

A. Iltis
J. Lemoalle

LA VÉGÉTATION AQUATIQUE DU LAC TCHAD



RÉUNION DE TRAVAIL SUR
LA LIMNOLOGIE AFRICAINE

Nairobi, 16-23 décembre 1979



LA VÉGÉTATION AQUATIQUE
DU LAC TCHAD

André ILTIS *
Jacques LEMOALLE *

Ce travail est une synthèse des travaux réalisés sur les plantes aquatiques supérieures du lac Tchad. Avec d'autres articles, il est destiné à être repris dans le cadre d'un travail général sur la limnologie du lac Tchad, qui devrait être publié en 1980. Pour toute citation éventuelle, il sera donc préférable de se référer au texte définitif.

SOMMAIRE

Introduction	1
1) Stade Tchad normal	2
1-1 - Principaux groupements végétaux	
1-2 - Morphologie de la végétation	
1-2-1 - Prairies aquatiques	
1-2-2 - Ilots-bancs	
1-2-3 - Ilots flottants	
1-2-4 - Bordure végétale des îles	
1-2-5 - Herbiers immergés	
1-3 - Conclusions sur la végétation au stade Tchad normal	
2) Stade petit Tchad	9
2-1 - Remarques générales	
2-2 - Différents types de peuplements	
2-2-1 - Cuvette sud	
2-2-2 - Cuvette nord	
2-3 - Conclusions sur la végétation au stade petit Tchad	
3) Composition minérale des macrophytes et influence sur l'hydrochimie du lac Tchad	13
3-1 - Analyse des macrophytes	
3-2 - Influence des macrophytes sur l'hydrochimie du lac.	
Références bibliographiques	17

INTRODUCTION

La végétation phanérogamique du lac a été étudiée par Léonard (1969, 1974) au cours de deux missions effectuées en décembre 1964 et janvier-février 1968. La composition et la situation des peuplements présents a été déterminée. A la suite de l'évolution des différentes régions de la cuvette lacustre, consécutive à la baisse de niveau continue qui s'est poursuivie depuis la dernière mission, des observations sur la végétation aquatique du lac, de superficie alors très réduite, ont été faites par Chouret et Lemoalle (1974), Fotius (1974), Fotius et Lemoalle (1976). En raison des difficultés de circulation dans les zones marécageuses ou asséchées depuis peu, ces dernières prospections ont porté surtout sur la cuvette sud. Seules quelques reconnaissances aériennes de la cuvette nord ont pu être effectuées.

L'existence, la composition et la densité des peuplements sont influencées par différents facteurs écologiques dont les principaux sont :

- les variations de niveau du plan d'eau qui conditionnent l'exondation totale ou partielle durant la période d'étiage et déterminent la hauteur et la durée de la submersion au moment des hautes eaux ;
- la nature et la pente du substrat ;
- l'exposition au vent et la force de celui-ci ; l'action des vagues déterminant la présence ou l'absence de certaines espèces flottantes manifestement très sensibles à l'agitation des eaux ;
- la composition physico-chimique de l'eau qui se charge progressivement de sels à mesure que l'on s'éloigne du delta du Chari.

Pour l'analyse des peuplements de macrophytes du lac, on distinguera jusqu'à fin 1972, le stade "Tchad normal", où la végétation aquatique peut être considérée comme très développée par rapport à celle existant dans les lacs européens ou africains plus profonds. Mais la couverture végétale reste limitée aux zones deltaïques, aux bordures des îles des archipels et aux îlots flottants qui s'en détachent, aux zones très peu profondes de la partie orientale du lac et aux hauts fonds. Après cette période, on distinguera le stade "petit Tchad", où cette couverture végétale prend de l'extension et atteint approximativement 50 % de la cuvette lacustre normale ; l'exondation de vastes surfaces situées à l'intérieur des anciennes lignes de rivage et l'apparition de zones marécageuses étendues, avec des assèchements temporaires plus ou moins longs, entraînent "le développement d'une masse végétale considérable, quoique relativement très pauvre quant au nombre des espèces qui la composent" (Fotius, 1974).

1 - Stade Tchad normal

1-1 - Principaux groupements végétaux.

- Association à *Potamogeton ssp.* et *Vallisneria sp.*

Végétation aquatique d'eau à courant faible, elle est bien représentée à l'est du delta du Chari et ça et là dans le lac. Elle comprend souvent, en plus des deux genres cités, *Najas ssp.* et *Ceratophyllum demersum*. On peut distinguer plusieurs faciès caractérisés par la dominance, parfois exclusive, de chacun des constituants de cette association.

- Association à *Nymphaea ssp.* et *Utricularia ssp.* (nymphaie).

Elle se rencontre dans les anses calmes, les bords des rives sous le vent et les mares.

- Association à *Pistia stratiotes* et *Lemna perpusilla*.

C'est une association de plantes flottantes, également caractéristique des zones calmes, et plus particulièrement des anses calmes et franches de végétation herbacée semi-aquatique. Elle renferme des *Spirodela polyrhiza* (lentilles d'eau), des *Azolla africana* (en surface) et souvent des *Ceratophyllum demersum*. Elle se rencontre un peu partout dans le lac, mais surtout dans le sud, et au niveau des deltas de l'El Beid et de la Yobé. Elle est absente du delta du Chari.

- Association à *Ludwigia adscendens subsp. diffusa*.

Végétation semi-aquatique et étalée du bord des eaux, on la rencontre dans les anses calmes et dans les franges des prairies aquatiques et des rose-lières. Elle renferme des *Ipomoea aquatica* et des *Neptunia oleracea*. D'un point de vue dynamique, cette association fait suite à celle de *Pistia stratiotes* et *Lemna perpusilla*. Elle est répandue ça et là sur le lac, surtout dans le sud ; elle est particulièrement bien représentée au niveau des deltas de l'El Beid et de la Yobé.

- Association à *Cyperus laevigatus*.

Cette association est caractéristique des franges des mares natronées de la zone sahélienne et se trouve fréquemment autour des mares du Kanem, région qui borde au nord le lac Tchad. Elle apparaît également, mais très sporadiquement, dans l'extrême nord du lac, là où les eaux sont les plus concentrées en sels dissous.

- Prairies aquatiques à *Vossia cuspidata*.

C'est une végétation herbeuse, semi-aquatique et étalée, à extrémités dressées, dominante dans les deltas du Chari et de l'El Beid ; elle constitue souvent aussi les franges des rose-lières dans d'autres parties du lac. Abondantes dans le sud et l'est, les prairies à *Vossia* se raréfient progressivement à l'approche de la Grande Barrière et sont absentes au nord de celle-ci.

- Association à *Cyperus papyrus* (papyraie).

C'est une végétation dressée, dont la base forme un matelas épais et flottant, avec fougères et nombreuses lianes (*Ipomoea ssp.*, *Luffa cylindrica*). Elle apparaît au niveau des deltas du Chari et de l'El Beid

mais elle est surtout abondante dans l'archipel est et vers la Grande Barrière. Au nord de celle-ci, les papyrus deviennent jaunâtres et peu développés ; ils disparaissent progressivement et sont pratiquement absents de la bordure nord du lac.

- Association à *Phragmites australis* subsp. *Altissimus* (Phragmitaie).

La végétation dressée forme roselière, avec un épais matelas racinaire de surface et quelques lianes. C'est une association très fréquente dans tout le lac ; présente dans le sud (deltas du Chari et l'El Beid), bien développée dans l'est et le centre (Grande Barrière), elle domine nettement dans la partie nord.

- Association à *Typha australis* (typhaie).

La végétation dressée forme roselière, mais sans matelas racinaire flottant et donc avec seulement de très rares lianes. Cette association, qui forme des groupements épars, est absente dans le sud, assez bien représentée dans l'est et le centre, et bien développée au nord.

- Groupement à *Aeschynomene elaphroxylon* (nom local ambatch).

Cet arbuste peut atteindre cinq à six mètres de haut ; il est présent un peu partout au milieu des îlots-bancs et en bordure des îles de l'archipel, mais paraît absent dans le sud du lac.

- Végétation des archipels.

On peut distinguer deux zones différentes :

- a) Les zones d'îles plates, soit avec prairies aquatiques longtemps inondées à *Leersia hexandra* et *Echinochloa* sp., soit avec prairies longtemps exondées à *Panicum repens* et *Sporobolus spicatus*, soit avec une ceinture à *Hyphaene thebaïca* (palmier doum) au niveau des hautes eaux. Ces îles plates sont surtout abondantes dans l'archipel nord-est.
- b) Les zones d'îles à relief plus accusé, jamais inondées, avec végétation sahélienne arborescente : *Acacia* sp., *Calotropis procera*, *Leptadenia* sp. et ceinture à *Hyphaene thebaïca*. Ces îles à "relief" constituent la majeure partie de l'archipel sud-est et est.

1-2 - Morphologie de la végétation.

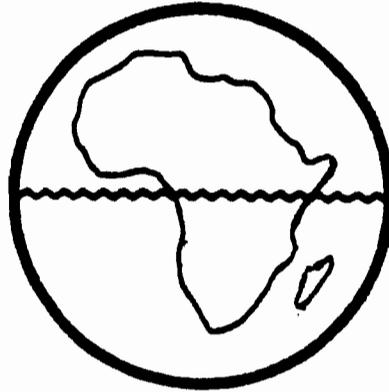
La végétation lacustre apparaît le plus souvent sous des aspects différents selon sa composition spécifique et la zone où elle se développe. On peut ainsi distinguer plusieurs grands types d'organisation :

1-2-1 - Prairies aquatiques.

Elles se rencontrent surtout dans les zones deltaïques. Elles couvrent ainsi, au débouché du Chari, une zone triangulaire d'environ 15 à 20 kilomètres de côté que les eaux du fleuve traversent en quelques chenaux bien délimités à l'étiage, et en filtrant à travers la végétation aux hautes eaux. *Vossia cuspidata* est l'espèce qui, implantée dans un à trois mètres d'eau, constitue là les plus grandes étendues.

En bordure du lac, les prairies à *Vossia cuspidata* sont remplacées par des prairies à *Cyperus papyrus* ou à *Phragmites australis* ; les espèces compagnes sont identiques dans les trois cas.

LIMNOLOGIAE



Les relevés effectués au delta du Chari ont montré les espèces suivantes[Ⓜ] :

	Prairie à <i>Vossia cuspidata</i>		Prairie à <i>Cyperus papyrus</i>	Prairie à <i>Phragmites australis</i>
	1er relevé	2ème relevé		
<i>Vossia cuspidata</i>	5.5	5.5	1.1	1.1
<i>Ludwigia adscendens</i> subsp. <i>diffusa</i>	+1	1.2	+1	
<i>Cyperus papyrus</i> subsp. <i>miliaceus</i> .	+1	+2	5.5	
<i>Phragmites australis</i>	+1			5.5
<i>Oxytelma bornouense</i>		+2		2.1
<i>Luffa cylindrica</i>		1.3	2.2	
<i>Cayratia</i> sp.		+2	1.2	1.1
<i>Thelypteris totta</i>			+2	
<i>Ipomoea rubens</i>			1.2	1.1
<i>Ipomoea aquatica</i>			1.2	
<i>Vigna</i> sp.			+2	
<i>Cyperus</i> sp.			+1	

[Ⓜ] Notation d'abondance et de dominance (Braun-Blanquet)

+ Individus rares ou très rares, recouvrement très faible

1 Individus assez abondants mais recouvrement faible

2 Individus très abondants ou recouvrement 1/20 de la surface

3 Nombre d'individus quelconque recouvrant de 1/4 à 1/2 de la surface

4 Nombre d'individus quelconque recouvrant de 1/2 à 3/4 de la surface

5 Nombre d'individus quelconque recouvrant plus de 3/4 de la surface

Disposition des individus d'une même espèce les uns par rapport aux autres

1 Individus isolés ; 2, en groupe ; 3, en troupe ; 4, en petites colonies ; 5, en peuplements.

1-2-2 - Ilots-bancs.

Ce sont des îlots végétaux installés sur des hauts fonds. Les *Cyperus papyrus* et les *Phragmites* ainsi que les autres espèces moins abondantes qui leur sont associées, se développent sur un compost de rhizomes et de racines formant un matelas épais de un à deux mètres, juste sous la surface de l'eau. Les îlots sont enracinés sur des hauts fonds dont la forme et la taille déterminent celles de l'îlot-banc ; ces formations végétales, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de long sur une centaine de large, laissent souvent apparaître en certains endroits de leur étendue des trouées dégagées et des petites mares fermées où se développent des associations aquatiques d'eau calme. Les îlots-bancs occupent toute la partie orientale du lac et sont abondants dans la région de la Grande Barrière ; ils forment de plus une bordure de quelques kilomètres entre les eaux libres et les archipels.

Les groupements de l'îlot-banc de Tarara, situé à quelques kilomètres au nord-est du delta du Chari, sont composés des espèces suivantes :

- Zone centrale d'environ 50 à 100 m de large

<i>Phragmites australis</i>	5.5
<i>Cayratia</i> sp.	1.1

- Zone circulaire d'environ 30 m de large

<i>Cyperus papyrus</i> ssp. <i>miliaceus</i>	5.5
<i>Ipomoea rubens</i>	1.2
<i>Melothria</i> sp.	+2
<i>Luffa cylindrica</i>	1.2
<i>Vigna</i> sp.	1.2

- Zone circulaire d'environ 5 à 10 m de large

<i>Vossia cuspidata</i>	5.5
<i>Cayratia</i> sp.	1.1
<i>Ipomoea rubens</i>	+1
<i>Polygonum</i> sp.	+2
<i>Ludwigia adscendens</i> subsp. <i>diffusa</i>	+2
<i>Cyperus imbricatus</i>	+1
<i>Alternanthera sessilis</i>	+2
<i>Cyperus papyrus</i> subsp. <i>miliaceus</i>	1.1

- Strate flottant en surface, parfois absente, d'environ 2 m de large

<i>Pycnopus mundtii</i>	4.4
<i>Ludwigia stolonifera</i>	1.1
<i>Cyperus nudicaulis</i>	2.2
<i>Ipomoea aquatica</i>	+1
<i>Neptunia oleracea</i>	+1

Dans la cuvette nord du lac, le nombre d'espèces composant les îlots-bancs diminue ; *Vossia cuspidata* et *Cyperus papyrus* y disparaissent à mesure que l'on approche de la côte nord.

1-2-3 - Ilots flottants.

Des îlots flottants se détachent des îlots-bancs ou des bordures végétales des îles et presqu'îles de l'archipel et partent à la dérive, poussés par le vent. Constitués le plus souvent de *Cyperus papyrus*, plus rarement par des *Phragmites* ou des *Vossia*, ces îlots en général circulaires, localement appelés kirtas, ont des tailles variant de quelques

mètres à plusieurs centaines de mètres. A la période de renversement des vents dominants, en juin et en octobre, et en général en saison des pluies où les sautes de vent sont fréquentes durant les tornades, ces flots vont et viennent, modifiant l'aspect des îles et barrant les passes. En période de vent régulier ou de calme, ces kirtas restent - par l'inertie due à l'importance de leur volume submergé - plaquées contre la bordure végétale exposée au vent des îles et presque îles de l'archipel.

La composition végétale de ces flots est identique à celle observée sur les îlots-bancs.

Les kirtas, très nombreuses, surtout dans l'archipel de la cuvette sud du lac jusqu'en 1967 (il n'était pas rare de voir les embarcations en route vers Bol bloquées plusieurs jours par les papyrus flottants), ont disparu assez rapidement ensuite, lorsque la cote moyenne du lac est descendue en dessous de 282 m.

1-2-4 - Bordure végétale des îles de l'archipel.

Toutes les îles et presque îles de l'archipel sont ceinturées par une frange végétale de plusieurs mètres de large et trois à quatre mètres de haut. *Cyperus papyrus*, *Vossia cuspidata*, et surtout *Phragmites australis*, en forment les éléments les plus abondants et les plus grands aux pieds desquels se trouvent des végétaux très humbles comme *Lemna perpusilla*, *Spirodela polyrhiza*, *Ceratophyllum demersum*, *Pistia stratiotes*. Dans la partie nord du lac, *Cyperus papyrus* est remplacé par *Typha australis*.

Cette barrière végétale n'est traversée qu'en de rares endroits par d'étroits passages permettant aux embarcations locales de toucher terre.

Trois relevés faits dans trois bordures différentes ont permis d'observer les espèces suivantes :

	1er relevé	2ème relevé	3ème relevé
<i>Phragmites australis</i>	5.5	1.1	1.1
<i>Cyperus papyrus</i> subsp. <i>miliaceus</i> .		5.5	1.2
<i>Vossia cuspidata</i>		1.2	5.5
<i>Typha australis</i>	+2		
<i>Ipomoea aquatica</i>	+1		+1
<i>Cayratia</i> sp.	1.1		
<i>Oxystelma bornouense</i>	1.1		
<i>Ipomoea rubens</i>	1.1	1.2	
<i>Ludwigia adscendens</i> subsp. <i>diffusa</i>	+1		
<i>Alternanthera sessilis</i>	+1	+1	
<i>Polygonum</i> sp.	+1	+1	
<i>Pycnus mundtii</i>	+2		
<i>Lemna perpusilla</i>	+1	+2	
<i>Spirodela polyrhiza</i>	+1		
<i>Melothria</i> sp.	+1		
<i>Cyperus</i> sp.	+1		
<i>Oldenlandia</i> sp.	+1	+1	
<i>Luffa cylindrica</i>		2.3	
<i>Eclipta prostrata</i>		+1	+1
<i>Ceratophyllum demersum</i>	2.2		

A l'intérieur de cette bordure, les rives de l'île sont colonisées sur deux à trois mètres de largeur par une zone à *Pycnus mundtii* dominant mêlé à *Leersia hexandra* et *Cyperus articulatus*. Vient ensuite une ceinture de un à deux mètres de largeur à *Cynodon dactylon*, entourant une zone à palmiers-doums (*Hyphaene thebaica*) qui marque le bas de la pente des dunes. Si l'île possède un relief assez marqué, il existe sur le sommet et les pentes une végétation arbustive à arborée à *Leptadenia pyrotechnica*, *Calotropis procera*, *Acacia* ssp., *Leptadenia hastata*, *Tinospora bakis*, *Salvadora persica*, *Phyllanthus reticulatus*, *Balanites aegyptiaca*, *Commiphora* sp., *Cassia occidentalis*. Un tapis de graminées se développe à la saison des pluies (fig. 1).

1-2-5 - Herbiers immergés.

Ils sont très étendus dans les zones marécageuses peu profondes situées à l'est du delta du Chari, au pied des rochers d'Hadjer el Hamis. Dans cette région, la côte apparaît mal tracée et masquée par la végétation ; de larges chenaux envahis par des bancs de *Potamogeton schweinfurthii*, de *Vallisneria* sp. et de *Ceratophyllum demersum* alternent avec des îlots végétaux émergés à *Vossia* et *Phragmites*.

Des herbiers immergés moins étendus existent dans la partie sud du lac, près du delta de l'El Beid, et surtout dans la plupart des extrémités des bras de l'archipel, que ce soit dans l'archipel sud-est ou nord-est ou les chenaux d'eau libre qui pénètrent dans la bordure végétale de la côte nord.

1-3 - Conclusions sur la végétation au stade Tchad normal.

Les observations sur la flore aquatique qui couvre 2400 km², soit 12 % de la superficie du lac (Carmouze *et al.* 1978) amènent aux conclusions suivantes concernant la répartition des espèces dans l'ensemble de la cuvette lacustre. On peut remarquer :

- l'abondance de *Vossia cuspidata* dans toute la région deltaïque du Chari, puis sa disparition progressive à mesure que l'on s'éloigne de cette zone ;
- l'abondance de *Cyperus papyrus* dans la cuvette sud du lac et au niveau de la Grande Barrière ; sa disparition progressive dans la cuvette nord après une zone intermédiaire de peuplements en mauvais état ;
- la rareté de *Typha australis* dans la cuvette sud et son abondance relative dans la cuvette nord ; fait significatif, les embarcations locales appelées "kadeï" sont en *Papyrus* dans la cuvette sud et la partie centrale du lac, en *Typha* dans la partie nord ;
- l'abondance de *Phragmites australis* et la rareté d'*Aeschynomene elaphroxylon* dans l'ensemble du lac ;
- la dominance de *Potamogeton schweinfurthii* comme végétation immergée dans la zone marécageuse à l'Est du delta du Chari ;
- enfin, l'apparition sporadique, mais significative, dans l'extrême nord de *Cyperus laevigatus*, espèce exclusive des bords de mares natronées.

La structure des ceintures végétales des îlots-bancs où l'on rencontre les zones concentriques suivantes dans l'ordre centripète résume cette évolution de la végétation, lorsqu'on va du delta vers le nord du lac :

- au sud, *Vossia cuspidata*, *Cyperus papyrus*, *Phragmites australis* ;
- vers le centre, *Cyperus papyrus*, *Phragmites australis*, *Typha australis* ;
- au nord, *Phragmites australis*, *Typha australis*.

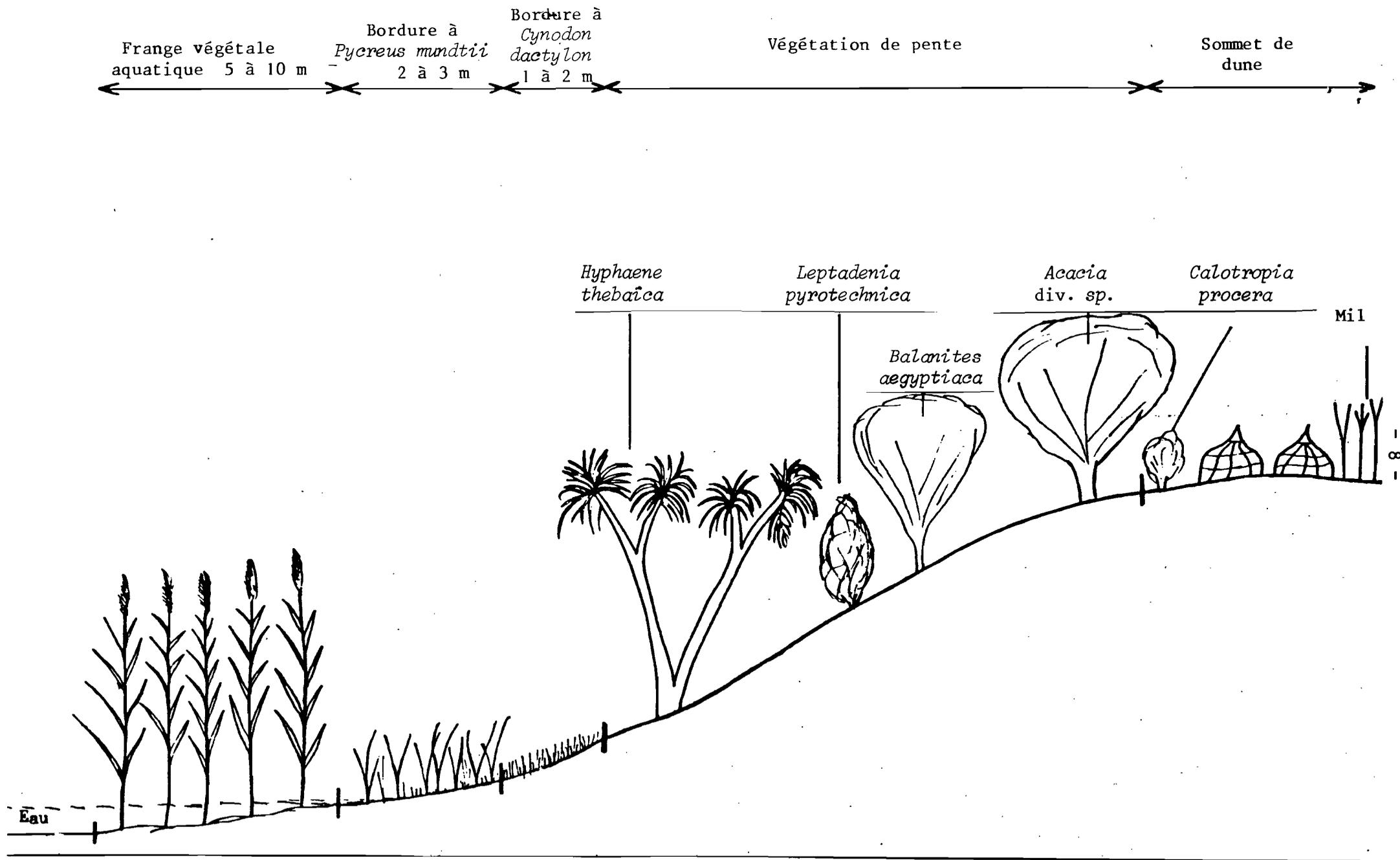


Fig. 1 - Zonation végétale d'une île de l'Archipel (Ouaïfou)

On constate également, vers le Nord, la disparition progressive de nombreuses espèces et groupements aquatiques liés aux eaux très douces. Cet appauvrissement de la flore est à relier directement à la concentration des eaux en sels minéraux.

2 - Stade petit Tchad

2-1 - Remarques générales.

L'observation et la description de la végétation du lac au stade petit Tchad apparaît plus complexe qu'au stade précédent par suite du partage du lac en deux cuvettes lacustres évoluant indépendamment l'une de l'autre. D'autre part, le lac au stade petit Tchad est apparu comme un milieu très instable, l'effet des crues du Chari étant beaucoup moins bien amorti dans la cuvette sud que dans le lac entier au stade normal. On peut, en gros, distinguer deux périodes :

- une période d'assèchement, qui va de 1972 à mi 1975 pour la cuvette nord et jusqu'à la fin 1974 pour la cuvette sud ; elle aboutit à l'assèchement total de la partie nord du lac et, dans la cuvette sud, à une réduction à 1500 km² de la surface d'eaux libres et à l'isolement de nappes d'eau très réduites subsistant dans l'archipel.
- une phase de remplissage de la cuvette sud qui se stabilise à peu près au niveau de 1972. La cuvette nord restant asséchée ou ne contenant plus que des mares temporaires qui se remplissent à l'époque des pluies.

La récolte des données et les observations ont été rendues très difficiles par l'impossibilité ou la difficulté qu'il y avait à parcourir les zones marécageuses envahies de végétation qui interdisent l'accès à des régions très étendues. Les prospections aériennes effectuées n'ont pu résoudre efficacement ce problème car les survols doivent toujours être étayés par des relevés au sol permettant de généraliser à des surfaces préalablement déterminées les observations faites par avion. L'utilisation des images fournies par des satellites fournira peut-être dans l'avenir des données plus complètes et beaucoup plus directement utilisables.

2-2 - Différents types de peuplements.

On envisagera successivement la cuvette sud, puis la partie nord du lac.

2-2-1 - Cuvette sud.

D'après les relevés effectués en mars 1974 (Fotius 1974), on observe les successions des espèces végétales suivantes des eaux libres vers les terres exondées.

- Delta du Chari

Nymphaea sp., *Ipomoea aquatica*, *Ludwigia adscendens* subsp. *diffusa*, *Sacciolepis africana*, *Vossia cuspidata*, *Aeschynomene elaphroxylon*.

- Iles sableuses au nord des eaux libres subsistant dans la cuvette sud.
 - . 1er relevé
Aeschynomene elaphroxylon, *Cyperus papyrus*, *Vossia cuspidata*,
Diplachne fusca, *Cyperus articulatus*, *Cyperus maculatus*.
 - . 2ème relevé
Diplachne fusca, *Cyperus articulatus*, *Cyperus papyrus*, *Aeschynomene elaphroxylon*.
 - . 3ème relevé
Cyperus articulatus, *Typha australis*, *Phragmites australis*,
Aeschynomene elaphroxylon.
- Ile de l'archipel vers Bol
Cyperus papyrus, *Typha australis*, *Aeschynomene elaphroxylon*,
Cyperus articulatus, *Sesbania sesban*, *Cyperus maculatus*, *Phyla nodiflora*,
Cassia occidentalis, *Calotropis procera*.

A partir des observations partielles effectuées au cours de cette première phase du stade petit Tchad, on peut schématiser l'évolution de la végétation du lac en notant principalement :

- Le développement massif d'*Aeschynomene elaphroxylon* (Ambatch), qui existait seulement à l'état sporadique dans les peuplements au stade Tchad normal. Ces forêts à ambatches se développent sur les sédiments exondés en 1973 et envahissent les zones en voie d'assèchement. Des espèces voisines comme *Aeschynomene pfundii* ou *A. afraspera* sont observées mêlées aux groupements à *A. elaphroxylon*.
- L'extension des prairies à *Vossia cuspidata*, espèce dont l'extension était auparavant limitée surtout aux régions deltaïques et, à un degré moindre, à certains points de l'archipel sud-est. Cette espèce est maintenant signalée dans presque tous les relevés de la cuvette sud.
- La stagnation des peuplements à *Phragmites australis* qui, s'ils ne décroissent pas de façon bien évidente, restent stables et voient leur pourcentage diminuer en raison du développement des surfaces occupées par d'autres macrophytes aquatiques.
- Le développement relativement limité de *Typha australis* qui est observé en de nombreux points de l'archipel, mais jamais en très grandes surfaces.
- Le développement sur les terrains exondés d'espèces peu abondantes auparavant, telles *Cassia occidentalis*, *Cyperus maculatus*, *Sesbania sesban*, *Phyla nodiflora* et surtout *Calotropis procera* dont les plantes, particulièrement résistantes à la sécheresse et non consommées par les animaux, se multiplient rapidement sur les sols sableux ou argileux lorsqu'ils ne sont plus inondables.

Au cours de la période suivante, qui débute en 1974 avec le remplissage de la cuvette sud jusqu'à son niveau de 1972 environ, la végétation aquatique subit des modifications dues d'une part à l'inondation de surfaces qui avaient été exondées durant un à deux ans et d'autre part aux variations saisonnières de niveau causées par la crue du Chari. Les relevés effectués en juin 1976 (Fotius et Lemoalle, 1976) sont les suivants dans différents points du lac :

- Delta du Chari

1. *Vossia cuspidata* (dans l'eau).
2. *Vossia cuspidata*, *Cyperus articulatus*, *Cardiospermum halicacabum* (sur le bourrelet de berge).
3. *Eragrostis barteri*, *Vossia cuspidata*, *Echinochloa pyramidalis*, *Phragmites australis*, *Fimbristylis cioniana*, *F. bi-umbellata*, *Cyperus cf. clavivus*, *C. cf. alopecoroides*, *Sphenoclea zeylanica*, *Mariscus sp.*, *Rhaphicarpa fistulosa*, *Ludwigia leptocarpa*, *Ludwigia sp. (cf. perennis)*, *Polycarpon prostratum* (plaine en contre-bas du bourrelet de berge).

- Ilot-banc de Tarara

1. Partie centrale à *Phragmites australis* entouré par des groupements à *Vossia cuspidata*, *Aeschynomene elaphroxylon* et *Typha australis*.
2. En position abritée, *Cyperus papyrus*, *Ludwigia leptocarpa*, *L. adscendens subsp. diffusa*, *Cyperus sp. (flottant)*, *Nymphaea lotus*, *Ceratophyllum demersum*.

- Ilot-banc de Kalom

Vossia cuspidata, *Typha australis*, *Cyperus sp. (flottant)*, *Leersia hexandra*, *Cyperus nudicaulis*, *Ludwigia leptocarpa*, *Phragmites australis*.

- Chenal de Baga Sola dans l'archipel

1. Forêt d'*Aeschynomene elaphroxylon* avec un liseré extérieur à *Vossia cuspidata*
2. Autres espèces rencontrées : *Ludwigia leptocarpa*, *Cyperus nudicaulis*, *Polygonum cf. limbatum*, *P. senegalense*, *P. albotomentosum*, *Nymphaea lotus*, *Ipomoea rubens*, *Pistia stratiotes*, *Leersia hexandra*, *Echinochloa stagnina*, *Cyperus sp. (flottant)*, *Commelina sp.*

L'évolution de la végétation dans la cuvette sud, entre 1974 et 1976, peut se résumer de la façon suivante :

- Disparition à peu près totale de *Ipomoea aquatica*, *Aeschynomene afraspera*, *A. pfundii*, *Lemna perpusilla*, *Diplachne fusca*, *Sesbania sesban var. nubica*, *Ludwigia adscendens subsp. diffusa*, *Sacciolepis africana*.
- Régression considérable, du point de vue stations ou (et) surfaces occupées, de *Cyperus articulatus*, *C. papyrus*, *Typha australis*, *Polygonum senegalense*.
- Stabilisation des peuplements à *Aeschynomene elaphroxylon* au point de vue des surfaces couvertes.
- Apparition massive de *Pistia stratiotes*, *Cyperus nudicaulis*, *Nymphaea lotus* et développement en surface de *Vossia cuspidata*, *Leersia hexandra* et *Ludwigia leptocarpa*.
- Deux espèces constituent donc l'essentiel du tapis végétal lacustre : *Vossia cuspidata* et *Aeschynomene elaphroxylon*.

2-2-2 - Cuvette nord.

Le niveau de l'eau a baissé d'année en année dans la cuvette nord jusqu'en 1975 qui correspond à l'assèchement complet. La multiplication végétale étant entravée par la rapidité du retrait des eaux, les formations qui existaient au stade Tchad normal ont disparu au cours de cet assèchement ; de plus, les jeunes pousses sont fortement paturées par

les troupeaux. Autour de la plupart des îlots, il ne subsiste aucune végétation aquatique, surtout sur les côtes situées au vent. *Typha australis* n'est présent que le long de certaines côtes basses sous le vent de la partie est de la cuvette. En partant de l'eau vers la terre ferme, le relevé suivant a été fait dans la région de Baga Kiskra (Fotius, 1974) :

- Eau ;
- Plage découverte nue ;
- Tapis très abrouiti de Cypéracées diverses ;
- Nombreux petits plants d'*Aeschynomene elaphroxylon* (5 cm de haut) broutés également ;
- Bande de *Typha australis* dépérissant avec de nombreuses petites pousses gagnant vers l'eau mêlées à *Phyla nodiflora*, *Pluchea ovalis*, *Sacciolepis africana*, *Polygonum senegalense*, *Ipomoea rubens*, *Luffa* sp., Rubiacée crassulcescente (*Oldenlandia* ?) ;
- *Calotropis procera* se développe sur un tapis de graminées très abrouiti.

Au cours de la période qui suit 1975, les dépressions de la cuvette nord se remplissent à la saison des pluies et, par suite des apports à travers la Grande Barrière, fonctionnent comme des mares temporaires. Les connaissances sur la végétation à ce stade sont très limitées par suite des difficultés de circulation dans cette zone. Une végétation à Ambatches se développe vers le nord en partant de la Grande Barrière et en de nombreux points de la partie est de la cuvette où cette espèce se trouve au voisinage de groupements à *Typha australis*.

2-3 - Conclusions sur la végétation au stade petit Tchad.

On peut observer deux périodes, en ce qui concerne l'évolution de la végétation macrophytique au stade petit Tchad, soit de 1973 jusqu'après 1976. Dans un premier temps, on assiste à un appauvrissement très marqué de la végétation dans la cuvette nord tandis que, au contraire, la cuvette sud est envahie par une végétation à *Aeschynomene elaphroxylon*, allié à *Vossia cuspidata* et *Ipomoea aquatica* qui se sont développés lors des basses eaux.

Dans la seconde phase, on assiste dans la cuvette nord au développement des ambatches et, à un degré moindre, de *Typha australis*. Dans la cuvette sud, des modifications importantes dues à la remise en eau apparaissent. Les plantes non vivaces n'ont pu se maintenir, faute d'exondation des zones occupées antérieurement, tandis que certaines espèces pérennes ont été détruites par submersion, les oscillations annuelles de niveau ayant une amplitude supérieure à celle observée en période de Tchad normal.

Les forêts d'*Aeschynomene elaphroxylon* ont vu leur partie inférieure noyée dans des hauteurs d'eau trop importantes (plus de 1 mètre) et, dans beaucoup d'endroits, ils ont été couchés par le vent ; seules les branches exondées continuent à se développer sous forme de rejets. Leurs peuplements paraissent stabilisés et il semble que *Vossia cuspidata* et *Cyperus papyrus* soient appelés à prendre une place prépondérante dans les peuplements de la cuvette sud car, en plusieurs endroits, l'implantation et le développement de ces deux espèces a été observé dans des chenaux qui s'étaient ouverts dans les forêts d'ambatches. Les zones d'eaux libres qui apparaissent à l'intérieur de groupements étendus sont souvent colonisées par *Pistia stratiotes*.

3 - Composition minérale des macrophytes et influence sur l'hydrochimie du lac Tchad

3-1 - Analyse des macrophytes.

Une première étude effectuée en 1970 a permis d'évaluer la biomasse des macrophytes émergents du lac, ainsi que le stock d'éléments minéraux qu'ils contenaient à cette époque, correspondant à un Tchad normal bas (Carmouze, Fotius, Lévêque, 1977).

L'essentiel de la biomasse était constitué par quatre espèces, occupant au total près de 2.400 km². La part de chacune, en poids sec, est la suivante :

<i>Phragmites</i>	6.355 10 ³	tonnes occupant	2.000 km ²
<i>Papyrus</i>	674 10 ³	tonnes sur	240 km ²
<i>Vossia</i>	168 10 ³	tonnes sur	100 km ²
<i>Typha</i>	13 10 ³	tonnes sur	25 km ²

Les quantités de matières minérales ont, de même, été évaluées (en 10³ tonnes) :

	Na	K	Ca	Mg	SiO ₂
Parties aériennes	2,3	138	7,4	6,6	230
Racines	8	62,5	56	31,5	2.110
Total	10,3	200,5	63,4	38,1	2.340

Compte tenu des variabilités intra-site et inter-sites de la composition des macrophytes (Boyd 1969, 1971 ; Gaudet 1975), ces résultats doivent être considérés comme fournissant un ordre de grandeur des stocks accumulés par les plantes émergentes en période de Tchad normal.

Les principales plantes qui se développaient dans la région de Bol en 1974, en période de petit Tchad, ont été récoltées, rincées à l'eau permutée, séchées à l'air puis à l'étuve à 60° et analysées (tabl. 1).

Les résultats concernant *Typha*, *Cyperus papyrus*, *Vossia* et *Phragmites* sont comparables à ceux publiés par Carmouze, Lévêque et Fotius (*ibid.*).

La composition en cations, exprimée en milliéquivalents pour 100 g de plante sèche, est présentée dans le tableau 2. D'une manière générale, l'ordre d'importance s'exprime par K > Ca > Mg > Na, soit l'inverse de la composition moyenne de l'eau du lac Tchad normal. Le chlore n'a pas été dosé dans les échantillons de macrophytes ; les données de la littérature indiquent une gamme allant de 0,3 à 3 % du poids sec. Si nous prenons comme valeur arbitraire 1 %, cette teneur correspond à 30 mé/100 g, c'est-à-dire une concentration proche de celle de Ca, alors que dans l'eau les chlorures sont 10 à 30 fois moins concentrés.

Les expériences au laboratoire sur la décomposition de ces macrophytes (Chantraine, comm. pers.) sont en accord avec les observations faites ailleurs *in situ* (Gaudet, 1977) : plus de la moitié des élé-

ments minéraux sont remis en solution après quelques jours d'immersion. Dans le cas des plantes du Tchad, l'expérience effectuée avec un volume d'eau restreint a fourni les résultats suivants :

- le potassium représente plus de la moitié des cations remis en solution ;
- les rapports ioniques observés sont $Ca/Mg < 1$ et $Na/K < 0,5$;
- le chlore équivaut à 5 à 15 % de la concentration en cations ;
- la silice atteint des concentrations proches de la saturation (silice amorphe), notamment pour *Cyperus papyrus* et *Vossia cuspidata*.

3-2 - Influence des macrophytes sur l'hydrochimie du lac.

L'influence des macrophytes sur la chimie de l'eau s'exerce de façon directe, par les transferts de matière entre l'eau, la biomasse et le sédiment, et de façon indirecte, par une modification des conditions physiques du milieu. Un exemple de ces deux modes d'action a été donné par la comparaison de deux phases d'isolement de la région de Bol en 1973 et en 1974, respectivement sans et avec influence des macrophytes (Lemoalle, 1979).

Lorsque les macrophytes sont abondants, en période de petit Tchad, on peut citer parmi les effets indirects : la stabilisation du plan d'eau, l'arrêt de la turbulence par amortissement des oscillations et diminution du fetch, et une baisse du pH et de l'oxygène dissous, avec augmentation de la tension en CO_2 . Ces nouvelles conditions de milieu limitent les réactions de néoformation d'argiles qui participent à la régulation saline du lac.

Parmi les effets directs, nous pouvons citer les variations des concentrations des ions, notamment du potassium et des chlorures qui sont assimilés par les plantes lors des phases de croissance en milieu inondé et remis en solution au cours des submersions que subissent les macrophytes lors des crues lacustres. Les concentrations en phosphates (phosphore réactif dissous) sont alors également importantes.

Il est actuellement difficile d'évaluer les bilans des transferts à plus long terme. Les éléments contenus dans les plantes proviennent initialement des sédiments exondés sur lesquels elles se sont développées de façon importante. Par la suite, les macrophytes peuvent s'alimenter dans le sédiment et dans l'eau, dans des proportions mal connues. Inversement, les décompositions fournissent rapidement une fraction importante des éléments en solution, tandis qu'une fraction plus faible reste associée pour un temps à la matière organique du sédiment.

Si, en période de Tchad normal, l'influence des macrophytes est relativement diffuse et peu notable, bien que les quantités d'éléments minéraux mises en jeu soient déjà importantes, en période de petit Tchad, la prolifération des végétaux permet de distinguer plus clairement leurs interactions avec le milieu physico-chimique.

Nous remercions Mr G. FOTIUS, botaniste de l'ORSTOM, qui a bien voulu faire une lecture critique de ce chapitre.

ECHANTILLONS	Teneurs en % du poids sec								
	N	Na	P	K	Ca	Mg	Al ₂ O ₃	SiO ₂	C
1 <i>Typha australis</i> tige et feuilles (Vg2)	1,60	0,571	0,348	3,70	0,37	0,24	0,029	0,07	43,8
2 <i>Cyperus articulatus</i> complet sans racines (Fr3 et F11)	0,91	0,418	0,296	2,08	0,42	0,18	0,087	3,30	42,1
3 <i>Phragmites australis</i> tige et feuille complet	1,63	0,018	0,167	1,60	0,24	0,14	0,037	7,19	42,8
4 <i>Vossia cuspidata</i> partie aérienne et thalle (Vg2)	1,26	0,011	0,251	1,91	0,16	0,15	0,060	8,45	40,7
5 <i>Ipomoea aquatica</i> plante complète (F1, Fr)	1,44	0,253	0,321	2,98	0,58	0,37	0,086	0,94	43,2
6 <i>Ludwigia sp.</i> plante complète (F1, Fr)	2,48	0,218	0,590	3,63	1,15	0,49	0,053	0,58	42
7 <i>Cyperus sp.</i> (flottant) plante complète (F11)	1,21	0,100	9,279	2,52	0,63	0,30	0,076	4,99	40,8
8 <i>Cyperus maculatus</i> plante complète (F1, Fr)	0,95	0,172	0,219	1,00	0,39	0,15	0,051	5,52	42,9
9 <i>Cyperus papyrus</i> plante complète avec racines (Vg1)	0,62	0,200	0,234	2,83	0,29	0,16	0,022	1,85	43,7
10 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i> (branches)	1,94	0,032	0,229	1,56	1,20	0,26	0,370	2,16	44,9
11 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i> (tronc émergé)	0,80	0,072	0,183	1,43	0,66	0,16	0,110	0,58	44,6
12 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i> (tronc immergé)	0,86	0,164	0,249	1,99	0,50	0,12	0,197	1,05	44,2

Tableau 1 - Résultats des analyses des principales plantes de la région de Bol en 1974. Les symboles Vg, F1 et Fr suivis d'un nombre (1 à 3) indiquent l'état plus ou moins avancé du développement végétal, de la floraison ou de la fructification.

	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
1 <i>Typha australis</i>	24,8	95	18,5	20
2 <i>Cyperus articulatus</i>	18,2	53	21	15
3 <i>Phragmites australis</i>	0,8	41	12	11,7
4 <i>Vossia cuspidata</i>	0,5	49	8	12,5
5 <i>Ipomoea aquatica</i>	11,0	76	29	30
6 <i>Ludwigia adscendens</i> subsp. <i>diffusa</i>	9,5	93	57,5	40
7 <i>Cyperus</i> sp. (flottant)	4,3	65	31,5	25
8 <i>Cyperus maculatus</i>	7,5	26	19,5	12,5
9 <i>Cyperus papyrus</i>	8,7	73	14,5	13,3
10 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i>	1,4	40	60	21,7
11 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i>	3,1	37	33	13,3
12 <i>Aeschynomene elaphroxylon</i>	7,1	31	25	10

Tableau 2 - Composition en ions majeurs (mé/100 g de plantes sèches)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOYD (C.), 1969 - Production, mineral nutrient absorption and biochemical assimilation by *Justicia americana* and *Alternanthera philoxeroides*. *Archiv. Hydrobiol.*, 66, 139-160.
- BOYD (C.), 1971 - The dynamics of dry matter and chemical substances in a *Juncus effusus* population. *Am. Midl. Nat.*, 86, 28-45.
- CARMOUZE (J.P.) *et al.*, 1972 - Grandes zones écologiques du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 6 (2) : 103-169.
- CARMOUZE (J.P.), FOTIUS (G.), LEVEQUE (C.), 1978 - Influence qualitative des macrophytes sur la régulation hydrochimique du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 12 (1) : 65-69.
- CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1974 - Evolution hydrologique du lac Tchad durant la sécheresse 1972-1974. ORSTOM, N'Djaména, 12 p. multigr.
- FOTIUS (G.), 1974 - Problèmes posés par l'évolution de la végétation liée à la baisse du lac Tchad. ORSTOM, N'Djaména, 30 p. multigr.
- GAUDET (J.), 1975 - Mineral concentrations in papyrus in various African swamps. *J. Ecol.*, 63, 483-491.
- GAUDET (J.), 1977 - Uptake and loss of mineral nutrients by papyrus. *Ecology*, 58, 415-422.
- LEONARD (J.), 1969 - Aperçu sur la végétation aquatique. In : Monographie hydrologique du lac Tchad. ORSTOM. Fort-Lamy. 11 p. multigr.
- LEONARD (J.), 1974 - Aperçu sur la végétation de la partie est du lac Tchad. ORSTOM, N'Djaména, 14 p. multigr.