



**RAPPORT DE L'ACTION SE 20 AU PLAN DE GESTION 2015-2025
DU LAC DE REMORAY**

**EVALUATION DE LA CAPACITE BIOGENE
DU LAC DE REMORAY PAR L'INDICE
BIOLOGIQUE LACUSTRE (IBL)**

**Coordination et rédaction : Valérie Verneaux,
Tri et identification : Marine Taubaty et Emilie Boichard,
Mars 2017**

Grace au financement de la DREAL Bourgogne Franche-Comté et de l'Agence de l'eau RMC, un programme ambitieux d'études a été élaboré en 2016 dans le cadre du plan de gestion 2015-2025 de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray. Etabli afin de quantifier scientifiquement les dysfonctionnements du lac de Remoray, ce programme, dont les résultats globaux sont attendus en automne 2017, doit permettre de proposer un programme d'actions pour améliorer la situation actuelle du lac.

L'une des études menées est l'évaluation de la qualité actuelle des peuplements de macro-invertébrés benthiques par application de l'Indice Biologique Lacustre (IBL) dont l'interprétation permet une évaluation du potentiel biogène du lac et de la qualité de son fonctionnement trophique (efficience des transferts de matière).

Le suivi de la capacité biogène du lac de Remoray, au cours du plan de gestion 2015-2025, sera assuré par application de l'Indice Biologique Lacustre tous les 3 ans soit en 2016-2019 et 2022.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Descriptif du protocole de l'IBL

I.1.1. Principe et fondements

L'Indice Biologique Lacustre (IBL) est une méthode pratique d'évaluation de la capacité biogène d'un système lacustre. Il repose sur l'étude de la diversité et de la distribution bathymétrique des communautés de macro-invertébrés vivant dans les sédiments, et plus particulièrement sur la réponse des peuplements aux caractéristiques chimiques et physiques de l'interface eau-sédiment notamment concernant la teneur en oxygène et le taux de matière organique (Verneaux & al., 1995, 2004b). Ces deux derniers descripteurs mésologiques sont les deux facteurs principaux influençant les communautés macrobenthiques (Prat, 1978 ; Real & Prat, 1991). Cette méthode IBL propose le calcul d'un indice compris entre 0 et 20 qui rend compte de la capacité biogène globale du système toutes causes confondues. Il est interprété selon deux niveaux ; un niveau quantitatif traduisant un potentiel biogénique et un niveau qualitatif traduisant une résultante fonctionnelle lacustre (capacité à transférer la matière organique aux consommateurs).

I.1.2. Protocole

Matériel d'échantillonnage

Les substrats minéraux fins (plus ou moins organiques) sont prélevés à l'aide d'une benne Eckman modifiée qui permet de récolter les cinq premiers centimètres de sédiments.

Période d'échantillonnage

Les macro-invertébrés sont échantillonnés avant les émergences estivales de nombreuses espèces d'insectes.

Isobathes prospectées et nombre d'échantillons

- L'échantillonnage est réalisé à deux profondeurs :
 - en zone littorale à -2 mètres (Z1 = 2m)

- en zone profonde sur l'isobathe correspondant à 2/3 de la profondeur maximale ($Z_f = 2/3 Z_{max}$).
- Le nombre d'échantillons réalisés sur chaque isobathe est proportionnel à leur longueur L (en km) selon les formules adaptées aux deux profondeurs prospectées : $n_{littoral} = 4 \ln(10L + 1)$ et $n_{profond} = 2 \ln(10L + 1)$, L : longueur de l'isobathe considérée (Km).
Chaque échantillon est constitué du contenu de deux bennes Ekman en zone littorale et d'une benne Ekman en zone profonde.

Traitement des échantillons in-situ

Chaque échantillon est filtré sur le terrain dans un tamis de 250 μm de vide de maille et les refus de tamis sont conditionnés individuellement et additionnés d'éthanol 95%.

Tri et identification des macroinvertébrés

Au laboratoire les macro-invertébrés sont triés sous loupe binoculaire puis identifiés au genre pour la majorité des groupes taxonomiques, exceptés les Hydrozoaires, les Bryozoaires et les Hydracariens (Embranchement), les Nématodes (Classe), les Oligochètes (3 groupes ; Tubificinae avec soies capillaires, Tubificinae sans soies capillaires et autres oligochètes) et les Diptères autres que les Chironomidae (famille). Les identifications sont réalisées selon l'ouvrage de Tachet & al. (2003). L'identification générique des Chironomidae, plus complexe, nécessite un montage entre lame et lamelle puis une observation en microscopie. L'ouvrage d'identification utilisé est celui de Wiederholm (1983).

Présentation des résultats

Après identification et dénombrement des macro-invertébrés de chaque échantillon, les résultats sont présentés sous la forme d'un répertoire taxonomique présentant les effectifs par isobathe ainsi que la fréquence des taxons dans les échantillons littoraux.

I.1.3. Calcul de l'indice I.B.L.

L'Indice Biologique Lacustre intègre cinq descripteurs :

- v_1 : richesse taxonomique littorale correspondant au nombre de taxons collectés à Z_1
- d_1 : densité littorale correspondant au nombre d'individus par m^2 à Z_1
- v_f : richesse taxonomique profonde c'est-à-dire à $Z_f = 2/3 Z_{max}$
- k : coefficient de correction du déficit taxonomique relatif entre Z_1 et Z_f

$$k = (0,033 v_1) + 1$$

- q_1 : qualité de la faune littorale. Un indice q_1 est attribué à divers taxons (tableau 1) et décroît de 1 à 0,1 avec l'augmentation du niveau de tolérance du taxon retenu, celui-ci étant le taxon de plus faible niveau de tolérance ayant un pourcentage d'occurrence d'au moins 50% des échantillons littoraux.

Ces descripteurs permettent le calcul de deux sous indices, le sous-indice Biologique littoral et le sous-indice de Déficit faunistique, dont la combinaison donne l'IBL.

- ✓ **B1** : sous-indice biologique littoral. Fortement corrélé à la minéralisation des eaux, il exprime le potentiel biogène du système, sa capacité à produire des consommateurs en zone littorale (zone la moins contraignante).

$$B1 = (\sqrt{v1}) * (\ln d1).$$

✓ **Df** : sous-indice de déficit taxonomique. Il rend compte de la régression de la variété taxonomique avec l'augmentation de la profondeur. Corrélé aux conditions d'oxygénation des eaux profondes sur un cycle annuel et aux teneurs en matière organique des sédiments, il est interprété en tant que résultante fonctionnelle du système.

$$Df = (\sqrt{((k*vf)/v1)}) * q1.$$

Ce sous-indice prend également en compte la qualité des taxons littoraux (q1) afin de discriminer les lacs ayant une régression faunistique très faible. En effet, ceux-ci peuvent être caractérisés soit par des conditions mésologiques optimales en zone profonde soit par des conditions mésologiques très contraignantes dès la zone littorale. Dans ce dernier cas, seuls sont présents dans le peuplement littoral des taxons euryèces (q1 faibles).

✓ **IBL** : Indice Biologique Lacustre. IBL Cet indice fournit une note entre 0 et 20 au système étudié.

$$IBL = 2,5 \sqrt{(B1 * Df)}.$$

Il représente la capacité biogénique du système lacustre toutes causes confondues (Verneaux *et al.*, 2001) autrement dit, il exprime son aptitude ou non à produire de la macrofaune consommatrice benthique et à la conserver avec la profondeur. Il permet également de définir la résultante fonctionnelle du système, *i.e.* sa capacité à transférer la matière organique au sein des réseaux trophiques (Verneaux 1996, Verneaux *et al.* 2001).

q1	Taxons repères (occ ≥ 50% n1)
1	<i>Ephemera</i> – <i>Paratendipes</i> – <i>Heterotrissocladius</i> – chaque genre de Plécoptères
0.9	Chaque genre de Trichoptères et Ephéméroptères exceptés <i>Ephemera</i> et <i>Caenis</i>
0.8	Chaque genre de Diamesinae et Orthoclaadiinae exceptés <i>Cricotopus</i> (sensu lato) et <i>Heterotrissocladius</i> – Chaque genre de Tanytarsini exceptés <i>Cladotanytarsus</i> , <i>Paratanytarsus</i> et <i>Tanytarsus</i>
0.7	Chaque genre de Tanypodinae exceptés <i>Procladius</i> et <i>Tanypus</i> – Chaque genre de Chironomini exceptés <i>Paratendipes</i> , <i>Dicrotendipes</i> , <i>Glyptotendipes</i> , <i>Tribelos</i> et <i>Chironomus</i>
0.6	<i>Sialis</i> , <i>Pisidium</i> , <i>Cladotanytarsus</i> , <i>Paratanytarsus</i> , <i>Tanytarsus</i> et <i>Prodiamesinae</i>
0.5	<i>Caenis</i> , <i>Tanypus</i> , <i>Dicrotendipes</i> , <i>Glyptotendipes</i> , <i>Tribelos</i> , <i>Cricotopus</i> (sensu lato)
0.4	<i>Chironomus</i> , <i>Procladius</i>
0.3	Oligochètes exceptés Tubificidae
0.2	<i>Chaoborus</i> – Tubificidae sans soies capillaires
0.1	Tubificidae avec soies capillaires, Nématodes

Verneaux & al., 2004

Tableau 1 : Indice de qualité des taxons repères de la zone littorale des lacs. Les taxons sont classés dans un ordre croissant d'euryécie.

II. APPLICATION DE L'IBL AU LAC DE REMORAY

II.1. Echantillonnage

Le protocole IBL a été appliqué au lac de Remoray en avril 2016 (tableau 2).

	Zl	Zf
Profondeur (m)	2	20
L isobathes (km)	3,8	2,6
n échantillons	15	8
n bennes/échantillon	2	1
Surface /échantillon cm ²	474	237

Tableau 2 : Caractéristiques de l'échantillonnage des macroinvertébrés sur le lac de Remoray.

Les échantillons sont répartis sur l'ensemble de chaque isobathe (carte annexe 1).

L'IBL a été appliqué au lac de Remoray en 2003 et, en 1991, une étude des macro-invertébrés endopéliques a été effectuée avec un protocole très proche de l'IBL (10 échantillons littoraux et 5 échantillons profonds). Les résultats de ces deux études antérieures seront comparés aux résultats actuels.

II.2. Résultats et interprétation

- L'Indice Biologie Lacustre

Le répertoire taxonomique établi sur le lac de Remoray (Annexe 2) permet de déterminer les sous-indices puis le calcul de l'IBL (tableau 3).

Tableau 3 : Descripteurs des peuplements de macro-invertébrés benthiques, valeurs des sous-indices et de l'indice biologique lacustre résultant, obtenus sur le lac de Remoray en 2016, 2003 et 1991. vl : richesse taxonomique littorale, dl : densité (ind/m²), Bl : sous-indice Biogénique littoral, ql : indice de sténoécie de la faune littorale, k coefficient de correction, vf : richesse taxonomique profonde, Df : sous-indice de Déficit faunistique, IBL : indice Biologique Lacustre.

	vl	dl	Bl	ql/1	k	vf	df = (k*vf)/vl /1	Df/1	IBL/20
2016	33	1173	40,6	0,7	2,089	11	0,7	0,6	12,3
2003	40	7827	58,7	0,7	2,32	8	0,5	0,5	13
1991	37	2213	46,9	1	2,221	6	0,4	0,6	13,3

En 2016 le lac de Remoray obtient un IBL de 12,3/20. Il présente donc une capacité biogénique très moyenne. Cette médiocre capacité biogénique globale résulte d'un sous-indice biogénique littoral moyen (lac mésobiotique) et d'un sous-indice de déficit faunistique

permettant de qualifier le lac de méso-dysfonctionnel (figure 1). Le dysfonctionnement a un impact sur la faune littorale qui est caractérisée par l'absence des taxons les plus sensibles aux perturbations ($q1= 0.7/1$) et par une densité assez faible (tableau 3).

L'IBL en 2016 est le plus faible des IBLs obtenus au cours des 3 années étudiées. Ce résultat est dû à une diminution du potentiel biogénique du lac (capacité du lac à produire des consommateurs benthiques en zone littorale, sous-indice BI).

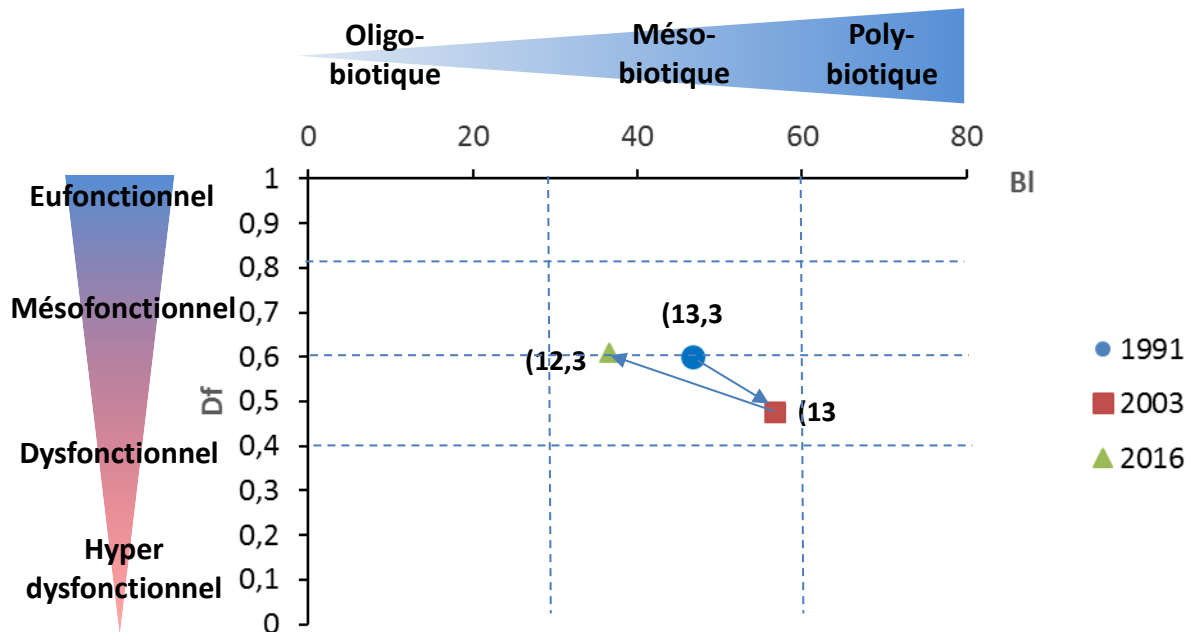


Figure 1. Graphique d'aide à l'interprétation de l'IBL. Positionnement du lac de Remoray en 1991, 2003 et 2016 en fonction des valeurs obtenues de BI (sous-indice biogénique littoral) et de Df (sous-indice de déficit faunistique). () : valeur de l'IBL.

D'après le graphique, on retrouve en 2016 une situation du lac de Remoray proche de celle de 1991. Cependant on observe également quelques différences importantes :

- La richesse taxonomique en zone profonde est nettement supérieure en 2016. Elle a augmenté de 1991 à 2016 ($vf = 6-8-11$ en 1991-2003-2016, respectivement) ainsi que la valeur de df ($k_{vf}/v_l = 0.4-0.5-0.7/1$ en 1991-2003-2016, respectivement) qui traduit l'évolution de la richesse taxonomique entre -2m et -20m par rapport à une évolution théorique considérée comme « normale » pour ce lac (tableau 3). Le rapprochement de df de la valeur optimale de 1/1 doit être en lien avec une amélioration des conditions d'oxygénation de l'hypolimnion. Cette hypothèse est corroborée par la diminution de la représentation du genre *Chaoborus*, genre de diptère le plus tolérant à l'anoxie des eaux, dans les peuplements profonds entre 1991 et 2016 (figure 2) et par l'augmentation en 2016 de la densité relative de genres un peu plus oxyphiles (*Procladius* et *Chironomus*).

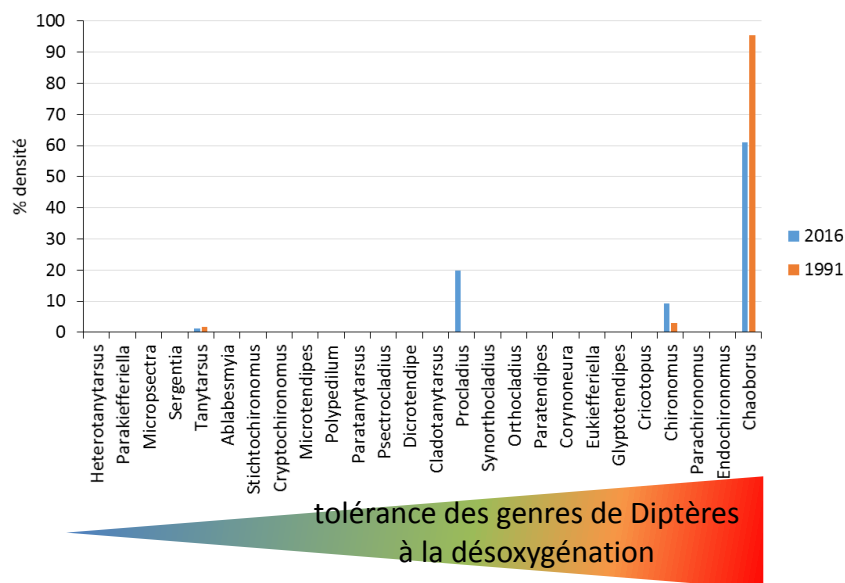


Figure 2. Densité relative dans les peuplements profonds des genres de Diptères, classés selon un ordre de tolérance croissante à la désoxygénation des eaux.



La zone profonde (à -20 m) est de moins en moins contraignante pour les macro-invertébrés et présente probablement des hypoxies moins marquées qu'en 1991 et 2003.

- La richesse taxonomique en zone littorale a diminué de 1991 à 2016 ainsi que la densité des peuplements littoraux (tableau 3). Les taxons les plus sténoèces, présents en 1991 ($q_l=1/1$), ne sont plus échantillonnés depuis 2003 ($q_l=0.7/1$ en 2003 et 2016). Depuis 2003, les densités relatives des mollusques bivalves et gastéropodes ont également fortement chuté (figure 3) passant de 8% de la densité du peuplement en 1991 à 0.3% en 2003 et 0.1% en 2016.

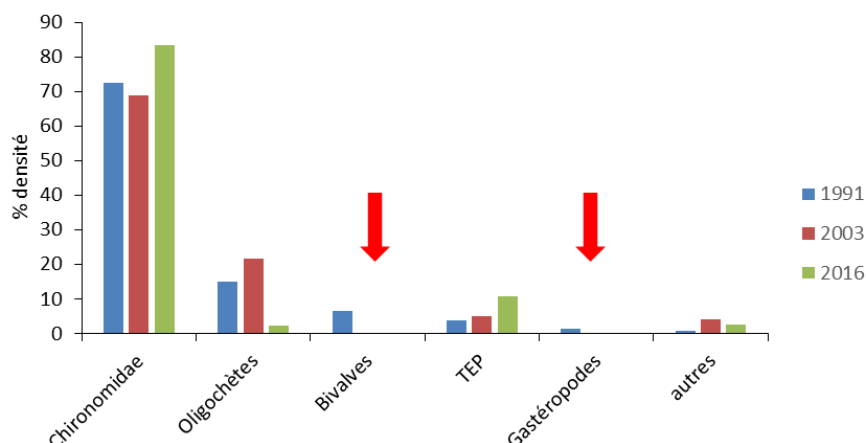


Figure 3. Composition des peuplements littoraux du lac de Remoray. TEP : Trichoptères, Epheméroptères, Plécoptères.

La forte régression de la densité relative des Oligochètes observée en 2016 peut, pour partie, résulter d'une mauvaise conservation des individus dans l'éthanol, conservateur utilisé par le laboratoire depuis 3 ans seulement. Cependant on note également la forte diminution de la densité d'autres taxons, par exemple des Chironomidae (figure 4) non altérés par l'éthanol.

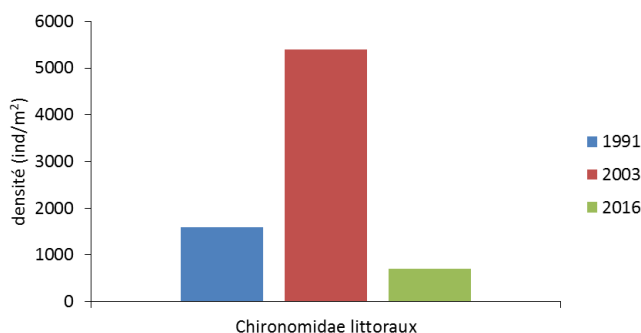


Figure 4. Densité des Diptères Chironomidae dans les peuplements littoraux du lac de Remoray.

Ainsi la zone littorale en 2016 semble très contraignante pour les taxons considérés comme sensibles à la pollution organique (ex Mollusques) mais également pour les taxons beaucoup plus tolérants (voire saprophytes) comme les Oligochètes et les Chironomidae. Cette observation suggère l'existence d'une toxicité au niveau des substrats de la zone littorale.



La zone littorale du lac de Remoray est beaucoup plus contraignante en 2016 qu'en 1991 et semble présenter une certaine toxicité pour les macro-invertébrés.

III. CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

Le lac de Remoray est un lac de capacité biogénique très moyenne, à la fois **mésobiotique** et **mésotrophique**.

L'application de l'IBL en 2016 montre :

- **une diminution de l'hospitabilité de la zone littorale**, devenue peu propice au développement de la macrofaune benthique par rapport à 1991 et 2003, et **possiblement induite par une toxicité au niveau des substrats**,
- **une amélioration depuis 1991 des conditions d'oxygénation des eaux en zone profonde (-20m)** permettant le développement d'un nombre croissant de taxons.

Plusieurs hypothèses de perturbations peuvent être proposées :

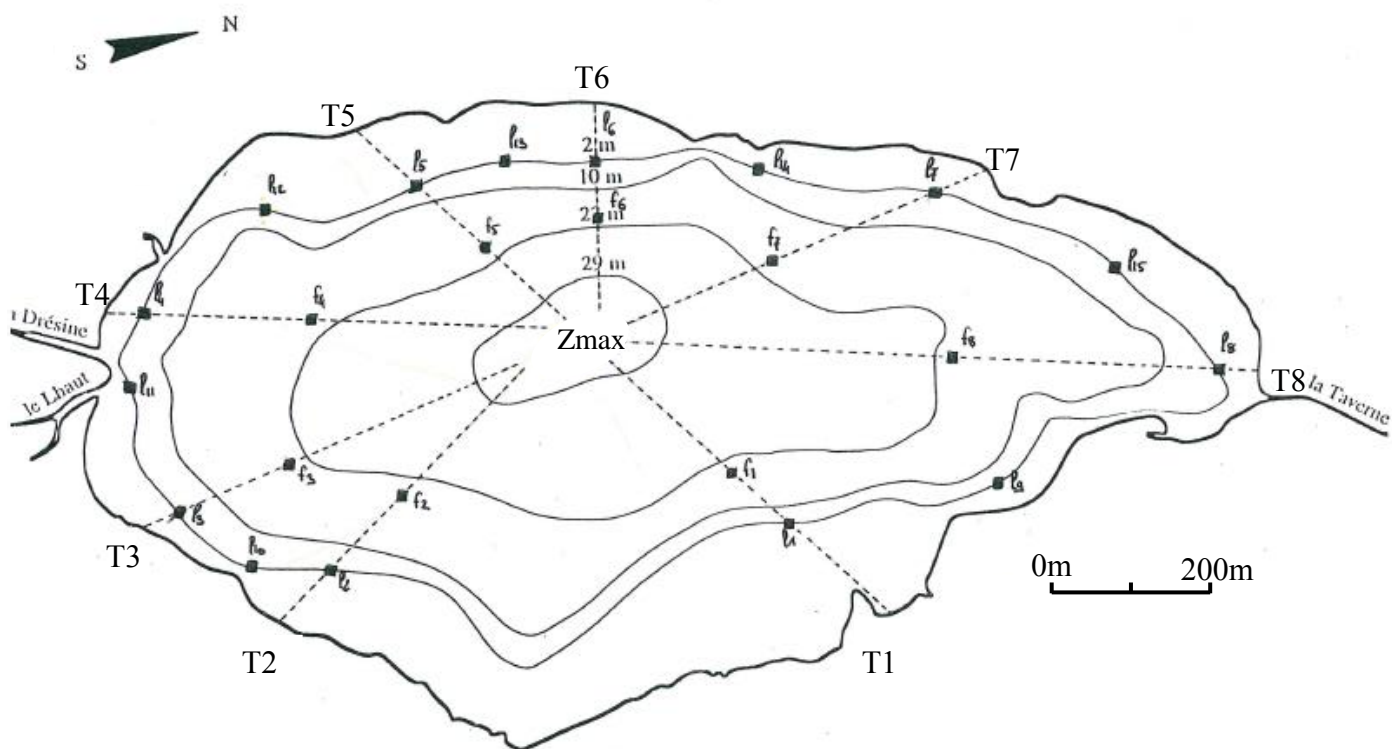
- 1) **En zone littorale**, la « toxicité » résulterait d'un effet seuil d'un **excès de matière organique sédimentée** induisant une désoxygénation des substrats fins littoraux. Cette hypothèse d'une « **pollution organique** » (apports excessifs de matière organique ou d'azote et de phosphore dans le lac = eutrophisation anthropique) devrait cependant engendrer une accentuation des désoxygénations profondes. Hors c'est une amélioration de l'oxygénation qui est déduite de l'étude du peuplement profond.
- 2) **En zone littorale** la « toxicité » serait induite par **des substances toxiques** dont la nature et les origines sont à préciser. Ces substances, par diminution des activités respiratoires des communautés de consommateurs (macrofaune et bactéries), pourraient conduire à une diminution de la consommation de l'oxygène en zone profonde et à un accroissement de l'hospitabilité de cette zone pour les macroinvertébrés.

Ces deux hypothèses sont susceptibles de coexister et des investigations plus précises sont en cours concernant :

- la présence de substances potentiellement toxiques dans les sédiments littoraux et profonds
- la quantification et la caractérisation de la matière organique dans les sédiments lacustres en zone littorale et profonde.

Les résultats de ces investigations devront permettre d'identifier les causes des perturbations fonctionnelles du lac et de proposer des mesures de gestion adaptées afin de redonner au lac de Remoray son caractère eufonctionnel.

Annexe 1 : Répartition des points d'échantillonnage des macroinvertébrés sur le lac de Remoray. l_1 à l_{15} : échantillons littoraux, f_1 à f_8 : échantillons à $0,66Z_{max}$, T1 à T8 : transects



Annexe 2 : Répertoire taxonomique obtenu par application de l'IBL sur le lac de Remoray en 2016.

			dl (n.m ⁻²)	occ litt (%)	df (n.m ⁻²)	
INSECTES						
TRICHOPTERES	Leptoceridae	Oecetis	1	6%		
	Phryganeidae	Phryganea	1	6%		
	Polycentropodidae	Cyrnus	3	13%		
EPHEMEROPTERES	Caenidae	Caenis	120	88%		
	Ephemeridae	Ephemera	1	6%		
DIPTERES	Nymphe de diptères	ND	8	38%	69	
	Chaoboridae	Chaoborus			585	
	Ceratopogonidae	ND	11	19%		
	Chironomidae	Chironomini	Chironomus	4	13%	90
			Cladopelma	4	13%	
		Cryptochironomus	18	50%		
		Dicrotendipes	1	6%		
		Einfeldia*	577	81%	47	
		Endochironomus	15	19%		
		Glyptotendipes	1	6%		
		Microtendipes	1	6%		
		Pagastiella	1	6%		
		Paracladopelma	1	6%	5	
		Phaenopsectra	1	6%		
		Polypedilum	28	31%		
		Pseudochironomus	62	50%	21	
		Sergentia			11	
		Tanytarsini	Cladotanytarsus	1	6%	
			Paratanytarsus	7	19%	
			Tanytarsus	52	19%	11
		Orthoclaadiinae	Cricotopus	4	13%	
		Tanypodinae	Ablabesmyia	3	13%	
			Procladius	190	88%	190
		Tanypus	4	19%		
ODONATES	Coenagrionidae	ind	4	13%		
MEGALOPTERE	Sialidae	Sialis	8	38%		
CRUSTACES						
	Gammaridae	Asellus	7	13%		
MOLLUSQUES						
	Unionidae	Anodonta	1	6%		
ANNELIDES OLIGOCHETES						
	Autres	ND	15	13%	934	
	Tubificinae	à soies capillaires	8	6%	564	
		ss soies capillaires	3	6%	121	
		densité	1173		2648	
		richesse taxonomique	33		11	

