



MICROFICHE N°

05904

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

CNDA 5907

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

LA SALINITE DES EAUX DE SURFACE EN TUNISIE

Mars 1984

M. R. KALLEL

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION
DES RESSOURCES EN EAU

B. I. R. H.

LA "SALINITE" DES ENX DE SURFACE EN TUNISIE

par

M.R. KALLEL
Ingénieur en Chef
Directeur du BIRH

Mars 1984

Ont participé à la préparation des données de base de la présente étude : A.FEKIH
A.ZOUAOUI et A.LATROUS agents hydrologues.

SOMMAIRE

	Page
Introduction	1
1. Mesures et Interprétations	3
2. Salinité des différents oueds	5
2.1 Secteur extrême Nord Ichkeul	5
2.2 Secteur Medjerdah	10
2.3 Secteur Nord Est	13
2.4 Tunisie Centrale et région du Sahel	17
2.5 Cours d'eau du Sud Tunisien	22
3. Bilan Global	25
4. Nature des Sels transports	29
5. Corrélation salinité - débits	46
Conclusion	54
Bibliographie	55



TUNISIE
RESEAU HYDROGRAPHIQUE

- 1 Estuaire Nord Ichkeul
- 2 Mopiden
- 3 Nord Est
- 4 Course Sahel
- 5 Course Sud et Sud

INTRODUCTION

La nature des sols et des roches qui constituent les différents bassins versants des cours d'eau tunisiens est telle que la charge saline des eaux peut-être importante au point de constituer un problème pour leur utilisation. En même temps que l'évaluation des apports d'eau la connaissance des degrés de salinité requiert donc une importance particulière dans l'étude des régimes hydrologiques de ces cours d'eau. Des études quantitatives et qualitatives sont élaborées sur la base des mesures et observations effectuées aux différentes stations du réseau hydrométrique couvrant l'ensemble du pays. De très nombreux prélèvements d'échantillons d'eau pour analyse ont été faits, notamment depuis 1946. Les analyses se limitent parfois à la détermination de la conductivité et du résidu sec (analyse sommaire), mais elles comportent souvent la détermination des ions majeurs en solution à savoir :



L'ion K^+ qui se trouve toujours en quantité relativement faible par rapport à Na^+ , est rarement déterminé.

Toutefois si la détermination des volumes d'eau ne pose généralement pas de difficultés en raison de la continuité et de la régularité des mesures et observations faites, celle de la qualité des eaux n'est pas toujours aisée et ce pour plusieurs raisons : discontinuité des mesures effectuées en périodes de crues, difficultés au niveau des analyses et leur interprétation.

Cependant, en dépit de ces problèmes, des efforts ont été déployés au niveau des études et monographies hydrologiques réalisées à ce jour et intéressant la majorité des principaux cours d'eau du pays pour l'étude des salinités, leur évaluation et la connaissance de leur évolution.

La présente étude se propose de faire le point de nos connaissances, dans le domaine des salinités^x des eaux de surface, de synthétiser les différents résultats obtenus dans les différents secteurs hydrologiques d'établir et de présenter un bilan global des eaux de différentes classes de salinité, classes que nous aurons préalablement définies.

Nous aborderons ensuite l'aspect relatif à la nature des sels transportés et nous rappellerons à cet effet les résultats obtenus pour la Medjerda.

Nous parlerons enfin de quelques essais entrepris dans le domaine de la recherche des relations débit - salinité.

x le terme "Salinité" employé dans cette étude englobe l'ensemble de la charge en ions dissous dans les eaux de surface.

1. MESURES ET INTERPRETATIONS

Le réseau hydrométrique tunisien comporte des stations pour la mesure de la quantité et de qualité des eaux. Ces stations sont de trois type :

- des stations principales
- des stations secondaires
- des points de mesures

Les stations complètes sont équipées de dispositifs de mesures des débits de crues - elles sont au nombre de 43. Les stations secondaires comportent des dispositifs de mesure des hauteurs d'eau. Ces stations sont généralement étalonnées au bout de quelques jaugeages effectués durant les deux ou trois premières années de leur fonctionnement; le nombre de ces stations varie autour de 50. Enfin les points de mesures sont plus nombreux (80) et intéressent un grand nombre de cours d'eau. Ces points sont visités deux fois par mois et des mesures de débit d'étiage y sont effectuées. Quelque soit le niveau des stations considérées, des prélèvements d'échantillons d'eau y sont effectués d'une manière assez régulière. Ces prélèvements sont faits soit directement à la bouteille soit par l'intermédiaire de saumon creux.

Cependant, les prélèvements effectués, malgré leur nombre très élevé, s'avèrent parfois insuffisants pour une bonne évaluation des résidus secs. On peut surtout regretter que pendant les crues, les prélèvements soient généralement peu nombreux et ne permettent donc pas de suivre correctement l'évolution rapide des concentrations et de la compositions des eaux au cours de ces phénomènes. Il faudrait ajouter à ces difficultés les problèmes posés au niveau des analyses et des interprétations des résultats. Ces difficultés se rapportent essentiellement aux masses de résultats d'analyses accumulés durant plusieurs années et qu'il fallait donc récupérer, classer dater et contrôler.

Parmi les mesures prises pour remédier à ces difficultés nous pouvons citer en premier lieu la mise au point d'une chaîne de programmes informatiques pour le traitement de toutes les données disponibles et l'élaboration d'un fichier "salinité."

Les travaux entrepris dans ce contexte ont abouti dans une première phase à la récupération de toutes les archives disponibles puis dans une seconde phase à la constitution du fichier "salinité" pour les secteurs hydrologiques couvrant notamment la Tunisie du Nord et la Tunisie Centrale.

Contrairement aux fichiers pluviométrique et hydrométrique, le fichier "Salinité" est constitué par des valeurs discontinues et irrégulièrement réparties entre les stations cataloguées.

D'une façon générale en effet, il est rare que les salinités soient connues pour des années complètes. Les prélèvements n'étant pas journaliers, les résultats sont obtenus à l'aide d'un programme de calcul permettant l'interpolation des résultats à certaines conditions : Le débit ne doit pas avoir trop varié entre deux mesures, les salinités observées ne doivent pas être trop différentes et elles doivent varier en sens inverses des débits. Dans cette interpolation il a été tenu compte également des conductivités (mesurées indépendamment) après avoir établi à chaque station une corrélation entre conductivité et salinité, cette corrélation est établie à l'échelle saisonnière par le biais de programmes de calcul.

Ces conditions restrictives laissent donc subsister de nombreuses lacunes. Un travail de recherches approfondies pourrait permettre de les combler dans certaines mesures : les quelques essais entrepris dans le domaine de la recherche de corrélation entre débit liquide et salinité peuvent contribuer à l'amélioration des fichiers notamment au niveau des débits d'étiage. Nous réserverons un chapitre de la présente étude pour ces travaux de recherches analytiques et présenterons les principaux résultats.

Après ce bref rappel des travaux effectués au niveau de la mesure de la salinité et de la mise au point des résultats obtenus nous récapitulons ci-après les principales connaissances acquises pour les cours d'eau du pays. Nous procéderons par la suite à une synthèse de ces connaissances sur l'ensemble du pays, synthèse qui débouchera sur un bilan global des salinités.

2.- SALINITE DES DIFFERENTS OUEDS

2.1- Secteur Extrême Nord Ichkeul

Les eaux des oueds de ce secteur sont généralement de bonne qualité, les salinités des eaux d'étiage ou de crue sont faibles, inférieures à 1g/l. La majorité des oueds de la région sont contrôlés et régulièrement observés.

Nous étudierons séparément la région d'extrême Nord et la région du lac Ichkeul.

2.1.1- Extrême Nord

Pour l'étude de la salinité nous nous baserons essentiellement sur les résultats obtenus pour les principaux oueds à savoir : l'oued Kébir, l'oued Melah et l'oued Madène, dont les apports totaux représentent plus que la moitié des apports globaux de la région.

Les résidus secs de l'oued Kébir s'échelonnent de 0,30 à 0,74 g/l. Nous pouvons d'une façon globale estimer les variations des résidus en fonction des débits comme suit :

- Débit d'étiage sévère résidu sec > 0,5 g/l
- Débit d'étiage d'hiver résidu sec compris entre 0,4 et 0,5g/l
- Débit de crue résidu sec inférieur à 0,4 g/l

Pour les besoins de notre évaluation nous retiendrons les valeurs de 0,4 g/l pour les eaux de crue et 0,6 g/l pour l'écoulement de base. Ces valeurs de salinité peuvent être appliquées aux autres oueds de la région de Tabarka Nefza à l'exception de l'oued Melah qui comme son nom l'indique présente des salinités relativement élevées.

2.- SALINITE DES DIFFERENTS OUEDS

2.1- Secteur Extrême Nord Ichkeul

Les eaux des oueds de ce secteur sont généralement de bonne qualité, les salinités des eaux d'étiage ou de crue sont faibles, inférieures à 1g/l. La majorité des oueds de la région sont contrôlés et régulièrement observés.

Nous étudierons séparément la région d'extrême Nord et la région du lac Ichkeul.

2.1.1- Extrême Nord

Pour l'étude de la salinité nous nous baserons essentiellement sur les résultats obtenus pour les principaux oueds à savoir : l'oued Kébir, l'oued Melah et l'oued Madène, dont les apports totaux représentent plus que la moitié des apports globaux de la région.

Les résidus secs de l'oued Kébir s'échelonnent de 0,30 à 0,74 g/l. Nous pouvons d'une façon globale estimer les variations des résidus en fonction des débits comme suit :

- Débit d'étiage sec résidu sec > 0,5 g/l
- Débit d'étiage d'hiver résidu sec compris entre 0,4 et 0,5g/l
- Débit de crue résidu sec inférieur à 0,4 g/l

Pour les besoins de notre évaluation nous retiendrons les valeurs de 0,4 g/l pour les eaux de crue et 0,6 g/l pour l'écoulement de base. Ces valeurs de salinité peuvent être appliquées aux autres oueds de la région de Tabarka Nefza à l'exception de l'oued Melah qui comme son nom l'indique présente des salinités relativement élevées.

Cas de l'oued Melah

Les valeurs de la salinité de l'oued Melah s'échelonnent de 0,130 g/l à 4,59 g/l. L'intervalle de variation semble très important mais néanmoins les valeurs élevées ne sont que rarement atteintes et correspondent généralement à des étiages très sévères et de recurrence rare. L'examen de l'échantillon des valeurs permet d'avancer la répartition suivante :

- Etiage sévère : résidu sec > 3 g/l
- Etiage d'hiver : résidu sec compris entre 1,5 et 3 g/l
- Moyennes crues : résidu sec compris entre 0,5 et 1,5 g/l
- Fortes crues : : résidu sec inférieur à 0,5 g/l

Pour les besoins de notre évaluation nous considérons les salinités moyennes suivantes :

- pour l'écoulement de base $S_b = 2,5$ g/l
- pour le ruissellement de crue $S_c = 1$ g/l

Sur la base de ces indications nous pouvons avancer les évaluations globales récapitulées dans le tableau suivant et concernant les oueds de l'extrême Nord Tunisien. (Tableau 2.1.1.)

Tableau 2.1.1

O u e d	Ecoulement de base 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apports en Sels (tonne) 10 ³ T	Ruissellement de crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en Sels (tonne) 10 ³ T	Volume Total 10 ⁶ m ³
Kébir	12	0,6	7,2	68	0,4	27,2	80
Zouara							
Melah	11	2,5	27,5	66	1	66	77
Madène	13	0,6	7,8	49	0,4	19,6	62
Belif + Bouzen	16	0,6	9,6	85	0,4	34	101
Barbar	15	0,6	9,0	85	0,4	34	100
Buterfess Ber Koukech	3	0,6	1,8	27	0,4	10,8	30
Ziatine Giangoun Harka	3	0,6	1,8	37	0,4	14,8	40
Reste Secteur	2	0,6	1,2	8	0,4	3,2	10
Total Secteur	75	0,68	65,9	425	0,5	209,6	500

Considérant les apports totaux en eau et en sel à l'échelle de l'ensemble de la région d'extrême nord nous estimons la salinité moyenne globale à 0,55 g/l.-

2.1.2- Secteur Ichkeul

Nous pouvons affirmer compte tenu des études et des données disponibles pour cette région que les eaux des oueds drainant les bassins versants du Lac Ichkeul se différencient assez peu par la composition des sels dissous et par les limites de salinité globale qu'elles peuvent atteindre. Aussi, en écartant l'oued Melah, dont les eaux présentent des charges salines élevées, il a été constaté que les salinités des différents oueds de ce secteur sont généralement très faibles. De même les variations des charges salines ne sont pas très importantes. L'examen du fichier salinité permet de définir les intervalles de variations des salinités extrêmes pour les différents oueds contrôlés de la région.

Nous présentons ci-après les résultats de cet examen :

- Sejenane	Intervalle de variation	0,14 à 1,2	g/l
- Joumine amont	"	"	0,16 à 1,3 g/l
- Joumine aval + Tine	"	"	0,24 à 3,5 g/l
- Rhezala	"	"	0,10 à 2,4 g/l
- Melah	"	"	0,18 à 9,8 g/l
- Douimis	"	"	0,20 à 4,9 g/l
- Ben Hassine	"	"	0,18 à 5 g/l

Sur la base de ces valeurs extrêmes nous pouvons établir le tableau des valeurs moyennes ci-après (Tableau 2.1.2)

Nous avons adopté pour la salinité moyenne en étiage et en crue les valeurs suivantes:

- Oueds Sejenane et Joumine respectivement 0,75 et 0,4 g/l
- Oued Tine respectivement 3 et 0,75 g/l
- Oued Melah respectivement 4 et 0,75 g/l
- Oued Douimis respectivement 2 et 0,5 g/l
- Oued Rhezala et reste secteur respectivement 1 et 0,5 g/l

Tableau 2.1.2

O u e d	Ecoulement de base 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en Sel 10 ³ Tonnes	Ruisselement surface 10 ⁶ m ²	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ Tonnes	Apport total 10 ⁶ m ³	Apport total Sel 10 ³ Tonnes	Salinité Moyenne g/l
- Sejenane	7	0,75	5,25	100	0,40	40000	107	45,250	0,42
- Joumine	20	0,75	15,000	106	0,40	42400	126	57,400	0,46
- Tine Chari	7	3,00	21	24	0,75	18000	3	39,000	1,06
- Melah	7	4,00	28	29	0,75	21750	36	49,750	1,38
- Rheralah	1	1	1	10	0,50	5000	11	6,000	0,55
- Douimis	1	2	2	11	0,50	5500	12	7,500	0,63
- Reste bassin Ichkeul	3	1	3	14	0,50	7000	17	10,000	0,59
- Ben Hassine	4	1	4	16	0,50	8000	20	12,000	0,60
- Oued Lac Eserte									
- Ensemble Secteur	50	1,6	79,750	310	0,48	148,010	360	226,900	0,63

Les oueds du Secteur Ichkeul présentent donc une salinité moyenne de 0,63 g/l. Les eaux de crue ont une salinité inférieure à 0,5 g/l alors que lors des étiages la salinité est en moyenne égale à 1,6 g/l.

2.2.- Secteur Medjerdah

Le nombre d'analyses disponibles a permis principalement l'évaluation des salinités moyennes journalières aux 7 stations de base :

- 1/ Pour la Medjerdah à Ghardimaou les salinités observées varient de 0,26 g/l à 2,4 g/l. Les eaux sont donc relativement peu salées au niveau de Ghardimaou.
- 2/ Au niveau de Jendouba les salinités observées varient de 0,51 g/l à 2,6 g/l.
- 3/ A la station de Bousalem les salinités varient de 0,142 g/l à 4,71 g/l. Nous voyons que les maximums augmentent fortement (du fait des apports du Mellègue) et que le minimum observé est faible (probablement grâce à des crues des affluents de la rive droite.)
- 4/ A la station de Medjez El Bab, les salinités varient de 0,400 à 4,72 g/l.
- 5/ A la station du Mellègue les salinités varient de 0,600 à 9,68 g/l. On doit souligner la forte concentration des eaux de cet oued dont une branche (la Meskiana) est issue d'une Sebkhia algérienne d'altitude et qui traverse des régions où l'on observe des sols à croûte gypseuse ainsi d'ailleurs que des zones de trias.
- 6/ A la station de Rhezala (Feriana), les salinités sont relativement plus faibles et dépassent rarement 1,2 g/l. Elles varient de 0,169 g/l à 1,63 g/l.
- 7/ A la Station de Bou Heurthma à Kef Rhira les salinités observées varient de 0,160 g/l à 1,44 g/l. La salinité y est donc assez faible (peu de valeurs observées dépassent 1g/l).

Pour la station de Sidi Médien sur l'oued Tessa qui est relativement plus récente, les analyses disponibles ont permis de constater que la salinité varie de 0,35 g/l à 4,2 g/l

Enfin et en ce qui concerne les oueds contrôlés par des stations dites secondaires nous avons relevé dans la Monographie de la Medjerdah les intervalles de variation ci-après

- l'oued Béja à Béja : Les salinités varient de 0,25 à 0,75 g/l
- L'oued Zarga au village Zarga : les salinités varient de 0,75 à 2 g/l
- L'oued Oussafa à l'entrée de la plaine de la Siliana : les salinités varient de 0,75 à 1,25 g/l

Sur la base de ces différentes indications, et compte tenu des valeurs avancées dans la monographie de Medjerdah et dans certains dossiers hydrologiques relatifs à certains affluents nous pouvons considérer les salinités moyennes suivantes pour le secteur :

- Oued Medjerdah à Chardinaou
Salinité moyenne interannuelle S = 0,78 g/l
- Oued Medjerdah à Bousalem
Salinité moyenne interannuelle S = 1,04 g/l
- Oued Medjerdah à Mejer El Bab
Salinité moyenne interannuelle S = 1,21 g/l
- Oued Mellègue à la station K13
Salinité moyenne interannuelle S = 1,80 g/l
- Oued Bouheurtma
Salinité moyenne interannuelle S = 0,46 g/l

- Oued Tessa à Sidi Médien		
Salinité moyenne interannuelle	S	= 1,80 g/l
- Oued Béja à Béja		
salinité moyenne interannuelle	S	= 0,48 g/l
- Oued Zarga au village		
Salinité moyenne interannuelle	S	= 1,40 g/l
- Oued Siliana		
Salinité moyenne interannuelle	S	= 1,7 g/l

Compte tenu de ces valeurs nous pouvons dresser le bilan global pour la medjerdah que nous présentons dans le tableau 2.2. ci-après :

Tableau.2.2

	Apports moyen 10 ⁶ m ³	Salinité moyen g/l	Total 10 ³ Tonne	Etiape 10 ⁶ m ³	Etiape salinité g/l	Apports 10 ³ Tonnes	Apport 10 ⁶ m ³	Crue salinité g/l	Apports sels 10 ³ Tonnes
-Medjerdah -Chardimaou	180	0,78	144	35	1,50	52,5	145	0,6	87
-Medjerdah -Bousalem	660	1,04	686,5	132	1,3	238	528	0,85	488,5
-Medjerdah -Mcjes el Zab	945	1,21	1143,5	190	2,2	418	755	0,96	725
-Hellègue	185	1,8	333,0	37	3,0	129,5	148	1,50	222
-Tessa	86	1,8	155,0	17	3,0	51	69	1,5	104
-Bouheurtma	136	0,46	62,5	20	0,8	16	116	0,4	46,5
-Kasseb	59	0,46	27	9	0,8	7	50	0,4	20
-Beja	56	0,48	27	11	0,8	9	45	0,4	18
-Siliana	75	1,70	127,5	15	2,5	37,5	60	1,5	90
-Total -Medjerdah	1000	1,25	1250	200	2,25	450	800	1,0	600

2.3. Secteur Nord Est

Ce secteur couvre le bassin versant du Miliane et les régions de Cap-Bon et Sahel Nord.

Les différentes stations qui contrôlent l'ensemble du secteur ont fait l'objet de dossiers et études hydrologiques. La salinité a été dans l'ensemble étudiée et nous disposons pour la majorité des oueds de la région de résultats suffisants pour nous permettre de dresser un inventaire général de la salinité.

Nous traiterons séparément le bassin du Miliane et le reste du Secteur.

2.3.1- Bassin du Miliane

Les résultats disponibles pour l'estimation de la salinité des différents principaux oueds du bassin du Miliane font ressortir l'importante variation de la salinité pour les faibles débits alors que pour les débits élevés et très élevés l'écart des salinités devient relativement faible.

En général on peut distinguer dans la région du Miliane deux types de salinité d'origines différentes.

- Le premier type est prédominant dans la région de Jebel Mansour où les oueds présentent une salinité en étiage variant entre 3 et 4 g/l. C'est le cas de l'oued Bou Arada. Cette salinité augmente légèrement et proportionnellement au débit à la suite de la dissolution du substratum salifère. En cas de débits très importants la salinité diminue considérablement.

- Le second type de salinité se produit par lessivage des dépôts de sel dans les grandes plaines d'accumulation telles que les gaset Tarf Echana et El Hamada ou la plaine de Smindja. Dans ce cas la teneur en sel est élevée en étiage (4 à 10 g/l), lors de l'augmentation du débit les sels accumulés en surface sont rapidement lessivés ce qui élève brusquement la salinité. En cas de débit très important la salinité diminue considérablement. L'oued Jarabia illustre bien un tel comportement.

Le tableau 2.3.1. ci-après récapitule les informations disponibles pour le bassin, information recueillies dans la Monographie du Miliane.

Tableau 2.3.1

	Apport Etiage 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport Sel 10 ³ T	Apport Cruce 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apports Sel 10 ³ T	Apports Total 10 ⁶ m ³	Salinité Moyenne g/l	Apport Total sel 10 ³ T
Kébir & Sidi Aoudet	3,37	1,76	5,931	7,63	1,2	9,156	11,000	1,4	15,400
Millane Tuburbo Majus	10,484	3,6	37,229	13,172	3,3	43,427	23,612	3,4	80,947
Boudhebane	2,347	2,80	6,605	4,418	1,8	8,027	6,765	2,2	14,656
Jarabia	4,152	5,9	24,406	7,393	4,5	33,695	11,545	5,1	58,571
Millane Cheylus	7,160	5,8	41,528	30,447	3,0	91,34	37,607	3,53	132,87
Millane Madelène	9,145	5,50	50,390	28,201	2,85	80,37	37,346	3,50	130,75
Ensemble Millane Cotier Nord	10	5,5	55,000	40,000	2,85	11	50	3,4	175

2.3.2.- Secteur Cap-Bon et Sahel Nord

Ce secteur contrairement au bassin du Miliane n'a été observé que partiellement. Les principaux oueds contrôlés sont : El Bey, Abida, Oudiane, El Abid, Mezerbach (en basse eaux), R'ebiaa (R'mell), Kheirat, Sbaïhia et Hammam Zriba. Si les basses eaux ont été bien observées du point de vue salinité, nous ne disposons que de quelques valeurs en crue pour les oueds El Bey, Abida, Oudiane et Abid.

Toutefois on peut penser que dans leur ensemble les oueds de ces régions ne présentent pas de grande variabilité de la salinité en hautes eaux, aussi nous ne commettrons pas d'erreur significative en admettant les valeurs suivantes pour les différents parties de ce secteur compte tenu des leurs caractéristiques hydrographiques et géomorphologiques :

- Partie Sud Ouest	: Salinité moyenne	1 g/l
- Partie Nord Ouest	: Salinité moyenne	0,70 g/l
- Partie Nord Est	: Salinité moyenne	1 g/l
- Partie Sud Est	: Salinité moyenne	0,70 g/l
- Sahel Nord	: Salinité moyenne	1,43 g/l

Sur la base de ces indications et compte tenu des valeurs moyennes des salinités disponibles pour les différents oueds nous pouvons présenter le tableau 2.3.1 récapitulatif de la page suivante :

Pour les oueds du Sahel Nord et principalement les oueds Zriba, R'mell et Kheirat nous disposons d'une série de mesures de la salinité en basses eaux, les valeurs de ces salinités sont relativement élevées et varient généralement entre 2,7 et 6,4 g/l.

Tableau 2.3.1

Région	O U E D S	Ecoulement d'égout 10 ⁶ m ³	Salinité moyen g/l	Apport en sel 10 ³ Tonne	ruissel- lement de crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyen g/l	Apport en sel 10 ³ Tonne	Apport total 10 ⁶ m ³	Salinité moyen g/l	Apport sel 10 ³ Tonne
Cap-Bon Sud Ouest	El Bey	1,280	3,75	4,8	9,480	1,05	9,950	10,760	1,33	14,28
	Oued Bezirk	0,055	2,50	2,40	6,48	1	6,48	7,430	1,19	8,88
	Oued Soltan Aval	0,980	3,00	2,94	6,57	1	6,57	7,550	1,26	9,510
Cap-Bon Nord Ouest	El Abid	0,600	1,60	0,96	6,850	0,5	3,325	7,450	0,59	4,385
	halief Korbous	0,55	1,50	0,83	6,280	0,7	4,4	6,830	0,96	5,9
	Oued cotiâr	0,47	1,50	0,70	5,380	0,7	3,77	5,850	0,76	4,47
Cap-Bon Nord Est	Sebkha Herouani	2,240	2,2	4,94	8,98	1,0	8,98	11,220	1,24	13,92
	Mgaïez	1,130	2,0	2,25	4,50	1,0	4,50	5,630	1,20	5,75
	Hadjar	1,260	2,0	2,52	5,05	1,0	5,05	6,310	1,20	7,57
Cap Sud Est	Tafekriste	1,590	2,0	3,18	6,36	1,0	6,36	7,950	1,2	9,54
	Région Kélibia	0,890	2,3	2,048	6,53	0,70	4,57	7,420	0,89	6,619
	Oudiane	0,950	2,4	2,28	6,985	0,65	4,540	7,94	0,86	6,820
	Abida	1,045	1,75	1,85	7,68	0,63	4,990	8,730	0,78	6,82
	Lebna (aval)	0,710	2,10	1,49	5,21	0,65	3,388	5,920	0,82	4,878
Total Cap - Bon		20,000	2,2	4,400	140,000	0,83	116	160	1,8/1	160

En adoptant des rapports écoulement base écoulement total voisins de ceux obtenus pour le Miliane (0,24) et les oueds de la partie Sud du Cap-Bon (0,12) nous pouvons représenter globalement le bilan de cette région comme suit :

	Apport Salinité 10^6	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10^3 /T	Apport crue 10^6 m ³	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10^3 T	Apport total 10^6 m ³	Salinité moyenne g/l	Apport Sel 10^3 T
Sahel Nord	3,60	3,40	12,24	16,40	1	16,40	20	1,43	28,64

2.4- Tunisie Centrale et région du Sahel

La région considérée couvre les trois principaux oueds se déversant dans la Sebkhia Kelbia : Nebhana, Merguellil et Zeroud ainsi que tous les petits cours d'eau drainant les sahels de Sousse et de Sfax jusqu'aux environs de la Ekhira. Les trois oueds cités ont fait l'objet d'un bon nombre d'étude et de dossiers hydrométriques dans lesquels le problème de la salinité a été bien appréhendé. Aussi, nous disposons de résultats intéressants qui ont été synthétisés à l'occasion de l'élaboration de la Monographie du Zeroud et du Merguellil. Comme pour les autres secteurs déjà étudiés nous allons d'abord, sur la/les données disponibles établir un tableau récapitulatif pour l'ensemble du système drainant le bassin de la Sebkhia Kelbia.

Pour le Sahel nous procéderons à l'évaluation de la salinité par analogie.

2.4.1. Oueds du système Sebkhia Kelbia

Si les oueds Merguellil et Zeroud ont été bien contrôlés depuis plusieurs années, il n'en a pas été de même pour l'oued Nebhana dont l'aménagement remonte au début des années 60. Seules des valeurs disparates de salinité ont été avancées dans les études hydrologiques élaborées à l'occasion de l'aménagement de l'oued. D'après ces données nous pouvons estimer les salinités moyennes en basses eaux à 4,2 g/l et en périodes de crues à 0,7 g/l.

Pour l'oued Merguellil, les données existantes permettent d'avancer les estimations suivantes :

- A la station de Haffouz qui contrôle environ la moitié du bassin total les salinités des eaux d'étiage varient entre 0,8 et 3,6 g/l avec une prédominance des charges comprises entre 1 et 2 g/l.
- A la station de Boujdaria qui contrôle environ les 2/3 du bassin la plage de variation des salinités s'étale beaucoup plus : de 1,2 à plus de 7 g/l avec une charge prédominante comprise entre 3 et 5 g/l.

En ce qui concerne les eaux de crue les intervalles de variation sont respectivement 0,2 - 2,5 g/l et 0,6 - 4 g/l.

Nous pouvons retenir les valeurs moyennes suivantes pour les deux stations considérées :

- . Merguellil à Haffouz Etiage : 1,31 g/l Crue : 1 g/l
- . Merguellil à Boujdaria Etiage : 2,70 g/l Crue : 1,87 g/l

L'oued Zéroud avec ses deux branches principales est contrôlé par cinq stations de base. Des études afférentes à ces cinq stations ont été élaborées dans le cadre de la Monographie et nous disposons pour l'étude de la qualité des eaux de résultats significatifs et fiables que nous rappelons brièvement ci-après :

Branche Nord :

Oued Hathob à la station de Aïn Saboun

- . En étiage : les salinités varient de 2,31 à 3,75 g/l
la moyenne est estimée à 2,90 g/l
- . En Crue : Les salinités varient de 0,5 à 2 g/l
la moyenne est estimée à 1,1 g/l

Oued Hathob à la station de Ksar Kabrit

- . En étiage : les salinités varient de 2 à 4,25 g/l
la moyenne est estimée à 3,35 g/l
- . En crue : les salinités varient de 1,24 à 2,72 g/l
la moyenne est estimée de 1,89 g/l

Branche Sud

Oued Hatab à la station de Khanguet Zarla

- . En étiage : la salinité moyenne annuelle varie dans un intervalle réduit 2,3 à 2,48 g/l
- . En Crue : Les salinités moyennes annuelles varient entre 1,42 g/l et 2,15 g/l

Oued Negada à la station Bled Lassoued

Les valeurs de la salinité pour les basses eaux se situent dans une gamme très étendue entre 5 et 15 g/l avec prédominance au niveau de 7,5 et 11,5 g/l

Les valeurs de la salinité pour les crues sont en général inférieures à 3 g/l. Néanmoins, nous pouvons rencontrer des salinités beaucoup plus élevées jusqu'à 10 g/l en période de crues très faibles (lessivage des berges de l'oued).

Nous retenons les valeurs moyennes suivantes :

- . étiage : 6,30 g/l - Crue : 1,75 g/l - moyenne annuelle : 2,35 g/l

Oued Zéroud à Sidi Saïd

Les valeurs de salinité mesurées oscillent dans leur majorité entre 0,430 g/l et 6,5 g/l. Les valeurs les plus fréquemment atteintes sont comprises entre 1,5 et 5,5 g/l.

Les salinités moyennes annuelles des basses eaux varient entre 3,92 g/l et 5,38 g/l ; la moyenne interannuelle est de 4,58 g/l.

En ce qui concerne les eaux de ruissellement la monographie du Zeroud fait ressortir les résultats suivants : 1,2 à 7,6 g/l

La salinité moyenne interannuelle des volumes de crue est de 2,10 g/l.

Sur la base de ces indications nous pouvons présenter le tableau 2.4.1. récapitulatif ci-après (voir page suivante).

2.4.2. Sahel de Sousse et Sfax

Nous intégrons dans cette zone tous les cours d'eau côtiers qui drainent la région du sahel de Sousse et le littoral de Sfax ; l'oued Oudrane non compris.

Les apports de ces cours d'eau sont essentiellement des eaux de ruissellement et sont donc relativement de bonne qualité. Il ne faut pas perdre de vue que les écoulements dans ces régions sont très irréguliers et sont étroitement liés aux épisodes pluvieux les plus remarquables.

Aussi nous ne pouvons, faute de renseignements sur ces écoulements, qu'avancer des ordres de grandeurs des apports en sel et des salinités et ce par analogie avec les oueds du Centre déjà cités en l'occurrence l'oued Zeroud. L'évaluation des apports faite en 1980 a fait ressortir un volume de 60 millions de m³ pour cette région. En considérant un écoulement de base de 5 millions de m³ nous pouvons présenter les estimations globales suivantes:

	Écoulement de base 10 ⁶ m ³	Salinité Moyenne g/l	Apport en Sel 10 ³	Apport de crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne	Apport Sel 10 ³ T	Apport Total 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10 ³ T
Sahel	5	4,60	23	55	1,5	83	60	1,77	106

	Volume de base 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Poids Sel 10 ³ T	Volume de crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyen g/l	Poids Sel 10 ³ T	Volume Total 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Poids Sel 10 ³ T
Nebhana	4,50	2,0	9,0	20,5	0,7	14,35	25	0,93	23,35
Merguellil Haffouz	3,50	1,31	4,59	17	1,07	18,19	20,5	1,2	22,78
Merguellil Sidi Boujdaria	7,90	2,7	21,33	30	1,87	56,10	37,9	2,04	77,43
Merguellil (Total)	7	3	21	28	2	56	35	2,2	77
Hathob Aïn Saboun	1,25	2,9	3,64	13,15	1,1	14,46	14,40	1,26	18,10
Hathob Ksar Kebrit	11,97	3,4	36,39	45,3	1,89	85,52	57	2,14	122
Hateb Kgt Zazia	7,28	2,35	17,08	35,7	1,65	58,9	43,1	1,78	76,5
Negada	3,5	6,3	22,1	24,60	1,75	43,1	28,1	2,32	65,2
Zeroud Sidi Sand	13,2	4,58	60,5	80,2	2,1	168,0	93,8	2,44	228
Ensemble Zeroud	15	4,58	69,0	90	2,1	189	105	2,45	258

2.5. Cours d'eau du Sud Tunisien

La région considérée couvre l'ensemble des bassins versants du Sud du pays :

- Oued Leben et Sebka Naoual
- Bassin du Chott EL Charsa
- Bassin de la Jeffara
- Extrême Sud

Les apports globaux des ressources en eau ont été estimés à 240 millions de m³ repartis comme suit :

Centre Sud	(Oued Leben	(120 millions)
	)Sebka Naoual	
	(Chott Charsa	

S u d	(Cotier Gabès	(120 millions)
	)Jeffara	
	(Chott Fejaï et Jerid	
	)Extrême Sud	

Ces apports proviennent essentiellement du ruissellement de crue, les écoulements de base étant relativement très faibles. Aussi, les salinités ne sont généralement pas élevées et les intervalles de variation sont très réduits. Les données disponibles ne sont pas nombreuses et se limitent essentiellement aux oueds se déversant dans Chott El Charsa et les oueds drainant la région de la Jeffara.

Pour les oueds présentant des ruissellements de base non négligeables les salinités sont généralement élevées comme en témoignent les intervalles de variations suivants:

Oueds Cotiers

- Oued Akarit	: 6,1 - 7,9 g/l
- Oued Hama	: 3,18 - 4,46 g/l
- Oued Gabès	: 2,9 - 4,66 g/l
- Oued Oum Zessar	: 4,10 - 10,4 g/l
- Oued Zigzaou	: 5,06 - 7,46 g/l

Région de Centre Sud

- Oued Leben (Maknassy)	: 3,9 - 6,7 g/l
- Oued Sellam	: 1,18 - 3,78 g/l
- Oued Selja	: 1,9 - 5,04 g/l

Il y a lieu de signaler dans ce même contexte les valeurs excessivement fortes atteintes par la salinité de l'oued Oudrane dans sa partie aval. Ces valeurs de salinités très élevées sont dues au fait que les eaux de base proviennent d'une formation aquifère fortement salée. Les valeurs disponibles varient entre 14,10 et 66,3 g/l

En ce qui concerne les eaux de crue, il y a lieu de souligner la faiblesse des taux de salinité. Les séries de valeurs disponibles font en effet ressortir des limites de variation inférieures à 1 g/l pour les oueds Bouhaya, Sidi Aïch et Kébir se déversant dans l'oued Baïech, pour l'oued selja ces limites sont respectivement 0,64 et 1,56 g/l

Pour les oueds drainant la Jeffara les eaux de ruissellement présentent des charges salines très faibles ne dépassant généralement pas 0,7 g/l

A la lumière de ces indications que nous avons pu rassembler du fichier de salinités et des divers bulletins et annuaires hydrométriques nous pouvons présenter le tableau récapitulatif 2.5.

Tableau 2.5

Région	O u e d	Apport base (10 ⁶ m ³)	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10 ³ T	Apport Crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10 ³ T	Apport total 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport sel 10 ³ T
Centre Sud	Oued leben	2	5,0	10	18	1,6	28,8	20	1,94	38,8
	Sekkha Naoual reste bassin	-	-	-	30	1,6	48	30	1,6	48
Chott Gharra	Sidi Aïch	-	-	-	22	0,30	6,6	22	0,3	6,6
	Kebir	-	-	-	35	0,30	10,5	35	0,3	10,5
	Selja	0,5	2,8	1,4	5,5	0,9	4,95	6	1,06	6,35
	Total bassin	2	2,5	5,0	68	0,35	23,8	70	0,41	29
Sud Est et Région des Chott	Cotiers Gabès Jeffara	4	5,0	20	58	1,5	87	62	1,73	107
	Chareb et Chott Féja	4	3,8	15,2	20	1,5	30	24	1,88	48,2
	Errih	-	-	-	7	0,5	3,5	7	0,5	3,5
	Total	8	4,8	38,4	87	1,38	120	95	1,66	158
Extrême Sud	Bassin Totaux	-	-	-	25	0,5	12,1	25	0,5	12,5
Ensemble Centre Sud		6	3,30	20	114	1,04	119	120	0,82	98,5
S u d		8	4,80	38,4	112	1,17	1,32	120	1,47	160

3) Bilan Global

Les différentes évaluations du chapitre précédent couvrant l'ensemble du réseau hydrographique Tunisien permettent de constater que la salinité moyenne à l'échelle annuelle varie globalement comme suit :

- . Pour les eaux d'étiage entre 0,6 et 6,3 g/l
- . Pour les eaux de crue entre 0,3 et 4,5 g/l
- . Pour les apports totaux entre 0,30 et 5,1 g/l

Afin de mieux cerner les variations de ces charges nous définissons trois classes de salinité. La classification adoptée est liée à l'utilisation des eaux telle-que.

- La première classe groupe la salinité inférieure à 1,5 g/l et définit l'eau valable pour tout usage.
- La seconde classe groupe les salinités comprises : entre 1,5 et 3 g/l. Cette classe concerne les eaux utilisables à la limite pour l'alimentation humaine et pour l'irrigation de certaines cultures. L'eau de cette classe est utilisable pour les industries.
- La troisième classe groupe les salinités supérieures à 3 g/l et concerne une eau inutilisable pour l'alimentation humaine, partiellement utilisable pour certaines cultures notamment dans les oasis du Sud et surtout pour l'industrie.

Rapportés à ces trois classes, les volumes moyens inter-annuels des différents cours d'eau se présentent selon le tableau 3.1. ci-après.

Tableau 3.1

REGION	1ere CLASSE	2eme CLASSE	3eme CLASSE	TOTAL
- Extrême Nord - Ichkeul - Medjerdah - Miliane - Cap-Bon - Sahel Nord	490 345 730 140 16.	10 8 270 40 18,5	7 10 1,5 3,5	500 360 1000 50 160 20
N O R D	1721	346,5	22	2090
- Nebhana et Alem - Merghuellil - Zeroud - Sahel	45 55	5 35 90	15 5	50 35 105 60
C E N T R E	100	130	20	250
- Leben - S. kat Naoual) - Ch. El Garsa - Sud Extrême Sud	60 32	48 R 80	2 2 8	50 70 120
	92	136	12	240
T o t a l	1913,5	612,5	54	2580

(Les volumes sont données en Millions de m³).

D'après ce tableau les apports moyens annuels sur l'ensemble du réseau soit 2580 millions de m³ sont repartis comme suit :

- . 1915 millions soit 74% avec une salinité inférieure à 1,5 g/l
- . 610 millions soit 24% avec une salinité comprise entre 1,5 et 3 g/l
- . 555 millions soit 21% avec une salinité supérieure à 3 g/l

La prédominance de la première classe s'explique par le fait que les ruissellements de crue constituent la part importante des écoulements globaux et représentent 84% de l'écoulement total à l'échelle de l'ensemble du réseau, comme le fait ressortir le tableau récapitulatif 3.2. de la page suivante.

Ce tableau appelle certains commentaires.

Il s'agit là de valeurs moyennes à l'échelle d'une année dont la précision est liée notamment aux estimations avancées pour les régions non contrôlées notamment le Sahel et la région de Sebkhah Naouel. Les apports de ces régions ne dépassant guère les 100 millions de m³ soit 4% du total nous pensons que les valeurs présentées dans ce tableau et qui sont déduites essentiellement de résultats d'observations peuvent être considérées comme fiables et présenter un bilan moyen global à l'ensemble du pays.

Il y a lieu aussi de remarquer, que vu l'irrégularité qui caractérise les écoulements de surface en Tunisie, au cours des années déficitaires l'écoulement est faible et la salinité moyenne peut atteindre des valeurs élevées, étant donné que la part du ruissellement de base devient importante au cours de ces années.

Tableau 3.2

	Apport de base 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ T	Apport de crue 10 ⁶ m ³	Salinité moyenne g/l	Apport en sel 10 ³ T	Apport total 10 ⁶ m ³	Salinité g/l	Apport en sel 10 ³ T
- Extrême Nord	75	0,68	66	425	0,50	210	500	0,55	276
- Ichkeul	50	1,68	80	310	0,48	148	360	0,63	228
- Medjerdah	200	2,25	450	800	1,00	800	1000	1,25	1250
- Miliane Cotier Nord	10	5,50	55	40	2,85	114	50	3,40	169
- Cap-Bon	20	2,20	44	140	0,83	116	160	1,00	160
- Sahel Nord	4	3,40	14	16	1,0	16	20	1,50	30
- Nebhana	5	2,0	10	20	0,7	14	25	0,96	24
- Région Algèr	-	-	-	25	1	25	25	1,0	25
- Merguelli	7	3,0	21	28	2	56	35	2,2	77
- Zeroud	15	4,58	69	90	2,1	189	105	2,45	258
- Sahel	5	4,60	23	55	1,5	83	60	1,77	106
- Centre Sud	5	3,5	18	45	1,6	72	50	1,5	90
- Chott Gharsa	1	2,5	2	69	0,35	25	70	0,39	27
+ Sud	8	4,8	38	112	1,41	1,60	120	0,79	94
Ensemble du pays	405	(2,20)	890	2175	0,193	1 2028	2580	(1,13)	2918
Z	= 16		31	= 84		69	100		100

Les salinités données entre parenthèses et concernant l'ensemble du pays ne sont données qu'à titre indicatif pour les besoins du bilan général.

Par ailleurs, les apports en sels globaux s'élèvent à environ $2,8 \cdot 10^6$ Tonnes dont 32% sont apportés par les eaux d'étiage et 68% sont véhiculés par les eaux de ruissellement.

Etiage	Crue	Total (T)
$0,90 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$

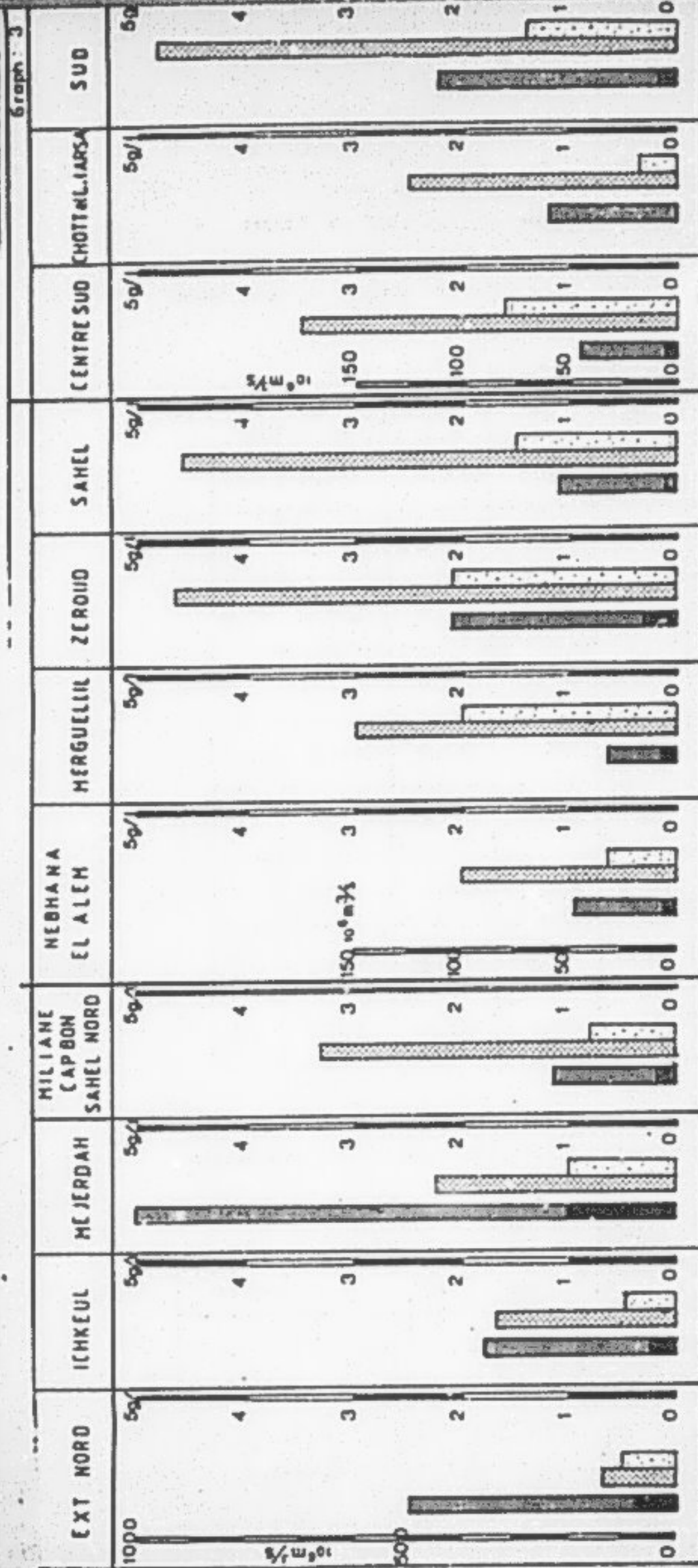
Le graphique 3 donne une représentation des principaux résultats obtenus dans cette étude de synthèse.

4) Nature des sels transportés :

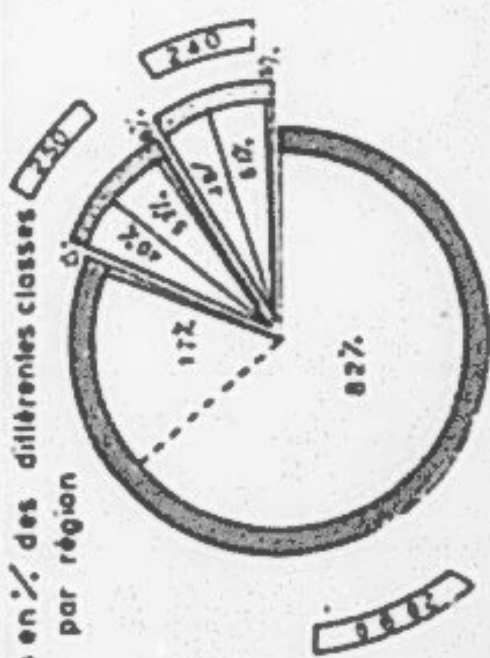
Comme nous l'avons remarqué dans l'introduction de cette étude les analyses effectuées comportent le plus souvent la détermination des ions majeurs en solution et principalement les anions Cl^{10^4-} , CO_3H^- , et CO_3^{2-} et les cations Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} .

Ces analyses dites complètes ont permis de disposer de résultats intéressants sur la composition des sels transportés.

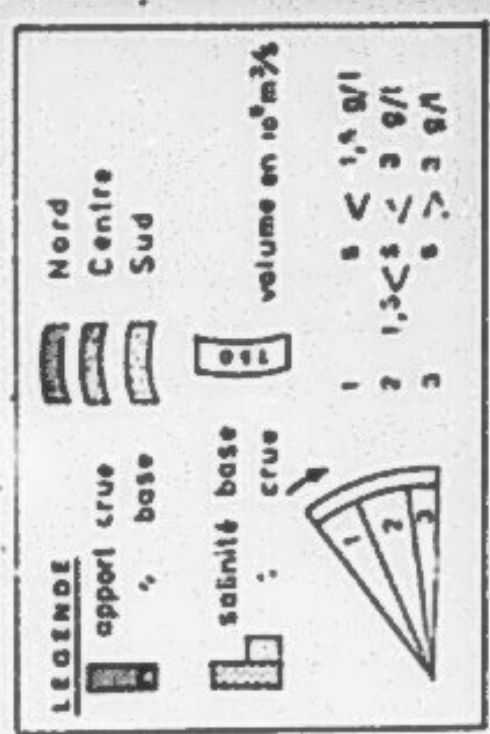
L'élaboration de Monographies et d'études hydrologiques a été l'occasion d'aborder cet aspect pour les principaux oueds du pays. Les conclusions de ces études sont très significatives et peuvent rendre compte notamment de l'évolution des concentrations en ions des eaux en fonction de la salinité globale. Il serait utile dans le cadre de cette étude de synthèse de rappeler les principales conclusions obtenues pour la Medjerdah dont les apports en sel estimés à $1,25 \cdot 10^6$ Tonnes par an présentent 45% des apports totaux.



répartition en % des volumes
totaux en classes de salinités



répartition en % des différentes classes
de salinité par région



Pour la Medjerdah l'étude a été faite statistiquement à partir de 1230 analyses complètes. Le graphique de la page suivante représente les résultats obtenus pour la station de Mejer El Bab résumés aussi dans le tableau ci-après :

S g/l	Ca ⁺⁺ g/l	Mg ⁺⁺ g/l	Na ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ H ⁻
0,25	0,036	0,0009	0,028	0,042	0,054	0,082
0,5	0,069	0,015	0,064	0,096	0,119	0,135
0,75	0,097	0,023	0,106	0,164	0,182	0,172
1	0,124	0,030	0,151	0,240	0,260	0,196
1,25	0,146	0,039	0,203	0,322	0,335	0,205
1,5	0,61	0,049	0,265	0,424	0,412	0,189
2	0,194	0,066	0,384	0,612	0,550	0,194
3	0,267	0,093	0,631	0,03	0,793	0,188
4	0,333	0,114	0,895	1,46	0,972	0,229

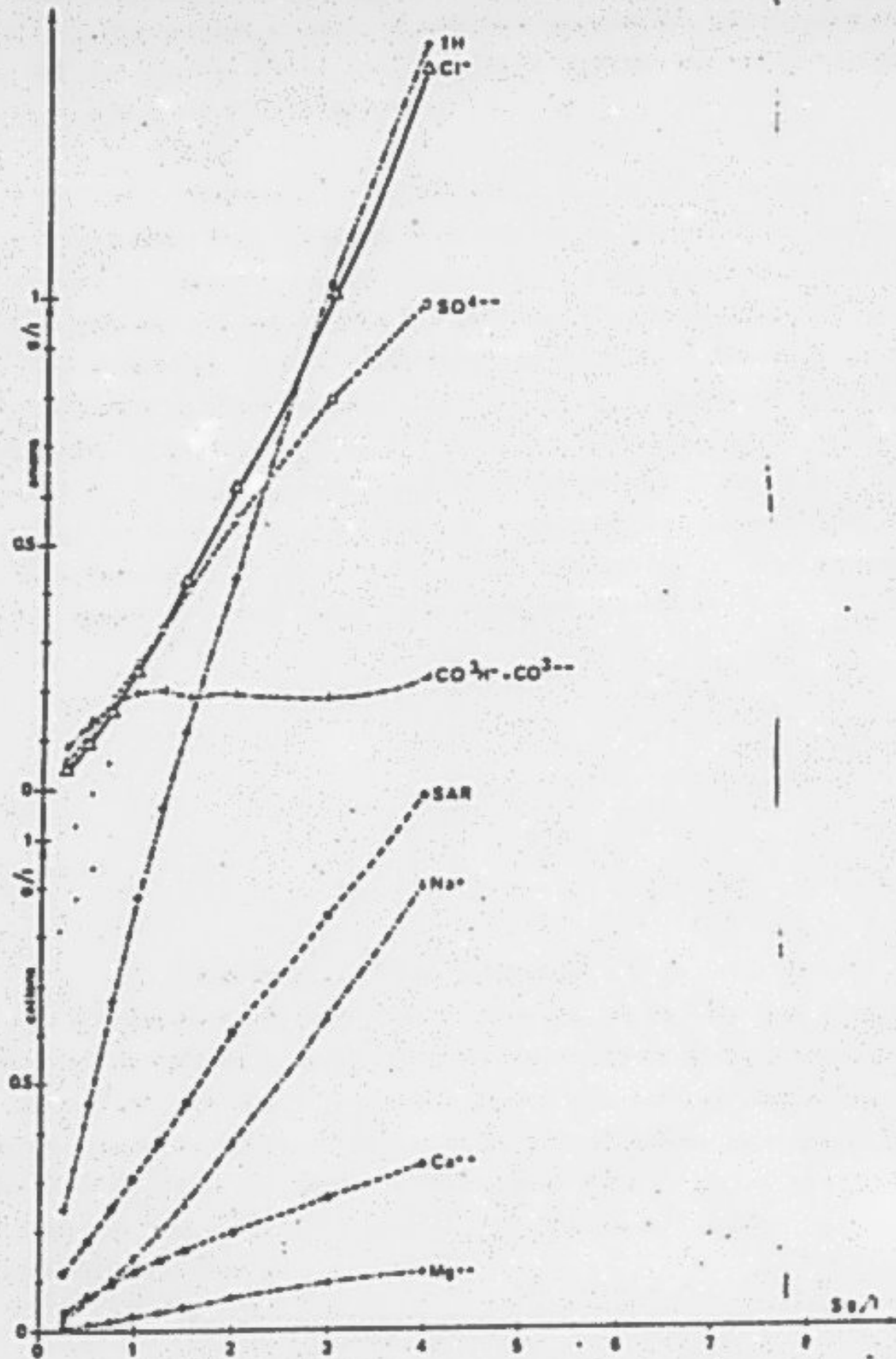
Nous pouvons grâce au graphique obtenu estimer les poids transportés annuellement pour les différents sels :

En année moyenne on a (Tableau 4.2)

V(10 ⁶ m ³)	S g/l	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ H ⁻	Total (10 ³ T/an)
1000	1,25	150	40	205	330	335	190	1245

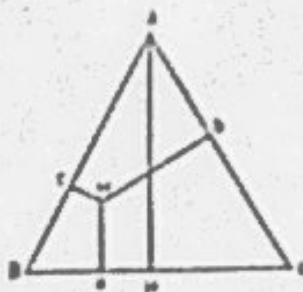
MEJERDAH & MEDJEZ EL BAB

Variations des concentrations moyennes des divers ions en fonction de la salinité globale



Bien entendu, il s'agit là de résultats approchant la réalité, le potassium n'ayant été que rarement déterminé donc, il n'en a pas été tenu compte. D'ailleurs la quantité de potassium est généralement faible par rapport à celle du sodium.

Pour conclure l'étude sur la nature des sels transportés nous reproduisons dans les pages suivantes les diagrammes triangulaires, illustrant la répartition des différents ions. Nous rappelons le principe de la représentation qui se fait à l'intérieur d'un triangle équilatéral : soit ABC un triangle et M un point intérieur (graphique ci-après). Si on trace à partir de M les perpendiculaires M_A , M_B et M_C aux trois côtés on peut écrire la relation $M_A + M_B + M_C = AH$ Si l'on suppose $AH = 100$ les segments M_A , M_B et M_C peuvent représenter les teneurs des ions A, B et C en X. Les pourcentages sont calculés en rapportant les concentrations en mg/l (le milliequivalent / l (me/l) s'obtiennent en multipliant le poids en grammes par le rapport de la valence au poids atomique).

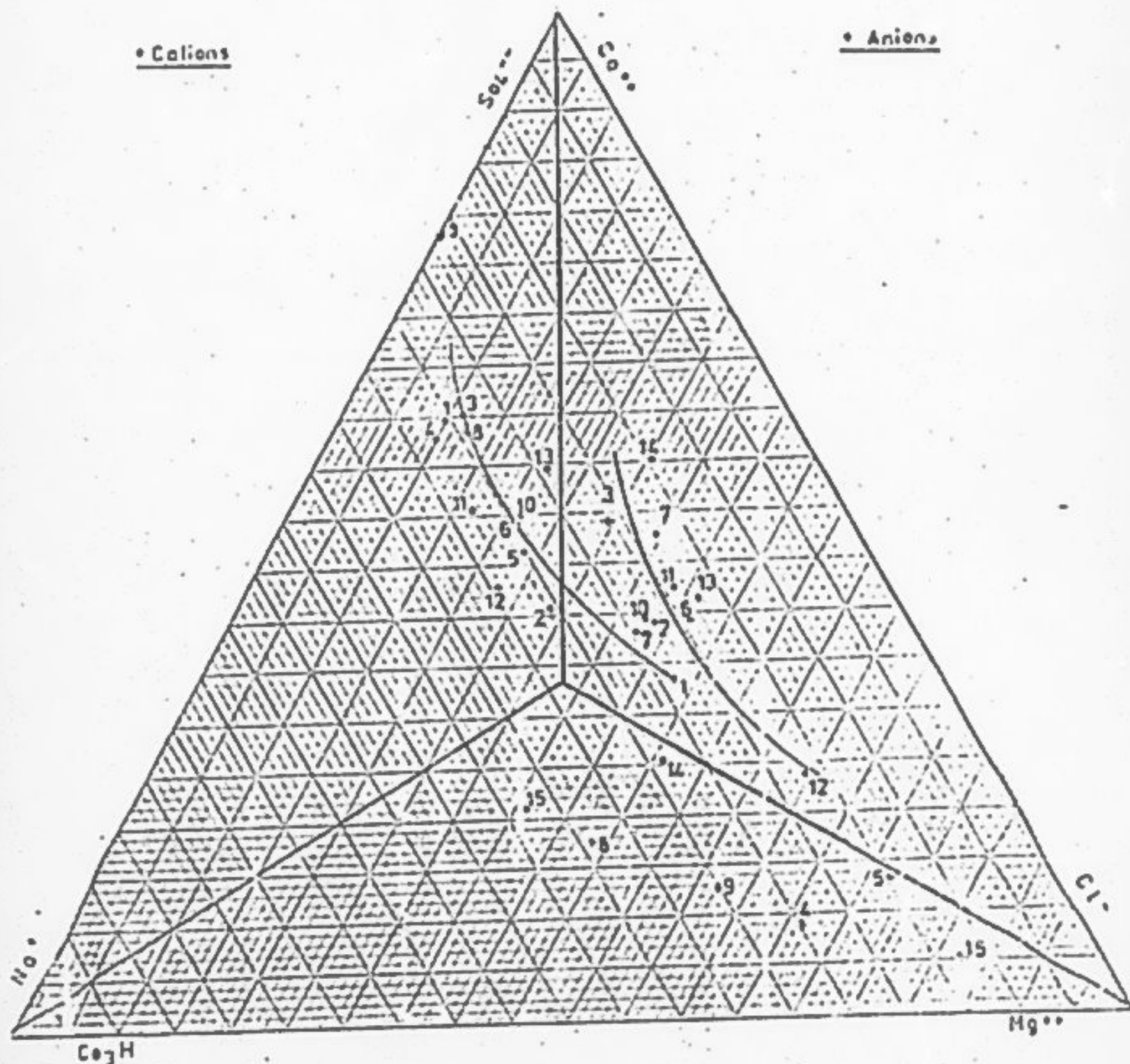


Une analyse est ainsi représentée par un point dans le triangle des anions et un point dans le triangle des cations (que l'on peut superposer). On a aussi la possibilité de faire figurer le barycentre des points regroupés par classe de salinité globale des échantillons ce qui permet de suivre la variation moyenne de la composition en fonction de la salinité et de tracer des courbes d'évolution de la composition en reliant les barycentres des différentes classes. Les diagrammes reproduits ci-après concernant les stations de :

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| - L'oued Kébir à Tabarka | - L'oued El Gouss |
| - L'oued Sejenane | - L'oued Medjerda à Ghardimaou |
| - L'oued Joumine Mateur | - L'oued Medjerda à Bou Salem |
| - L'oued Douimis | - L'oued Medjerda à Medjez El Bab |
| - L'oued Melah Ichkeul | - L'oued Mellègue au K.13 |
| - L'oued Rhezala Ichkeul | - L'oued Rhezala à Feriana |

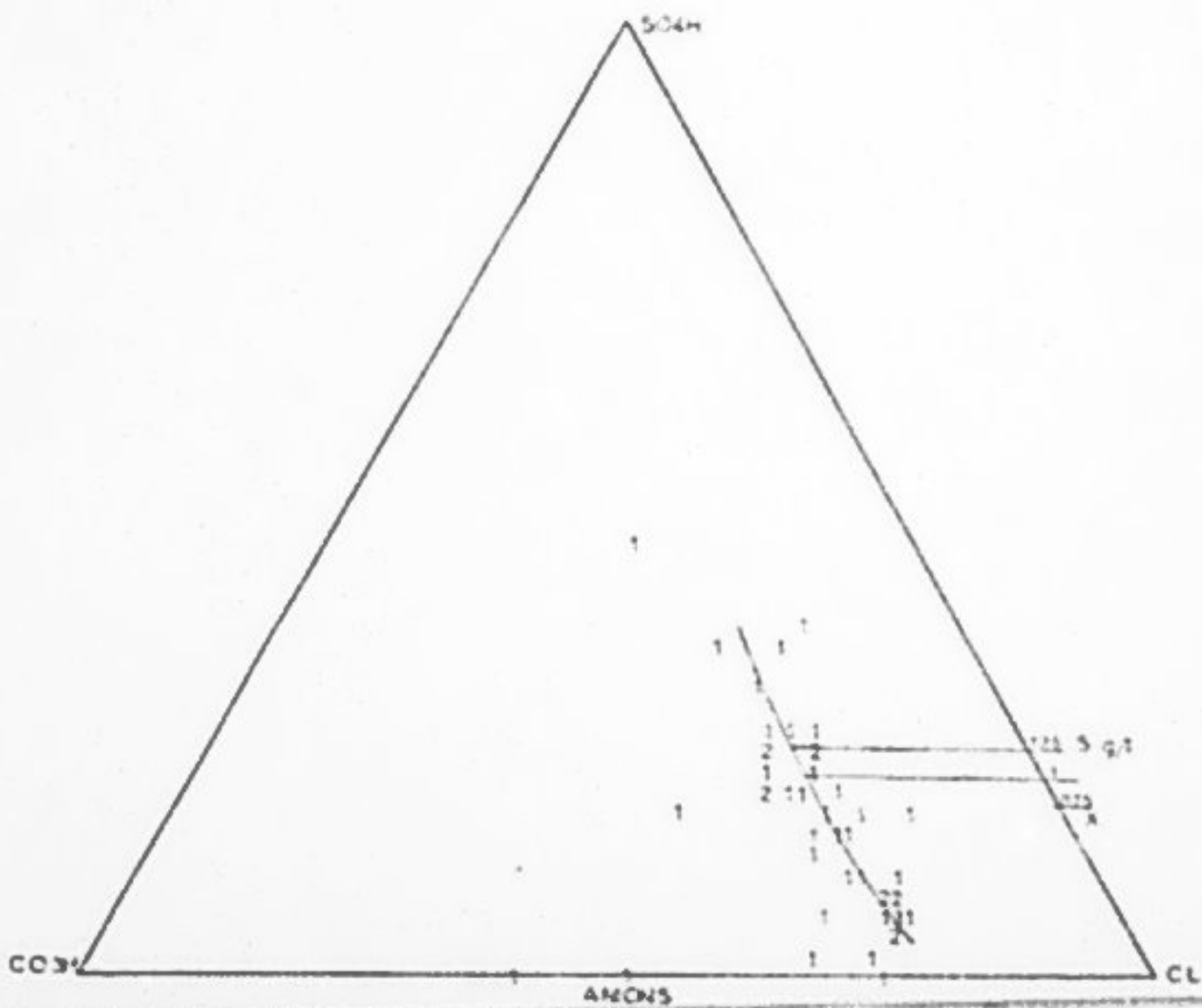
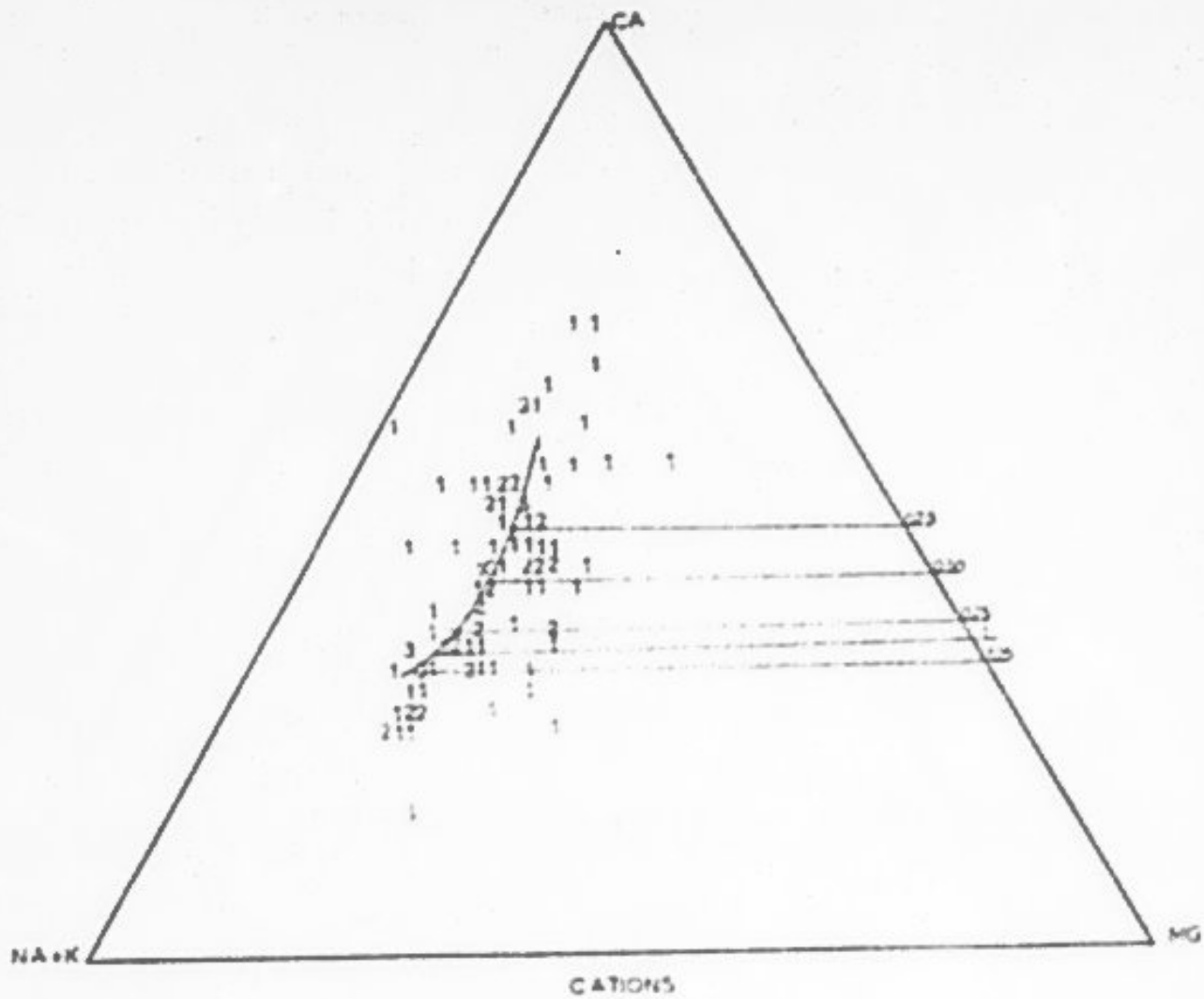
OUED KEBIR AU PONT DE TABARKA NC 2

Analyses chimiques des eaux
composition relative des Anions et des Cations



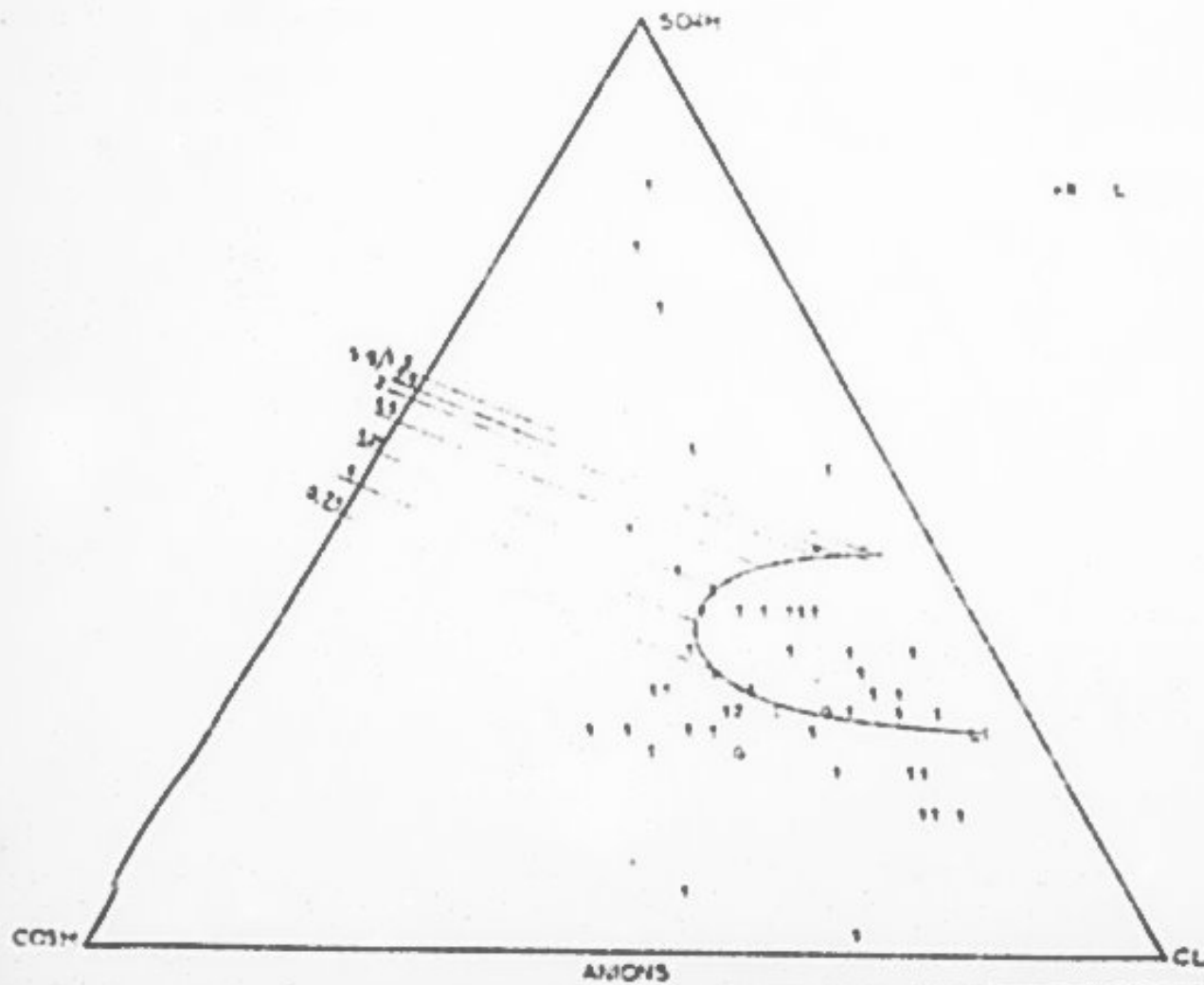
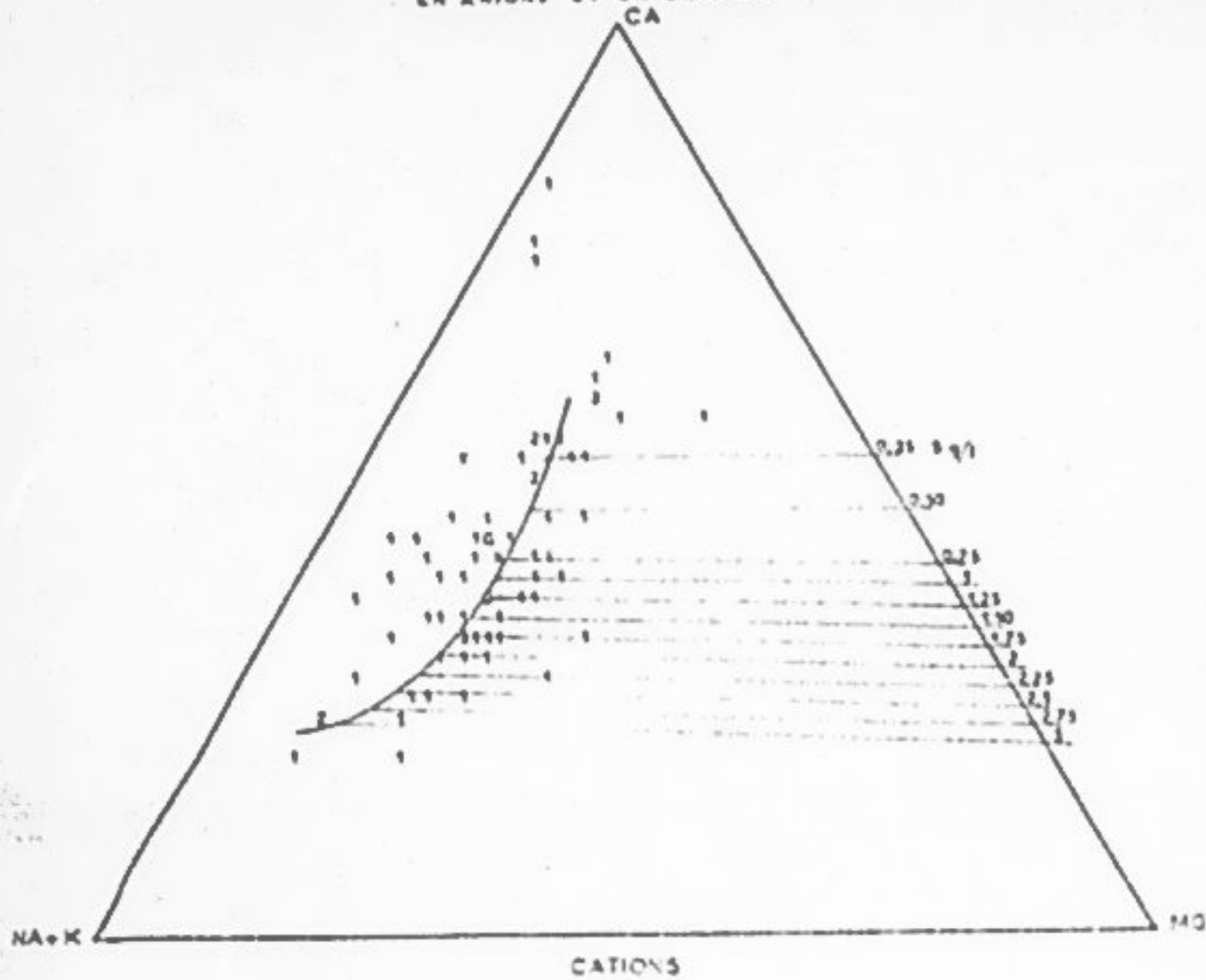
OUED SEJENANE 105

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
EN ANIONS ET EN CATIONS



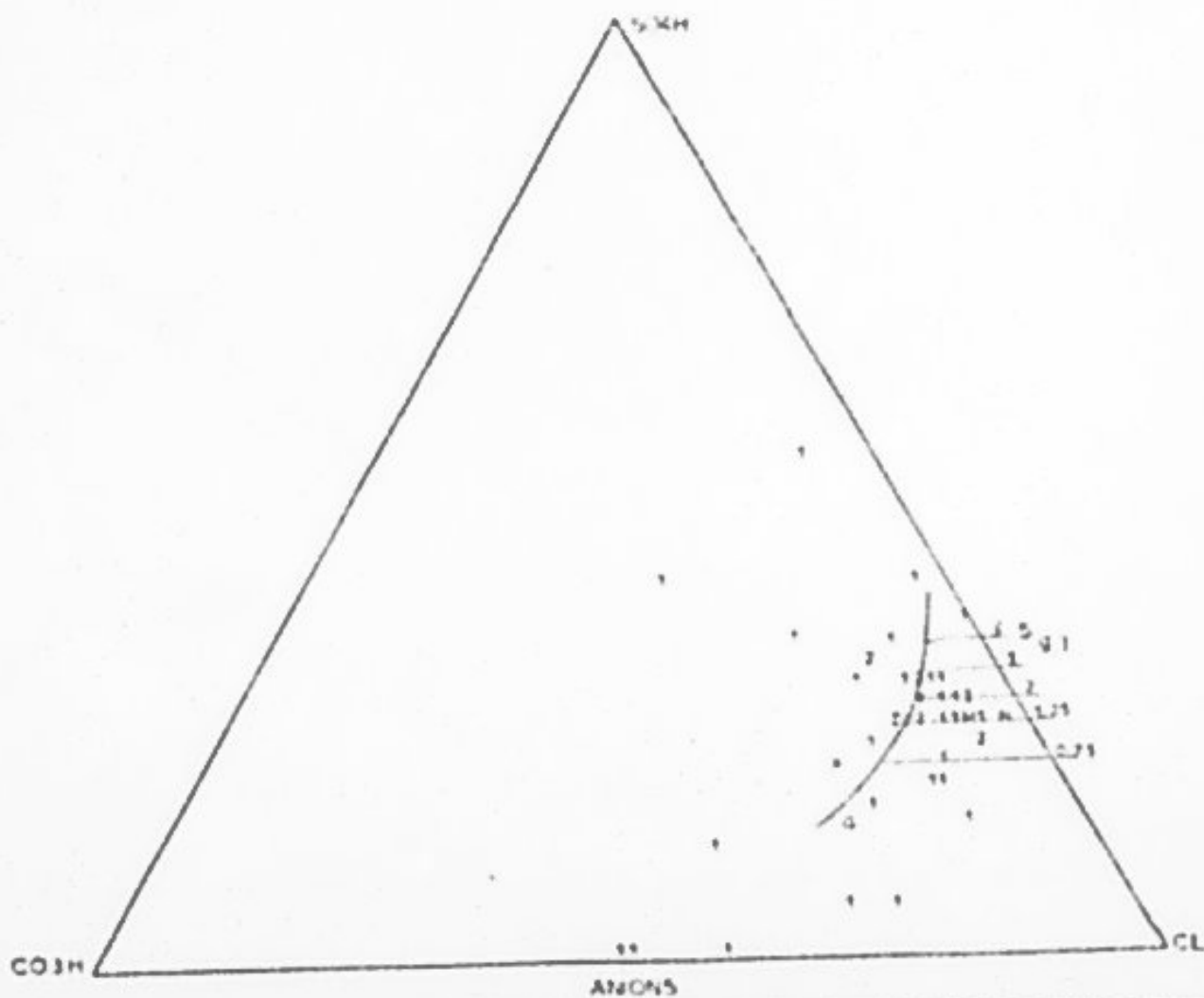
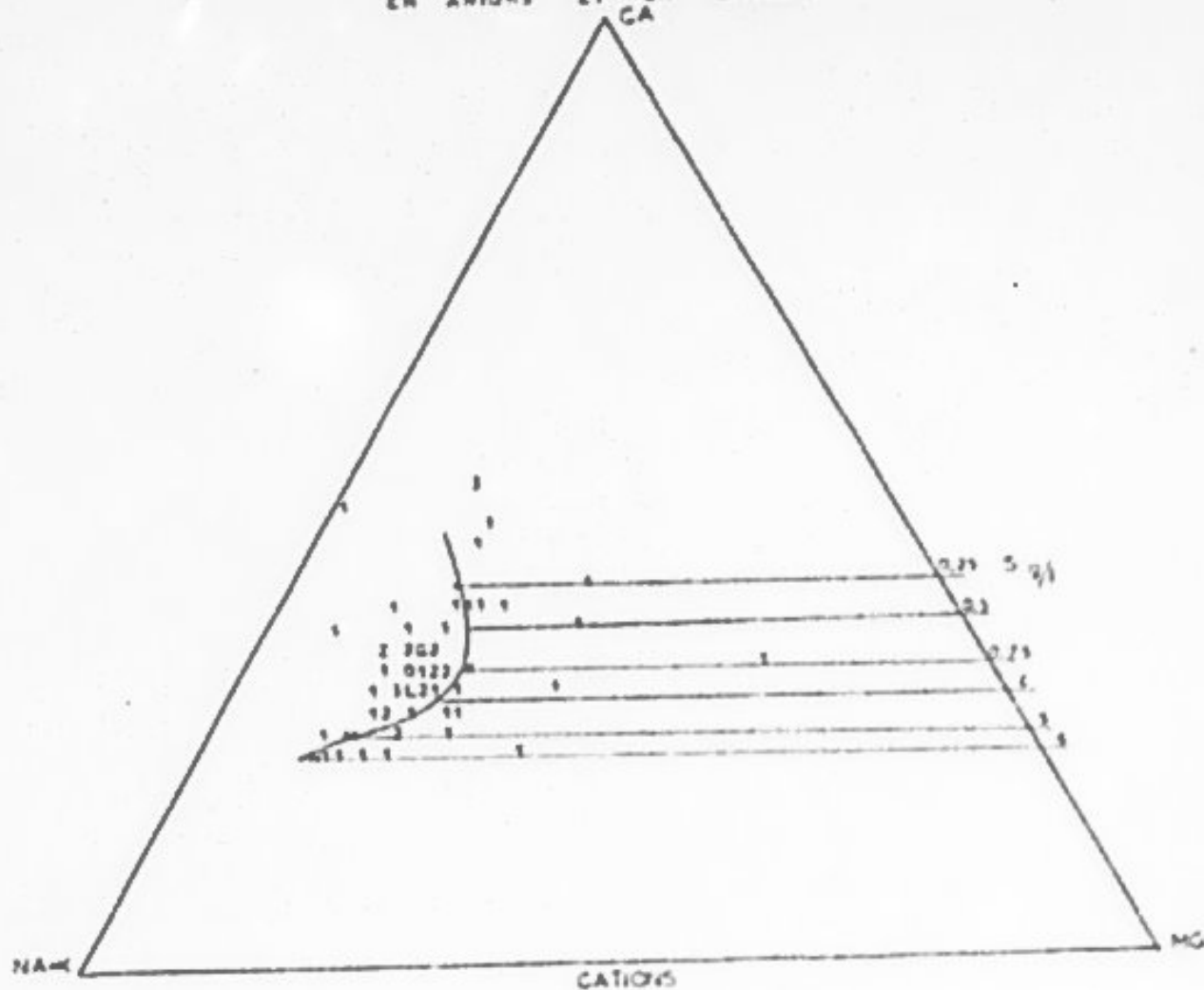
OUED JOUMINE MATEUR IC 9

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
EN ANIONS ET EN CATIONS



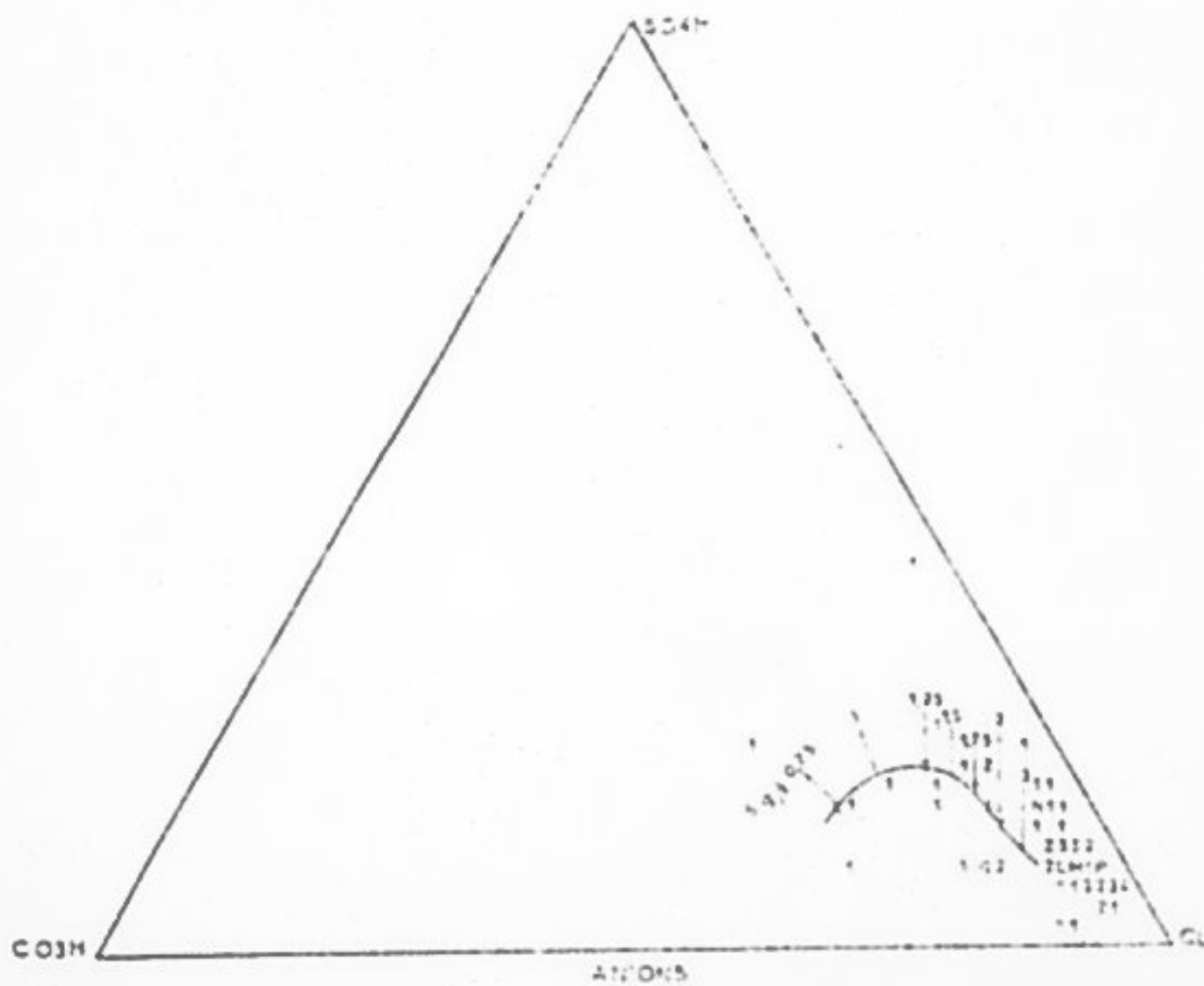
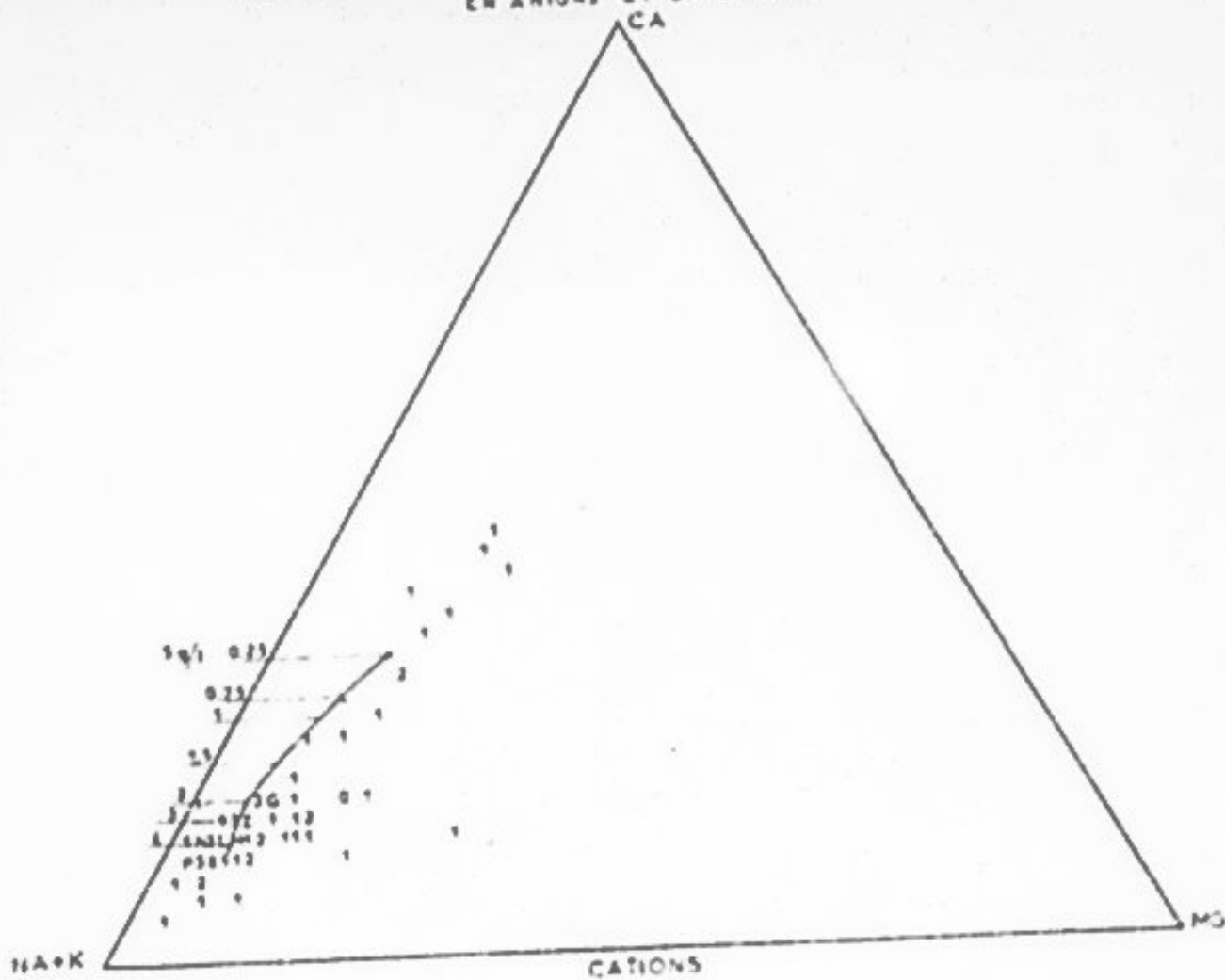
OUED DOUIMIS 108

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
EN ANIONS ET EN CATIONS



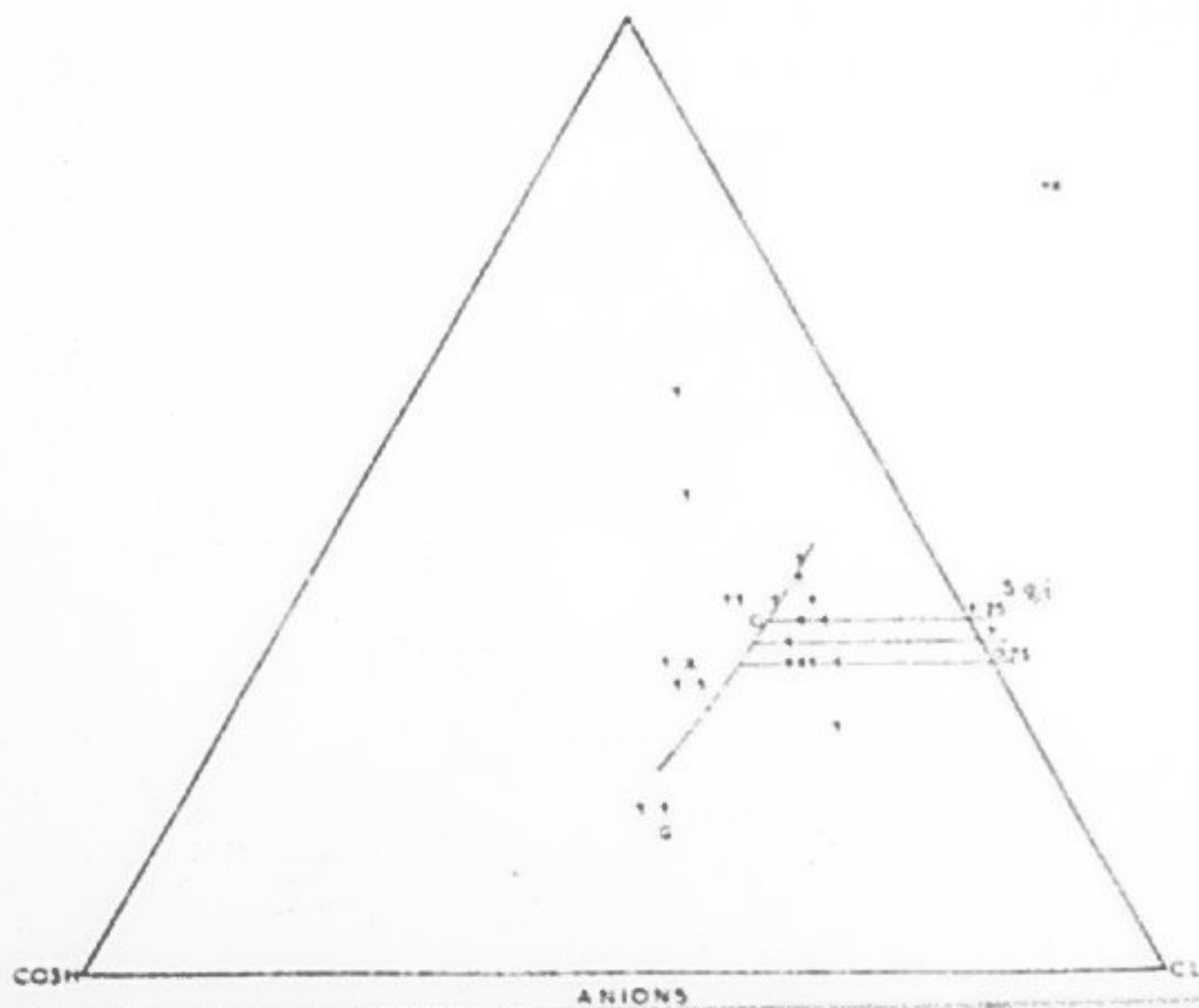
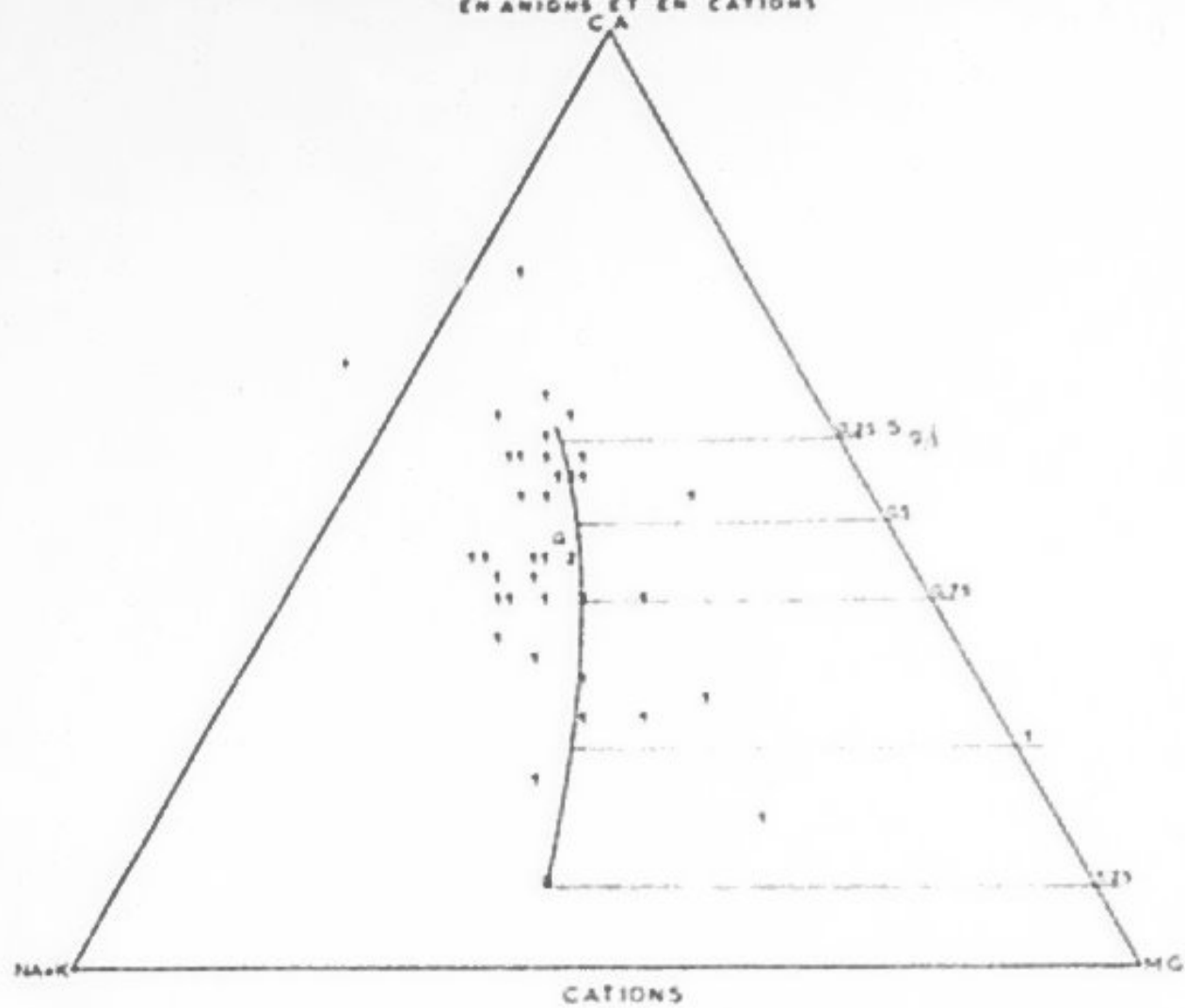
DUED MELAH 106

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
EN ANIONS ET EN CATIONS



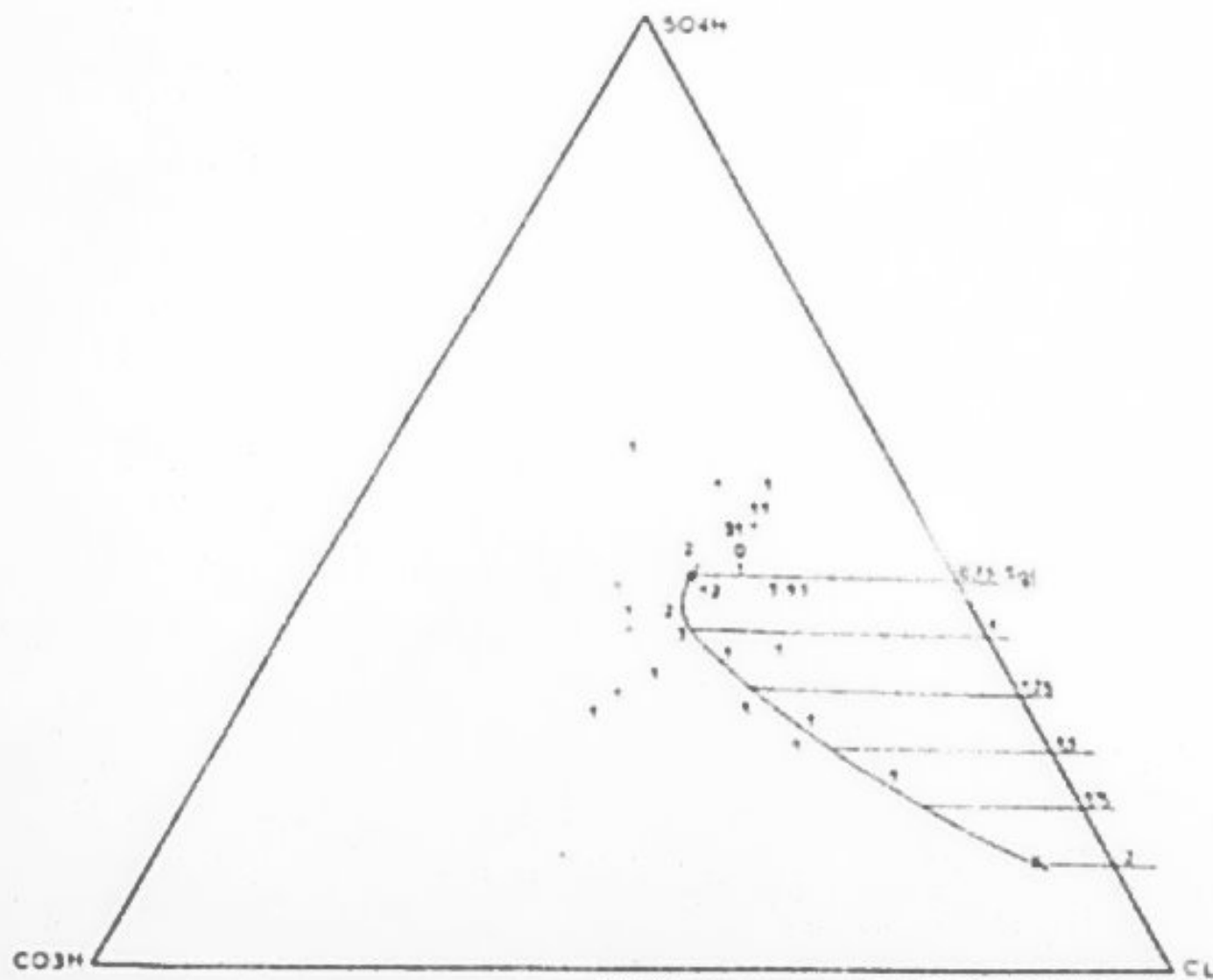
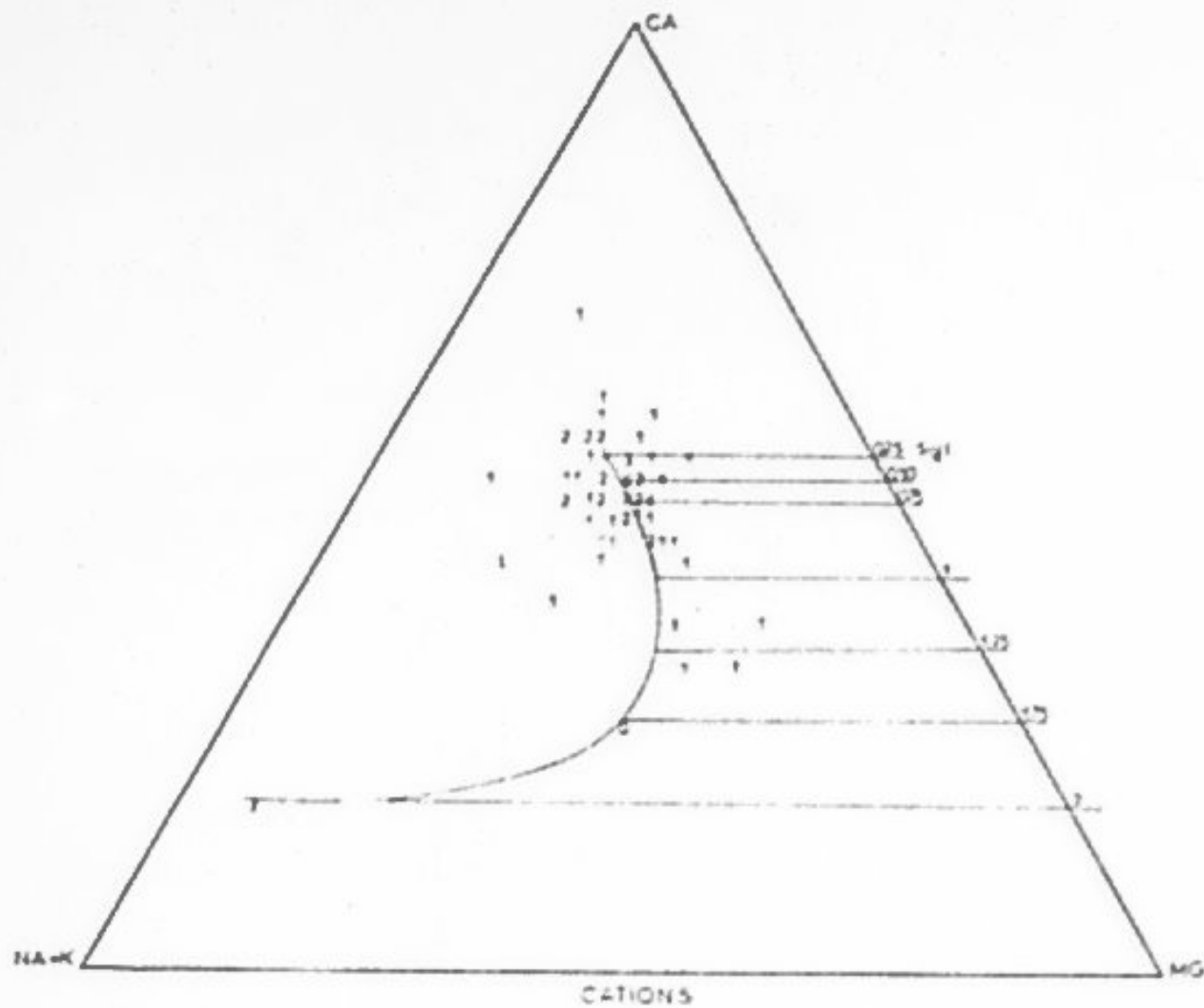
- 39 -
Oued Ghezala 107

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
 EN ANIONS ET EN CATIONS



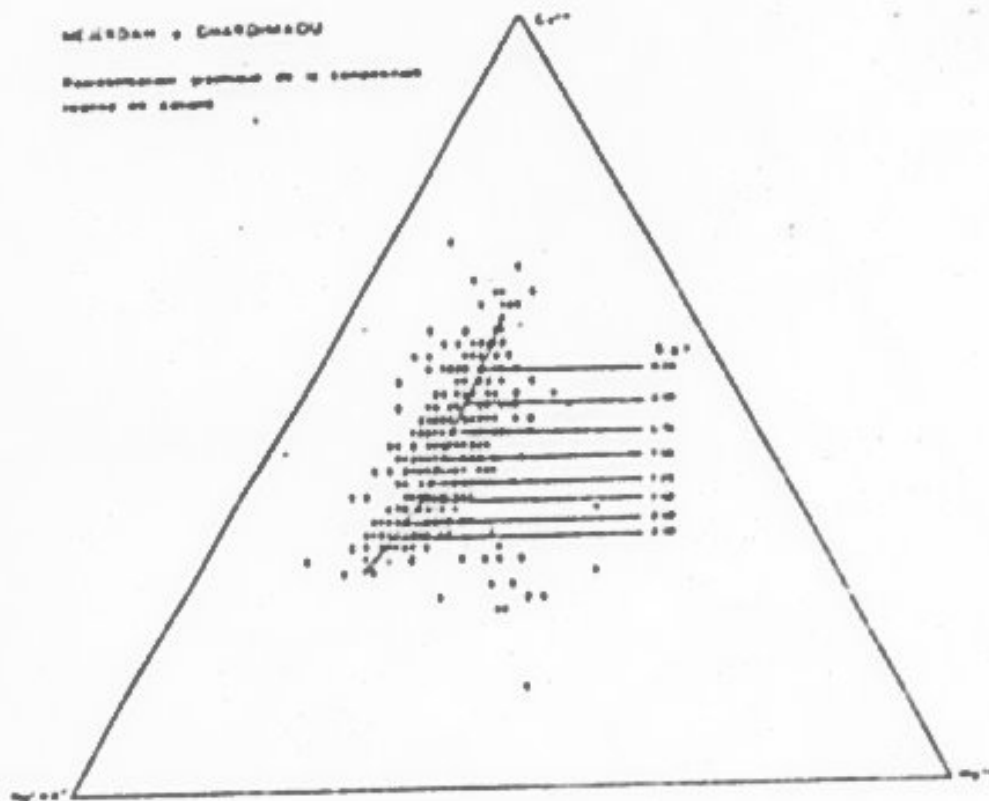
OUED EL GOUSS

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION RELATIVE
EN ANIONS ET EN CATIONS

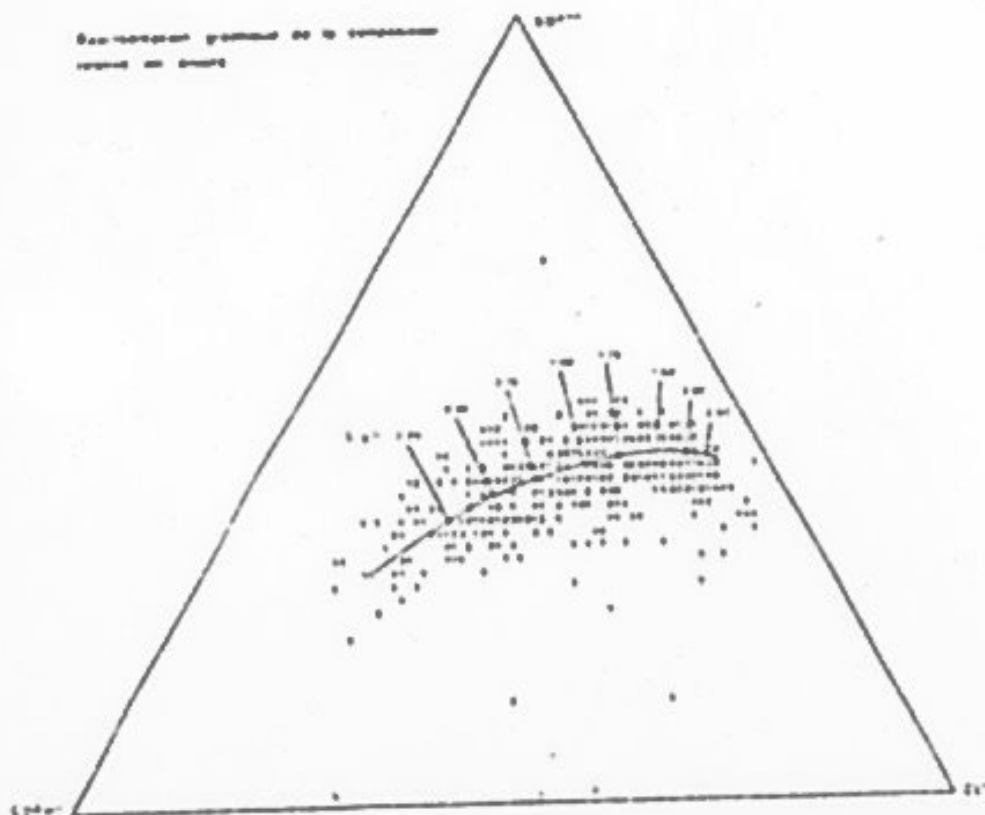


Меланхтон и Епифаний

Восстановление греческого и латинского
языков на основе

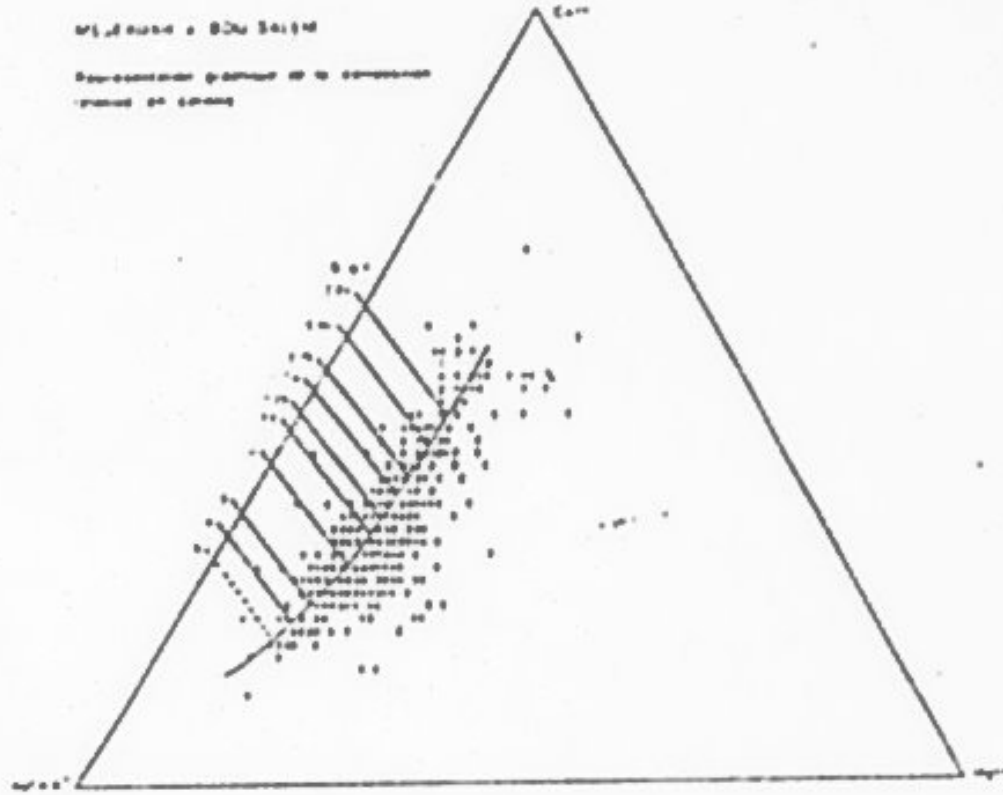


Восстановление греческого и латинского
языков на основе

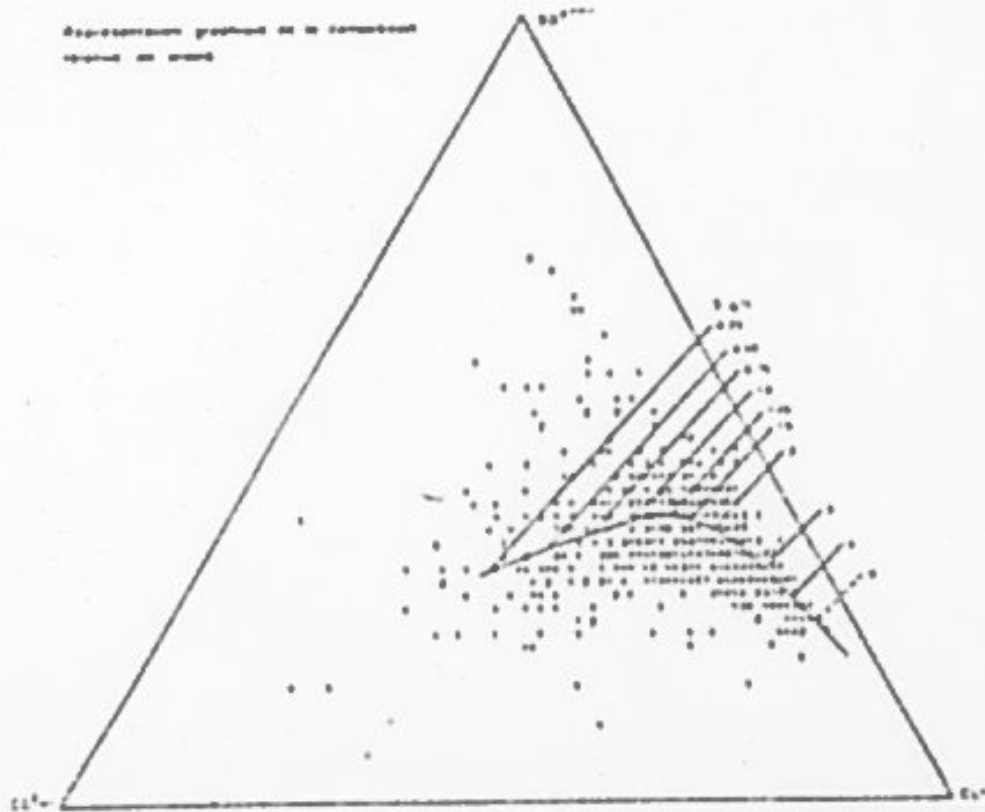


W. J. Rouse & B. C. Smith

Representative profiles of the composite
profile of the area

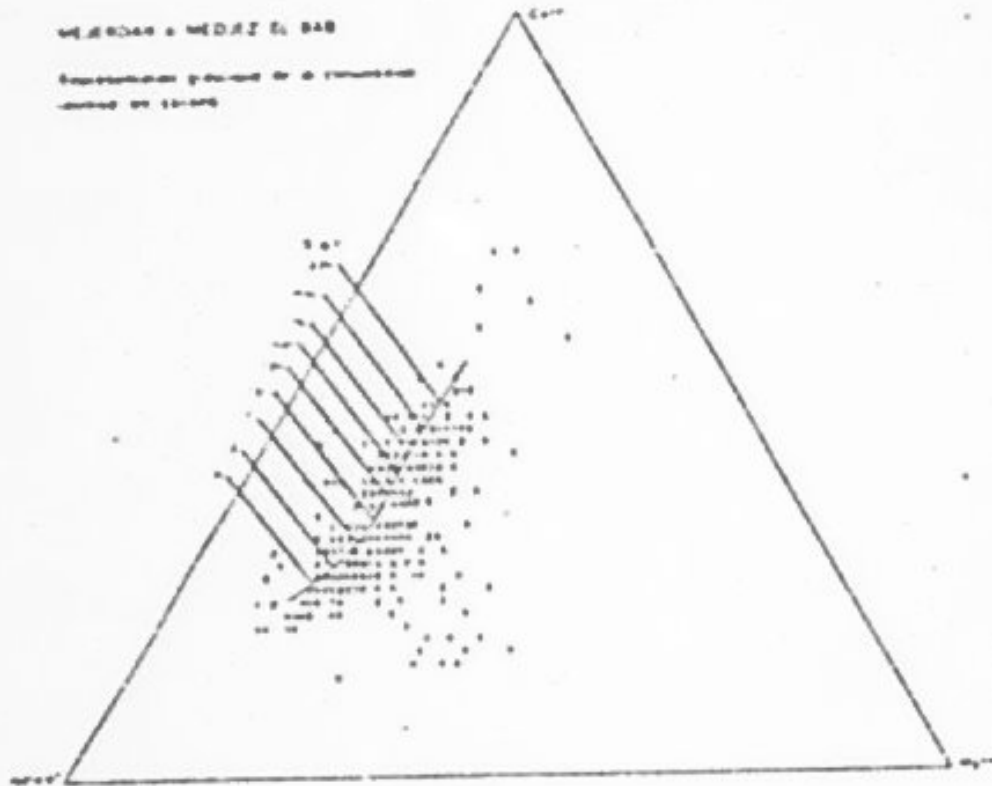


Representative profiles of the composite
profile of the area

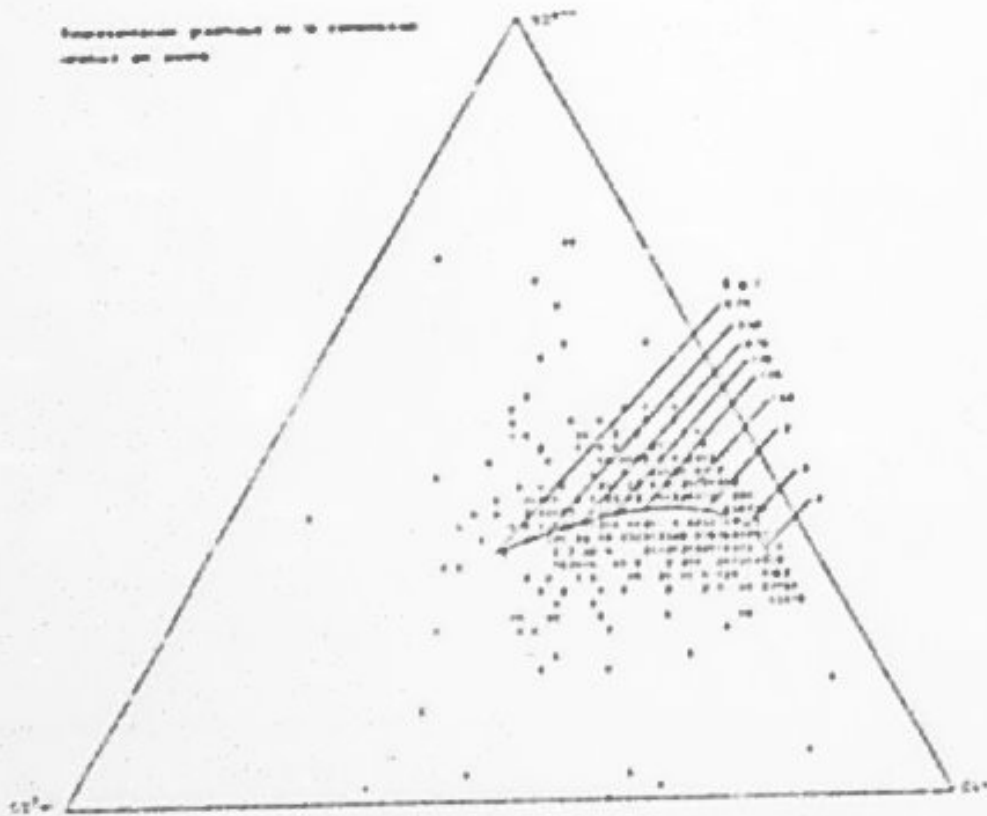


WELSHON & MEDLEY, 1948

Experimental results of a continuous
series of tests

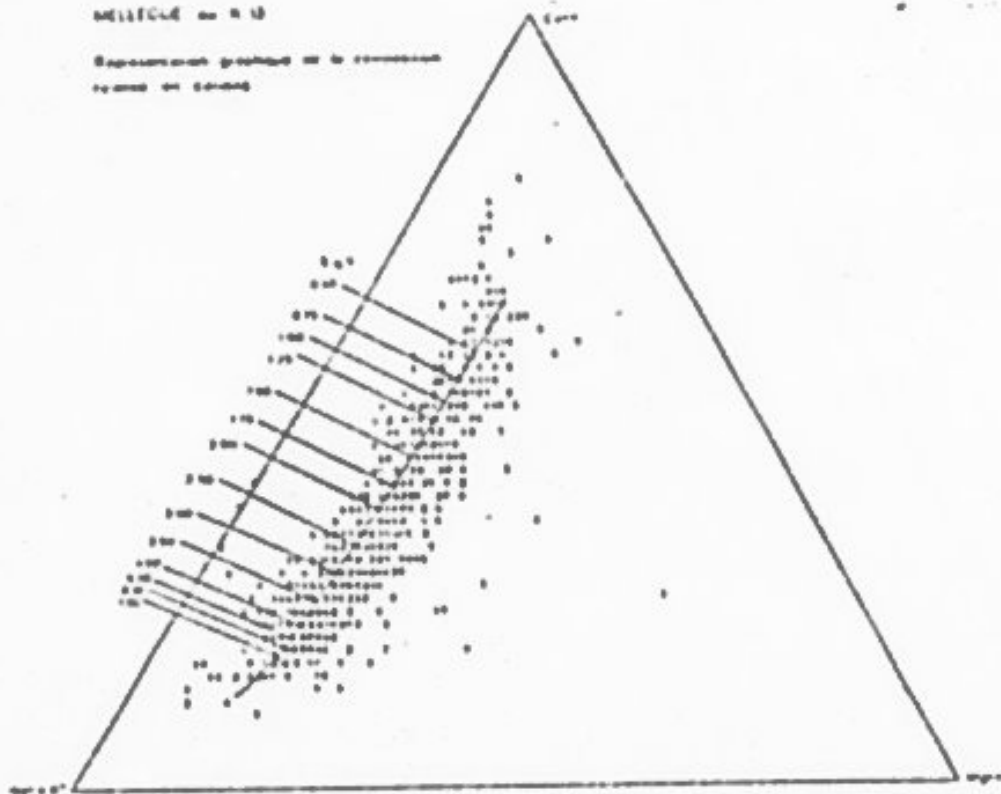


Experimental results of a continuous
series of tests



MÉTHODE DE R. B.

Représentation graphique de la composition
système en sables



Représentation graphique de la composition
système en sables

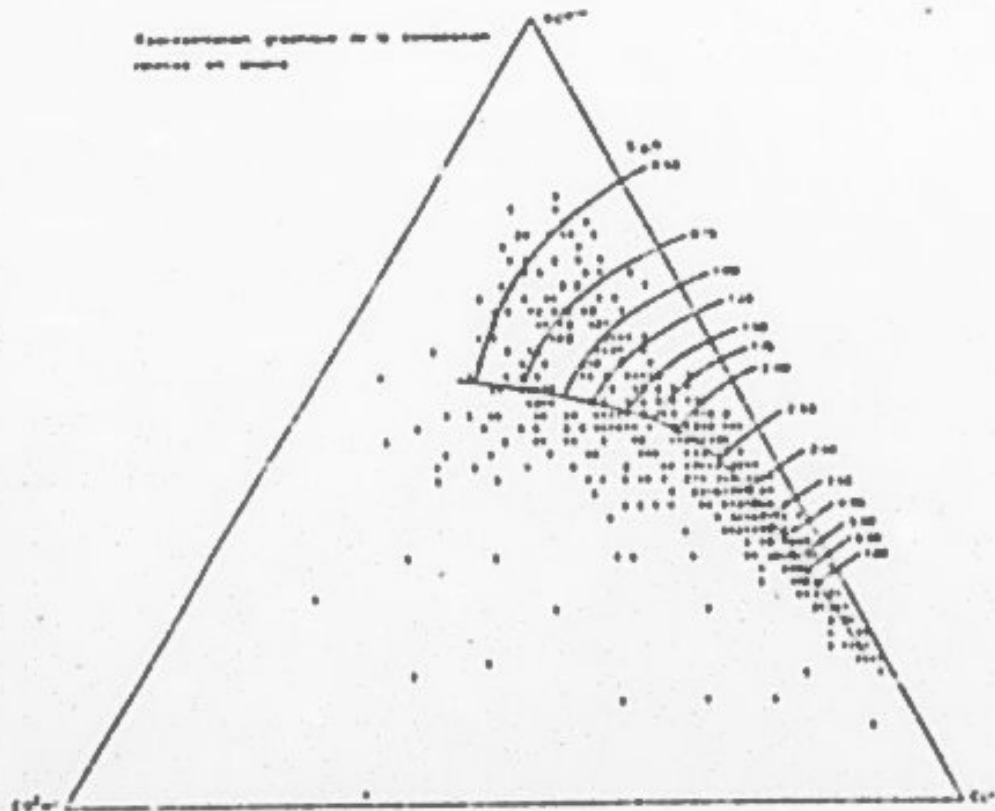
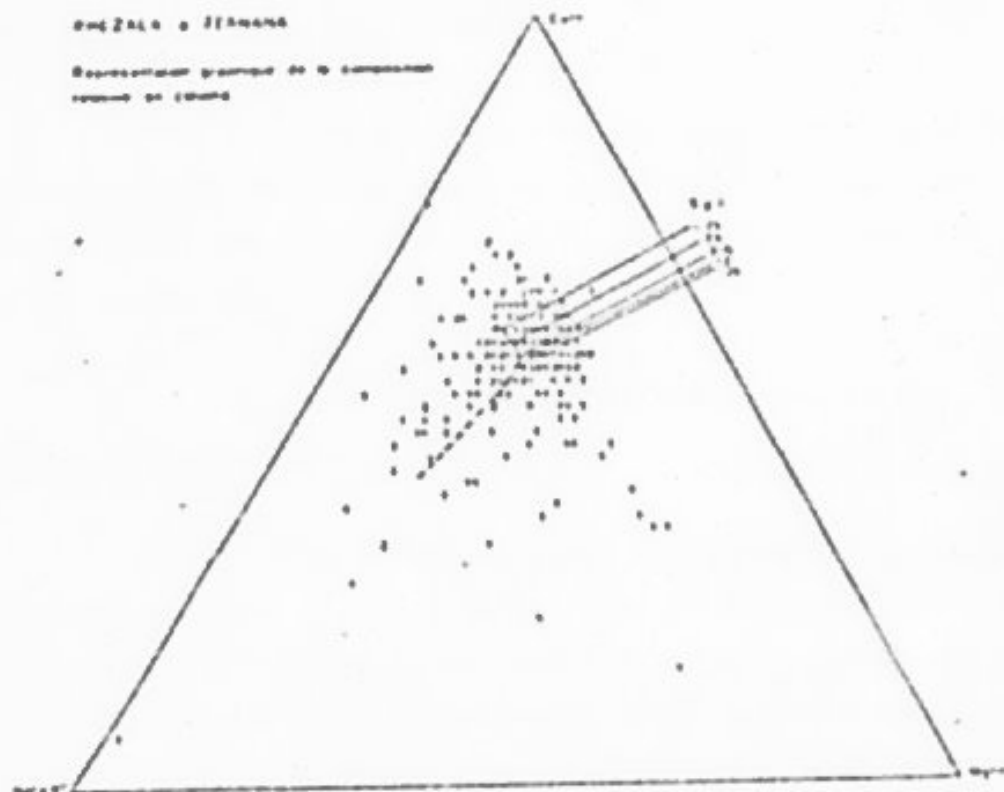
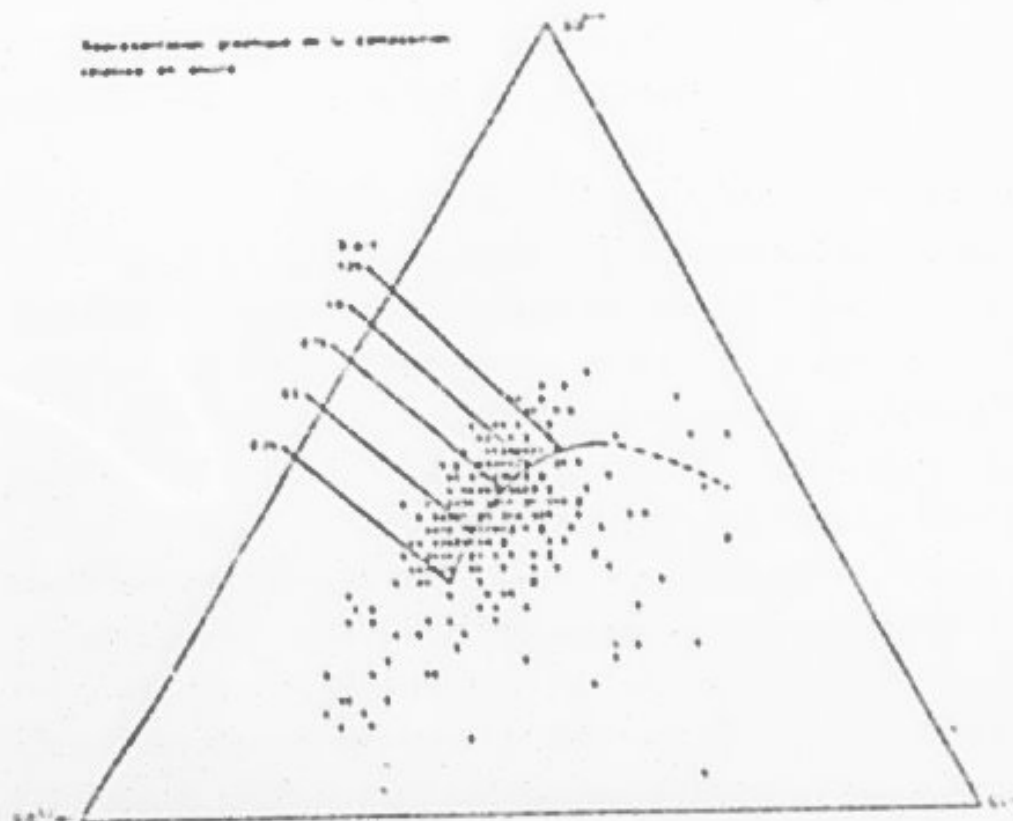


Fig 244 a 244b

Représentation graphique de la composition
coulée de ciment



Représentation graphique de la composition
coulée de ciment



5) Corrélation Salinité - Débits

Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction de cette étude, des travaux de recherches analytiques ont été menés dans le domaine des relations salinités - débits.

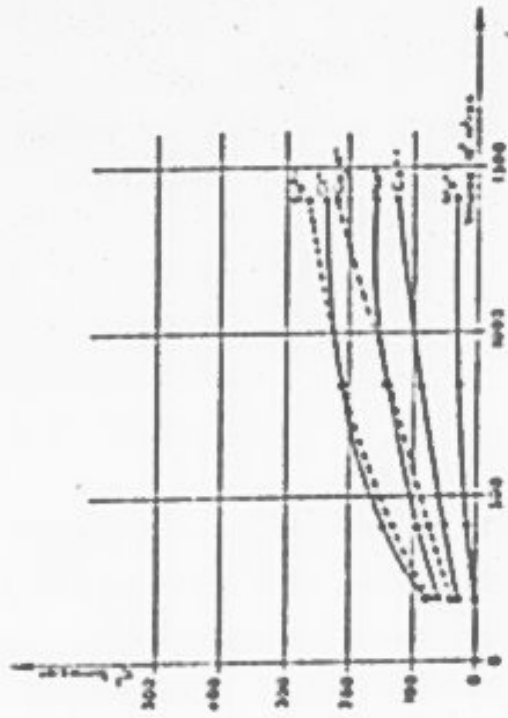
En effet en plus des essais entrepris dans le cadre la monographie de la Mejerdah et du Miliane, il nous faut citer le travail de A. GHORBEL sur la recherche d'une corrélation entre les débits d'étiage et le résidu sec.

Les principaux résultats obtenus sont représentés brièvement ci-après :

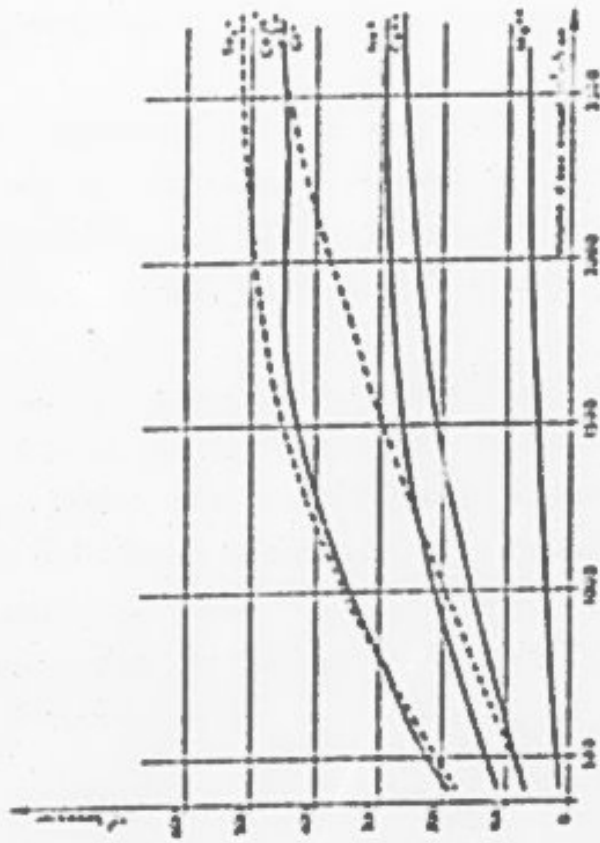
- En ce qui concerne la Mejerdah. Les essais entrepris se rapportent aux stations de Bousalem et Mejer El Bab. Les résultats disponibles ont abouti, après contrôle, homogénéisation et analyse, à l'établissement des courbes représentant les transports annuels des différents ions en fonction du volume annuel. Ces familles de courbes, si on exclut le potassium, permettent donc d'estimer le résidu sec moyen pour un volume annuel déterminé, les résultats du tableau 4.2. ont été d'ailleurs obtenus à partir de ces courbes, le graphique 5.1. ci-après, reproduit les courbes obtenues pour Mejer El Bab et Boussalem.

- Pour l'oued Miliane, l'étude de la Corrélation salinité-débit n'a pas été abordée d'une manière spécifique, comme pour la Mejerdah. Quelques résultats ont été avancés en ce qui concerne la variation de la salinité moyenne en fonction des volumes d'eau écoulés. Dans le cas de ce cours d'eau, un phénomène complexe est observé au niveau de l'affluent Jarabia. Alors que pour le reste des affluents, la salinité moyenne diminue progressivement au fur et à mesure que le volume de crue augmente (ce qui est d'ailleurs le cas pour l'ensemble des oueds du réseau), pour l'oued Jarabia la salinité augmente proportionnellement au volume croissant des crues tant que ces volumes restent inférieurs à 300 000 m³. Ce phénomène s'explique probablement par le fait que les crues inondent de grandes étendues de la Garet El Hamada en lessivant le sel déposé à la surface de la plaine.

Transporte através dos diferentes tipos de materiais
MATERIAIS DE CONCRETO



Transporte através dos diferentes tipos de materiais
MATERIAIS DE CONCRETO



Le graphique 5.2 récapitule les résultats obtenus dans l'étude des volumes de crue et leur salinité moyenne aux stations

- K 13 Thuburbo Majus
- K 12 Jarabia
- K 28 Boudebbane
- K 29 Kébir

En ce qui concerne les oueds de l'extrême Nord et du bassin de L'ichkeul un travail de recherche a été effectué sur 1450 échantillons d'eau concernant des gammes de débits allant de quelques litres à plusieurs dizaines, voire même centaines de m³ par seconde. Des fonctions

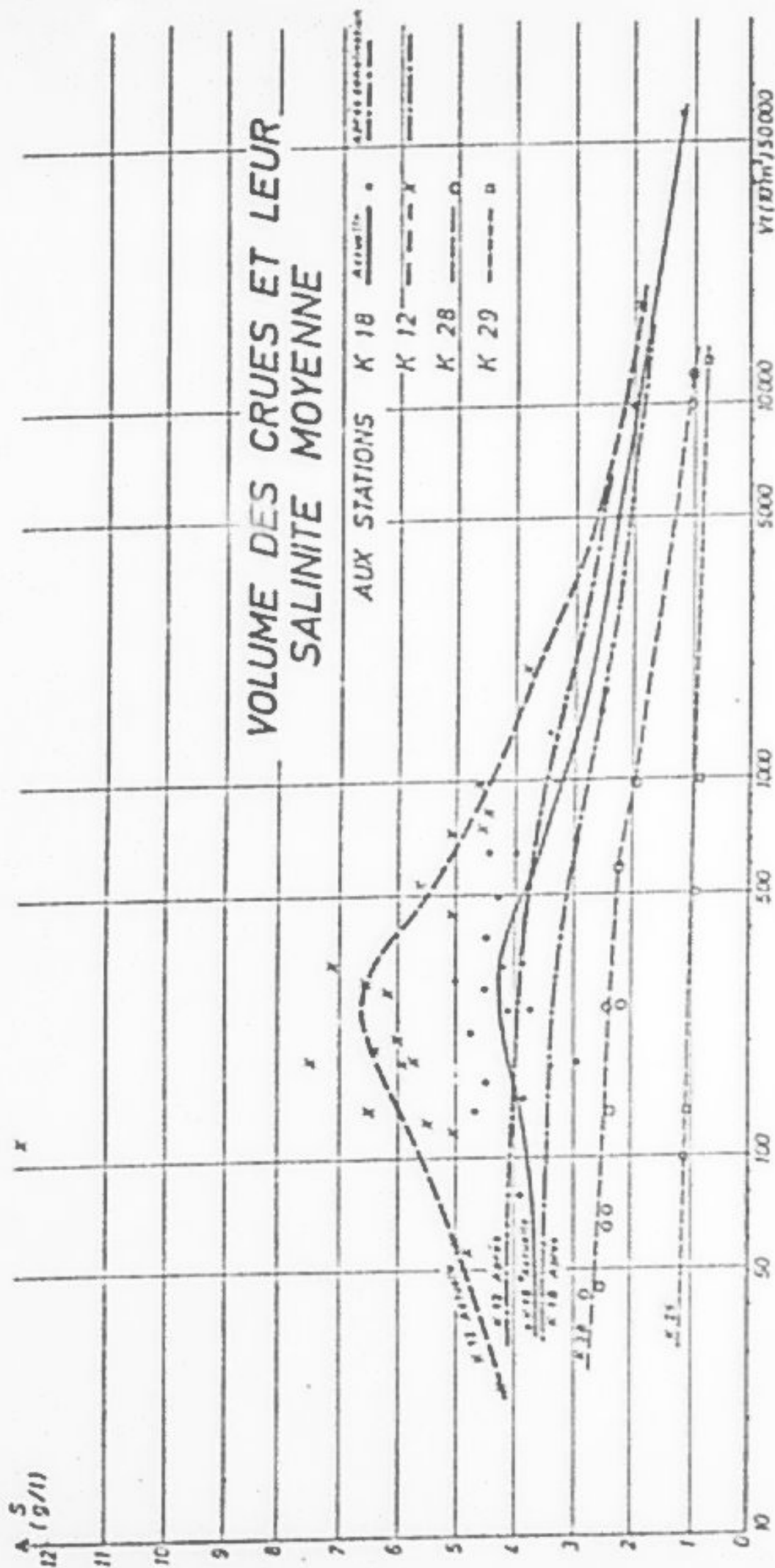
$M = f(Q)$ (variation de la minéralisation en fonction des débits liquides) ont pu être définies à partir des séries observées d'une manière exhaustive durant quatre années (1979 - 1982). Les courbes traduisant ces fonctions sont de forme hyperbolique assez stable et expriment clairement l'accroissement de la minéralisation avec la diminution de ces débits.

Les courbes obtenues pour les oueds Kébir (Tabarka) Bouterfoss, Melah (Ouchtata), Madène sont rassemblées sur le graphique 5.3 (a). Le graphique 5.3. (b) présente les courbes relatives aux oueds Sejenane, Douimis Melah, Rhezala, Joumine, Arima, et Tine - Cassis.

Parallèlement à ces actions ponctuelles à l'échelle des bassins versants, une activité de recherche à l'échelle régionale (Nord du pays) entreprise en 1981 a abouti à la définition d'une corrélation entre débit liquide et débit en sel. Cette corrélation est traduite par une courbe de forme parabolique qui a été découpée, pour les besoins des calculs sur ordinateurs, en segments de droite dont l'équation générale est :

$$Q_s = a_1 \sqrt{Q l + b_1} \quad (\text{Graphique : 1})$$

Graph. 5.2



Graphique: B

MEDJERDAM A. GHARDINAOU

q_s (kg/s)

2000

1500

1000

500

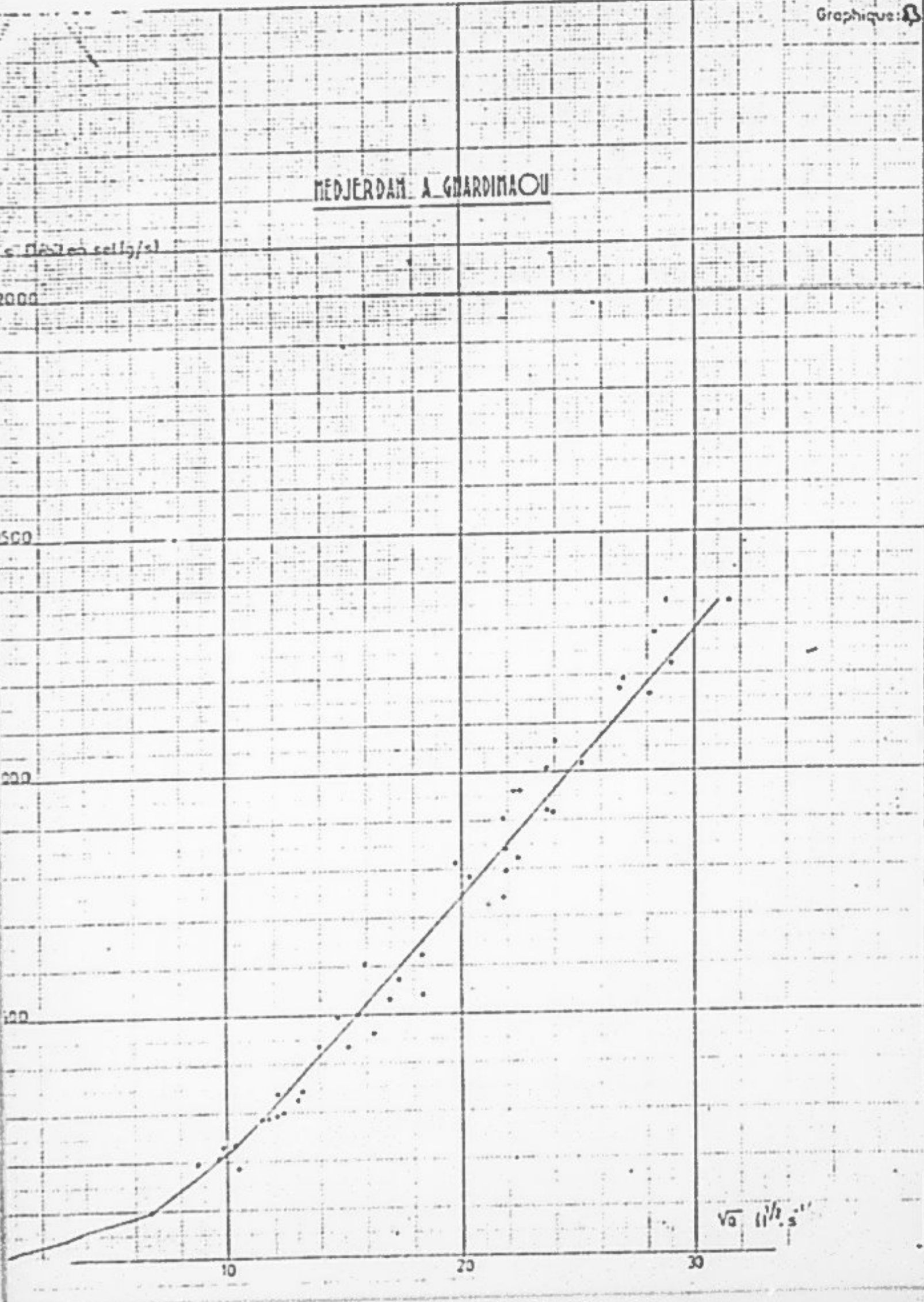
0

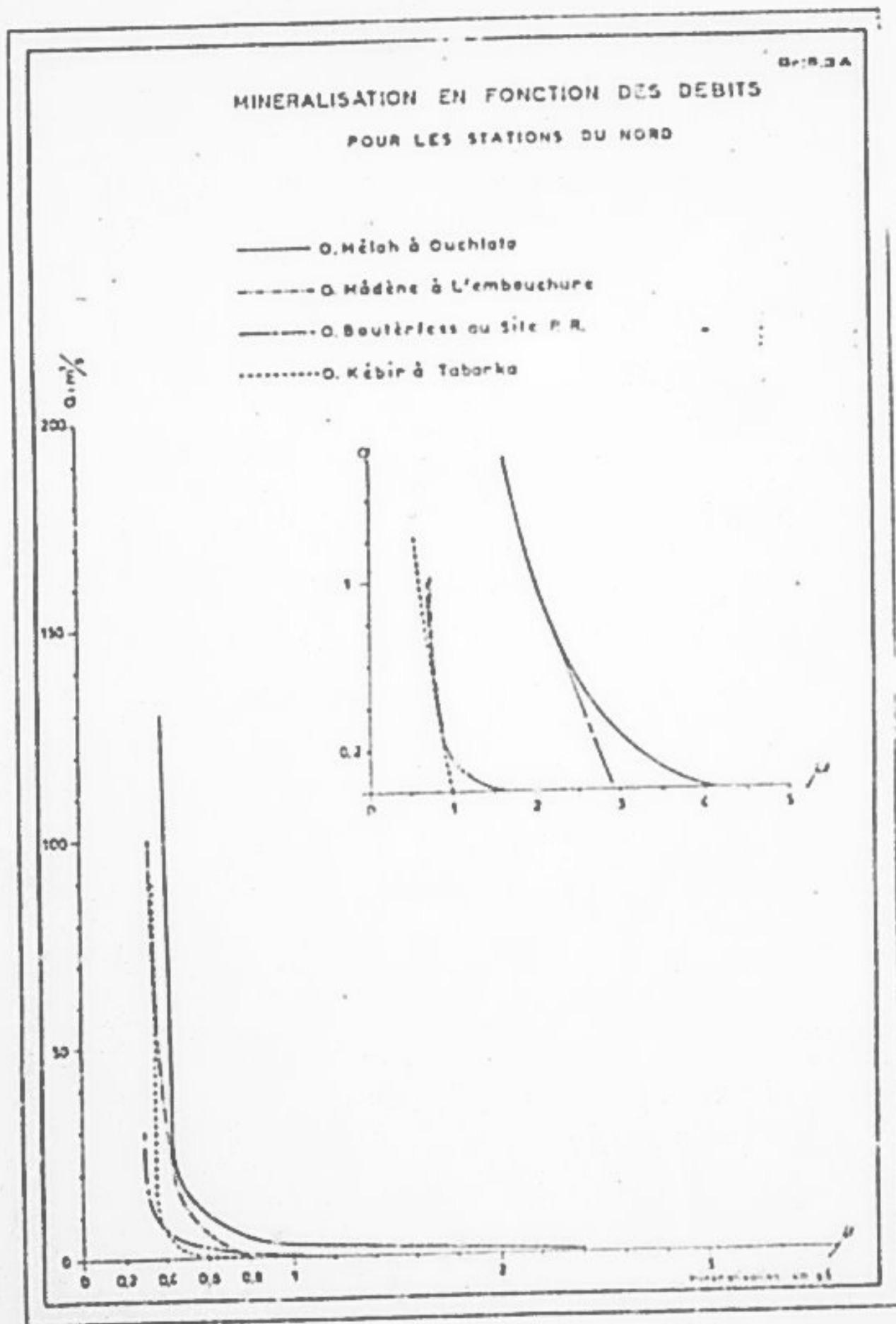
10

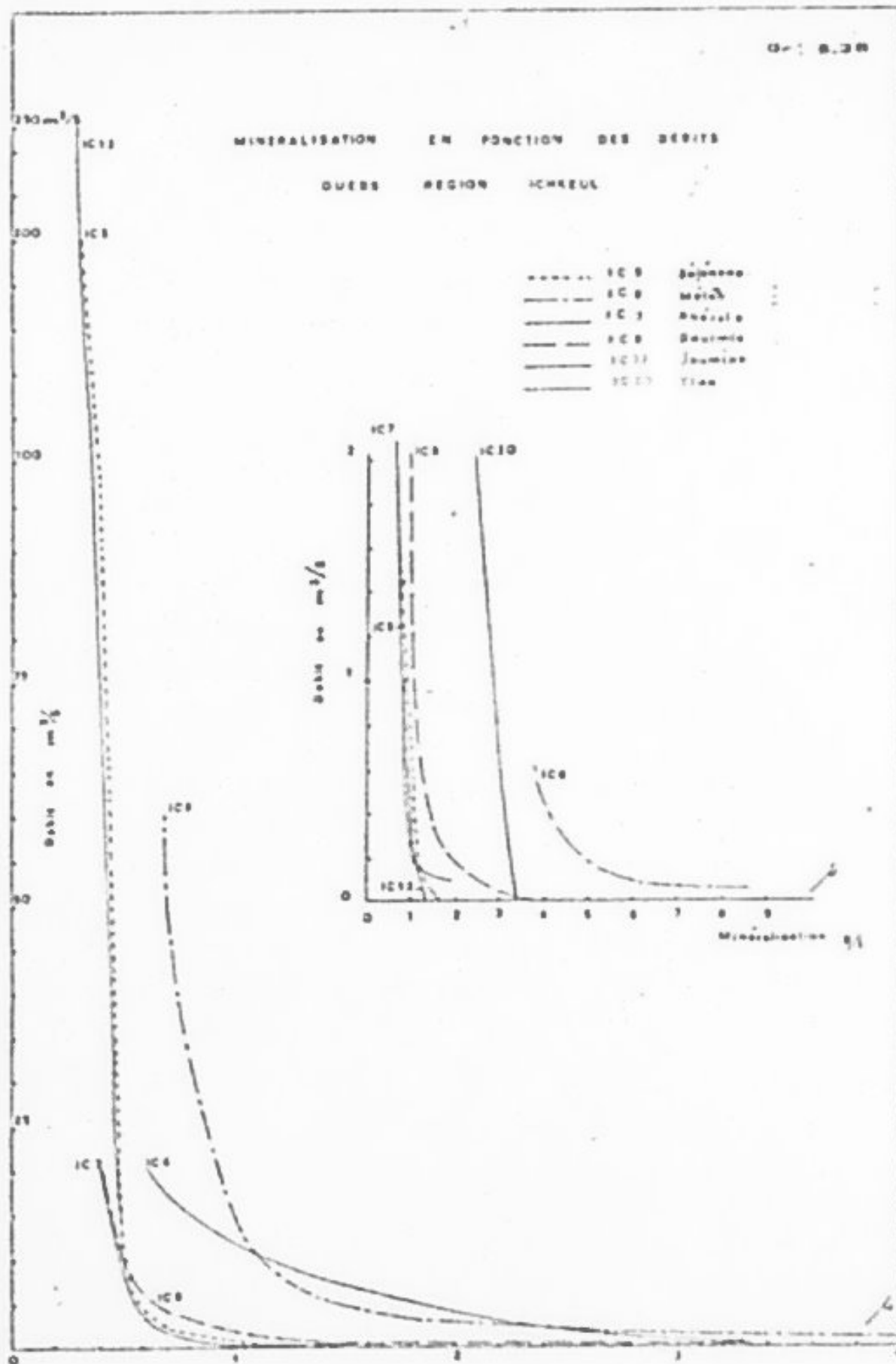
20

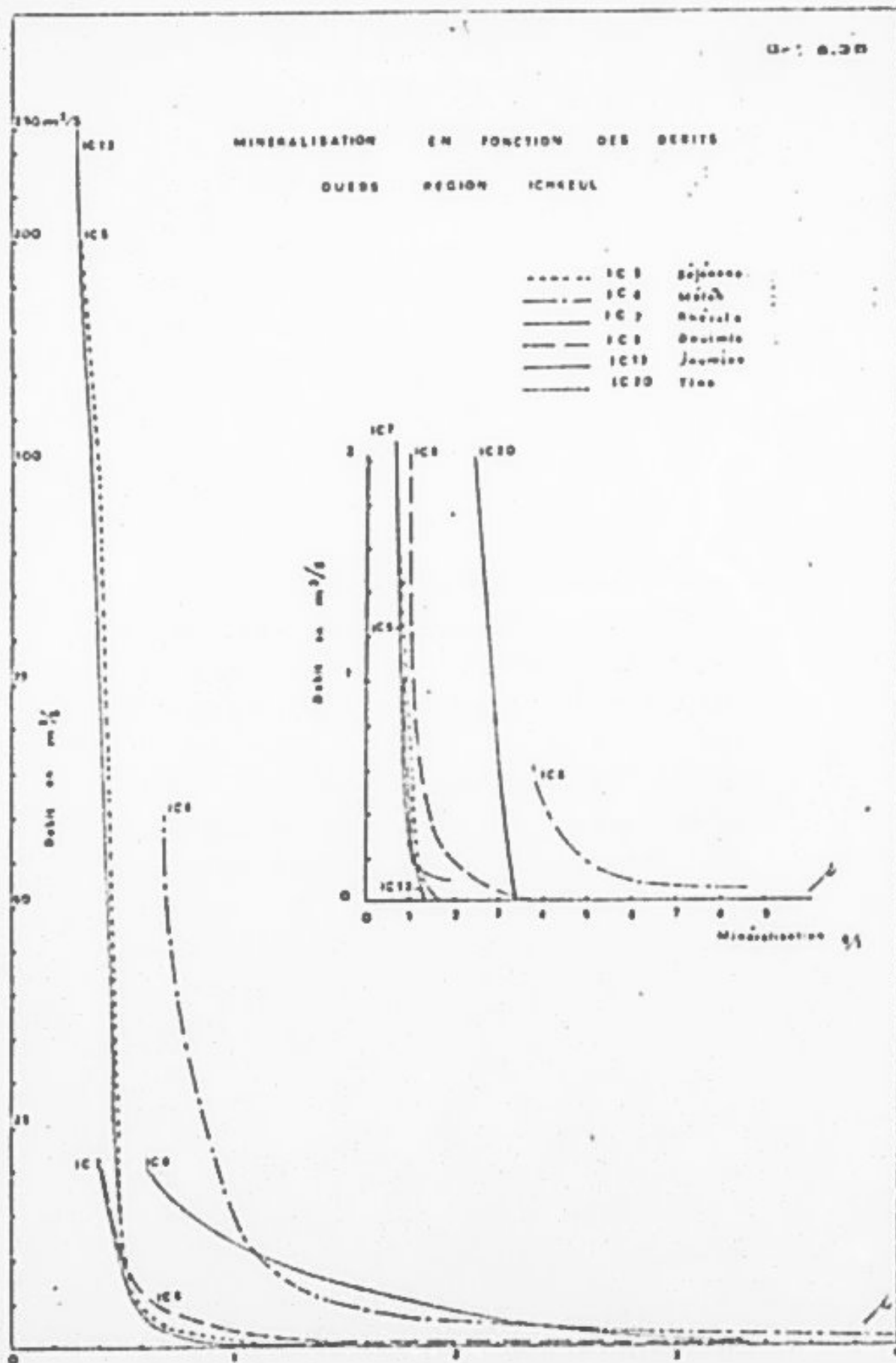
30

V_0 (l/h.s'')









avec Q_s = Débit sel
 a_i, b_i = constantes
 Q_l = débit liquide

Si l'on veut rechercher l'équation reliant la concentration au débit liquide, nous aurons

$$C = \frac{a_i}{V Q_l} + \frac{b_i}{Q_l}$$

Cette équation de forme hyperbolique définit la concentration en fonction des débits liquides (Graphique 5.3.). On retrouve les formes pour les valeurs d'étiages mentionnées pour les oueds du Nord et figurant sur le Graphique 5.3 (a) et 5.3 (b).

La corrélation obtenue a pu être appliquée à plusieurs cours d'eau notamment aux stations principales des bassins du Zeroud et du Merguellil dans le cadre de la Monographie élaborée pour ces oueds. Les travaux de recherche d'une corrélation débit - salinité semblent donc concluants et demandent cependant à être développés et poursuivis. Ces actions doivent enfin permettre de mieux cerner l'aspect de la salinité des eaux.

SUITE EN

F 2



MICROFICHE N°

05904

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 2

CONCLUSION

L'examen des différents résultats de cette étude de synthèse permet de constater qu'en Tunisie les eaux de surface se différencient assez peu par la composition des sels mais davantage par les limites de salinités globales qu'elles peuvent atteindre.

Les valeurs moyennes des résidus secs varient par ailleurs dans un intervalle assez étendu.

Toutefois si nous considérons seulement le Nord du pays qui représente 80% de l'apport total, les eaux de surface présentent des résidus secs inférieurs à 1,25 g/l à l'exception de l'oued Miliane (x g/l). Ceci explique d'ailleurs l'attention particulière portée à la mobilisation des eaux de cette région qui s'est traduite par l'élaboration d'un Plan Directeur des eaux du Nord.

Un modèle mathématique simulant le fonctionnement de l'ensemble des ouvrages hydraulique prévus dans le cadre de ce Plan Directeur est en cours d'élaboration. Bien entendu la salinité constitue l'une des données d'entrée de base pour le fonctionnement de ce modèle.

A l'échelle de l'ensemble du pays la classification des eaux en fonction de la minéralisation a fait ressortir des résultats que nous jugeons intéressants dans la mesure où ils permettent de préciser la proportion importantes des eaux en chargées. C'est ainsi que 74% des eaux de surface, soit 1915 millions de m³, présentent des résidus secs inférieurs à 1,5 g/l.

En nous référant aux différents tableaux présentés dans cette étude nous pouvons mieux préciser la répartition de ces salinités pour cet apport.

Cette répartition se présente comme suit :

- 395 million de m³ présentant un résidu sec inférieur à 0,5 g/l
- 500 million de m³ avec un résidu sec compris entre 0,5 et 1 g/l
- 820 million de m³ avec un résidu sec compris entre 1 et 1,5 g/l

BIBLIOGRAPHIE

- DRE 1973 : Monographie de l'oued Miliane ; DRE
- KALLEL (R) 1976 : Dossier Hydrométrique de l'oued Kébir à Tabarka ; DRE
- BOUZAIANE (S) 1976 : Utilisation de la Garaet El Hamada en vue de réduire la teneur en sel de la retenue de Bir M'cherga ; DRE
- EOCHE DUVAL (JM) 1977: Dossier Hydrologique de l'oued El Bey ; DRE
- KALLEL (R) 1978 : Dossier hydrométrique de l'oued Joumine à El Arima (station pont route MC 56) ; DRE
- BOUZAIANE (S) 1978 : Estimation des apports en eau, sédiments et sels dissous, des cours d'eau tunisiens à la méditerranée ; DRE
- EOCHE DUVAL (JM) 1978: Inventaire des Ressources en eau de surface du Cap-Bon ; DRE
- FERSI (M) 1979 : Estimation du ruissellement moyen annuel sur les oueds du Sud ; DRE
- KALLEL (R) 1979 : Bilan Global des ressources en eau du secteur Nefza Ichkeul ; DRE
- SAADAoui (M) 1980 : Bilan global des ressources en eau de surface au Cap-Bon.
- GHORBEL (A) 1980 : Bilan global des ressources en eau de la Medjerda ; DRE
- GHORBEL (A) 1980 : Débits et qualité des eaux d'étiage de l'oued Siliane ; DRE
- KALLEL (R) 1980 : Dossier hydrométrique de l'oued Madène (O.Zouara) ; DRE
- KALLEL (R) 1980 : Dossier hydrométrique de l'oued Melah (O.Zouara) ; DRE
- KALLEL (R) 1980 : Dossier hydrométrique de l'oued Sejenane (période 1959-60 à 1978-79) ; DRE
- KALLEL (R) 1980 : Dossier hydrométrique de l'oued Tine ; DRE
- KALLEL (R) 1981 : Bilan global des ressources eau de surface ; DRE
- GHORBEL (A) 1981 : Essai de corrélation entre débit d'étiage et salinité ; DRE
- DRE/ORSTOM 1981 : Monographie de la Medjerda ; DRE /ORSTOM
- LAFFORGUE (A) 1981 : Etude Hydrologique de l'oued Negada à la station Bled Lassoued ; BIRH
- BOUZAIANE (S) 1981 : Etude hydrologique de l'oued Hatab à Khanguet Zazia ; BIRH
- LAFFORGUE (A) 1981 : Etude hydrologique de l'oued Hatab à Ksar Kebrit ; BIRH
- KALLEL (R) 1982 : Dossier hydrométrique de l'oued Zarga (Oued Kebir, Tabarka) ; BIRH
- BOUZAIANE (S) 1982 : Etude hydrologique de l'oued Zeroud à Sidi Saad ; BIRH
- ADJILI (M) 1982 : Dossier hydrométrique de l'oued Tessa à Sidi Médien ; BIRH
- BOUZAIANE (S) 1983 : Etude hydrologique de l'oued Merguellil avec stations de Haffouz de sidi boujdaria ; BIRH
- LAFFORGUE (A) 1983 : Etude hydrologique de l'oued Merguellil avec stations de Haffouz de sidi boujdaria ; BIRH
- BOUZAIANE (S) 1983 : Etude hydrologique de l'oued Hathob à la station de Aïn Saaboun ; BIRH
- DRE : Dossiers et Annuaires hydrométriques dans leur ensemble.

FIN

60

VUES