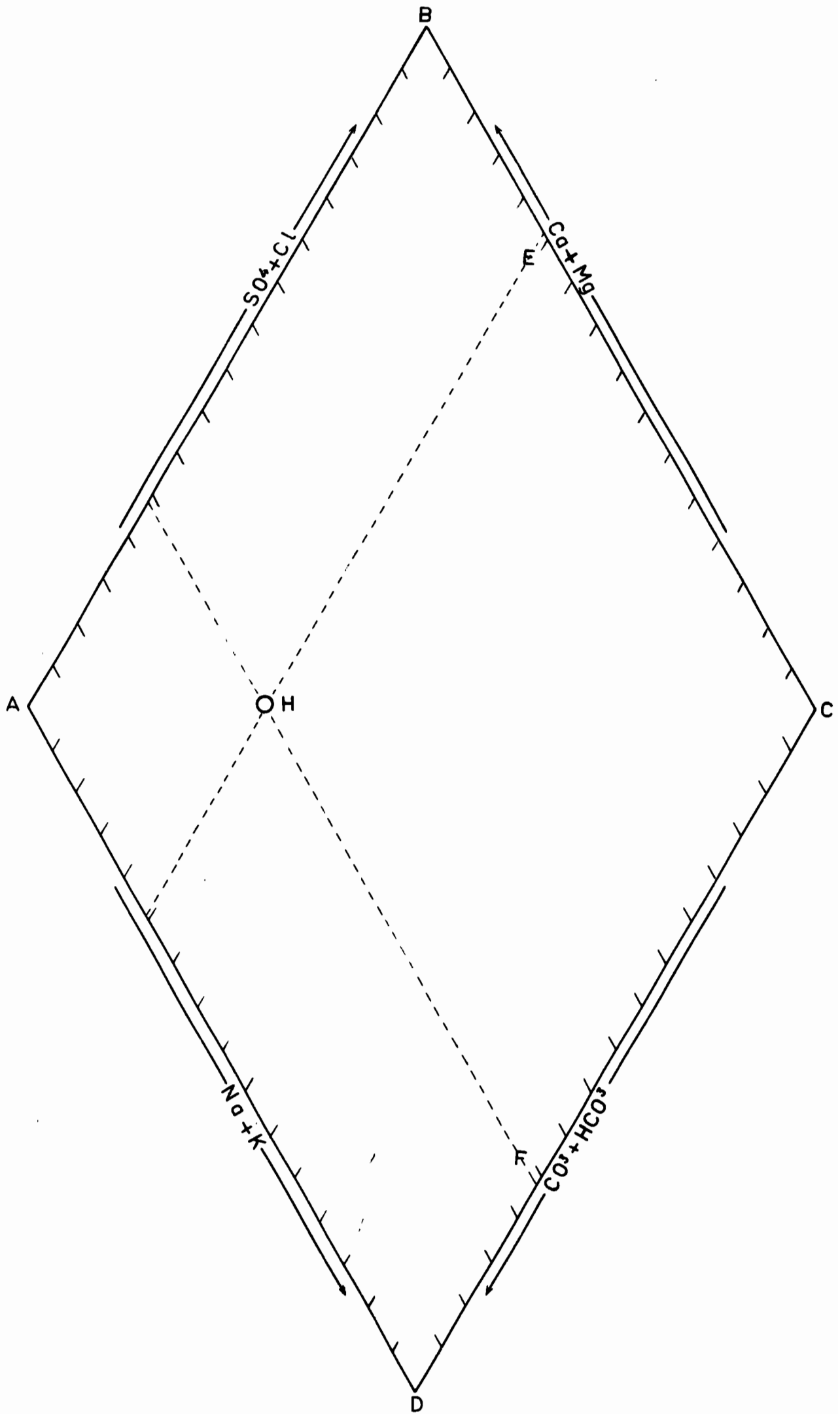


Fig. = II - 8 - 4

2°) Dans les diagrammes logarithmiques, mis au point par E. SCHELLER, on reporte sur des droites verticales les caractéristiques de l'eau (dosage de chaque ion en mg/l, dH, BS ...). La graduation logarithmique de chaque droite est établie de telle sorte que le type de l'eau apparait immédiatement d'après l'allure de la courbe joignant chaque point représentatif.

b) Qualités chimiques des eaux de la nappe phréatique du Gareb et du Bou-Areg : Les diagrammes en losange montrent que les eaux souterraines de ces deux plaines ont des caractéristiques très voisines.

1°) Concentration : La définition de ce terme est fonction de plusieurs paramètres (teneur de l'eau la plus douce, et nature de l'utilisation notamment, variables suivant les régions. On admettra ici qu'une eau est "concentrée" quand son résidu sec à 180 ° dépasse 2g/l.

La concentration des eaux de la nappe varie de 1 à 22 g/l. La répartition des concentrations telle qu'elle apparait sur la carte des résidus secs, suffit à faire comprendre pourquoi le développement agricole et social de la région se trouverait limité, voire condamné, sans apport d'eau extérieure.

2°) Répartition géographique : les principales zones où la salure est inférieure à 2g/l sont celles situées au piémont du Kerker et du Gourougou.

En effet, pour le Gourougou, les eaux n'ont que peu d'occasion de se charger en sels, apparemment pour les raisons suivantes:

- L'eau atmosphérique qui va alimenter la nappe n'est en contact qu'avec des basaltes trachytes et andésites.
- Les zones considérées sont situées à l'amont de la nappe (ce critère n'est cependant pas absolu).
- Enfin elles sont bien drainées.

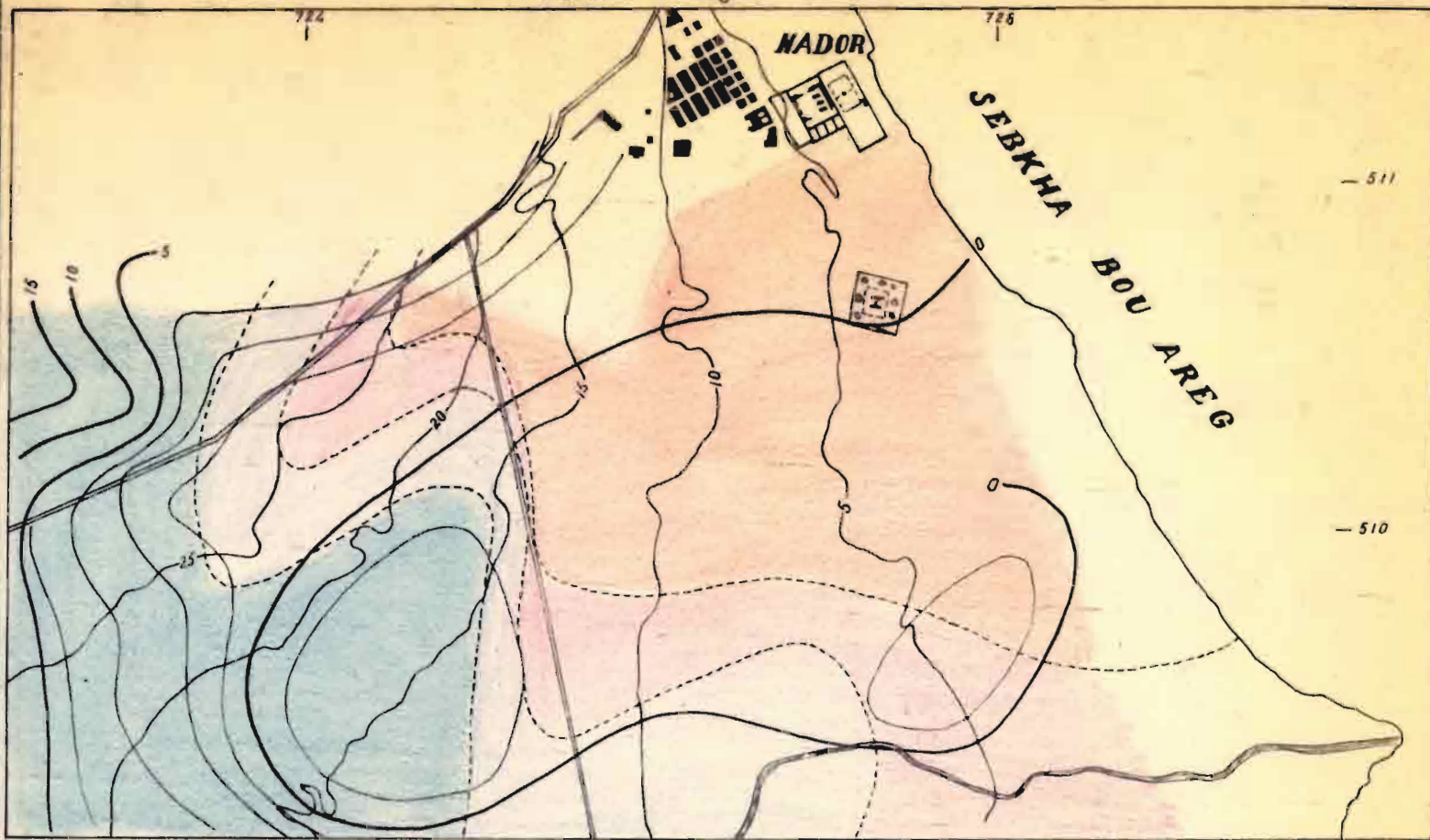
Dans le cas du Kerker, cette faible salinité est probablement due à une relation avec une nappe profonde. (voir 2° partie, chapitre 7, paragraphe II - G).

Dans le Gareb, il n'y a que 34 analyses sur 450 qui montrent une teneur inférieure à 2 g/l, et 40 une teneur comprise entre 2 et 3g/l. Ces chiffres correspondent à 6 km² et 10 km² respectivement, pour une superficie totale de 264 km².

EXTRAIT DES CARTES ISOPIEZOMETRIQUE ET DES ZONES D'EGAL RESIDU SEC

ECH. = 1/20.000

D'après les relevés d' Août 1958
Période d'étiage.



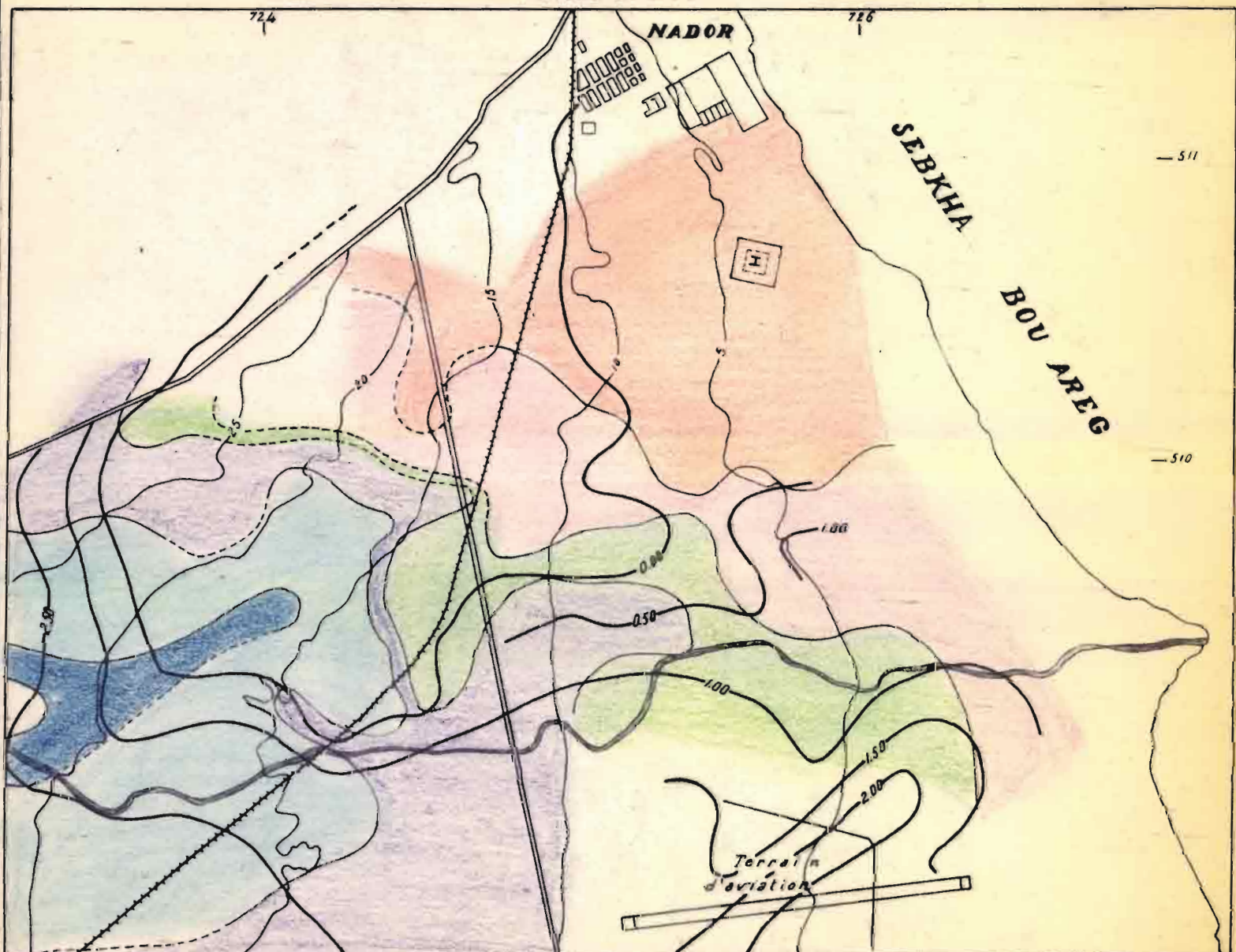
Résidu sec à 180° > 6 500 mg/l
 2 000 < R.S. < 4 000 mg/l
 4 000 < R.S. < 6 500 mg/l
 R.S. < 2 000 mg/l
 Courbe isopiézométrique

(Fig. II-8-3)

EXTRAIT DES CARTES ISOPIEZOMETRIQUE ET DES ZONES D'EGAL RESIDU SEC

ECH. = 1/20.000

D'après les relevés de Février 1962
Période de crue



1 000 < R.S. < 1 500
 1 500 < R.S. < 2 000
 2 000 < R.S. < 3 000
 3 000 < R.S. < 5 000
 5 000 < R.S. < 7 000
 7 000 < R.S.
 Courbe isopiézométrique.

Dans le Bou-Areg ; 100 échantillons sur 600 sont inférieurs à 2g/l, et 85 compris entre 2 et 3 g/l, soit respectivement 6 et 8 km² sur 195 km².

Les principales zones à très forte concentration sont :

- Le centre et le nord du Gareb, en raison d'un très mauvais drainage dû à la perméabilité très médiocre et au gradient très faible de la nappe.

- Une bande large de 1 km environ entre Zelouane et les marais salants, à cause d'une forte évaporation et d'un mauvais drainage.

- Enfin, la zone côtière située entre Nador et le terrain d'aviation étudiée ci-après .

3°) Cas particulier d'invasion marine : des pompages

intenses pour

l'irrigation de la zone située entre Nador et le terrain d'aviation ont provoqué dans ce secteur un appel d'eau de mer dans la nappe phréatique, très basse à cet endroit. Les deux cartes ci-contre permettent de localiser cette zone et d'en définir l'accroissement. En première lecture, la zone très salée de la 2ème carte paraît plus réduite que celle de la première. En fait il y a augmentation du secteur envahi, ce dont on peut se rendre compte après les remarques suivantes :

- dans la carte d'août 1958, la zone à concentration maximum est limitée par R.S 6,5 g/l, alors que c'est 7 g/l pour la zone correspondante de l'autre carte. Si on rapporte celle-ci à 6,5 g/l sa superficie sera plus grande.

- d'autre part, et surtout, la carte supérieure correspond à une période d'étiage, alors que l'autre est représentative d'une période de crue. L'oued figuré sur la carte au nord du terrain d'aviation a une grosse importance, attestée ne serait-ce que par l'alluvionnement de son embouchure. Pendant la période de Février 1962, la nappe phréatique a drainé une partie des eaux de crue de cet oued (ce qui est notamment visible dans l'élévation des courbes isopièzes); ceci a entraîné une diminution provisoire de la salure.

Compte tenu de ce qui précède, il ne fait aucun doute que la zone envahie est en accroissement, ce dont on peut d'ailleurs se rendre compte en considérant l'avancée de l'éperon situé au Sud-Ouest de la zone considérée, qui n'a pas été influencé par la crue.

TABLEAU N° II - 8 - I

RESULTS D'ANALYSES

(voir diagrammes logarithmiques et en losanges en annexe)

-:-:-

NAPPE DU GAREB

n° du pt. eau	Ca	Mg	Na	Cl	SO4	CO3	résidu sec		DH.	
							180°	100°		
							p/Calcul	rCa	rCl	

Exemples de qualité n° I : Sans prédominance nette d'anions ni de cations.

76	29	11	46	56	27	68	237	0,6	0,3	12
248	194	126	292	560	157	412	1741	1,1	0,2	100,40

Exemples de qualité n° II : Chlorurée, Sulfatée, Calcique, Magnésienne.

996	400	434	424	2300	391	328	4277	1,8	0,2	220
-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	-----	-----	-----

Exemples de qualité n° IV: Chlorurée, Sulfatée, Sodique

1012	153	170	884	1564	391	236	3298	1,8	0,2	108
51	156	487	2983	5656	568	192	10042	6,4	0,07	239
56	183	296	2678	4792	388	202	18545	2,6	0,06	168

Exemples de qualité n° V : Carbonatée, Sodique

994	27	21	30	44	27	80	229	1,3	0,4	15,6
1001	60	21	641	232	104	730	1788	0,6	0,3	24
266	70	201	499	104	226	264	1364	4,7	0,2	100

Exemples d'eau douce.

993	31	10	27	56	0	60	184	0,54	0	12
311	61	67	112	303	69	100	717	1,8	0,2	43

TABLEAU N° II - 8 - 2

R E S U L T A T S D ' A N A L Y S E S

(voir diagrammes logarithmiques et en losanges en annexe).

N A P P E D U B O U - A R E G

n° du pt. d'eau	Ca	Mg	Na	Cl	SO4	CO3	résidu sec 180°		rSO4	DH
							P/calcul	rMg rCa		
Exemples de qualité n° I : Sans prédominance net d'anions ni de cations										
378	116	148	268	532	364	210	1643	2,1	0,5	90
13	357	230	334	1244	384	228	2777	1,1	0,2	184
430	40	107	178	160	330	216	1031	4,4	1,5	54
Exemples de qualité n° III : Carbonatée, Calcique, Magnésienne.										
2	123	183	42	292	353	224	1217	2,4	0,9	106
429	55	103	218	232	299	240	1044	3,1	0,95	56
Exemples de qualité n° IV : Chlorurée, Sulfatée, Sodique										
445	174	283	1555	3008	391	200	4616	2,7	0,1	160
143	164	263	1174	2304	410	220	4535	2,6	0,1	149
104	150	222	1245	2348	391	164	4520	2,5	0,1	128
Exemples de qualité n° V : Carbonatée, Sodique.										
467	49	33	636	372	245	518	1853	1,1	0,5	26
414	31	68	481	436	133	392	1541	3,6	0,2	36
Exemples d'eau douce.										
385	13	25	197	166	126	120	647	3,2	0,6	13,60
481	21	24	142	152	27	132	498	1,9	0,1	15,20
41	25	12	257	128	242	144	808	0,8	1,4	11,20

4°) Composition des eaux :

Gareb : La plus grande partie de la nappe (94%) contient plus d'alcalins que d'alcalino-terreux. Les 6 % restant présentent la proportion inverse et sont localisés à l'extrémité Sud-Est de la plaine. Les pourcentages des différentes compositions sont les suivants :

- 68 % d'eaux chlorurées-sulfatées (dont 6/7 sodiques 1/7 légèrement calciques-magnésiennes).
- 21 % d'eaux carbonatées sodiques
- 11 % d'eaux sans prédominance nette d'anions ni de cations.

Mais ces pourcentages ne correspondent pas à des zones localisées, du moins dans l'état actuel des connaissances.

Bou-Areg : Ici aussi la plus grande partie de la nappe (88 %) est à prédominance alcaline.

Les pourcentages de compositions sont :

- 70 % d'eaux chlorurées-sulfatées (9/10 sodiques et 1/10 calciques-magnésiennes)
- 17 % d'eaux carbonatées sodiques
- 3 % d'eaux carbonatées calciques-magnésiennes
- 10 % d'eaux sans prédominance nette d'anions ni de cations.

II.- QUALITE DES EAUX

La qualité d'une eau d'irrigation, c'est à dire sa valeur jugée d'après son action sur la germination, la croissance et le rendement des plantes d'une part, son action sur l'évolution des sols d'autre part, dépend essentiellement :

1°/ de sa concentration en sels totaux,

2°/ de la composition de sa salure, c'est-à-dire de la proportion (en milliéquivalents) des ions, les uns par rapport aux autres,

.../...

les ions importants étant, d'une part les anions chlore (Cl^-), sulfate (SO_4^{--}) et carbonates ($\text{CO}_3 \text{H}^-$ et CO_3^{--}), d'autre part les cations sodium (Na^+), calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}).

D'après les normes américaines*, que nous considérons cependant comme un peu trop sévères, les eaux sont classées de la façon suivante :

a) Salure

C1 = Classe 1 : salure inférieure à 0,15 gr/l.

(conductivité inférieure à 250 micromhos/cm)
= eaux peu salées, pouvant être utilisées.
sans aucun danger.

C2 = Classe 2 : salure comprise entre 0,15 et 0,5 gr/l

(conductivité comprise entre 250 et 750 micromhos/cm) = eaux moyennement salées, pouvant, si des précautions ne sont pas prises (lessivages) provoquer une salinisation lente des sols, et limiter les rendements de cultures très sensibles aux sels.

C3 = Classe 3 : salure comprise entre 0,5 et 1,5 gr/l

conductivité comprise entre 750 et 2250 micromhos/cm) = eaux fortement salées, pouvant provoquer une salinisation assez rapide des sols, limitant les rendements des plantes sensibles aux sels (Agrumes, haricots), et pouvant même limiter, par action au moment de la germination, les rendements de plantes plus résistantes telles le coton, la betterave, la luzerne etc...

.../...

* "Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils"

United States department of Agriculture.

C4 = Classe 4 : salure supérieure à 1,5 gr/l.
 (conductivité supérieure à 2250 micromhos/cm)
 = eaux très fortement salées, à n'utiliser
 pour l'irrigation que pour des cultures très
 résistantes aux sels.

b) Composition de la salure

Dans l'étude de la composition de la salure d'une eau d'irrigation, ce qu'il importe avant tout de connaître c'est la proportion d'ions Na par rapport aux ions Ca et Mg. En effet, si une eau est trop riche en ions Na, elle provoque une augmentation de la proportion de cet ion sur le complexe adsorbant des sols, c'est-à-dire une alcalisation qui se traduit surtout par une augmentation des pH et une dégradation de la structure. D'après la valeur du rapport suivant :

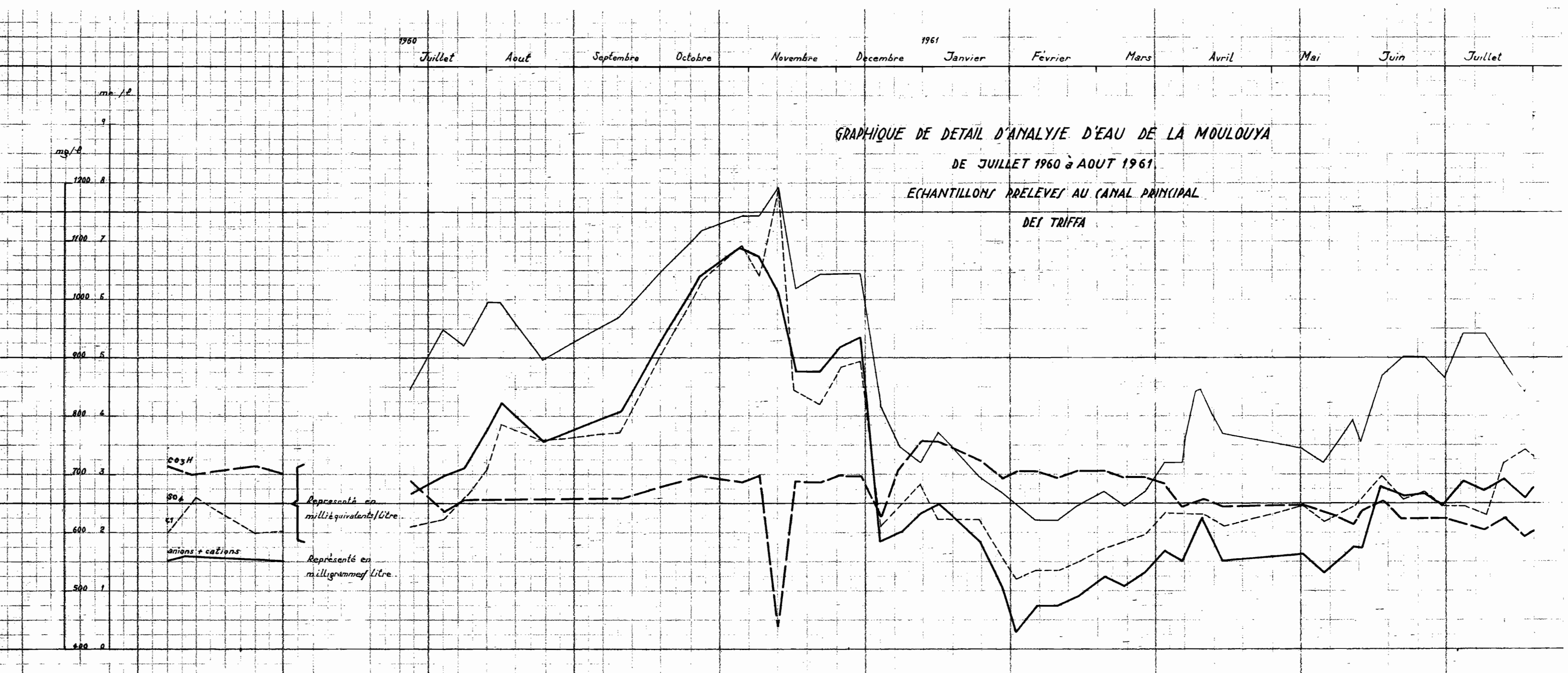
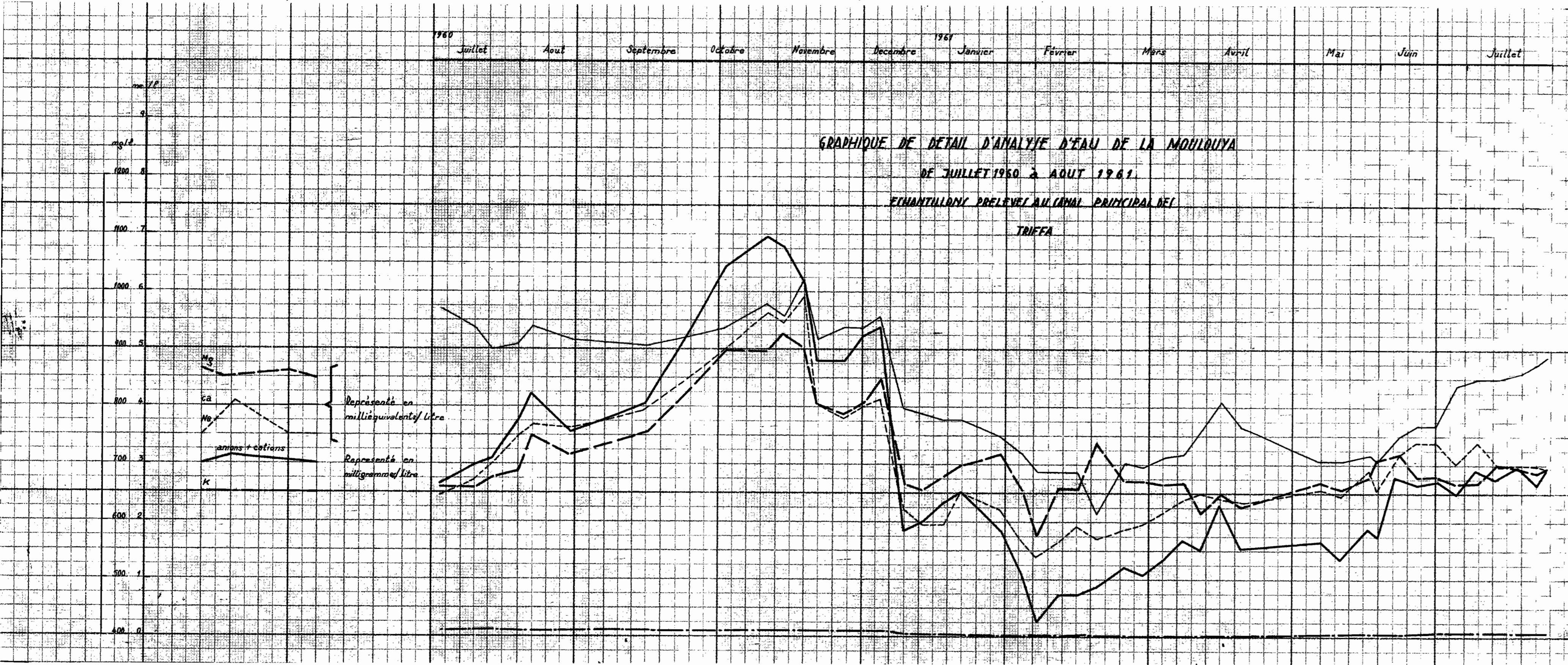
$$\text{S.A.R.*} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

(Na, Ca et Mg, étant exprimés en milliéquivalents par litre), les Américains ont classé les eaux de la façon suivante :

S1 = Classe 1 : S.A.R. inférieur à 10 pour les eaux peu salées
 à 2,5 pour les eaux très salées
 = eaux peu alcalisantes, ne pouvant amener
 plus de 12 % de sodium sur le complexe adsorbant
 des sols

S2 = Classe 2 : S.A.R. compris entre 10 et 18 pour les eaux
 peu salées, 2,5 et 7 pour les eaux très salées
 = eaux moyennement alcalisantes, pouvant
 amener jusqu'à 20 % de sodium sur le complexe
 adsorbant des sols donc pouvant provoquer la
 formation de sols alcalisés (on considère
 qu'un sol est alcalisé quand il y a plus de
 15 % de sodium sur son complexe adsorbant).
 .../...

* S.A.R. = Sodium - Adsorption - Ratio



**RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT
DE LA RIVE GAUCHE
DE LA BASSE MOULOUYA**

OUED MOULOUYA
VARIATION DE LA SALINITE ENTRE JUILLET
1960 ET AOUT 1961

RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT DE LA RIVE GAUCHE DE LA BASSE MOULOUYA

PLAINE DU GAREB

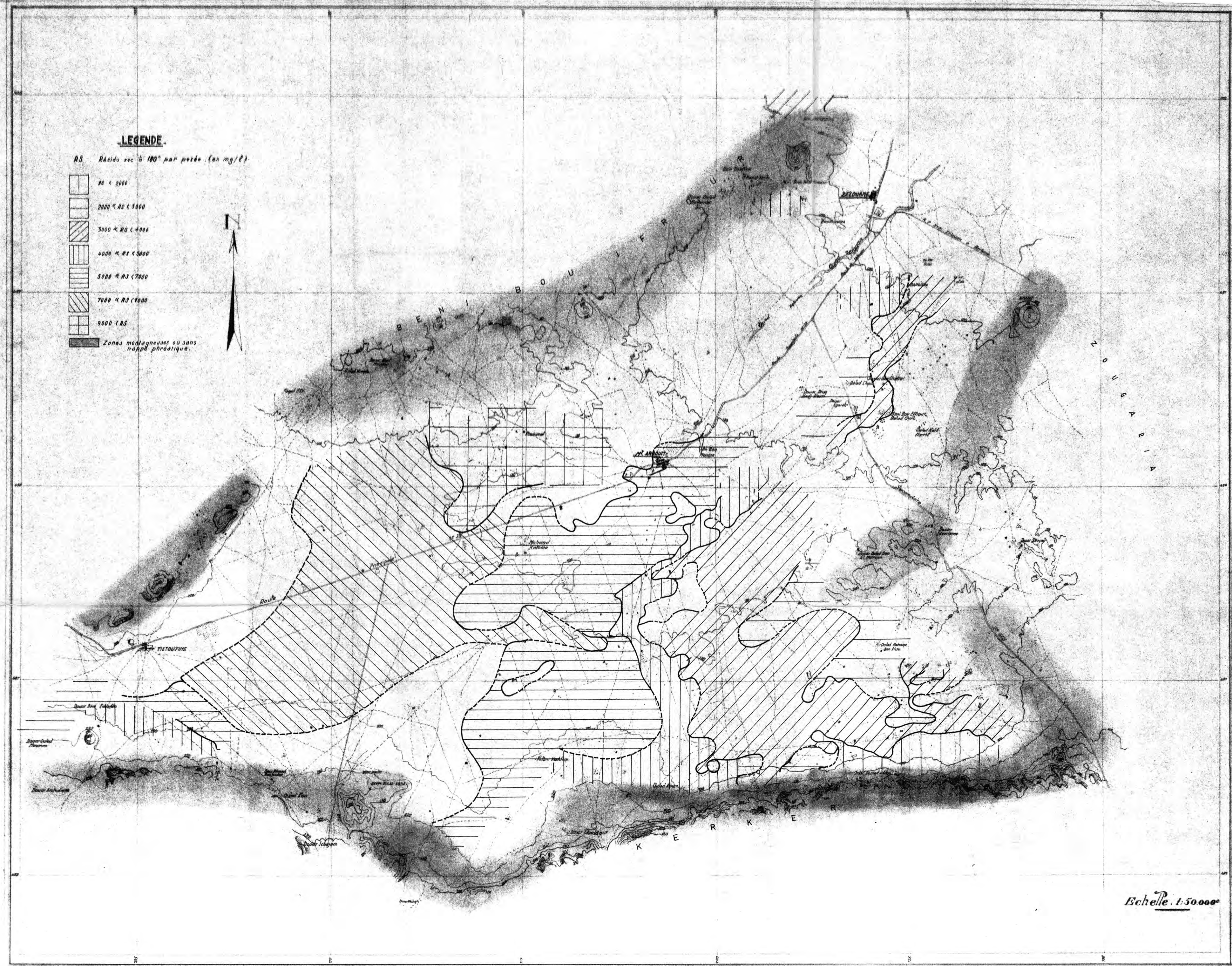
NAPPE PHREATIQUE .

CARTE DES ZONES D'EGAL RESIDU SEC D'APRES LES
PRELEVEMENTS DU 16 AVRIL AU 21 JUIN 1962.

Date Décembre 1962

Echelle 1/50000

Pièce n° II - 8 - 2



Echelle 1:50.000

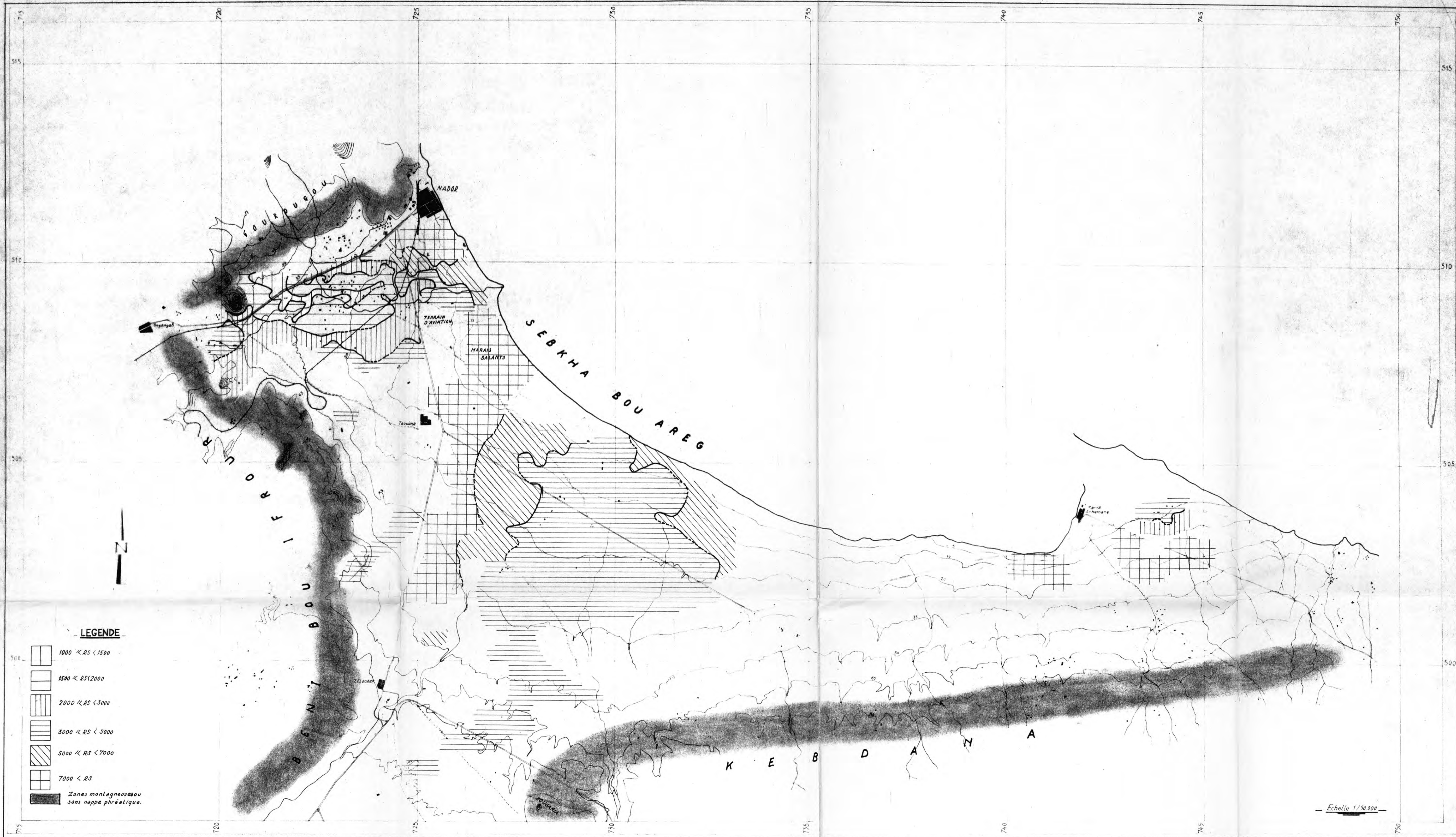
RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT DE LA RIVE GAUCHE DE LA BASSE MOULOUYA

PLAINE DU BOU AREG
NAPPE PHREATIQUE
CARTE DES ZONES D'EGAL RESIDU SEC
D'APRES LES PRELEVEMENTS DU
27 JANVIER AU 7 AVRIL 1962

Echelle = 1/50.000

Pièce n° 83

Date : Décembre 1962



Echelle 1/50.000

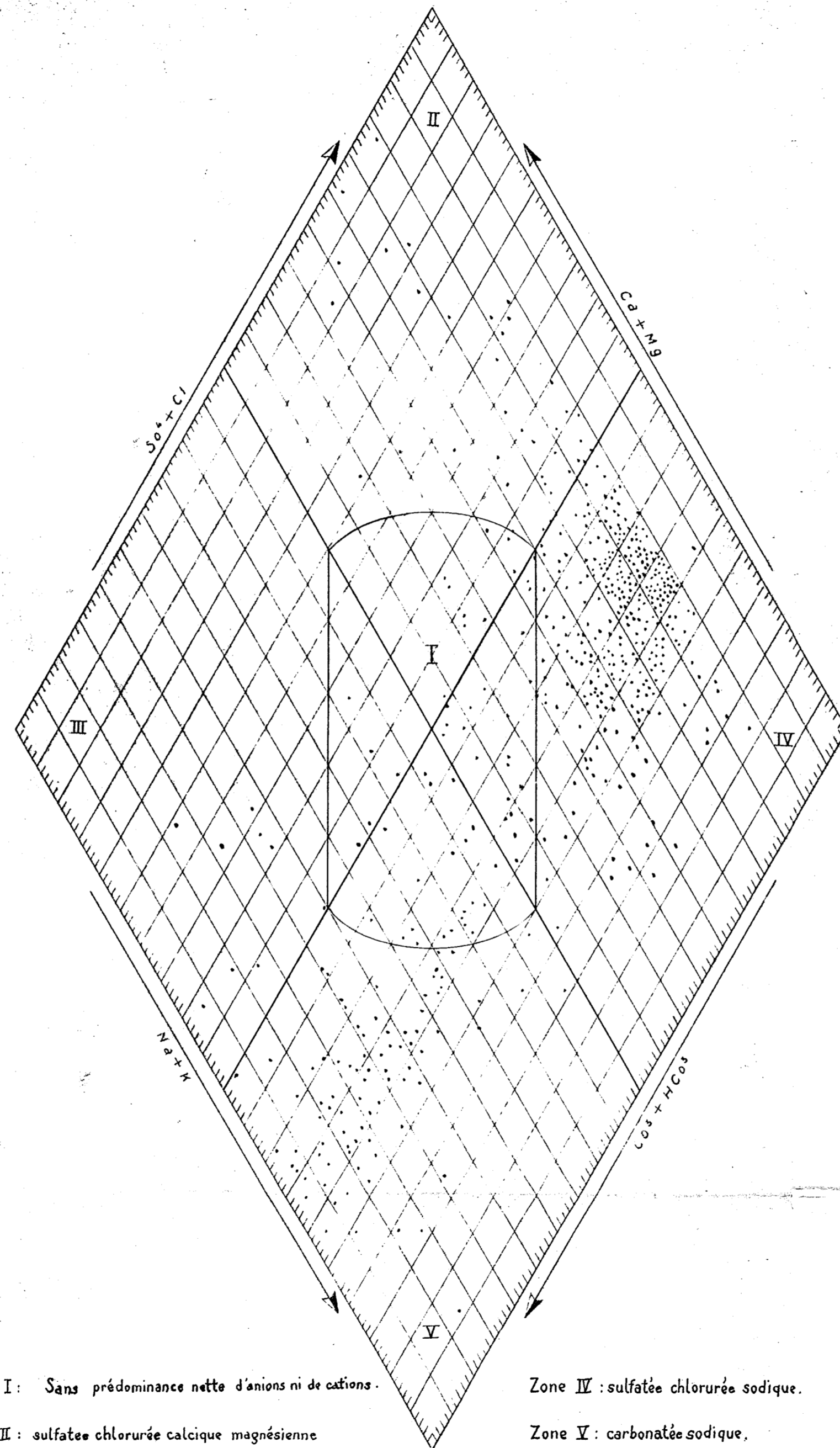
RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT DE LA RIVE GAUCHE DE LA BASSE MOULOUYA

DIAGRAMMES EN LOSANGE DES EAUX DE LA
NAPPE PHREATIQUE DU GAREB ET DU BOU-AREG

Date : Décembre 1962

Plèce n° II - 8 - 5

DIAGRAMME EN LOSANGE DES EAUX DE LA
NAPPE PHREATIQUE DU BOU-AREG



Zone I : Sans prédominance nette d'anions ni de cations.

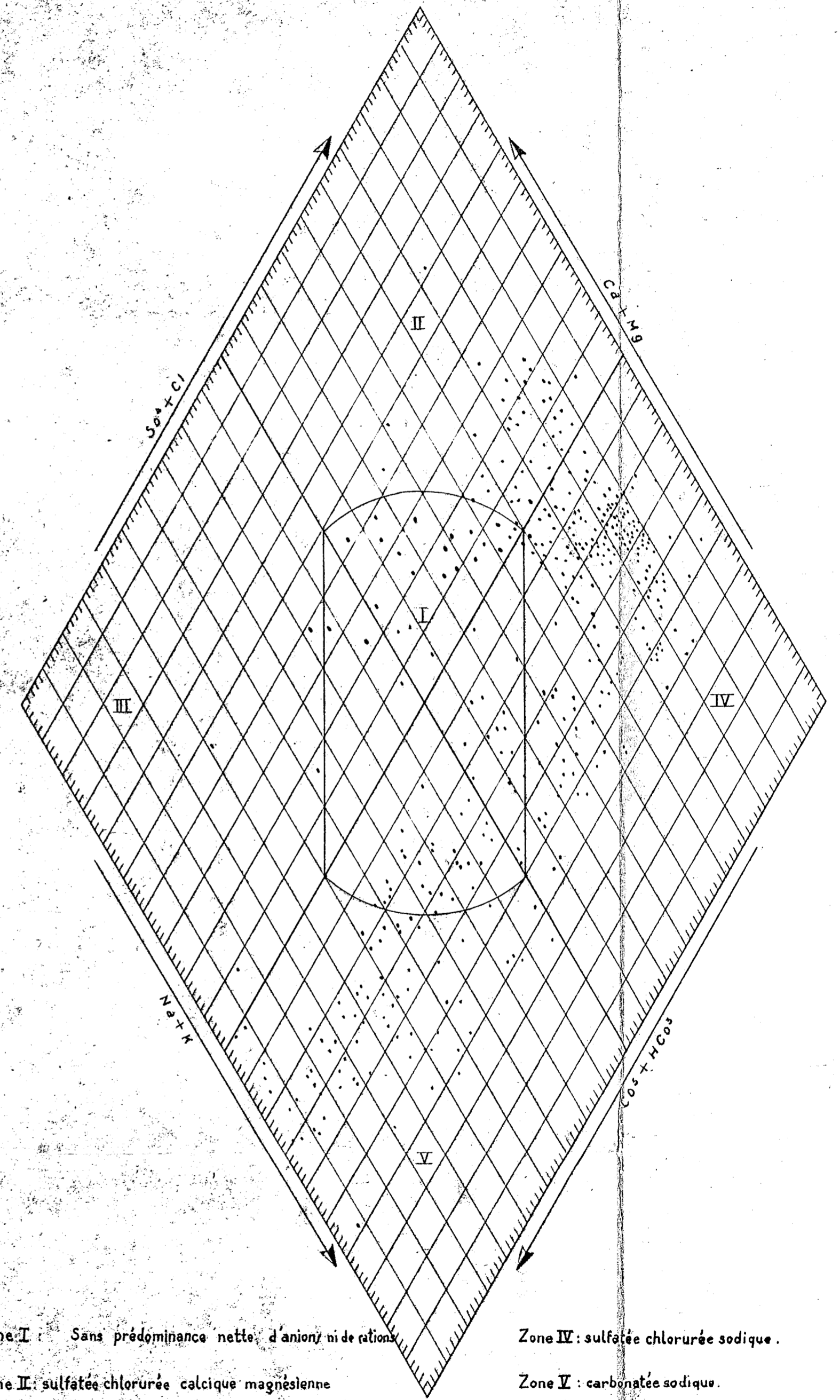
Zone II : sulfatee chlorurée calcique magnésienne

Zone III : carbonatée calcique magnésienne

Zone IV : sulfatee chlorurée sodique.

Zone V : carbonatée sodique.

DIAGRAMME EN LOSANGE DES EAUX DE LA
NAPPE PHREATIQUE DU GAREB



Zone I : Sans prédominance nette d'anions ni de cations.

Zone II : sulfatee chlorurée calcique magnésienne

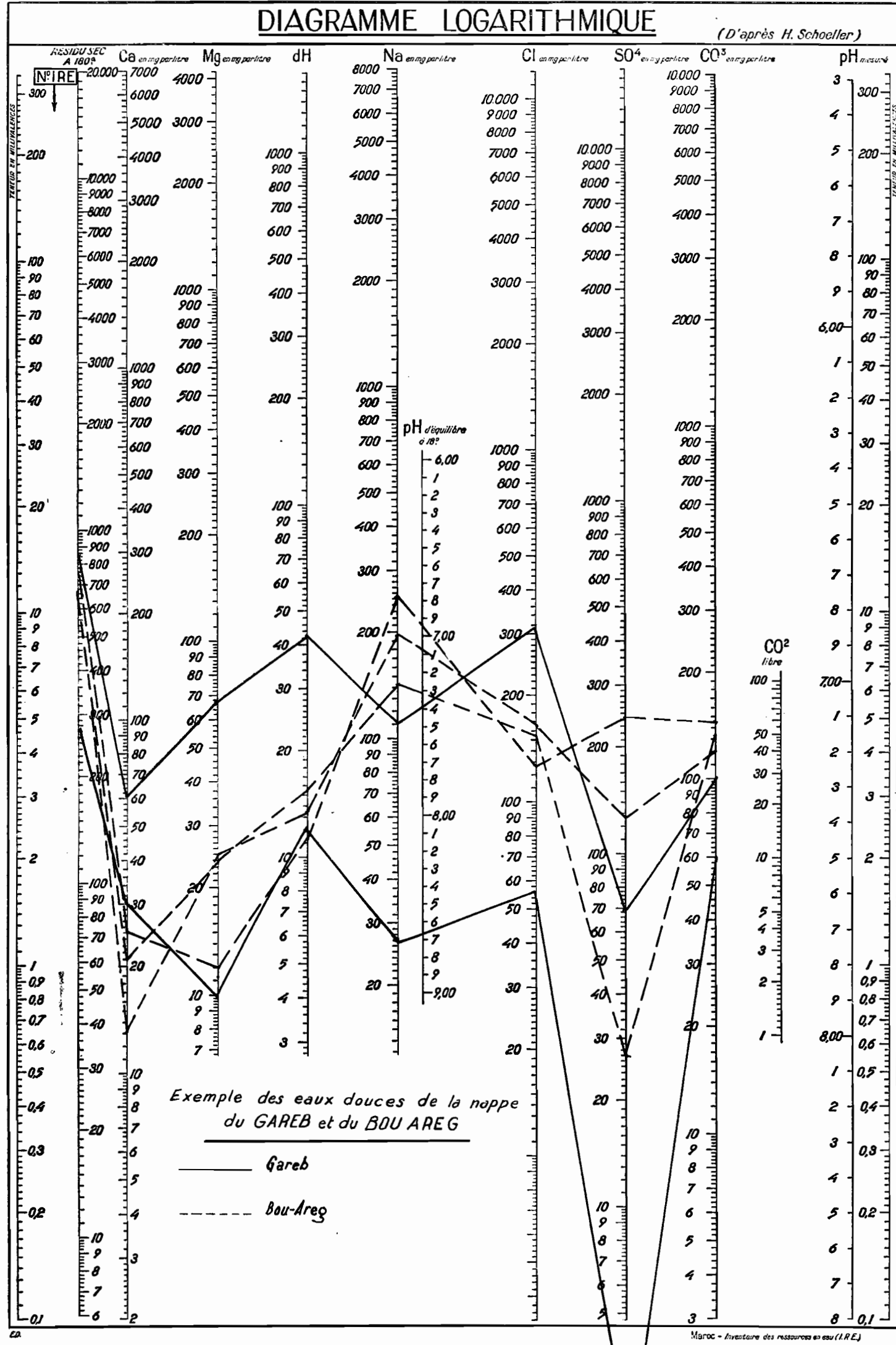
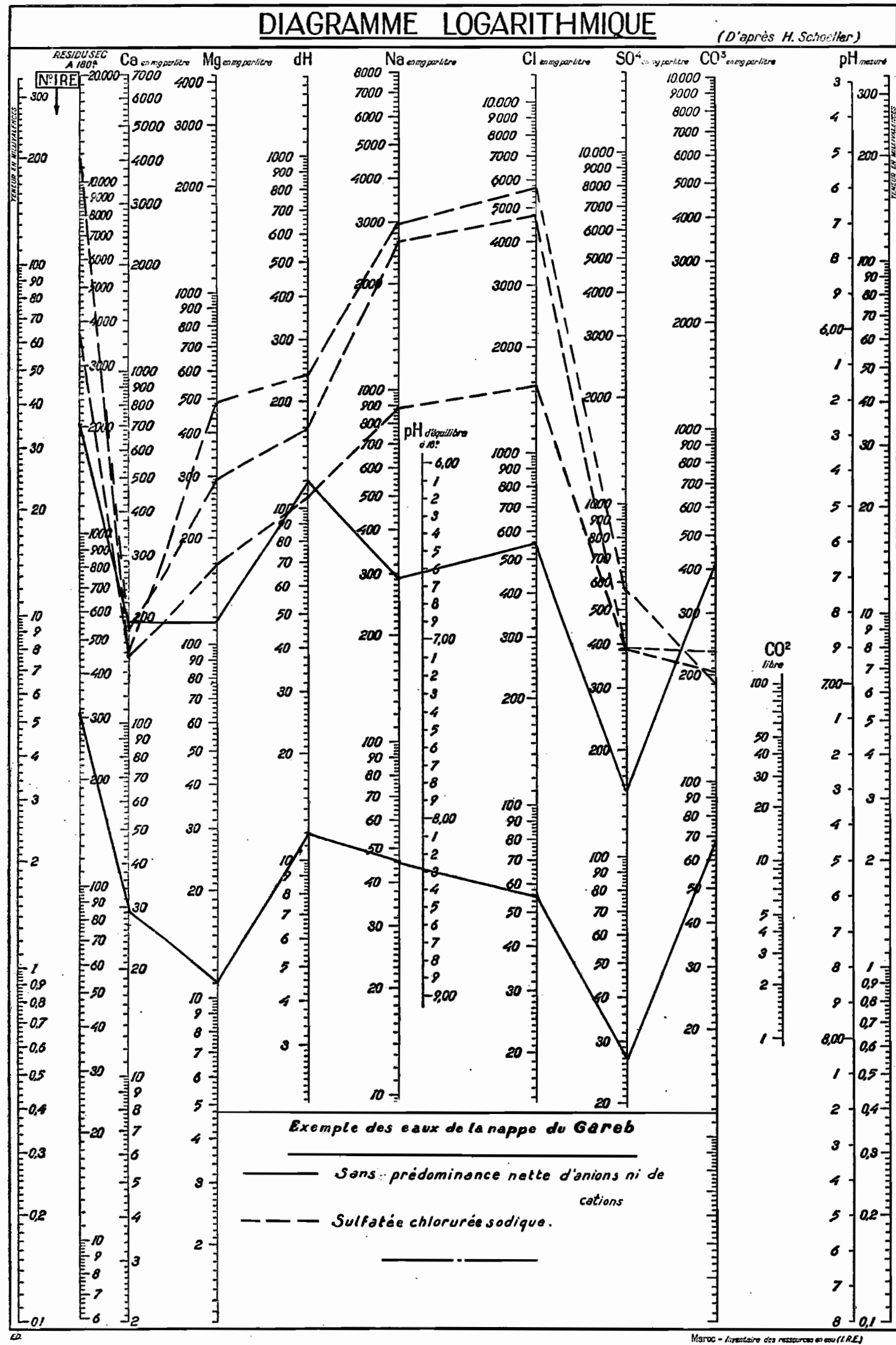
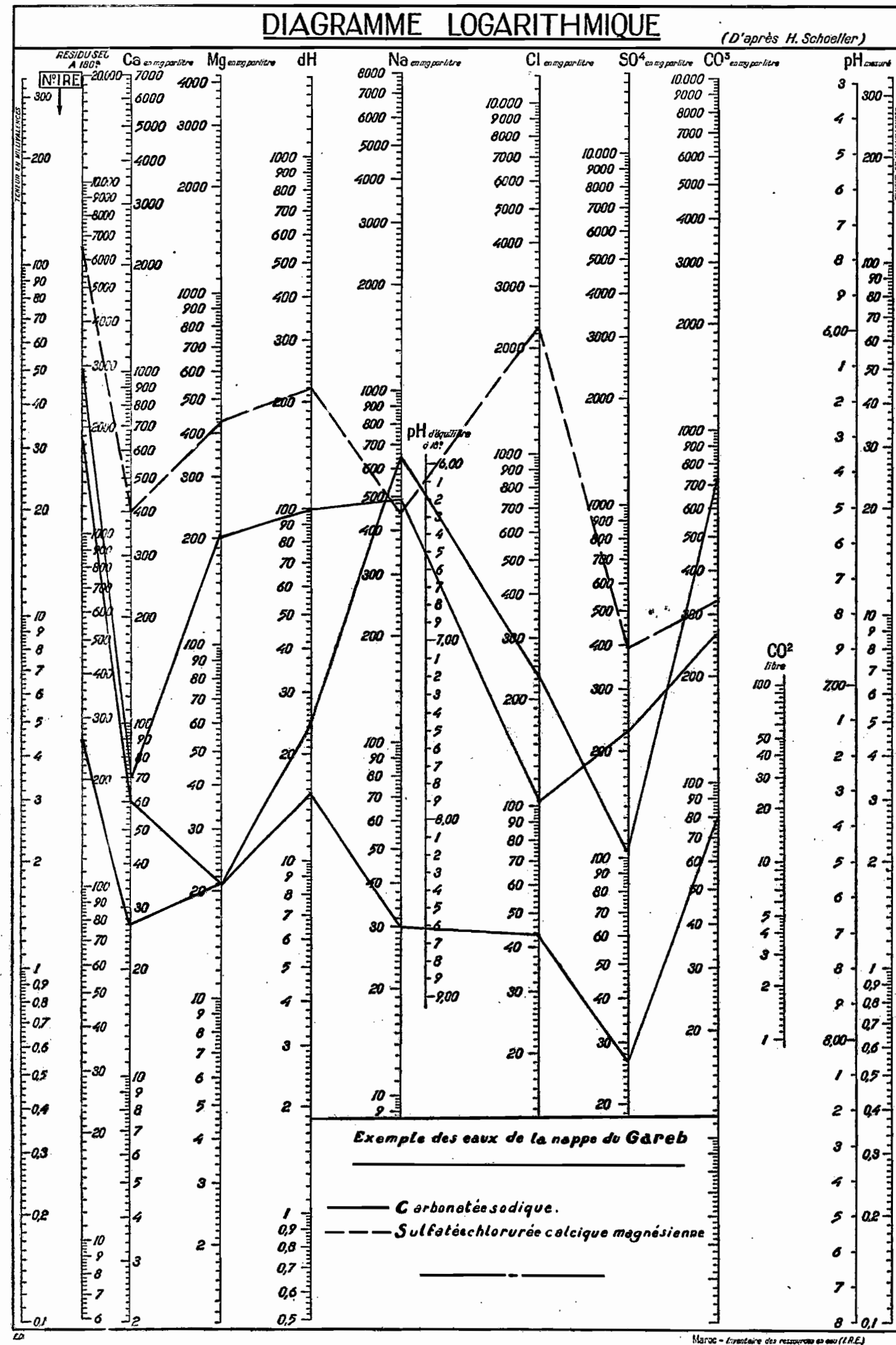
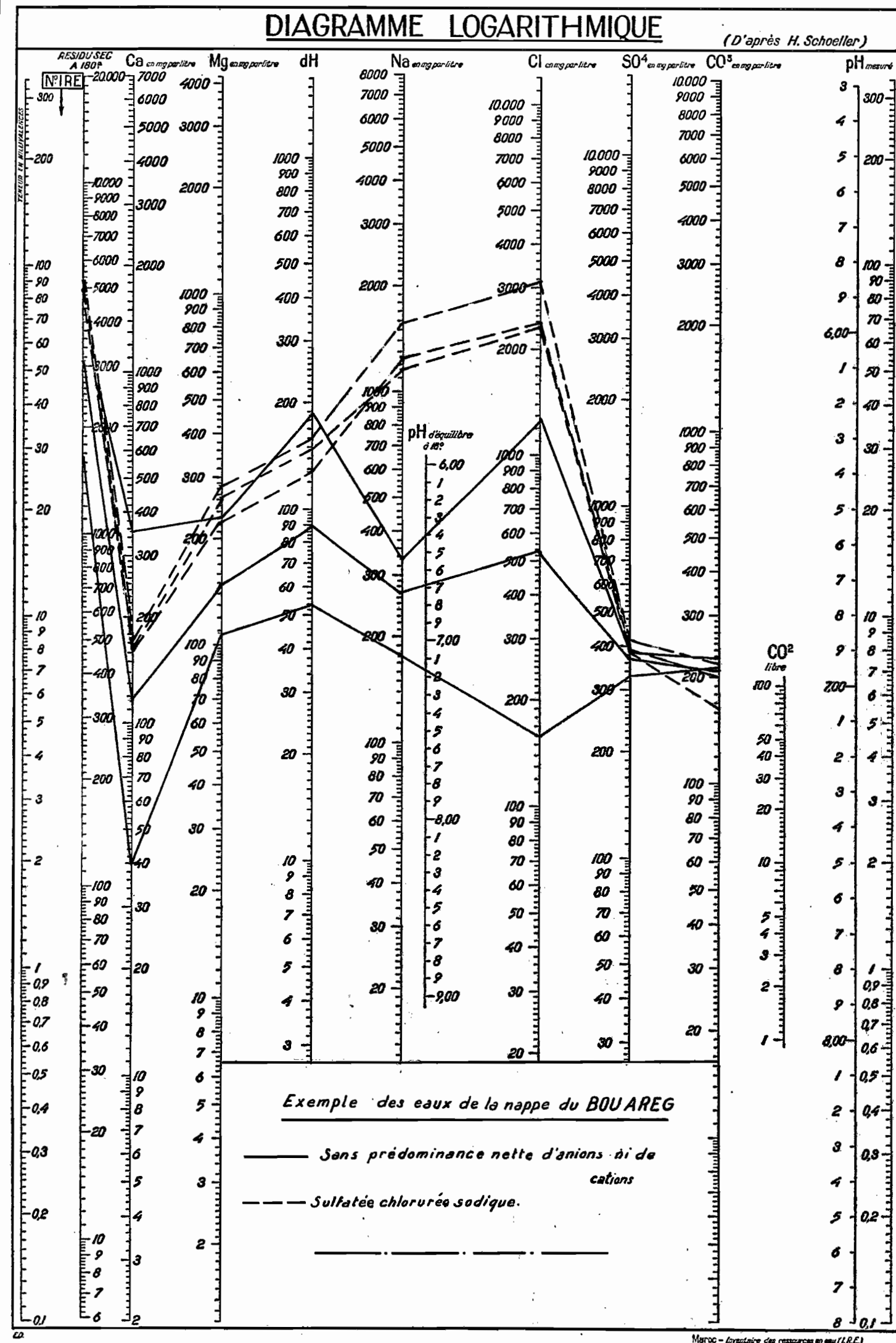
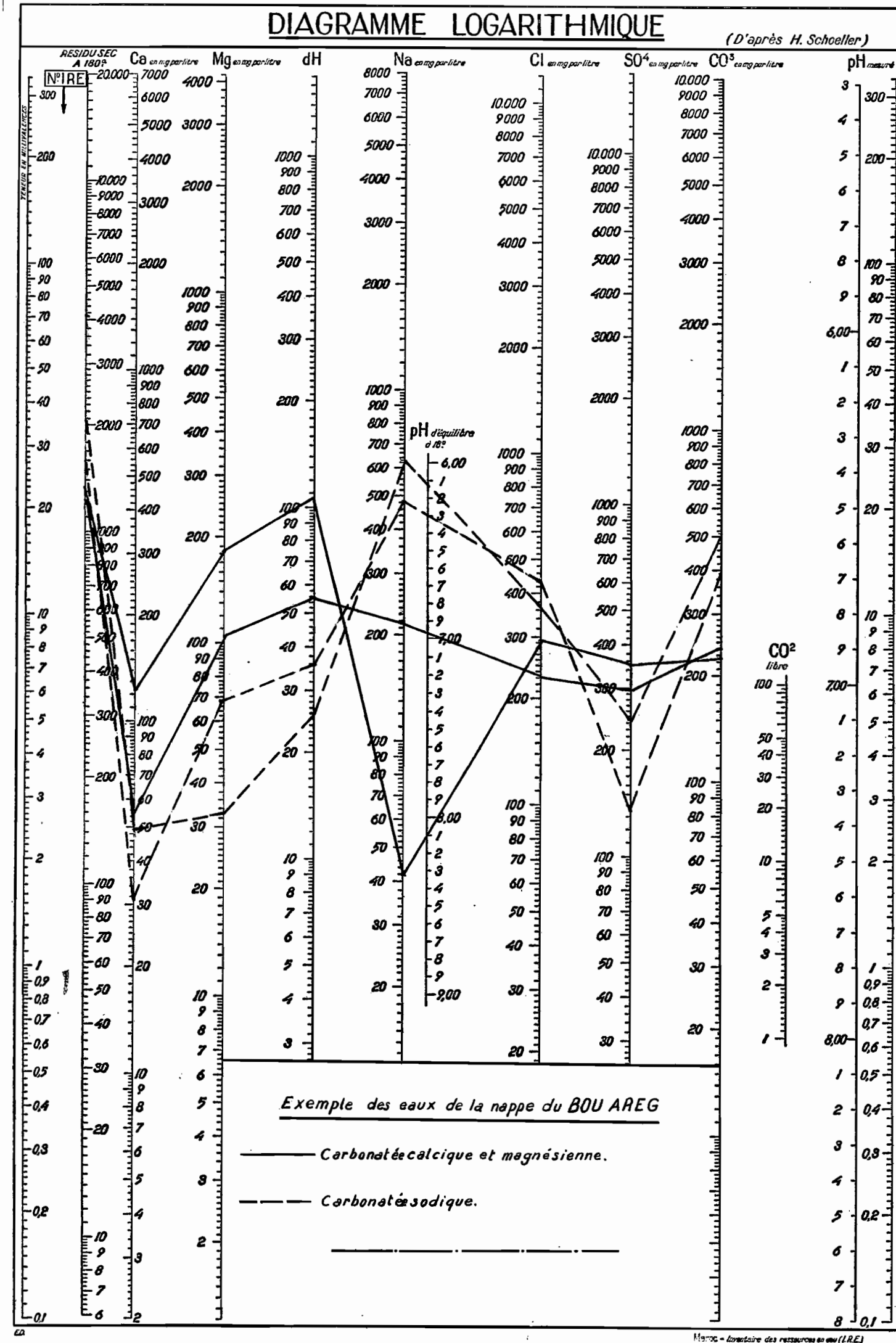
Zone III : carbonatée calcique magnésienne

Zone IV : sulfatee chlorurée sodique.

Zone V : carbonatée sodique.

RAPPORT SUR L'AMENAGEMENT DE LA RIVE GAUCHE DE LA BASSE MOULOYA

DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE DU GAREB ET DU BOUAREG



S3 = Classe 3 : S.A.R. compris entre 18 et 26 pour les eaux peu salées, 7 et 11 pour les eaux très salées = eaux fortement alcalisantes, pouvant amener jusqu'à 27 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

S4 = Classe 4 : S.A.R. supérieur à 26 pour les eaux peu salées, à 11 pour les eaux très salées = eaux très fortement alcalisantes, pouvant amener plus de 27 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

En ce qui concerne la composition en anions, il faut retenir que :

- le chlore en trop grande quantité, est toxique.

- l'ion sulfate, par la formation de sulfate de calcium, favorise la désalcalisation des sols.

- les ions carbonate et bicarbonate, par la possibilité de formation de carbonates de calcium et de magnésium qui précipitent dès que les solutions sont trop concentrées, peuvent augmenter la proportion résiduelle d'ions sodium, donc l'action alcalisante des eaux. D'autre part, si, en milliéquivalents, les carbonates et bicarbonates sont plus abondants que la somme calcium plus magnésium, il y a possibilité de formation de carbonate de sodium ce qui entraîne une alcalisation forte et rapide des sols : d'après les Américains, une eau contenant plus de 1,25 meq/l de ce qu'ils appellent le "carbonate de sodium résiduel" ($\text{CO}_3 + \text{CO}_3 \text{H} - \text{Ca} - \text{Mg}$) est dangereuse ; une eau en contenant plus de 2,5 meq/l est inutilisable pour l'irrigation.

A.- L'eau de la Moulouya (voir tableau n° II-8-3 et fig. n° II-8-4)

a) Salure

Nous avons vu que l'eau de la Moulouya a une salure qui varie de 430 à 1100 mg/l, soit une conductivité de 600 à 1600 micro-mhos/cm. Pendant les périodes les plus chaudes, c'est-à-dire pendant les

.../...

Prélèvement du	1	2	3	Prélèvement du	1	2	3
8. 2.60	776	1,0	- 2,5	24. 3.61	794	1,4	- 3,0
18. 2.60	812	1,2	- 2,85	31. 3.61	847	1,5	- 3,3
14.4. 60		1,0	- 2,8	7. 4.61	927	1,3	- 4,0
14. 7.60		1,2	- 5,5	14. 4.61	831	1,3	- 3,5
15. 7.60	1020	1,4	- 5,6	12. 5.61	813	1,5	- 3,3
22. 7.60		1,5	- 5,2	19. 5.61	800	1,5	- 3,3
30. 7.60	965	1,7	- 5,4	29. 5.61	853	1,6	- 3,8
5. 8.60		1,7	- 6,3	2.6. 61	873	1,45	- 3,8
19. 8.60		1,7	- 5,8	9. 6.61	971	1,75	- 4,1
16. 9.60		1,9	- 6,1	16. 6.61	927	1,8	- 4,2
14.10.60	1488	2,2	- 7,4	23. 6.61	926	1,8	- 4,2
28.10.60	1622	2,4	- 7,9	30. 6.61	990	1,6	- 4,8
4.11.60	1622	2,35	- 7,9	7. 7.61	1037	1,75	- 5,0
11.11.60	1630	2,5	-10,9	14. 7.61	988	1,55	- 5,4
17.11.60	1215	1,9	- 6,5	21. 7.61	1109	1,6	- 5,3
25.11.60	1215	1,75	- 6,5	28. 7.61	1117	1,5	- 5,7
2.12.60	1300	1,85	- 6,5	4. 8.61	1143	1,4	- 5,8
9.12.60	1350	1,85	- 7,1	11. 8.61	1179	1,7	- 6,0
16.12.60	830	1,25	- 4,4	25. 8.61	1279	1,9	- 6,4
23.12.60	750	1,1	- 3,4	8. 9.61	1408	1,1	- 7,1
30.12.60	810	1,05	- 3,0	15. 9.61	1449	1,05	- 7,1
6. 1.61	850	1,4	- 3,2	22. 9.61	1490	2,2	- 8,0
20. 1.61	870	1,3	- 3,4	29. 9.61	1562	2,25	- 8,2
28. 1.61	756	1,0	- 2,8	27.10.61	1476	2,6	- 8,0
3. 2.61	635	0,9	- 1,6	3.11.61	1502	2,2	- 8,8
10. 2.61	706	0,9	- 2,4	10.11.61	1208	2,0	- 7,9
17. 2.61	706	1,1	- 2,5	17.11.61	1338	1,5	- 7,9
24. 2.61	692	1,0	- 2,5	24.11.61	1309	1,5	- 7,8
3.3. 61	706	1,1	- 2,7	1.12.61	1300	1,8	- 7,1
10.3. 61	740	1,2	- 2,75	8.12.61	1185	1,75	- 5,9
17. 3.61	794	1,25	- 2,85				

1 : Conductivité en micromhos/cm

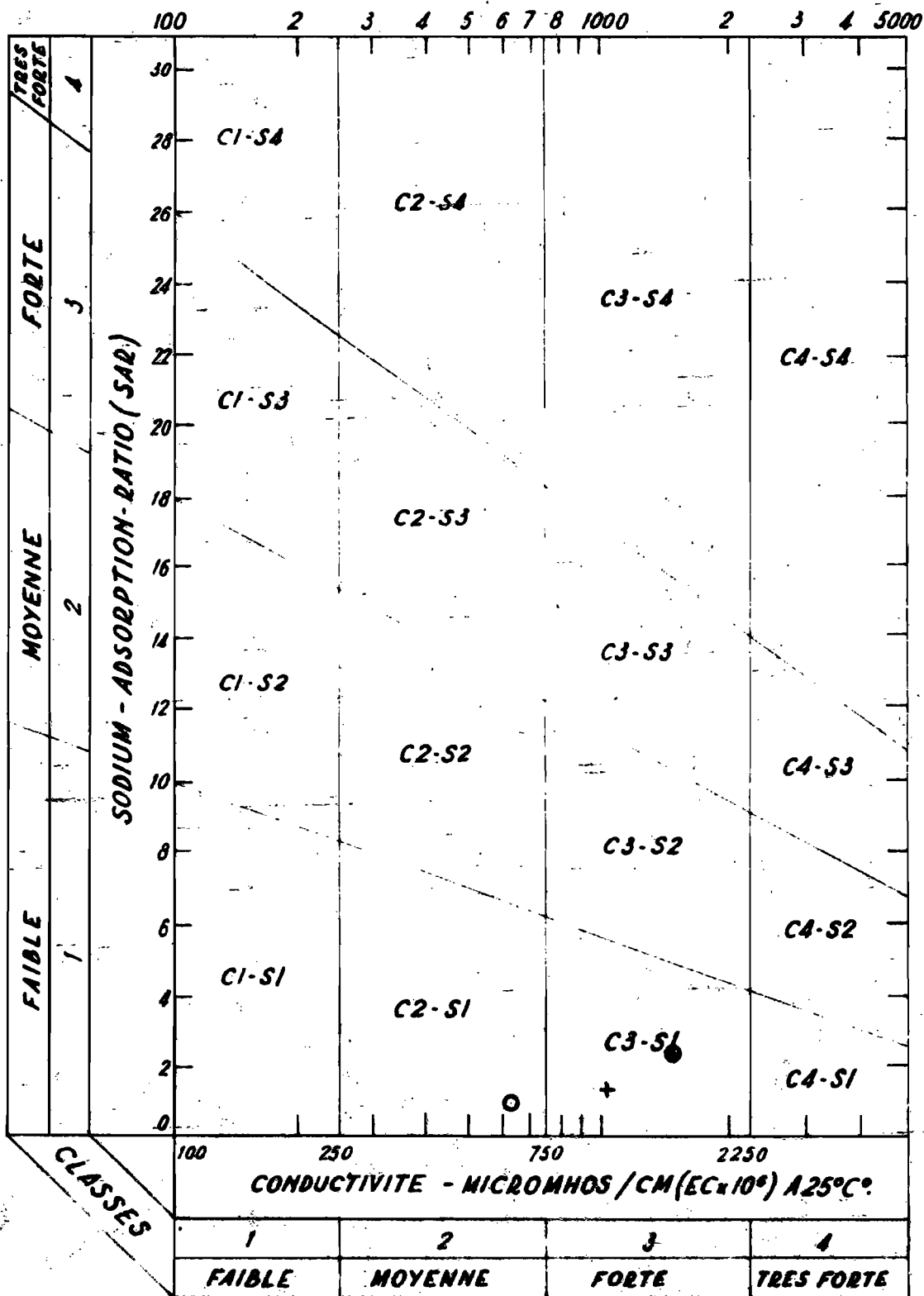
2 : S.A.R.

3 : CO₃ + CO₃ H - Ca - Mg, en meq/l

TABLEAU N° II - 8 - 3

QUALITES DE L'EAU DE LA MOULOUYA

ACTION ALCALISANTE SUR LES SOLS



ACTION SALINISANTE SUR LES SOLS

Figure n° II-8-4

Classification de l'eau de la Moulouya

- : Prélèvement du 3-2-61 → conductivité = 635 micromhos/cm; SAR = 0,9
- + : " " 15-7 60 → " " 1020 " ; " = 1,4
- ⊕ : " " 20-10-60 → " " 1622 " ; " = 2,4

mois de mai à septembre, la salure varie de 600 à 900 mg/l, soit une conductivité de 900 à 1400 micronhos/cm. Cette eau se place donc dans la classe C 3 des eaux fortement salées.

C'est donc une eau ne pouvant être utilisée sans aucune précaution et limitant les rendements de certaines cultures : d'après les normes américaines, pour empêcher la salinisation progressive des sols il faut qu'à chaque irrigation les doses d'eau soient majorées de 20 à 40 %, ceci pour lessiver les sels apportés par l'irrigation précédente.

Ces restrictions peuvent paraître exagérées. Pour démontrer qu'elles ne le sont pas tellement, nous pouvons citer les exemples suivants :

- A la Station Expérimentale de la plaine du Zebra, sous calant (luzerne), avec des doses d'irrigation très fortes assurant un lessivage à chaque irrigation, la salure se maintient, après deux ans d'irrigation à 1,5 - 2 o/oo en surface, 1 o/oo en profondeur ; sous billons (coton ou betterave), avec des doses d'irrigation moins fortes mais assurant malgré tout un drainage à chaque irrigation, sur un sol non salé avant irrigation (1 o/oo), après 6 mois d'irrigation d'été ou d'hiver, la salure est de 3 à 10 o/oo sur le sommet du billon (profondeur 0-5 cm) 1 à 3 o/oo à 10-15 cm de profondeur, 1 à 2 o/oo plus profondément.

- A la S.E.H.A. de la plaine des Triffa, après deux années de cultures irriguées en billons (coton), la salure des sols est la suivante : 3 à 6 o/oo sur le sommet du billon ; 2 à 3,5 o/oo à 10-15 cm de profondeur ; 1 à 2 o/oo jusqu'à 60 cm de profondeur ; 0,8 à 1,5 o/oo en dessous. Sous calant (luzerne), la salure est de 0,8 à 1,2 o/oo en surface ; 1 à 2 o/oo jusqu'à 60 cm ; 0,8 à 1 o/oo en dessous.

Il y a donc bien salinisation rapide des sols, surtout en culture billonnée. Pour limiter ce phénomène, il y a deux méthodes :

- augmenter les doses d'irrigation à chaque irrigation, ceci afin d'assurer un drainage qui doit lessiver les sels apportés par l'irrigation précédente ; en supposant que, une fois le barrage de Mechra Klila terminé, l'eau de la Moulouya aura en permanence une salure voisine de 750 mg/l, l'augmentation des doses, pour pouvoir cultiver des plantes sensibles aux sels, devrait être de 30 %.

- n'effectuer un lessivage qu'une fois par an ou même qu'une fois tous les deux ans.

Nous pensons que c'est la deuxième méthode qui doit être utilisée. En effet la première méthode a deux inconvénients majeurs

- elle exige beaucoup d'eau ; elle entraîne donc une réduction importante des surfaces irrigables ;

- elle n'empêche absolument pas l'accumulation des sels sur le sommet des billons ; or nous avons vu que c'est cette accumulation qui est la plus forte : c'est elle qui, si elle n'est pas éliminée régulièrement, provoque une salinisation rapide des 20-30 premiers centimètres du sol, salinisation très dangereuse étant donnée son action sur la germination de la plupart des plantes, même celles résistantes à une certaine mesure à l'âge adulte. Sous calant, ce deuxième inconvénient n'existe naturellement pas.

C'est donc la méthode du lessivage annuel ou tous les deux ans qui doit, à notre avis, être adoptée. Cette méthode n'est cependant pas sans inconvénients. Il se produira, en effet, entre deux irrigations de lessivage, une augmentation progressive du taux de salure dans les sols, taux qui atteindra probablement un chiffre moyen de 1,5 ‰ sur l'ensemble du profil, soit probablement un minimum de 2 à 3 ‰ vers la surface sur les 30 - 40 premiers cm du sol. Il faudra donc éviter de cultiver des plantes trop sensibles aux sels, en particulier celles qui ont un enracinement peu profond : ces plantes donneraient des productions, mais faibles, peu rentables (en ce qui concerne les agrumes, leurs enracinements étant profonds, il est probable que leurs productions ne seront pas très sensiblement diminuées).

La fréquence et les doses de ces irrigations de lessivage peuvent être difficilement prévues à l'avance ; seule l'expérimentation pourra nous fixer. Nous pensons cependant que :

- dans la plaine du Zebra, où le climat est très évaporant (voir chapitre 4 de la deuxième partie), une irrigation annuelle de 2.000 m³/ha, à faire bien entendu en dehors de l'été, sera nécessaire.

.../..

- dans les plaines du Bou-Areg et du Gareb, une irrigation de 2.000 m³/ha tous les deux ans, sera suffisante.

Enfin, en ce qui concerne les méthodes à suivre pour faire ces irrigations de dessalage, nous en reparlerons dans le chapitre consacré aux modes d'irrigation (chapitre 2 de la 5ème partie).

b) Composition de la salure

L'eau de la Moulouya, avec des S.A.R. variant de 0,9 à 2,5, donc toujours très faibles, se classe en catégorie S1 : c'est une eau qui ne présente aucun danger pour le complexe adsorbant des sols. Bien au contraire, étant donnée par ailleurs sa richesse en ions sulfates c'est une eau, et ceci nous avons pu le constater sur la station expérimentale de la plaine du Zebra, qui facilite la désalcalisation des sols : on peut estimer que 10.000 m³ d'eau apportent 2 à 5 tonnes de gypse, soit un amendement de 3 à 7 tonnes de plâtre. L'eau de la Moulouya est donc très favorable pour l'amélioration, d'une part des sols alcalisés en profondeur du Zebra et du Gareb, (voir 2ème partie ; chapitre 9, p 45) d'autre part des sols alcalisés par les pompages dans le Bou-Areg et le Gareb, sa légère salure permettant par ailleurs, en limitant les effets dispersant de l'alcalisation sur la structure des sols, de maintenir le drainage indispensable sans lequel toute amélioration serait pratiquement impossible.

En ce qui concerne la teneur en carbonates, il n'y a là non plus aucun danger : il y a toujours beaucoup plus de cations alcalino-terreux que de carbonates.

Le seul inconvénient de la composition de la salure de l'eau de la Moulouya est constitué par la présence d'une quantité assez importante de magnésium : nous avons pu constater que les irrigations provoquent l'augmentation de la proportion de cet ion sur le complexe adsorbant des sols. Or l'ion magnésium, quand il prend trop d'importance sur le complexe adsorbant, peut avoir les mêmes effets nocifs sur les pH et la structure, que l'ion sodium, et il est très probable que l'alcalisation en profondeur des sols du Zebra et du Gareb est en grande partie due au magnésium. Si donc l'eau de la Moulouya facilite la désalcalisation sodique des sols, il n'en est pas de même pour l'alcalisation

magnésienne : l'apport de plâtre pour améliorer les sols du Zebra et du Gareb sera donc nécessaire.

B.- Les eaux des nappes phréatiques du Bou-Areg et du Gareb et l'eau de l'oued Zelouane

La qualité de ces eaux peut se résumer rapidement de la façon suivante (voir tableaux n° II-8-4, 5 et 6 ; fig. n° II-8-5 et 6)

a) Salure

1°/ Oued Zelouane : eau très fortement salée, classée en catégorie C4.

2°/ Nappe du Bou-Areg : plus de 90 % des eaux sont très fortement salées, classées en catégorie C 4 ; le reste est fortement salé (C3)

3°/ Nappe du Gareb : environ 85 % des eaux sont très fortement salées (C4) ; le reste est soit de l'eau fortement salée (C3), soit de l'eau moyennement salée (C2).

b) Composition de la salure

1°/ Oued Zelouane : eau très fortement alcalisante, classée en catégorie S4. IL n'y a pas de "carbonate de sodium résiduel."

Prélèvement du	Conductivité micromhos/cm	S.A.R.	CO ₃ + CO ₃ H - Ca - Mg	Classe
7-5-1962	8.000	12,5	- 24,62	C4 S4

Tableau n° II-8-4

Qualité de l'eau de l'Oued Zelouane

TYPE D'EAU	N°	Fréquence de ce type d'eau	Conductivité micromhos/cm	S. A. R.	CO ₃ + CO ₃ H - Ca - Mg	CLASSE
Eau sans prédominance nette d'anions ni de cations	378	) 10 %	4.810	3,9	- 11,01	C4 - S2
	13		6.172	3,4	- 28,01	C4 - S2
	430		2.481	3,4	- 3,61	C4 - S1
Eau carbonatée, calcique, magnésienne	429	) 3 %	1.923	6,3	- 18,97	C3 - S2
	429		2.331	4,0	- 3,28	C4 & S1
Eau chlorurée, sulfatée, sodique	445	) 70 %	8.130	17,0	- 25,34	C4 - S4
	143		8.584	13,2	- 22,51	C4 - S4
	104		9.091	15,0	- 20,16	C4 - S4
Eau carbonatée, sodique	467	) 17 %	3.663	16,5	12,06	C4 - S4
	414		2.747	11,0	6,14	C4 - S3
Eau douce	385	) très rares	1.183	7,5	1,28	C3 - S2
	481		999	5,0	1,36	C3 - S1
	41		1.538	10,5	2,55	C3 - S3

TABLEAU N° II - 8 - 5

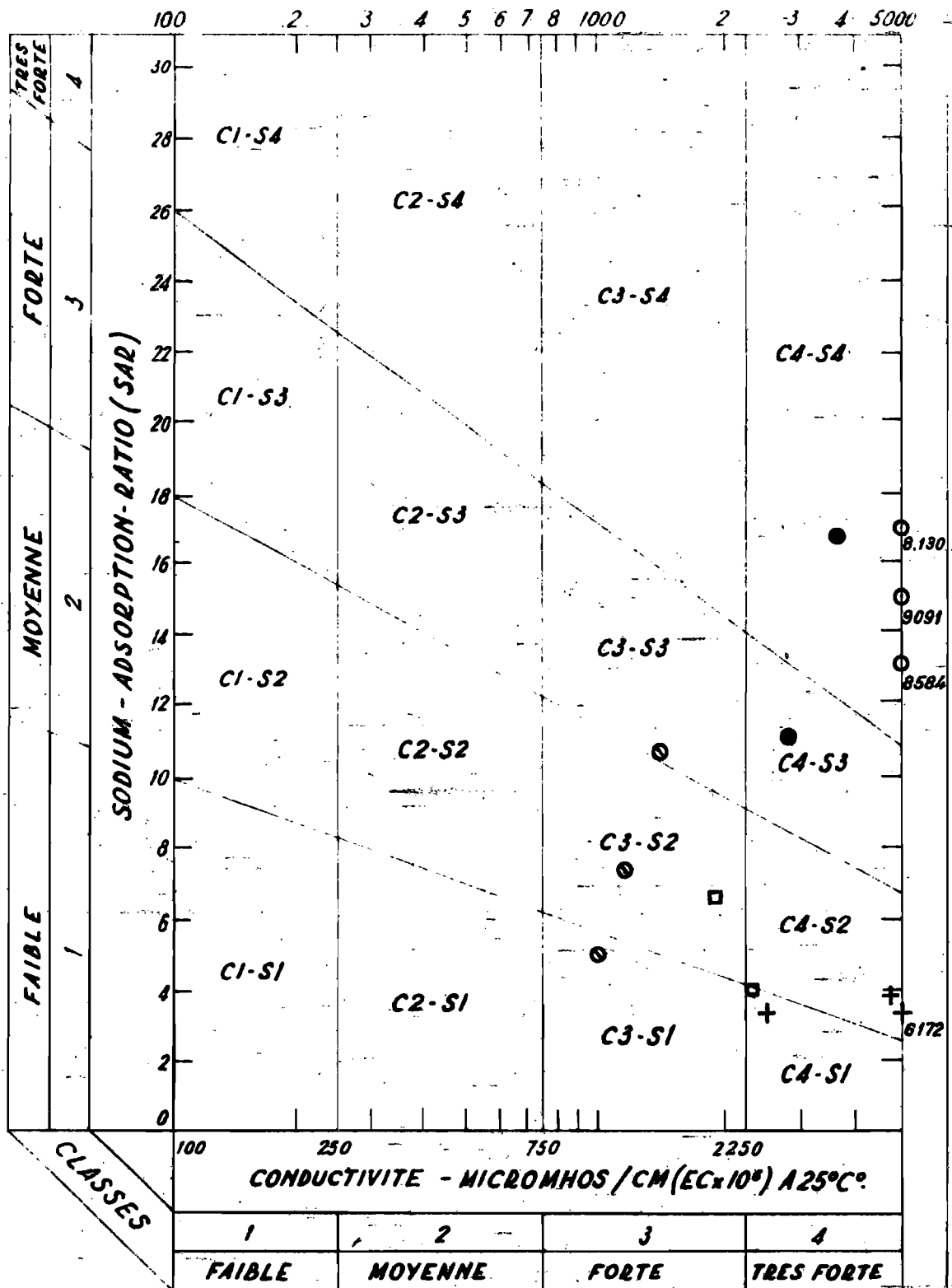
Qualité des eaux de la nappe phréatique de la plaine du Bou - Areg

TYPE D'EAU	N°	Fréquence de ce type d'eau	Conductivité micromhos/cm	S. A. R.	CO ₃ + CO ₃ H - Ca - Mg	CLASSE
Eau sans prédominance nette d'anions ni de cations	76	) 11 %	481	1,8	- 0,14	C 2 - S 1
	248		2.954	4,0	- .6,35	C 4 - S 2
Eau chlorurée, sulfatée, calcique magnés.	996	) 68 %	8.584	3,7	- 44,76	C 4 - S 2
Eau chlorurée, sulfatée, sodique	1012		5.764	11,5	- 13,82	C 4 - S 4
	51		17.890	27,0	- 41,44	C 4 - S 4
	66		16.366	28,3	- 26,60	C 4 - S 4
Eau carbonatée sodique	994	) 21 %	389	1,0	- 0,46	C 2 - S 1
	1001		2.801	18,0	19,19	C 4 - S 4
	266		3.891	6,7	- 11,29	C 4 - S 2
Eau douce	993	) très rares	352	1,1	- 0,40	C 2 - S 1
	311		1.399	2,3	- 5,23	C 3 - S 1

TABLEAU N° II - 8 - 6

Qualité des eaux de la nappe phréatique de la plaine du Gareb.-

ACTION ALCALISANTE SUR LES SOLS



Note: Les eaux trop salées, donc sortant du cadre de ce diagramme, ont été placées à la limite du diagramme avec l'inscription de leur conductivité.

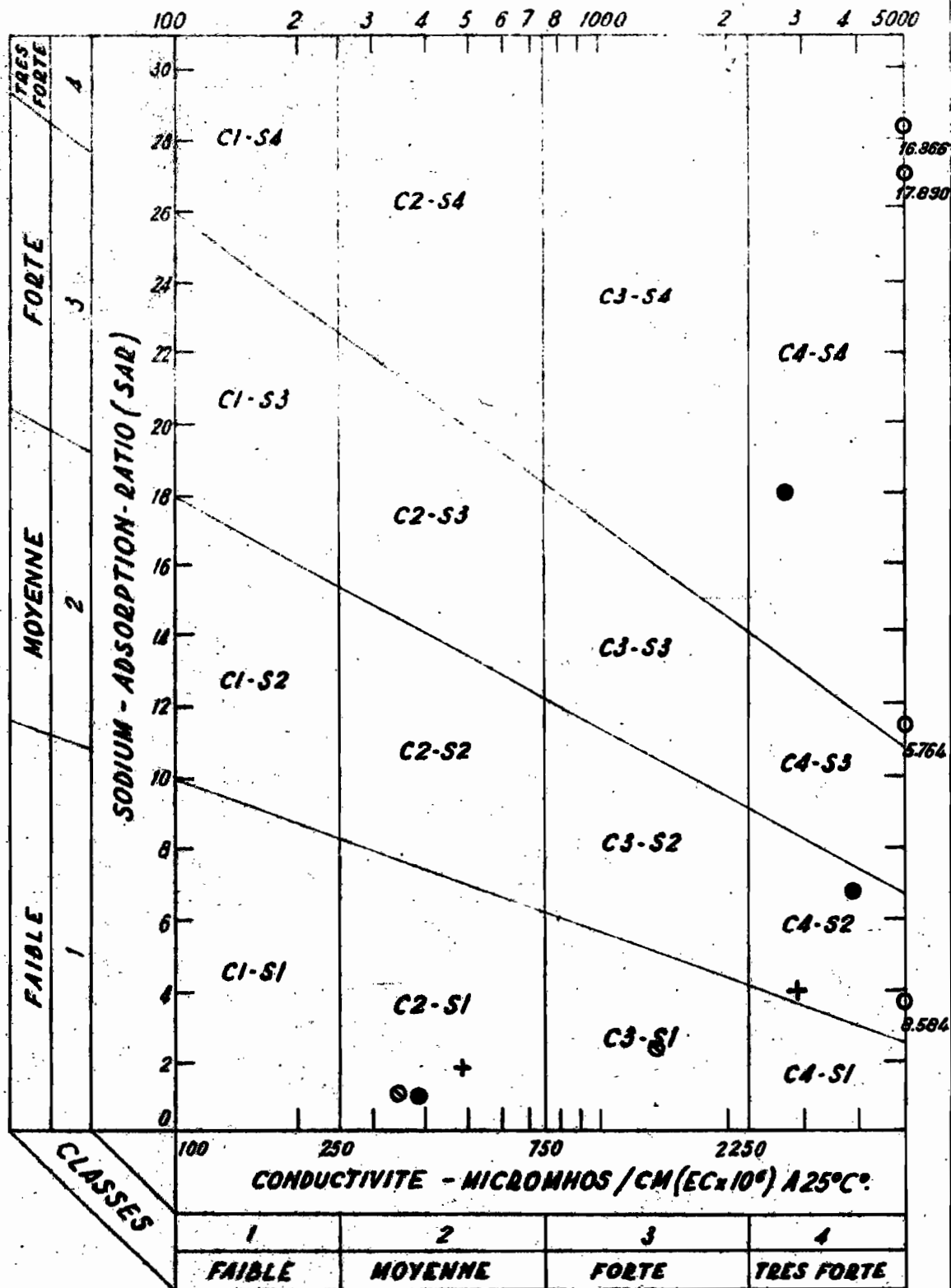
ACTION SALINISANTE SUR LES SOLS

Figure n° II-8-5

Classification des eaux de la nappe phréatique de la plaine du Bou-Areg

- + : Eau sans prédominance nette d'anions ni de cations.
- : Eau chlorurée, sulfatée, sodique ou calcique, magnésienne.
- : Eau carbonatée, sodique.
- : Eau carbonatée, calcique, magnésienne.
- ⊙ : Eau douce.

ACTION ALCALISANTE SUR LES SOLS



Nota: Les eaux trop salées, donc sortant du cadre de ce diagramme, ont été placées à la limite du diagramme avec l'inscription de leur conductivité.

ACTION SALINISANTE SUR LES SOLS

Figure n° II-8-6

Classification des eaux de la nappe phréatique de la plaine du Gareb

- ⊕ : Eau sans prédominance nette d'anions ni de cations.
- ⊙ : Eau chlorurée, sulfatée, sodique ou calcique, magnésienne.
- : Eau carbonatée, sodique.
- : Eau douce.

2°/ Nappe du Bou-Areg : les eaux non alcalisantes (S1) sont exceptionnelles ; 78 % des eaux sont très fortement alcalisantes (S4). D'autre part, environ 20 % des eaux (y compris les eaux dites douces) sont riches à très riches en "carbonate de sodium résiduel".

3°/ Nappe du Gareb : comme dans le Bou-Areg, les eaux non alcalisantes sont très rares, peut-être cependant un peu moins ; environ 60 % des eaux sont très fortement alcalisantes (S4), le reste étant moyennement à fortement alcalisant. Les eaux riches en "carbonate de sodium résiduel" sont rares.

La presque totalité de ces eaux est donc, si on dispose d'autre chose, ce qui est le cas, inutilisable pour l'irrigation.

Rappelons qu'elles sont cependant actuellement utilisées par de nombreux agriculteurs, depuis plusieurs années, et avec un certain succès. Ce succès est du :

- à un choix judicieux de cultures résistantes, semées après des irrigations de lessivage : orge, coton, luzerne, tournesol, cultures maraîchères ;
- à des doses d'irrigation massives et rapprochées ;
- à l'apport de fumier pour lutter contre l'alcalisation ;
- à l'apport abondant d'engrais tels le sulfate d'ammoniaque et le superphosphate.

Bien entendu, les rendements ne sont pas excellents, et il semble qu'ils soient actuellement en baisse, ceci étant du à la dégradation progressive des sols, dégradation dont nous reparlerons dans le chapitre suivant consacré à la pédologie (2ème partie, chapitre 9, p 49).

Notre conclusion sera donc de conseiller la suppression des irrigations par pompage partout où on peut irriguer avec l'eau de la Moulouya ; mais aussi notre conclusion sera que, moyennant certaines techniques connues des agriculteurs de la région, ces eaux peuvent être utilisées si cela se révèle indispensable : il serait en

particulier peut-être intéressant d'étudier leur utilisation après mélange avec l'eau de la Moulouya.

Rappelons enfin pour terminer, le danger que représente pour l'ensemble des plaines du Bou-Areg et du Gareb, la présence de ces nappes très salées ; il est indispensable, pour éviter la salinisation et l'alcalisation des sols par remontée capillaire, de les maintenir à une profondeur supérieure à 3 mètres.

B I B L I O G R A P H I E

.....

- X.X. : " Diagnosis and improvement of saline and alkali soil
(1954) United States Department of Agriculture.
- F R E Y R. : " Les analyses d'eaux et leur interprétation géolo-
gique " (1933) Notes et mén. Serv. Mines Maroc,
RABAT ; n° 26.
- M A H L E R Ph. : " Périmètre du Bou-Areg : étude pédologique" (1960)
- M A H L E R Ph : " Note sur la salure des sols du Gareb " (1960)
- M A R G A T J. : "Géochimie des eaux souterraines du Tafilalt" (1957)
- M A R G A T J. : " Les eaux salées au Maroc" (1958) Colloque Unesco-
Téhéran.
- M A R T I N A. : " Interprétation des analyses d'eau" (1950) CR. mens.
Soc. Sci. Naturelles du Maroc.
- R O B A U X A. : " Propriétés physiques et chimiques des eaux souter-
raines dans les pays arides" (1953) Actes colloque
Ankara (Hydrologie zone aride) ; pp 30-41 ; Paris
UNESCO.
- R U E L L A N A : " Note sur les méthodes d'irrigation " (Juin 1962)
- R U E L L A N A. : "La plaine du Zebra : étude pédologique" (en cours
de parution).
- T O R R E P. : " Etudes chimiques des nappes d'eau" (1957.)