

J. LEMOALLE

**PREMIÈRES DONNÉES SUR
LA RÉPARTITION DU FER SOLUBLE
DANS LE LAC TCHAD**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

TECHNIQUE OUTRE-MER

D 8
LEM



MARS 1969

9023

PREMIERES DONNEES SUR LA REPARTITION
DU FER SOLUBLE DANS LE LAC TCHAD

par

J. LEMOALLE



23 MAI 1969

MARS 1969

DB
LEM

9023

1. - INTRODUCTION.

Dans le cadre de l'étude physico-chimique du lac Tchad* des déterminations du fer en solution ont été effectuées sur plusieurs séries d'échantillons. Ceux-ci proviennent pour la plupart de la région de Bol (figure 2) où l'alcalinité est relativement faible (voir figure 1).

Le fort gradient de salinité à partir du delta du Chari, qui fournit 95% des apports en eau du lac, permet de suivre l'évolution des substances en solution en fonction de la salinité. Les sels de l'acide carbonique constituent la presque totalité des anions, la balance ionique étant assurée principalement par les ions calcium, magnésium, sodium et potassium (CARMOUZE 1968). L'alcalinité totale constitue un paramètre assez caractéristique d'un échantillon d'eau du lac.

2. - METHODES.

La nature du fer contenu dans les eaux naturelles est complexe. Nous considérons ici comme soluble, ou en solution, le fer qui n'est pas retenu par des membranes filtrantes dont les pores ont 0,45 micron de diamètre, ou par des membranes en fibre de verre qui retiennent les particules de diamètre supérieur à 0,3 micron.

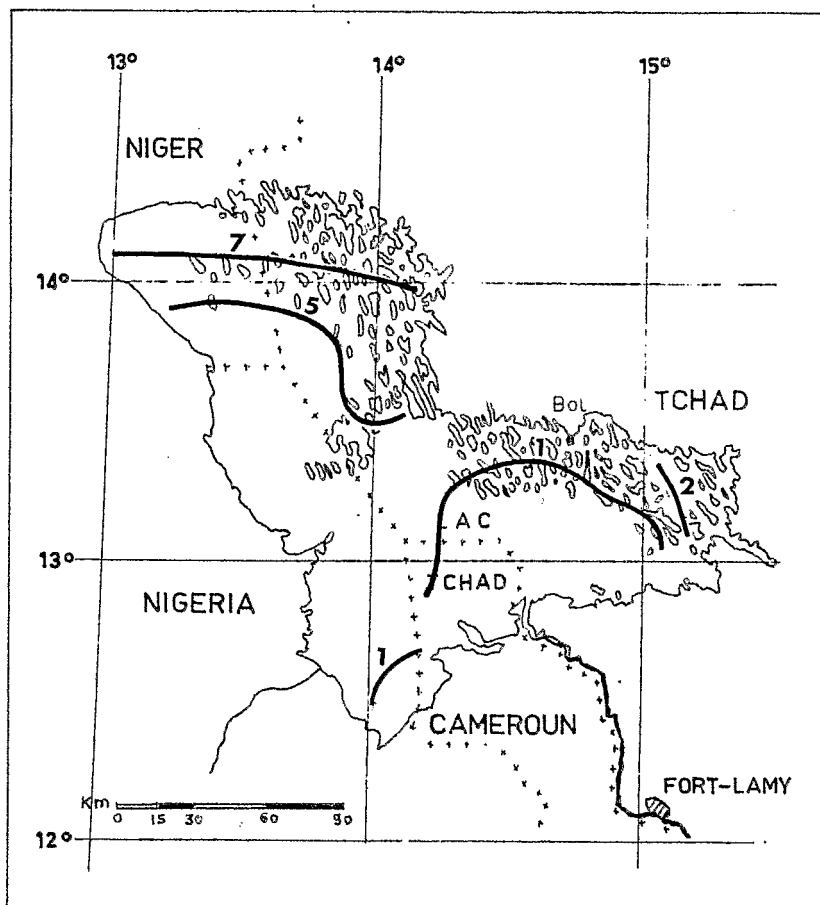
Le fer ainsi filtré est soit en solution vraie, soit en suspension colloïdale, mais considéré comme analytiquement soluble. On a utilisé pour les déterminations la colorimétrie de l'orthophénanthraliné ferreuse.

- Filtration.

Les échantillons prélevés dans un flacon en polyéthylène, ont été filtrés sous pression réduite.

*Des descriptions détaillées du lac ont été récemment faites par GRAS, ILLIS, LEVEQUE-DUWAT (1967), LEVEQUE (1967) et DEJOUX (1968).

Fig.1 CARTE DE SITUATION



Distribution des alcalinités (mé/l)

(d après CARMOUZE Avril 1968)

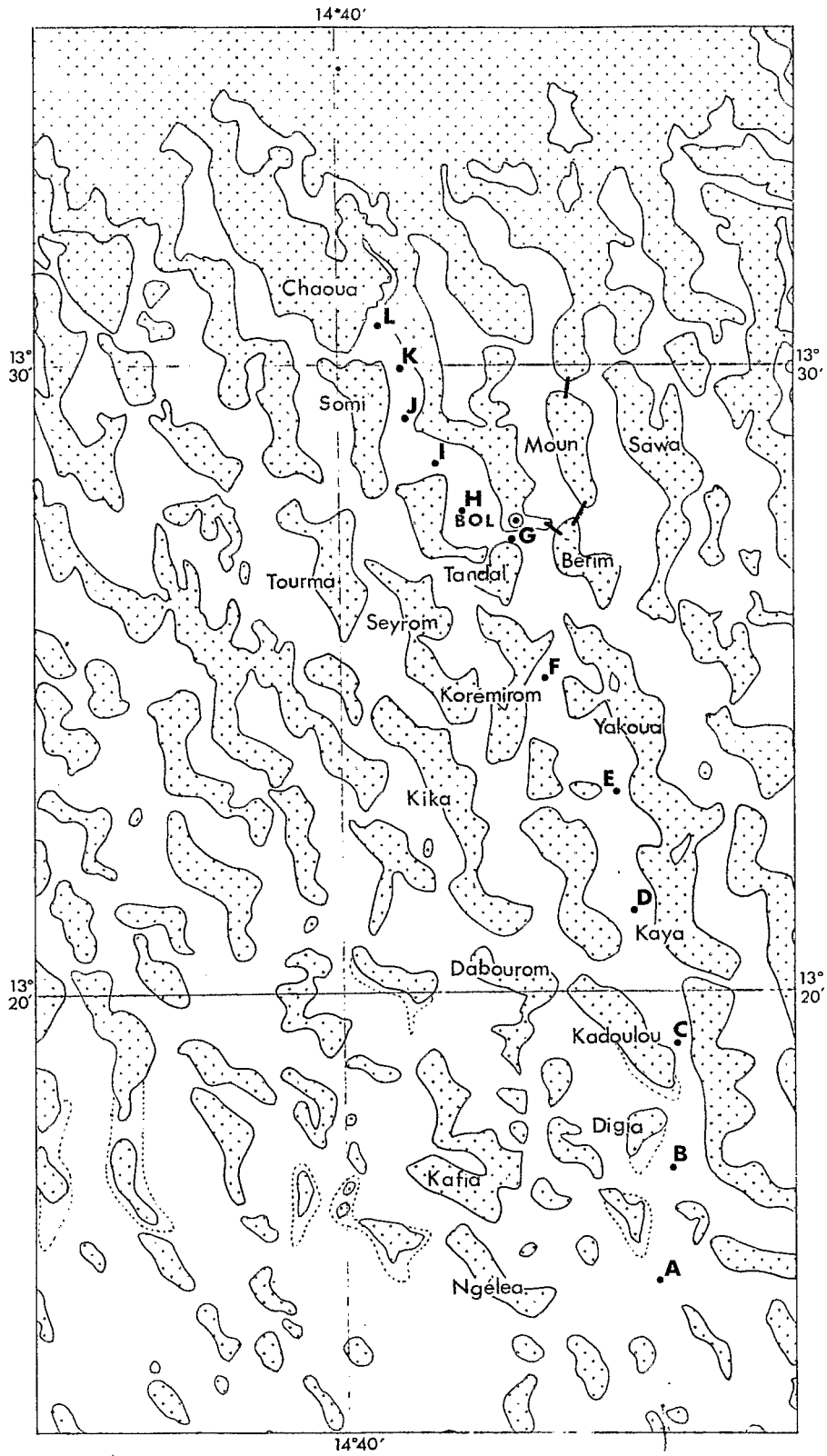


Fig 2 Région de Bol

- Réactifs.

- . acide chlorhydrique concentré
- . chlorhydrate d'hydroxylamine à 1% dans HCl 0,01N
- . I - IO phénanthroline à 0,5% dans HCl 0,01N
- . acétate de sodium 2 M

. Mode opératoire.

Cinquante millilitres de filtrat sont acidifiés par deux millilitres d'acide chlorhydrique. Après agitation la solution est laissée au repos.

Durant ce temps le fer passe sous forme ionique et sa réduction commence (Seapiro 1966). La silice, en concentration importante dans les eaux du lac, et les particules d'argile, précipitent. Après vingt quatre heures, vingt cinq millilitres de la solution claire sont prélevés, et on ajoute un millilitre de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine. L'élimination du précipité d'argile et de silice est importante, car il formerait un trouble avec l'orthophénanthroline.

La réduction se poursuit une heure. Elle est alors complète et il a été vérifié que l'ébullition ne libère pas de fer supplémentaire.

Le fer ainsi libéré ne représente pas le fer total contenu dans l'échantillon, mais une quantité plus proche du fer biologiquement actif. (Strickland et Parsons, 1965).

On ajoute alors un millilitre d'orthophénanthroline et cinq millilitres d'acétate. La mesure de la densité optique est faite après une demie heure à 0,490 micron.

La loi de Beer est vérifiée jusqu'à une concentration supérieure à 3 mg Fe/l, et l'incertitude sur une détermination est inférieure à $\pm 0,03$ mg/l, pour des concentrations comprises entre 0,05 et 3 mg/l.

3. - ESSAIS DE FILTRATION.

Les premières mesures ont été effectuées sur des échantillons rapportés non filtrés au laboratoire. La filtration de ces échantillons décantés n'entraîne pas de changement de la concentration en fer soluble.

Afin de déterminer le fer en solution au moment du prélèvement, les échantillons ultérieurs (septembre et octobre 1968) ont été filtrés immédiatement après le prélèvement. Dans les eaux libres, où le vent remet en suspension les sédiments et où les apports du Chari sont sensibles, l'argile colmate rapidement les filtres. Nous avons constaté que les membranes filtrantes, en se colmatant, arrêtent une partie importante du fer considéré comme soluble.

Deux expériences ont permis de vérifier ce fait.

3.1.

Trois échantillons A, B et C, contenant un peu d'argile en suspension, ont été étudiés. Des aliquotes d'un même échantillon ont été filtrées successivement sur une même membrane, et le fer dosé dans chacune de ces aliquotes. Les résultats (tableau I) montrent que presque tout le fer peut être retenu sur la membrane ; la filtration devient alors très lente.

Tableau I

Echantillon	Fer dans le filtrat (mg/l)		
	Aliquote 1	Aliquote 2	Aliquote 3
A	0,220	0,040	0,025
B	0,200	0,120	
C	0,110	0,025	

3.2.

Des membranes nouvelles ont été ensuite utilisées pour chaque aliquote d'un même échantillon. Cet échantillon était décanté pour la première filtration, agité juste avant la deuxième ; la troisième et la quatrième prise d'essai ont eu lieu respectivement cinquante minutes et deux heures après l'agitation du flacon.

Les résultats, exprimés en pourcentage du fer trouvé dans le premier filtrat, sont présentés dans le tableau II.

Tableau II

Prise d'essai	Filtration	% de fer
1	Echantillon décanté	100
2	juste après agitation	37,5
3	59 minutes après agitation	56
4	120 minutes après agitation	75

Il résulte de ces expériences que les valeurs pour le fer soluble, trouvé en grandes concentrations dans les eaux les plus chargées en argile, sont inférieures à la valeur réelle, la différence étant d'autant plus grande que la filtration d'un même volume d'eau est plus lente.

3.3.

Les résultats obtenus dans ces essais de filtration peuvent s'expliquer de la façon suivante : lorsque l'argile se dépose sur les membranes, les pores sont partiellement obstrués et leur diamètre utile diminue. Plus il y a d'argile sur le filtre, moins il passe de fer.

Cette interprétation confirme les conclusions de Shapiro (1964) sur la nature du fer en solution dans les eaux naturelles. Deux phénomènes peuvent ainsi jouer simultanément un rôle dans la solubilité apparente du fer : les acides organiques colorés, comparables aux acides humiques, forment des chélates avec le fer (solution vraie), ou s'adsorbent sur les micelles d'hydroxyde ferrique colloïdal qui se trouvent ainsi dispersées (solution colloïdale).

Ce deuxième processus explique que le fer soluble, qui n'est pas retenu par un filtre dont les pores ont 0,45 micron de diamètre (ni par des pores de 0,22 micron), est arrêté par des pores de 0,10 micron, lorsqu'il est présent sous forme de colloïdes organiques.

3.4.

La filtration d'une suspension d'hydroxyde ferrique, en l'absence d'argile, a montré d'autre part que, sous l'effet de la différence des pressions de part et d'autre de la membrane, de très fines particules d'hydroxyde traversent le filtre. Dans ce cas la concentration en fer dans le filtrat augmente légèrement avec le volume filtré.

3.5.

Par suite de la complexité des différents phénomènes qui interviennent ici, les résultats donnés plus loin correspondent donc au mode opératoire indiqué, sans que l'on puisse préjuger de leur valeur absolue.

Les colloïdes d'argile, de fer et de matière organique sont plus ou moins remis en suspension par l'action de vents. Les résultats présentés ici, correspondant le plus souvent à des prélèvements effectués dans des conditions météorologiques variées, n'ont donc qu'une valeur indicative.

4. - RESULTATS.

Des mesures ont été faites sur trois séries principales d'échantillons, prélevés à diverses époques dans différentes parties du lac.

4.1. - Premières mesures.

Les premières mesures ont été effectuées sur des échantillons, rapportés non filtrés au laboratoire, provenant des eaux libres du lac et de l'archipel de la région est (février 1968). Trop peu nombreuses pour établir une carte de la répartition du fer en solution dans le lac Tchad, elles ont cependant permis d'établir une première relation entre fer soluble et alcalinité (figure 3).

On constate que le fer est présent en quantités appréciables en dessous d'une alcalinité de 1,8 milliéquivalents par litre, environ. Au-dessus de cette valeur, la concentration en fer soluble est inférieure à 0,05 mg/l.

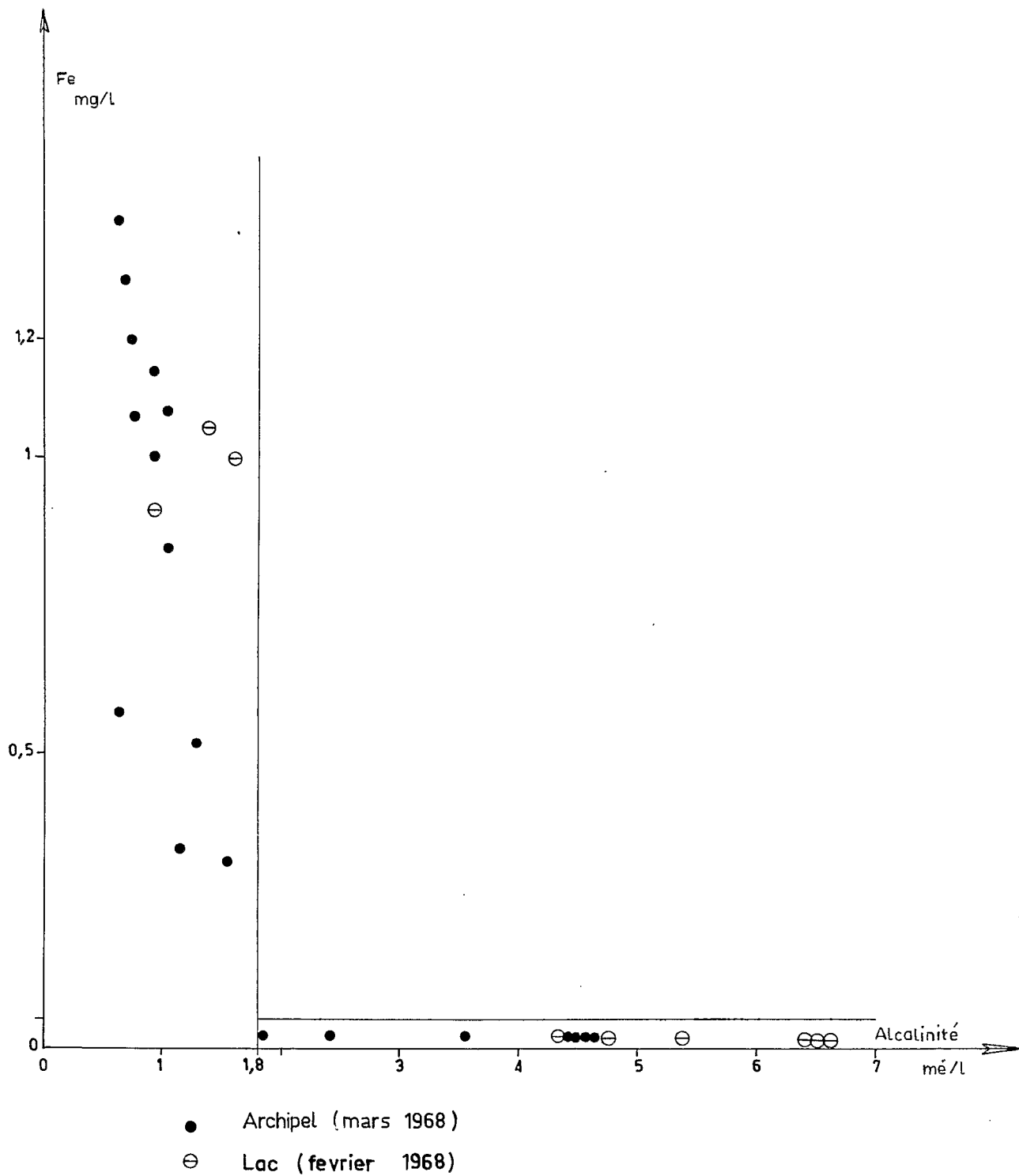


Fig.3 Concentration en fer en fonction de l'alcalinité

4.2. - Le fer en solution dans le lac.

Dans une deuxième série de mesures, soixante millilitres des échantillons prélevés au cours du mois d'octobre 1968 ont été filtrés, immédiatement après prélèvement, sur membrane (diamètre des pores 0,45 micron).

L'alcalinité et la transparence ont été également mesurées (cf. CARMOUZE et ROCHE, en préparation).

Lorsque l'alcalinité est supérieure à une valeur de 1,3 à 1,8 me/l, la concentration en fer soluble est inférieure à 0,20 mg/l de fer (figure 4).

Cette dernière concentration est supérieure aux 0,05 mg trouvés précédemment pour une alcalinité supérieure à 1,8 mé/l. La différence des méthodes de filtration en est probablement la cause. La distinction entre les eaux d'alcalinité supérieure et inférieure à 1,8 mé/l persiste, bien que, dans cette série de mesures, la valeur limite de l'alcalinité soit mal définie du fait de l'absence d'échantillons de 1,5 à 1,8 mé/l.

4.3. - Le fer en solution dans l'archipel.

La radiale de Bol - Matafo (figure 2) a été choisie pour étudier la variation de la concentration en fer soluble au voisinage de l'alcalinité de 1,8 mé/l.

Cent vingt millilitres des échantillons prélevés ont été filtrés immédiatement sur fibre de verre. Les trois premiers échantillons, A, B et C, en limite sud de l'archipel, étaient riches en argile. La valeur réelle de leur concentration en fer soluble est probablement supérieure à celle trouvée.

Si on compare les résultats obtenus pour les différents points de prélèvement (figure 5), on constate que la transparence, mesurée au disque de Secchi, augmente quand on se déplace du sud vers le nord (courbe I, d'après GRAS, ILTIS, LEVEQUE-DUWAT 1967). L'alcalinité et les concentrations en métaux alcalins suivent la même évolution (courbes II et III). Le pH varie de façon régulière de 7,50 en A à 8,15 en L (valeurs mesurées au laboratoire). La concentration en fer soluble, qui diminue

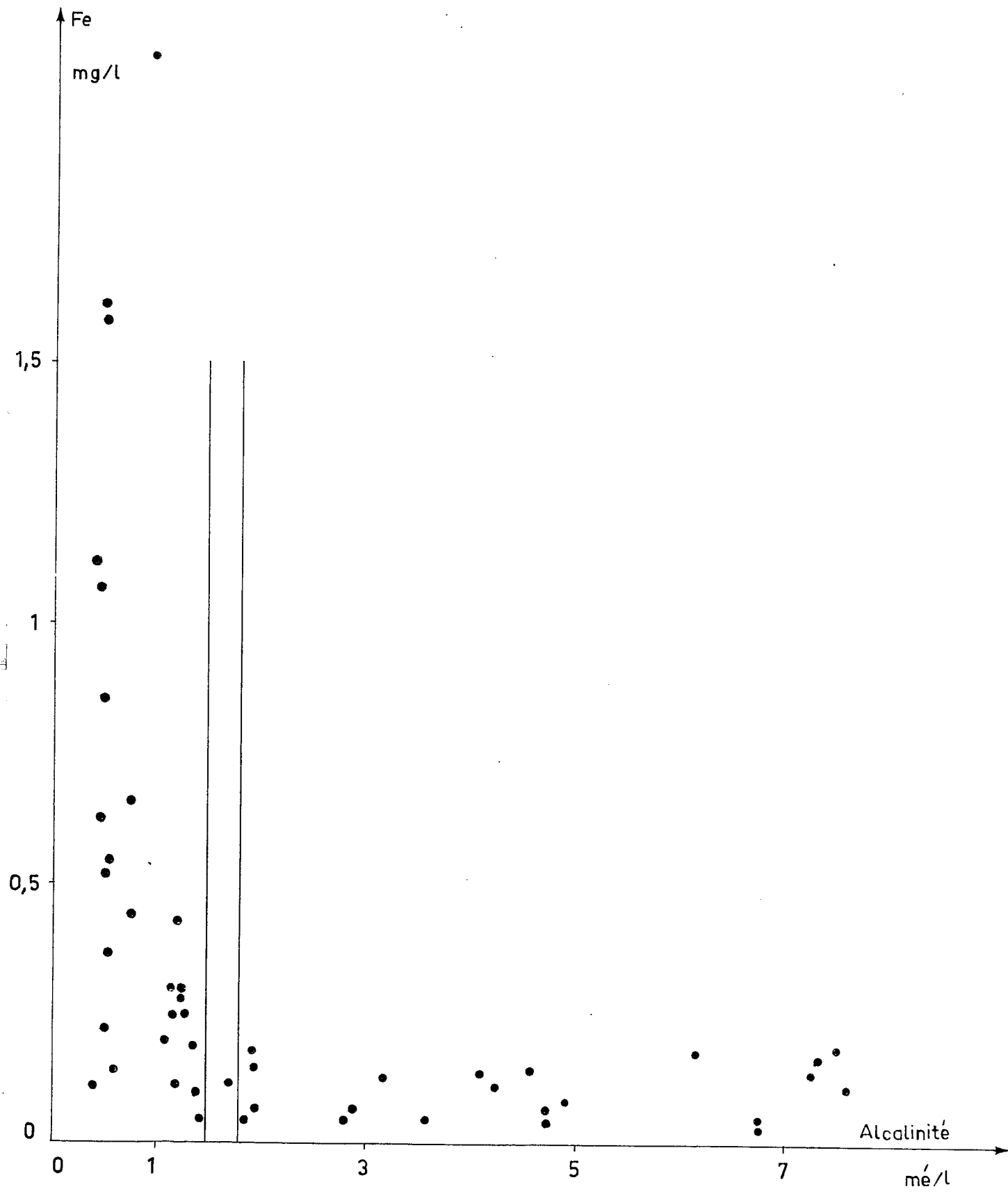
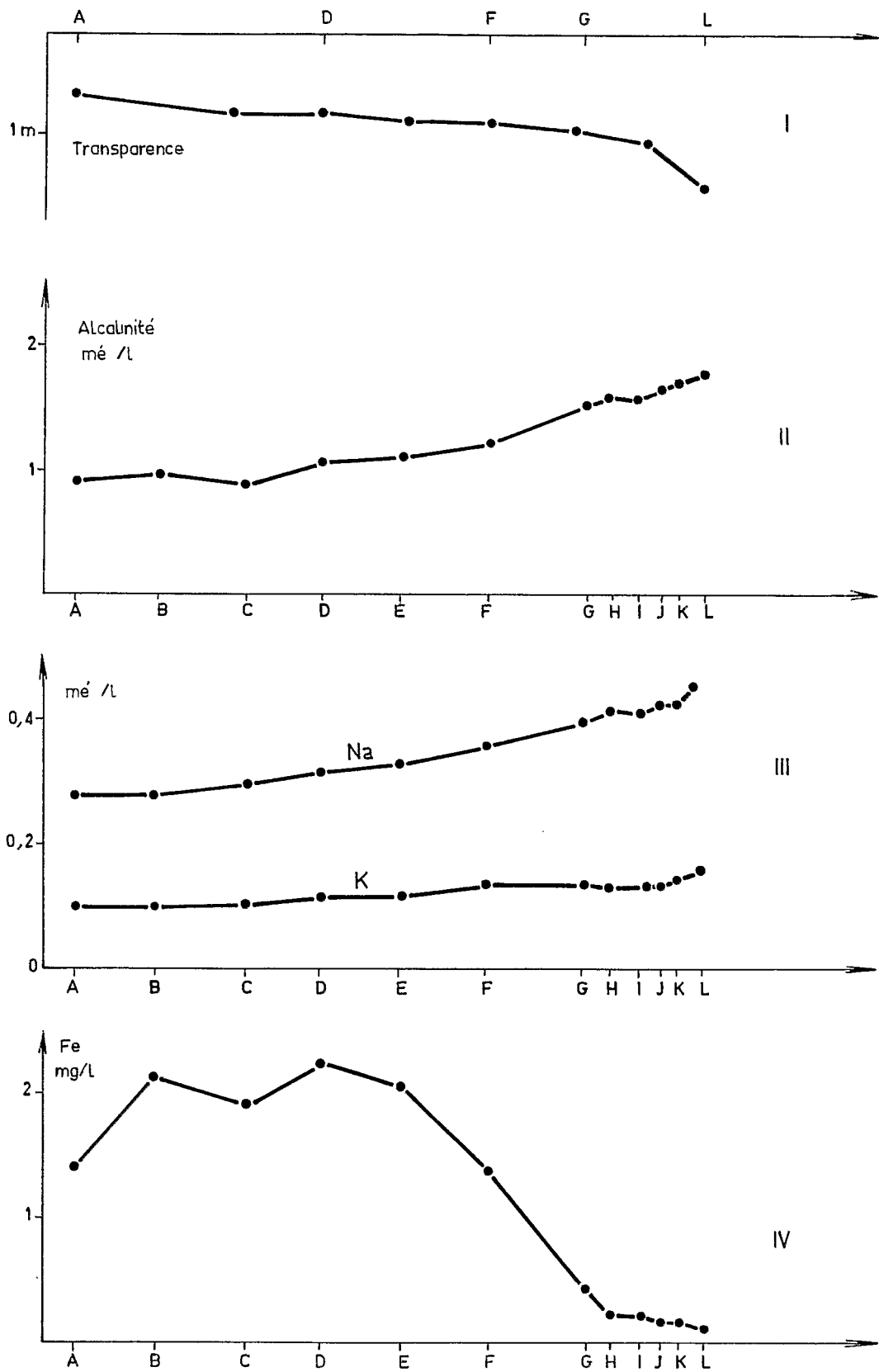


Fig. 4 Concentration du fer soluble dans le lac en fonction de l'alcalinité (septembre octobre 1968)



I Transparence; II Alcalinite; III Alcalins; IV Fer

Fig.5 Radiale de Bol-Matafo

depuis le point D jusqu'au point L (courbe IV) présente la même évolution en fonction de l'alcalinité (figure 6) que celle précédemment constatée dans l'ensemble du lac (figure 3).

5. - DISCUSSION.

Le fer soluble ne se trouve en quantités appréciables que pour une alcalinité inférieure à 1,8 mé/l.

Les résultats obtenus dans l'archipel forment un ensemble relativement homogène, alors que dans le reste du lac, ils sont beaucoup plus variables. La composition relative de l'eau y reste sensiblement constante (CARMOUZE 1968). Du sud vers le nord, la salinité, l'alcalinité et le pH augmentent, les carbonates apparaissent, et la concentration en fer soluble diminue. La solubilité du fer peut être régie, directement ou non, par un ou plusieurs de ces paramètres, notamment l'alcalinité, utilisée ici pour caractériser les échantillons d'eau.

5.1. - Influence des carbonates.

Les premières traces de carbonates apparaissent, pour une valeur de l'alcalinité comprise entre 1,5 et 1,6 né/l, suivant l'heure de la journée et l'activité de la photosynthèse. Les résultats obtenus indiquent que la concentration en fer commence à décroître avant cette valeur, et que sa disparition n'est pas aussi brutale que pouvaient le faire supposer les premières mesures. Les carbonates ne semblent donc pas intervenir d'une façon particulière dans le phénomène.

5.2. - Influence de la salinité.

Afin d'augmenter la salinité sans changer d'une façon trop sensible la composition ionique nous avons ajouté à de l'eau prélevée à Bol des quantités croissantes de bicarbonate de sodium. Dès les premières additions (figure 7a), le fer soluble diminue et atteint rapidement une concentration inférieure à 0,05 mg/l. Il apparaît ainsi que le facteur déterminant est ici la salinité, le pH et l'alcalinité lui étant liés.

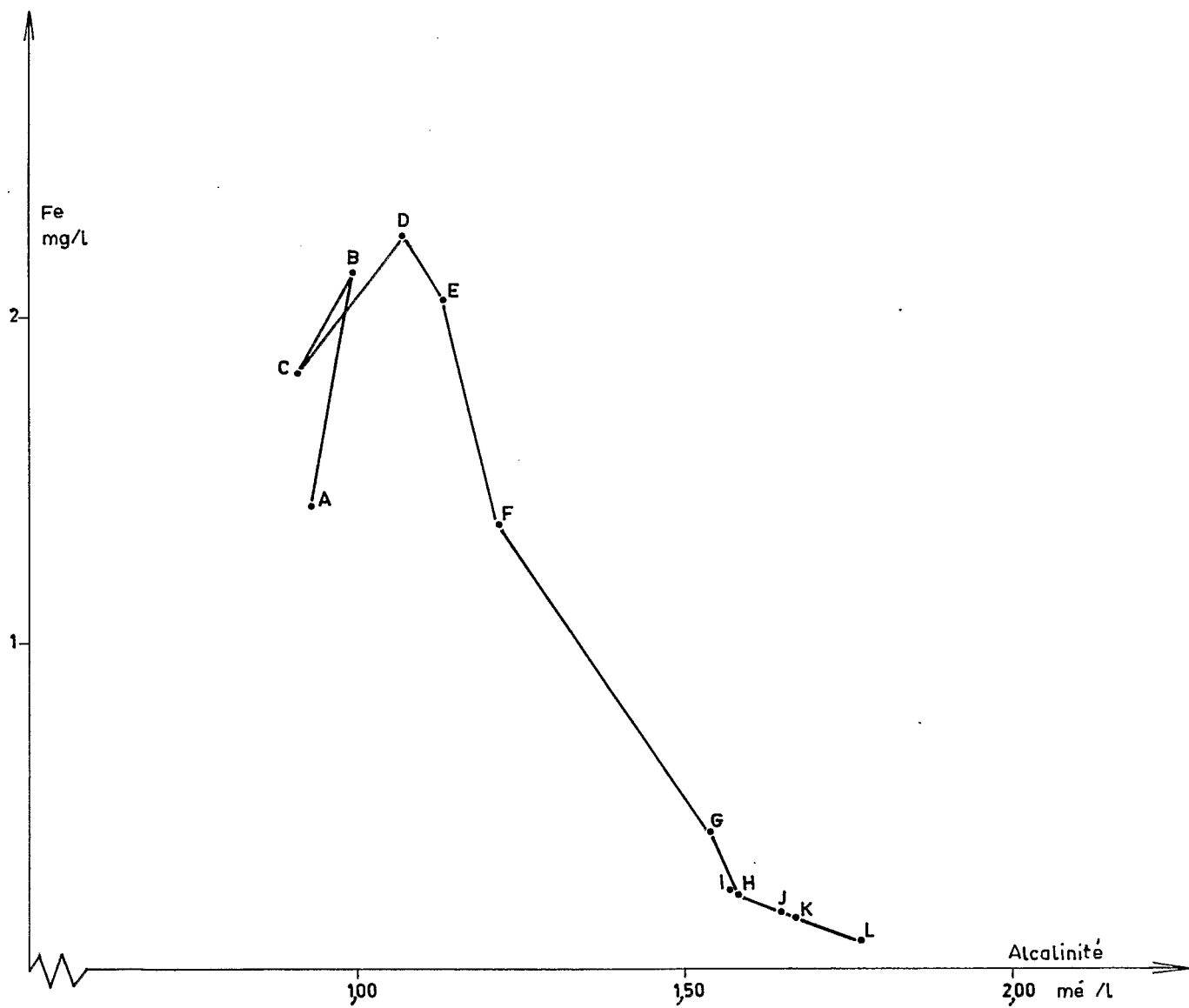
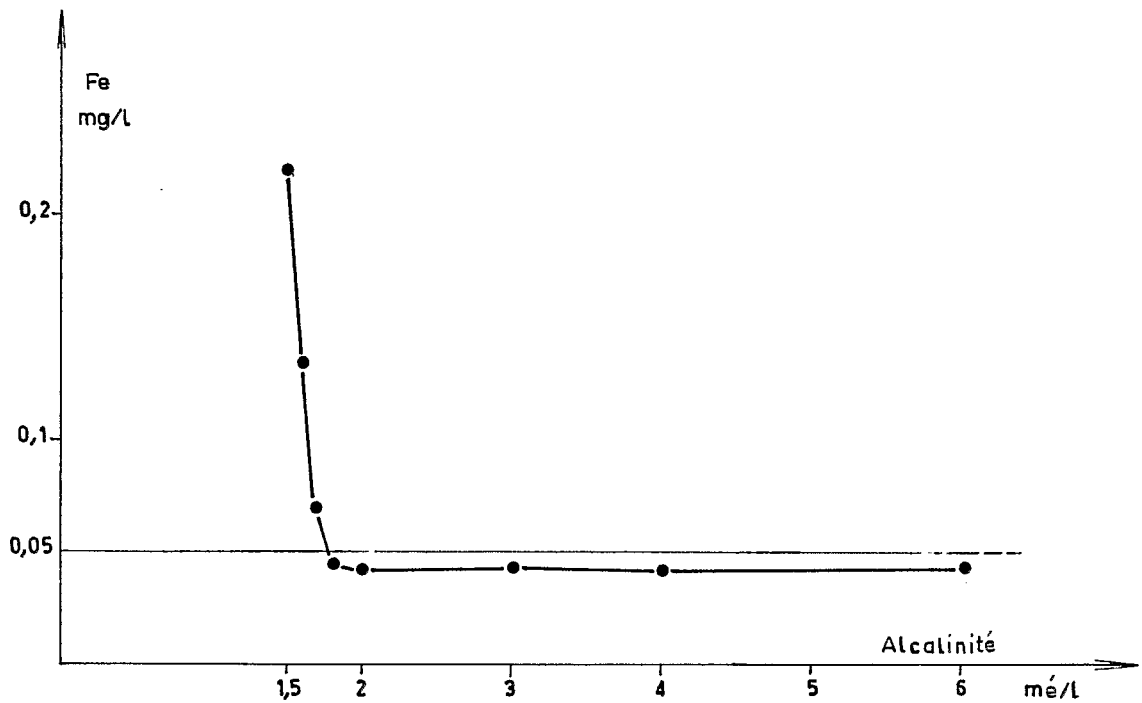


Fig. 6 Relations entre l'alcalinité et le fer soluble dans l'archipel (Septembre 1968)



a. Précipitation du fer par addition de bicarbonate de sodium

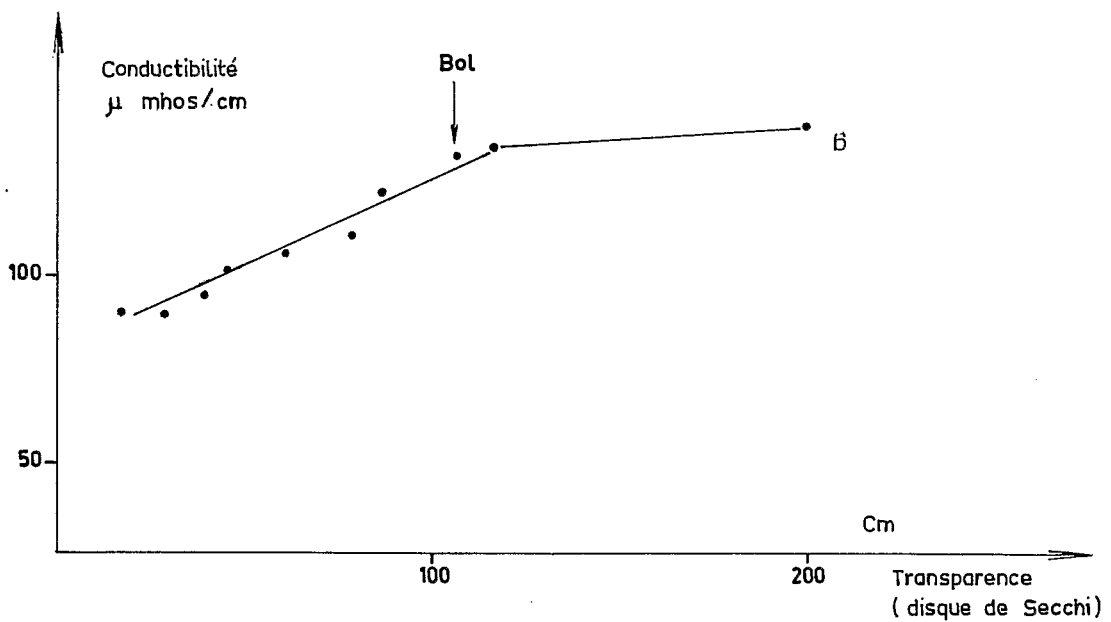


Fig.7 b: Relation entre conductivité et transparence sur la radiale de Bol en septembre 1964

(d'après GRAS 1966)

Ces résultats correspondent à ceux de Shapiro (1964) sur la coagulation des colloïdes du fer par élévation du pH et de la salinité. Shapiro a montré que les sels qui ont le plus faible pouvoir coagulant sont les bicarbonates de sodium et de potassium. Les ions calcium et magnésium sont beaucoup plus actifs. La salinité est donc, ici, très proche du seuil de coagulation (points E-F, figure 6).

5.3. - Stabilité du complexe.

Au point H de l'archipel (niveau de Bol), l'eau ne peut donc maintenir, en solution colloïdale, une quantité supérieure de complexe.

Afin d'étudier le comportement de ce complexe vis-à-vis du fer ionique en solution, nous avons ajouté à de l'eau de Bol des quantités croissantes de chlorure ferrique.

Les premiers résultats semblent indiquer qu'il s'établit un équilibre entre le fer ferrique ajouté, le complexe colloïdal qui se sature en fer, et l'hydroxyde ferrique formé qui correspond au fer en excès.

Cependant, en raison de l'incertitude introduite par la présence possible d'hydroxyde ferrique dans le filtrat, une expérimentation approfondie s'avère nécessaire avant de pouvoir interpréter ce phénomène.

5.4. - Relation avec l'argile colloïdale.

Le vent souffle toute l'année sur le lac Tchad, et particulièrement pendant la saison des pluies, de juillet à septembre. A cette époque les sédiments sont remis en suspension par l'agitation de l'eau et limitent la transparence, le phytoplancton et la couleur de l'eau n'intervenant que pour une faible part dans l'absorption de la lumière. Dans son étude sur les principaux biotopes du lac, GRAS (1966) a relevé la conductivité et la transparence au disque de Secchi, notant une relation directe entre ces deux données (figure 7 b).

Les mesures d'alcalinité et de transparence que nous avons effectuées dans l'ensemble du lac en octobre 1968 portent sur une période de trois semaines (fig. 8). La dispersion des résultats peut être due, en partie, au fait que les vents, très variables d'un jour à l'autre, ne remettent pas toujours autant d'argile en suspension.

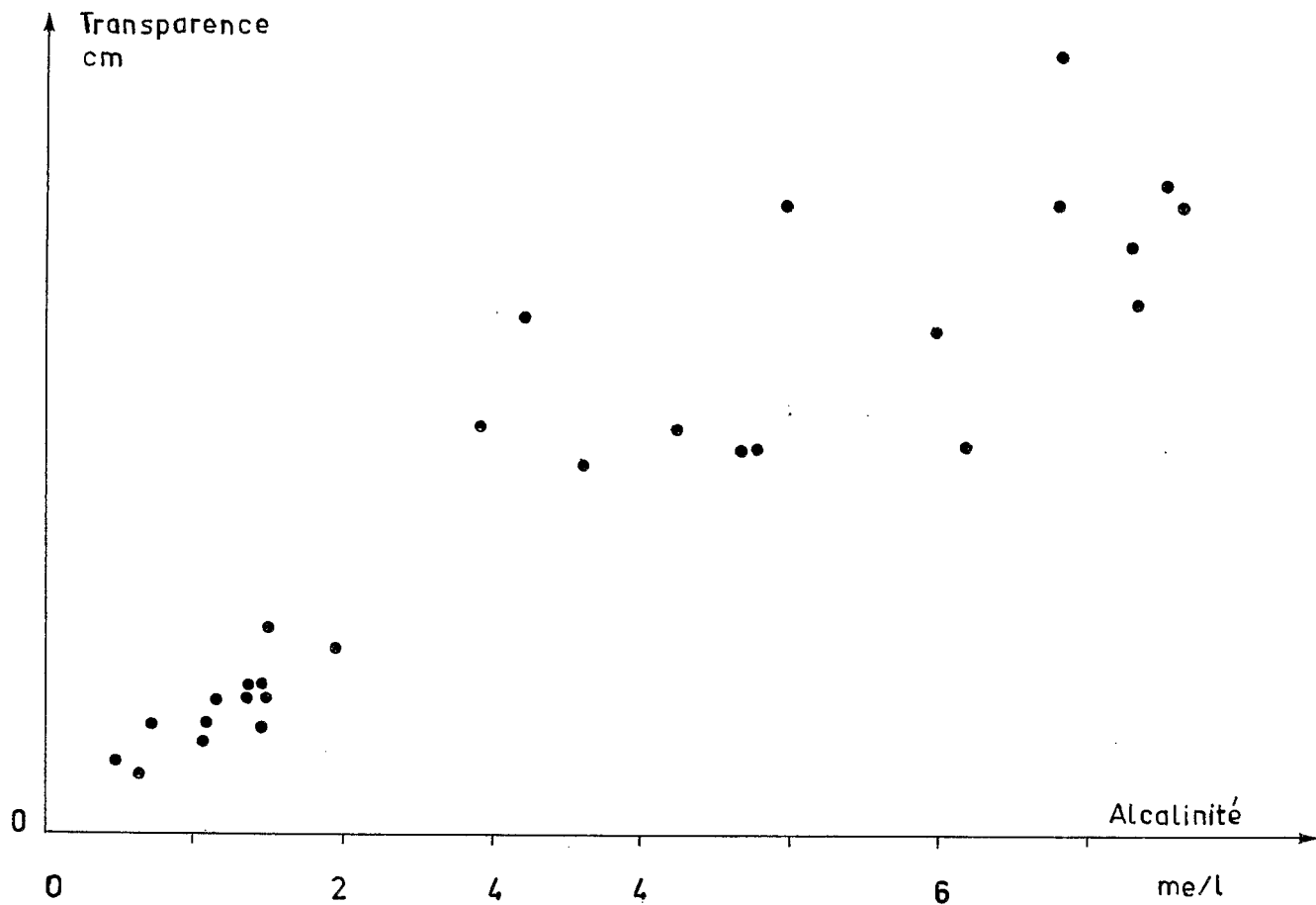


Fig. 8 Transparence mesurée au disque de Secchi
 en fonction de l'alcalinité (septembre-octobre 1968)

Nous avons vu que, pour une même concentration réelle en fer soluble, la concentration mesurée dépend de la quantité d'argile contenue dans les échantillons. Il se peut donc que la dispersion des concentrations en fer soluble (figure 4) soit en relation avec la dispersion des transparences en fonction de la salinité.

D'autre part, la diminution de l'argile en suspension et celle du fer soluble, présents simultanément dans le lac, peuvent s'expliquer par l'augmentation de la salinité qui coagule les colloïdes. Ce qui conduit à penser que le fer n'est pas sous forme d'hydroxyde ferrique colloïdal, qui coagule l'argile (DEMOLON 1960), mais bien associé aux colloïdes humiques, de charge négative, qui se comportent comme l'argile.

Une étude plus complète de la solubilité du fer dans ce milieu permettra d'évaluer les interactions complexes entre colloïdes argileux et acides organiques en solution.

CONCLUSION.

Les valeurs des concentrations en fer soluble trouvées dans les eaux du lac Tchad, riches en particules en suspension, dépendent largement des conditions de filtration des échantillons.

Les variations de la concentration du fer en solution dans le lac Tchad sont étroitement liées à celles des concentrations en ions majeurs. Au-dessus d'une alcalinité de 1,8 milliéquivalents par litre (conductivité de 180 micromhos/cm à 25° C) la concentration en fer soluble est inférieure à une valeur comprise entre 50 et 200 microgrammes par litre, suivant la méthode de filtration employée. Les eaux d'alcalinité plus faible contiennent jusqu'à 2500 microgrammes de fer par litre.

Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse suivant laquelle le fer soluble est associé à un mélange de complexes organiques en solution vraie et en suspension colloïdale.

BIBLIOGRAPHIE

- CARMOUZE (J.P.) - 1968 - Etude de la répartition des ions majeurs, phosphates et silicates dans les eaux du lac Tchad en avril 1968
Rapport Centre ORSTOM Fort-Lamy, 15 p., 18 fig. multigr.
- DEMOLON (A.) - 1960 - Principes d'agronomie. Tome I : Dynamique du sol.
520 p. Dunod, Paris.
- DEJOUX (C.) - 1968 - Le lac Tchad et les Chironomides de sa partie est.
Ann. Zool. Fem., 5, pp. 27-32.
- GRAS (R.) - 1966 - Détermination sommaire des principaux biotopes du lac Tchad ; in : Etude en vue de développement de la pêche sur le lac Tchad. 41 p., annexes. CTFT, Nogent-sur-Marne.
- GRAS (R.) - ILLIS (A.) - LEVEQUE-DUWAT (S.) - 1967 - Le plancton du Bas-Chari et de la partie est du lac Tchad.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol., 1, n° 1-4, pp. 25-100.
- LEVEQUE (C.) - 1967 - Mollusques aquatiques de la zone est du lac Tchad.
Bull. IFAN, 39, sér., A, n° 4, pp. 1494-1533.
- SHAPIRO (J.) - 1964 - Effects of yellow organic acids on iron and other metals in water.
J. Am. Water Works Assoc., 56, pp. 1062-1082.
- SHAPIRO (J.) - 1966 - On the measurement of ferrous iron in natural waters.
Limnol. Oceanogr., 11, n° 2, pp. 293-298.
- STRICKLAND (J.D.H.), PARSONS (T.R.) - 1965 - A manual of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd Canada, n° 125, 203 p.

O. R. S. T. O. M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS-8^e

IMP. C. S. T. Bondy
O. R. S. T. O. M. Éditeur

