

INFLUENCE QUALITATIVE DES MACROPHYTES SUR LA RÉGULATION HYDROCHIMIQUE DU LAC TCHAD

JEAN-PIERRE CARMOUZE*, GEORGES FOTIUS**, CHRISTIAN LÉVÊQUE***

* Hydrobiologiste O.R.S.T.O.M., Mission O.R.S.T.O.M., Cajon Postal 8714, La Paz, Bolivie.

** Botaniste O.R.S.T.O.M., Jardin aux fontaines, Bâtiment A2, 140 rue Pioche de Boutonnet, 34000 Montpellier

*** Hydrobiologiste O.R.S.T.O.M., O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris.

RÉSUMÉ

Pour une cote 281,5 m du lac Tchad, les herbiers à Phragmites Papyrus, Vossia et Typha, occupent une superficie d'environ 2.400 km² et représentent une biomasse considérable estimée à environ $7,2 \times 10^6$ t de liges et feuilles (poids sec) et 13×10^6 t de racines (poids sec).

L'analyse de la composition chimique des différentes espèces a permis de déterminer la quantité de sels stockés dans les macrophytes : 200×10^3 t pour le K, 63×10^3 t pour le Ca, 38×10^3 t pour le Mg, 10×10^3 t pour le Na et 2.340×10^3 t pour le SiO₂. Ces quantités représentant respectivement 16,5 %, 3,4 %, 4,5 %, 0,4 % et 68,8 % des stocks lacustres dissous, doivent correspondre aux besoins annuels des macrophytes ou sels minéraux si l'on admet que le rapport production sur biomasse est de l'ordre de 1.

Étant donné que la vitesse de production des macrophytes est généralement supérieure à celle de la dégradation biochimique des détritus, et que dans certaines zones l'accumulation des débris organiques est particulièrement importante, les quantités de sels (K et SiO₂ notamment) qui sont éliminées du milieu lacustre par sédimentation sont loin d'être négligeables.

Cette situation peut être modifiée selon que le niveau du lac augmente (réduction de la surface des herbiers) ou diminue (augmentation de la surface des herbiers). Il peut alors y avoir respectivement diminution ou accroissement de la sédimentation chimique.

ABSTRACT

INFLUENCE OF MACROPHYTES ON THE HYDROCHEMICAL REGULATION OF LAKE CHAD

For the water level 281,5 of the lake Chad, Phragmites, Papyrus, Vosia and Typha vegetation spread over 2400 km² and represent an important biomass of about 7.2×10^6 t of straws and leaves (dry weight) and 13×10^6 of roots (dry weight).

By chemical analysis of different species, the quantities of salts stored in the macrophytes have been estimated: 200×10^3 t of K, 63×10^3 t for Ca, 38×10^3 t for Mg, 10×10^3 t for Na and 2340×10^3 t for SiO₂, which represent respectively 16,5 %, 3,4 %, 4,5 %, 0,4 % and 68,8 % of their lake stock. These quantities represent the annual salt need of the macrophytes if it is supposed that the ratio Production/Biomass is equal to 1.

The production rate of macrophytes is generally greater than the biodegradation of detritus (in some sediments the macrophyte detritus are very important). So, the salt quantities (SiO₂ and K particularly) eliminated from the lake water by sedimentation have to be taken into account.

This situation may change according to the increase or the decrease of the lake level (reduction or increase of the macrophyte extend), and, by this way, the chemical sedimentation increase or decrease.

La régulation de la salure des eaux du lac Tchad a fait l'objet d'une étude générale (CARMOUZE, 1976). Elle est principalement caractérisée par la présence de divers types de sédimentation chimiques. Certains processus de sédimentation ont fait l'objet d'études détaillées (précipitation de calcite, néoformation de smectites). A cela s'ajoutent, comme dans la plupart des milieux lacustres, des sédimentations biochimiques. Il se produit notamment un enrichissement des matériaux particulaires d'origine fluviatile en matière organique au cours de leur dépôt dans le lac. D'après les résultats d'analyse du carbone total dans les sédiments et les suspensions moyennes du Chari et du Logone on peut estimer que le facteur d'enrichissement est de l'ordre de 5.

La matière organique, qui est la plus abondamment représentée dans les vases, est principalement d'origine végétale. Certes, on peut fréquemment déceler des débris de macrophytes dans la vase, laquelle par ailleurs est abondante, comme nous l'avons remarqué lors de la description des sédiments, dans les zones à forte production de végétaux subaquatiques. Néanmoins, c'est CHEVERRY (1974) qui, par une étude fine des vases de l'Archipel du Sud-Est en apporte la confirmation. En effet, CHEVERRY montre, grâce à l'analyse thermique différentielle et la spectrométrie infrarouge que l'humine se forme à partir de la lignine et de résidus protéiques, provenant principalement des *Phragmites*.

Il y a donc incorporation d'une partie de la matière organique d'origine macrophytique dans les sédi-

ments et, par là, élimination d'une certaine quantité de constituants minéraux retenus dans cette matière organique.

Pour connaître la contribution des macrophytes à la régulation saline du lac il faudrait estimer le piégeage définitif des éléments concernés dans les sédiments, ce qui n'est pas l'objet de ce travail. Toutefois, pour avoir une idée de cette contribution certaines remarques d'ordre qualitatif vont être dégagées.

Nous allons, dans un premier temps, déterminer les teneurs relatives des composés minéraux qui nous intéressent, à savoir SiO₂, Ca, Mg, Na et K, puis pour chacune des principales espèces (*Phragmites australis*, *Cyperus papyrus*, *Vossia cupisdala* et *Typha angustifolia*), les biomasses et les quantités de sels que ces dernières stockent.

1. COMPOSITION MINÉRALE DES MACROPHYTES

Les plantes, dont les principales parties ont été analysées (tiges, feuilles, racines, inflorescences) proviennent de l'Archipel du Sud-Est (Bol) et des Ilots-Bancs du Nord (Nguigmi). Ces prélèvements ont été effectués en 1970. Des déterminations chimiques ont été réalisées au Laboratoire de Diagnostic Foliaire de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, selon des techniques de dosage décrites par DIDIER de SAINT-AMAND *et al.* (1968). Des diverses détermi-

TABLEAU I

Teneurs des principaux macrophytes en SiO₂, K, Ca, Mg et Na selon les divers organes des plantes dans les *Ilots-Bancs du Nord* (NG) et dans l'*Archipel du Sud-Est* (BOL).

Dans la partie gauche du tableau les résultats, exprimés en poids, sont en % de poids sec ; dans la seconde partie, ils représentent des fractions de moles en % de chacun des éléments par rapport à la somme des cations.

	K	Ca	Mg	Na	SiO ₂	K	Ca	Mg	Na	SiO ₂
<i>Typha</i> tiges (NG).....	2,12	0,54	0,23	0,24	0,04	54,4	13,5	9,6	10,4	0,66
<i>Typha</i> feuilles (NG).....	2,27	1,02	0,3	0,4	0,3	58,2	25,5	12,5	17,3	5,0
<i>Typha</i> inflor. (NG).....	1,47	1,12	0,34	0,06	0,7	37,7	28	14,1	2,6	11,5
<i>Typha</i> feuilles (BOL).....	1,71	0,7	0,22	0,28	1,07	43,8	17,5	9,16	12,1	17,8
<i>Typha</i> inflor. (BOL).....	1,63	0,81	0,4	0,1	0,47	41,8	20	16,6	4,34	7,8
<i>Papyrus</i> tiges (BOL).....	0,98	0,28	0,08	0,09	3,55	25,2	7,0	3,33	3,9	59,1
<i>Papyrus</i> inflor. (BOL).....	0,67	0,27	0,07	0,05	9,34	17,2	6,7	2,9	2,2	155
<i>Papyrus</i> racines (BOL).....	0,78	0,38	0,22	0,11	9,47	20	9,5	9,1	4,8	158
<i>Phragm.</i> feuilles (NG).....	1,84	0,24	0,12	0,01	6,58	47,2	6,0	5	0,4	109,5
<i>Phragm.</i> inflor. (NG).....	0,54	0,49	0,26	0,03	11,25	13,8	12,2	10,8	1,3	187,5
<i>Phragm.</i> liges (NG).....	2,13	0,06	0,06	0,03	2,77	54,6	1,5	2,5	1,3	46,1
<i>Phragm.</i> feuilles (BOL).....	0,72	0,75	0,18	0,01	22,4	18,5	18,75	7,5	0,4	373,3
<i>Phragm.</i> inflor. (BOL).....	0,31	0,05	0,02	0,01	2,77	7,9	1,25	0,83	0,43	46,16
<i>Phragm.</i> racines (BOL).....	0,34	0,45	0,25	0,04	19,07	8,7	11,25	10,4	1,7	318

TABLEAU II

Teneurs moyennes des principaux macrophytes en SiO₂, K, Ca, Mg et Na. Les résultats sont exprimés en poids ramené à 100 g de plante séchée.

		K	Ca	Mg	Na	SiO ₂	K	Ca	Mg	Na	SiO ₂	
Tiges	{	<i>Phragmites</i>	2,05	0,08	0,09	0,025	3,0	52,5	17,5	3,7	1,1	50
		<i>Papyrus</i>	0,95	0,28	0,08	0,085	3,75	24,3	7,0	3,33	3,7	62,5
+ Feuilles	{	<i>Vossia</i>	0,90	0,12	0,10	0,02	8,50	23	3,0	4,1	0,87	142
		<i>Typha</i>	2,15	0,70	0,25	0,25	0,07	55,1	17,5	10,4	10,8	1,16
Racines	{	<i>Phragmites</i>	0,34	0,45	0,25	0,04	19,07	8,7	11,2	10,4	1,7	318
		<i>Papyrus</i>	0,78	0,38	0,22	0,11	9,47	20	9,5	9,1	4,78	158

nations, ne sont retenues que celles relatives à SiO₂, Ca, Mg, Na et K. Les résultats sont regroupés dans le tableau I. Ils sont exprimés en poids et en moles ramenés à 100 g d'échantillon sec (séchage de 24 h à 110 °C). On remarque que les teneurs de chacun des composants minéraux envisagés, relatives à une partie donnée d'une espèce définie, peuvent varier dans de fortes proportions, selon l'emplacement de cette dernière. Or, la composition chimique moyenne, qu'il s'agit d'établir pour chaque espèce, ne peut être calculée, au mieux, qu'à partir de deux séries de prélèvements (l'un à Bol, l'autre à Nguigmi). Dans ces conditions, elle n'a qu'une valeur indicative (tabl. II). Notons, ce qui n'est pas une surprise en ce qui concerne les macrophytes, que ce sont la silice et le potassium, ce dernier à un degré moindre, qui sont les mieux représentés.

2. BIOMASSES DES MACROPHYTES ET QUANTITÉS DE SELS DISSOUS RETENUS

Les macrophytes sont installés sur des hauts fonds du lac qui correspondent le plus fréquemment à des sommets de dunes immergés, formant des îles de végétation ou îlots-bancs. Ils recouvrent 2 400 km² soit 12 % de la surface du lac à la cote moyenne du plan d'eau 281,5 en 1970.

La taille des îles, qui peut varier de quelques hectares à plusieurs km², est en moyenne égale à 2,4 km². Quatre espèces sont dominantes : *Phragmites australis*, *Cyperus papyrus*, *Vossia cuspidata* et *Typha angustifolia* qui représentent dans l'ordre approximativement 85 %, 10 %, 4 % et 1 % de la surface totale occupée par les macrophytes.

Les biomasses des parties aériennes ont été estimées à partir de coupes de 10 à 15 plateaux de 1 m², qui ont été répétées en plusieurs points du lac, dans l'Archipel du Sud-Est, dans l'Archipel de l'Est, dans les Eaux-Libres du Sud-Est et dans les Ilots-

Bancs du Nord, ceci pour les principales espèces. Les valeurs moyennes, qui sont exprimées en tonnes de poids sec par hectare, sont regroupées dans le tableau III. Compte tenu des surfaces relatives occupées par chacune des espèces, on peut facilement déduire les biomasses respectives (tabl. III).

TABLEAU III

Biomasses moyennes en poids frais, en poids sec et en poids de matière organique des parties aériennes des principaux macrophytes du lac

	<i>Phragmites</i>	<i>Papyrus</i>	<i>Vossia</i>	<i>Typha</i>
Biomasse en poids frais (en t/ha).....	73	140	70	85
Biomasse en poids sec (en t/ha).....	31	28	17,5	15,5
Poids de matière organique (en t/ha)...	3,41	2,24		1,27
Biomasse totale en poids sec (en t × 10 ³).	6335	674	168	13

(a) Il devient alors possible de calculer les quantités des différents éléments chimiques, qui sont stockées dans les parties aériennes.

Les quantités de potassium, calcium, magnésium, sodium et silice sont respectivement égales à 138 × 10³ t, 7,4 × 10³ t, 6,6 × 10³ t, 2,3 × 10³ t, 230 × 10³ t. Elles correspondent, dans l'ordre, à 170 %, 4 %, 8,5 %, 1,8 % et 23,5 % des apports moyens annuels correspondants, ou encore, à 11,2 %, 0,4 %, 0,8 %, 0,1 % et 6,8 % des stocks lacustres dissous (CARMOUZE, 1976).

(b) Les quantités des éléments stockés dans les parties racinaires des *Phragmites* et des *Papyrus* (soit 95 % de la biomasse totale des macrophytes) peuvent également être estimées en partant du fait que, d'une part, 1 kg de tiges sèches de *Phragmites*

correspond à 1,4 kg de racines sèches et que, d'autre part, 1 kg de tiges vertes de *Papyrus* correspond à 1,2 kg de racines sèches. D'après ces relations et le tableau III, les biomasses totales des racines de *Phragmites* et de *Papyrus*, peuvent alors être calculées : elles représentent dans l'ordre $9,0 \times 10^6$ et $4,1 \times 10^6$ t. Les compositions minérales des racines (tabl. II) permettent enfin d'estimer les différents stocks des éléments chimiques concernés : les quantités de potassium, calcium, magnésium, sodium et silice, dissoutes sont respectivement égales à $62,5 \times 10^3$ t, 56×10^3 t, $31,5 \times 10^3$ t, 8×10^3 t, 2110×10^3 t.

Elles correspondent dans l'ordre à 77 %, 30 %, 40 %, 6,2 % et 215 % des apports moyens annuels correspondants, ou encore à 5,3 %, 3 %, 3,7 %, 0,3 % et 62 % des stocks lacustres dissous.

3. RÔLE QUALITATIF DES MACROPHYTES SUR LA RÉGULATION HYDROCHIMIQUE

Bien que ces estimations soient très approximatives, on constate que la quantité de potassium qui est stockée par les plantes est relativement importante au regard du stock de cet élément présent sous forme dissoute dans le lac et de la quantité annuellement apportée par les fleuves. Ceci est également vrai, pour la silice. En revanche, le calcium, le magnésium et surtout le sodium emmagasinés dans les plantes représentent une plus faible fraction des apports moyens annuels et des stocks lacustres dissous correspondants.

Pour avoir une idée sur les besoins annuels des macrophytes en sels minéraux, il faudrait connaître le taux de renouvellement annuel de la biomasse. Nous n'avons pas de données sur ce point en ce qui concerne le lac Tchad. Mais il est raisonnable d'admettre que le rapport Production sur Biomasse (P/B) est de l'ordre de 1. Dans ce cas les quantités de sels minéraux utilisés chaque année sont voisines de celles qui sont stockées dans les végétaux.

Les teneurs en matière organique, qui sont en moyenne 4-5 fois plus élevées dans les sédiments que dans les suspensions fluviales, montrent bien que la vitesse de production de matière organique, en l'occurrence celle des macrophytes principalement, est généralement supérieure à celle résultant de la dégradation biochimique. L'accumulation de débris organiques est particulièrement importante dans les zones d'îlots-bancs où la vase peut atteindre 50 à 80 cm. On a donc tout lieu de penser que les quantités annuelles de potassium et, dans une moindre mesure de silice, qui sont définitivement éliminées du milieu lacustre à proprement parler, sont loin d'être négligeables. En revanche, celles relatives

aux autres éléments sont beaucoup plus faibles. Toutefois nous avons déjà précisé que l'élément envisagé est d'autant plus affecté par l'activité biologique que son aptitude à s'associer avec la matière organique est grande. Il a en effet d'autant plus tendance à s'accumuler dans les sédiments que sa vitesse de libération des détritiques est faible. Or, sur ce point, les cations alcalino-terreux sont susceptibles de former avec la matière organique des complexes plus stables que les cations alcalins (SCHNITZER et SKINNER, 1965). En conséquence, les quantités de calcium et de magnésium qui sont définitivement perdues chaque année sont probablement plus élevées que ne le laissent paraître leurs quantités qui entrent en jeu dans le cycle annuel des macrophytes. La remarque opposée est à faire pour le potassium.

Les quantités de sels dissous mises en jeu sont profondément modifiées lorsque la biomasse varie. Or, celle-ci peut varier dans des proportions considérables à en juger la surface occupée par les îlots-bancs selon la cote du lac. A la cote moyenne du lac (281,5) la superficie colonisée par les macrophytes est de l'ordre de 2 400 km², tandis que l'on peut estimer, bien que nous ne disposions pas de données précises à ce sujet, que cette superficie diminue de moitié ou augmente du double selon que le niveau d'eau s'est stabilisé respectivement à la cote 283 ou 280.

Aussi, d'une façon générale peut-on penser que :

— lors d'une phase de crue, la biomasse tend à se réduire : les besoins des macrophytes en sels minéraux diminuent ; de plus, le taux de minéralisation l'emporte sur le taux de production. Il n'est donc pas impossible qu'il y ait restitution partielle des sels minéraux à la phase aqueuse par l'intermédiaire des détritiques sédimentés. Ce qui est certain c'est que la sédimentation chimique relevant de l'activité des macrophytes doit franchement diminuer ;

— lors d'une phase de décrue, le phénomène inverse tend à se produire. Toutefois, à l'occasion d'une sévère décrue, il y a exondation de certaines zones qui entraîne la disparition d'îlots-bancs. Lorsque les eaux viennent inonder à nouveau ces régions, elles tendent à s'enrichir en potassium et à un degré moindre en magnésium. Tel paraît avoir été le cas quand, en novembre 1973, des eaux en provenance des Eaux-Libres du Sud-Est ont traversé les îlots-bancs du Sud-Est (qui avaient été exondés pendant plusieurs mois) pour gagner l'Archipel du Sud-Est (CHANTRAINE, communication personnelle).

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.,
le 24 janvier 1978.*

BIBLIOGRAPHIE

- CARMOUZE (J. P.), 1976. — La régulation hydrogéochimique du lac Tchad. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.*, n° 58, 418 p.
- CHEVERRY (C.), 1974. — Contribution à l'étude des Polders du lac Tchad : la dynamique des sels lors de la transformation de sédiments argileux et organiques en milieu continental subaride. Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg. O.R.S.T.O.M., Paris, 275 p., *mulligr.*
- DIDIER DE SAINT-AMAND (J.), CAS (G.), LEFRANC (M. F.), 1968. — Méthodes de dosages effectuées en autoanalyse au laboratoire de diagnostic foliaire de l'O.R.S.T.O.M. *Initiat., Document. tech., O.R.S.T.O.M.*, Paris, n° 9, 35 p.
- SCHNITZER (M.) et SKINNER (S.), 1965. — Organo metallic interaction in soils - 4 - Carboxyl and hydroxyl groups in organic matter and metal retention. *Soil sci.*, 99, 4 : 278-284.