

L'AUTOÉPURATION DANS LES RÉSERVOIRS ⁽¹⁾ (MASSIF CENTRAL FRANÇAIS)

par P. VIVIER

I. N. R. A., Station d'hydrobiologie continentale de Paris.

Si nombreuses que soient déjà les études entreprises dans les réservoirs c'est-à-dire dans les lacs de barrage artificiel, elles sont encore trop insuffisantes pour permettre une étude générale de l'autoépuration dans ces milieux bien spéciaux et si divers. Il y a, en effet, comme l'a très bien souligné W. I. SHADIN, 1961, un grand nombre de types de réservoirs différents par leur altitude, leur profondeur, la nature du terrain, le débit de la rivière qui les traverse, la situation de la prise d'eau, leur utilisation pour l'énergie électrique, les besoins en eau de la population humaine, l'alimentation des canaux ou l'irrigation des terres.

Pour toutes ces raisons, je me suis limité dans cette étude aux lacs de barrage hydro-électrique du Massif Central français que j'ai eu l'occasion d'étudier à plusieurs reprises de 1949 à 1952, et de 1956 à 1959. Je n'ai envisagé que les 11 réservoirs les plus profonds, dont la profondeur maxima (différence entre la cote du sommet du barrage et celle de la base dudit ouvrage) est comprise entre 34 et 116 m. Cette profondeur n'est d'ailleurs jamais atteinte dans ces réservoirs sous peine de provoquer un débordement et comme, d'autre part, le fond est plus ou moins envasé, les plus grandes profondeurs qu'il est possible de toucher avec des appareils de sondages limnologiques (sondes de prises d'échantillons d'eau, thermomètres Negretti, etc...) sont donc de quelques mètres au-dessous, même lorsque le niveau de l'eau est le plus élevé.

Ces lacs se trouvent tous, dans le Massif Central, à une altitude moyenne, dans une région de terrains anciens (gneiss, granite, schistes, etc...), pauvres en électrolytes (conductivité de l'ordre de

(1) Rapport présenté au *Colloque franco-polonais de l'aménagement et de l'économie de l'eau*, organisé par la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique, à Varsovie, sept. 1964. Je remercie M. BREBION, chef du département de biologie à l'I. R. C. H. A. de la présentation de ce rapport en mon absence, ayant été retenu par la maladie.

40×10^{-6}), Ils ont tous les caractères chimiques des lacs naturels de la région : grande pauvreté en alcalino-terreux et en alcalins (moins de 30 mg/l d'ion Ca^{++} dans le réservoir d'Éguzon, ailleurs généralement beaucoup moins), richesse en fer notable (jusqu'à 1,8 mg dans ce même lac), pauvreté relative en matières organiques (oxydabilité au permanganate inférieure, dans le lac d'Éguzon, en général à 30 mg/l).

Ces réservoirs sont du type des *Rinnenstauseen* de H. WUNDSCH, 1942 et de W. I. SHADIN, 1958.

Des vannes de décharge, plus ou moins profondes, créent suivant les besoins de l'électricité, un renouvellement d'eau ; dans les réservoirs étudiés, le coefficient de passage du liquide demeure en général faible ; ce sont des *Stauseen* non des *Flusstauen*.

Parmi les travaux récents parvenus à ma connaissance, si l'on excepte ceux de E. SOMMANI et L. FERRERO 1950-1957, et ceux de R. PECHLANER, 1964, la plupart ont été faits sur les réservoirs de faible profondeur (moins de 20 m) que je n'envisage pas ici, tels ceux récents de J. D. PARSONS et R. S. CAMPBELL, 1961 sur l'Asland Lake (Missouri), de K. STARMACH, 1961, sur le lac de Goczalkowice (Pologne), de K. STUNDL, 1961 et H. MOOSBROGGER, 1961, sur les retenues de la Mur, polluées par l'industrie, de G. W. LOPATIN, 1961 sur des réservoirs souillés par des alluvions steppiques. Cependant ceux de K. STUNDL, 1942 sur des retenues de Westphalie, de T. SCHRADER, 1958, sur la thermique des réservoirs, de W. S. SLADCEK et L. FIALA, 1961 sur le lac de Pastviny (Tchécoslovaquie) et de P. OLSZEWSKI, 1961 sur le lac de Kortowo (Pologne) me seront très utiles.

§ 1^{er}. — QUELQUES FACTEURS DE L'AUTOÉPURATION

L'oxygène nécessaire à la minéralisation des matières organiques provenant en grande partie de l'assimilation chlorophyllienne, l'auto-épuration se fait d'autant mieux que celle-ci l'emporte sur les phénomènes de désassimilation (respiration, putréfaction, etc...). Dans les lacs naturels, l'auto-épuration se fait parfaitement dans un lac oligotrophe, toujours riche en oxygène à toute profondeur ; elle se fait incomplètement dans un lac eutrophe dont les fonds sont dépourvus d'oxygène une partie de l'année, contiennent des vases souvent putrides, réductrices, riches en sulfure de fer.

De type eutrophe ou oligotrophe, suivant leur profondeur, le caractère des réservoirs n'est pas moins profondément modifié par leurs particularités propres : d'amont en aval, les profondeurs vont en s'accroissant régulièrement pour atteindre au barrage la plus grande valeur ; c'est là que les matières organiques s'accumulent et où les phénomènes de putréfaction sont les plus intenses. De plus les variations de niveau sont plus importantes d'ordinaire que dans un lac naturel et variables suivant les besoins de l'homme. Le cours d'eau qui traverse le réservoir est aussi à considérer dans une certaine mesure car il peut se faire sentir à l'intérieur du lac. Enfin la situation de la prise d'eau d'alimentation des turbines par rapport au fond a de l'importance.

Influence du cours d'eau. — L'étude entreprise de 1949 à 1952 sur le réservoir d'Éguzon a permis de suivre mois par mois grâce à des différences dans la composition en extrait sec du milieu, le cours de la rivière qui le traverse, la Creuse.

Variations du niveau. — Elles peuvent être brusques et importantes, atteignant dans le réservoir d'Éguzon 6 à 7 m, avec des variations de 0,50 m d'un jour à l'autre. Les variations empêchent la colonisation végétale des bords alternativement en eau et en assec. Il en est ainsi dans la plupart des réservoirs.

Transparence. — La transparence, qui modifie l'intensité de la synthèse chlorophyllienne, est moindre que dans un lac naturel qui n'est pas traversé par un cours d'eau (lac de cratère). C'est ainsi qu'elle est diminuée, le même mois, de 4 fois par rapport à un lac de cratère voisin, le lac de Tazanat, de profondeur analogue (66 m), passant ainsi en juin de 10,5 m, dans le premier à 2,5 m dans le second.

De plus, la transparence augmente progressivement de l'amont vers l'aval. Au lac d'Éguzon, elle passe ainsi de 1,8 m à 2,5 m au barrage. La décantation progressive des matières solides apportées par le cours d'eau en est la cause. Dans le Massif Central français, la transparence demeure faible et entraîne une pénétration réduite de la lumière. C'est pourquoi les végétaux aquatiques supérieurs qui ont déjà normalement de la peine à s'installer dans des eaux dont les variations de niveau sont importantes, ne peuvent vivre lorsque celles-ci manquent de transparence; de fait, ils n'existent pas dans les lacs de barrage du Massif Central. Mais il peut en être autrement dans des réservoirs sur sol calcaire qui peuvent être beaucoup plus transparents.

Stratification thermique. — Comme la température commande la saturation en oxygène et qu'elle agit, d'autre part, sur les phénomènes de putréfaction, on comprend que la stratification en profondeur soit un des facteurs fondamentaux de l'auto-épuration. Or, elle est troublée par l'existence d'une prise d'eau située à une profondeur variable suivant les réservoirs, pouvant aller de quelques mètres de la surface à quelques mètres du fond. Le trouble est sérieux pendant la période de stagnation estivale dans les lacs où la prise d'eau d'évacuation est profonde et conserve un certain débit (E. SOMMANI, 1950). Les couches hypolimniques froides sont évacuées au fur et à mesure par la canalisation et progressivement remplacées par des couches superficielles plus chaudes. Le fond se réchauffe et le métalimnion disparaît souvent comme je l'ai montré en 1961; parfois il est peu marqué et un 2^e thermocline, également peu prononcé, peut apparaître dans l'hypolimnion au niveau de la prise d'eau (R. W. SLADCEK et L. FIALA, 1961).

La destruction de l'hypolimnion se fait par simple descente des couches thermiques sans destruction de la stratification (T. SCHRADER, 1958).

En août, par exemple, le réservoir de Pareloup (prof. théorique max. : 46 m) dont la prise d'eau est profonde (à 9 m au-dessus du fond) a une température de 11°, à 44 m (26-8-1957); au contraire, le réservoir

d'Éguzon dont la prise d'eau est superficielle, à 35,7 m du fond, c'est-à-dire à 20 m de la surface, le jour de l'opération, a une température beaucoup plus froide à une profondeur assez voisine (56 m) ; elle marque alors 6° (18-8-52). Cette différence d'environ 5° se retrouve dans les fonds des lacs de barrage du Massif Central profonds d'une cinquantaine de mètres. Elle est très appréciable et permet de comprendre le trouble que de tels réservoirs apportent à la vie aquatique en aval. L'eau ainsi rejetée par les prises d'eau profondes est néanmoins très refroidie en été, par rapport à l'eau superficielle, d'une dizaine de degrés environ ; le débit réservé du cours d'eau, en aval du barrage, a donc une température beaucoup plus froide que la rivière elle-même avant qu'elle ne soit coupée par lui, conditions de vie très favorables à l'existence de la Truite pour des cours d'eau autrefois occupés par des Cyprinidés d'eau courante. Ceux-ci par contre sont défavorisés par des « douches » d'eau froide envoyées par à-coups en été ; et c'est sans doute une des raisons pour lesquelles ils ont été parasités gravement par des Copépodes comme le *Tracheliastes polycolpus* que j'ai observé en nombre en aval du lac du barrage d'Argentat (Dordogne) (1959).

Nitrates. — Les nitrates qui ne se produisent qu'en aérobiose fournissent des indications précieuses sur l'intensité de l'auto-épuration. Ils contribuent par ailleurs au développement du photoplancton, lui-même excellente source d'oxygène par la photosynthèse chlorophyllienne. Dans le réservoir d'Éguzon, après de fortes teneurs en janvier, réparties à toutes profondeurs (jusqu'à 9,5 mg/l d'ion NO_3^-), ils diminuent jusqu'à disparition presque totale au printemps. On les voit réapparaître en été en surface puis en profondeur ; lorsqu'ils sont épuisés en surface, il semble qu'il y ait accumulation en profondeur et véritable régénération au niveau de la vase.

Phosphates. — Par rapport aux nitrates, ils sont dans un rapport de 1/5 à 1/10. En raison de leur faible quantité, ils agissent comme facteur limitant de la production. Si l'on en juge par ce qui se passe au réservoir d'Éguzon, ils augmentent avec la profondeur, bien que les plus grandes valeurs ne soient pas toujours observées sur le fond. Après un minimum hivernal en profondeur, ils diminuent en surface en fin de printemps, puis s'accroissent régulièrement jusqu'à un maximum en fin d'automne. Ces variations de 0,1 mg à 1,6 mg d'ion PO_4^{+++} ne sont pas toujours faciles à expliquer (le chiffre 1 mg est rarement dépassé).

Production primaire. — Phosphates et nitrates sont les grands agents de la production de base où production primaire. Dans un lac, si la matière organique est importante elle risque de ne pas être minéralisée par l'oxygène disponible ; c'est ce qui se passe dans un lac naturel eutrophe, dans lequel la profondeur est insuffisante pour minéraliser la substance organique issue d'un phytoplancton trop abondant. La production primaire est donc un facteur important de l'autoépuration.

Définie comme la quantité de matières organiques formées journellement à partir de la matière minérale, la production primaire se mesure surtout par la méthode de STEEMANN-NIELSON en utilisant le carbone 14.

Le poids de carbone fixé chaque jour par m^2 grâce à la photosynthèse sert de mesure à la production primaire. La production primaire est très variable selon les saisons et même d'un jour à l'autre. Pour l'apprécier, il faudrait donc de nombreuses mesures. Or, en ce qui concerne les réservoirs, celles-ci font presque complètement défaut. On ne peut donc connaître actuellement si, par comparaison aux lacs naturels de même type, leur production primaire est différente. R. PECHLANER, 1964 a déterminé celle-ci en juillet pour un lac autrichien de retenue hydro-électrique de haute altitude, en terrain calcaire. Elle était pour le Lunersee (1.970 m d'altitude) de 41 mg C/ m^2 par jour, le poids moyen de phytoplancton frais s'élevant à 290 mg/ m^3 . J. D. PARSONS et R. S. CAMPBELL, 1961 l'ont mesurée dans une retenue totalement différente du Missouri (E.-U.), sans profondeur et avec une grande turbidité : elle atteignait alors en moyenne 40,1 g C/ m^2 par mois, soit par jour 1.333 mg C/ m^2 .

Dans le lac eutrophe naturel d'Erken (Suède), elle était d'après W. ROHDE, 1958, de 436 mg C/ m^2 , le 1-6-1955, de 172 mg, le 7-6-1955, et de 312 mg le 14-6-1955, alors qu'un mois plus tôt, le 11-5-1955, elle s'élevait au chiffre énorme de 2.205 mg C/ m^2 par jour.

J'en n'ai pas eu encore la possibilité d'étudier la production primaire des réservoirs du Massif Central, mais les recherches poursuivies dans le lac de barrage d'Éguzon m'ont permis de recueillir des données sur le phytoplancton de ce lac. Celui-ci, malgré sa pauvreté en électrolytes apparaît cependant assez productif : il est possible que d'autres dans la même région le soient moins.

Le phytoplancton est, au lac d'Éguzon, à dominance de Cyanophycées, de Diatomées, surtout eutrophes et de Desmidiacées acidophiles. On observe au printemps des fleurs d'eau à *Melosira*, en fin d'été à Cyanophycées. On n'a pas constaté de corrélation entre ces fleurs d'eau et la quantité de matières organiques mesurées par l'oxydabilité ; est-ce parce que, pour les Diatomées protégées par un test silicieux, la substance organique n'est reprise que très lentement dans le cycle de la matière vivante ?

Au printemps, le maximum de phytoplancton provoque une utilisation presque complète des nitrates. Il disparaît ensuite en partie et les nitrates se régénèrent en fin d'été, provoquant alors un 2^e maximum.

C'est un cycle caractéristique des lacs eutrophes. La liaison entre les variations des phosphates et celle du phytoplancton n'est pas toujours très claire ; mais leur diminution au printemps en surface correspond à leur utilisation, leur enrichissement en profondeur en fin d'automne coïncide avec la mort des organismes planctoniques : ils sont mis alors en circulation au niveau de la vase.

Sédiments et vase. — Les réservoirs hydro-électriques reçoivent des apports solides du cours d'eau et les matières organiques issues principalement du plancton provoquent un envasement assez rapide surtout près du barrage et l'on est obligé de procéder à des vidanges régulières. C'est ainsi que le lac d'Éguzon fut vidangé en 1954, après 28 ans de mise en eau.

Lorsque les apports sont particulièrement abondants, ces vidanges

peuvent créer de sérieux désagréments dans l'émissaire. C'est ce que l'on a observé dans le Rhône, en aval du réservoir de Verbois (Suisse) (F. PLAGNAT et M. NISBET, 1958). Celui-ci, peu éloigné de Genève, reçoit à la fois chaque année 30.000 tonnes de vase issue des eaux résiduaires non épurées de cette agglomération d'environ 200.000 habitants et 2.000.000 de tonnes d'alluvions de l'Arve, torrent glaciaire en provenance du Massif du Mont-Blanc. A chaque vidange, tous les 2 ou 3 ans, le Rhône était, il y a quelques années, transformé pendant quelques heures en torrent de boues. L'oxygène dissous était fortement diminué et cette diminution demeurait sensible sur environ 60 kilomètres (pont de Lalloy).

§ 2. — L'OXYGÈNE DISSOUS EN PROFONDEUR

Le meilleur indicateur du degré d'autoépuration d'un réservoir est évidemment la teneur en oxygène dissous en surface et à toutes profondeurs. Dans les lacs naturels, la teneur en oxygène est constante et riche pendant toute l'année dans les lacs oligotrophes, généralement d'une profondeur supérieure à 100 m ; elle est très faible ou nulle au contraire dans les lacs eutrophes, moins profonds (au-dessous de 50 m), une partie de l'année (été et automne, en général) où les fonds sont alors réducteurs.

L'existence d'une évacuation de l'eau vers les turbines, non plus superficielle comme dans les lacs naturels, mais profonde apporte à la répartition de l'oxygène un trouble. J'ai montré déjà (1959, 1961), à la suite de E. SOMMANI, 1950, les relations importantes existant entre la stratification thermique et la situation de la prise d'eau. La saturation en oxygène étant dépendante de la température, les variations d'oxygène en profondeur dépendent donc dans une certaine mesure du facteur thermique. Mais les relations entre l'oxygène dissous et la situation de la prise d'eau sont moins régulières que celles qui existent avec la température.

Pendant j'ai noté en 1959 et 1961 que lorsque le métalimnion était peu prononcé dans un réservoir, soit parce que la prise d'eau est profonde comme dans les lacs de Bort, de Chastang et de l'Aigle, soit parce que la prise d'eau se trouve à l'endroit où normalement devrait se former le métalimnion (lac de Couesque), on ne trouve pas la baisse d'oxygène au niveau de ce métalimnion signalée par WIEBE, 1939-1941 dans le Norris Reservoir (Tennessee). La teneur en oxygène diminue alors régulièrement vers le fond. Lorsqu'au contraire le métalimnion est nettement prononcé, ce qui arrive notamment lorsque le débit de la prise d'eau est faible, on observe une baisse assez marquée de l'oxygène au niveau du métalimnion et ces lacs sont fortement eutrophes, comme les lacs d'Éguzon, de Pareloup, de Lardit.

Voulant voir dans quelle mesure la situation relative de la prise d'eau par rapport au fond était capable d'influer sur l'autoépuration, j'examinerai deux cas, suivant que la prise d'eau superficielle est située dans la moitié supérieure ou placée en profondeur, c'est-à-dire dans la moitié inférieure du réservoir.

I. — RÉSERVOIRS A PRISE D'EAU SUPERFICIELLE

Ce sont, du moins dans le Massif Central, de beaucoup les moins nombreux. Ils se rapprochent d'ailleurs des lacs naturels. Je n'en connais guère que deux dont la prise d'eau est située dans la première moitié de la profondeur au barrage : celui d'Éguzon et celui de Couesque.

Lac d'Éguzon (Creuse) sur la Creuse. — Altitude : 202 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau au-dessus du pied du barrage : 35,7 m. Profondeur théorique maxima au barrage : 58 m. $R = 3/5$ environ, R étant le rapport de la hauteur du seuil de la prise d'eau par rapport au fond sur la profondeur du réservoir.

Lac de Couesque (Aveyron) sur la Truyère. — Altitude : 295 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau au-dessus du pied du barrage : 40 m. Profondeur du lac au barrage, le jour des observations : 54,50 m et 56,50 m. Profondeur théorique maxima au barrage : 59,5 m. $R = 2/3$ environ.

Lac d'Éguzon. — Ce lac, comme je l'ai dit, a été l'objet d'une publication importante en 1956, à la suite d'observations effectuées de 1949 à 1952. J'ai rapporté dans le tableau I quelques valeurs d'oxygène dissous en profondeur, puisqu'en surface celui-ci demeure l'année entière en quantité suffisante (au-dessus de 6 mg par litre). Il n'y a pas cependant la sursaturation que l'on observe dans les lacs oligotrophes, preuve que, même en surface, les phénomènes d'assimilation par photosynthèse se trouvent largement contrebalancés par les phénomènes de putréfaction et de décomposition.

La comparaison, faite le même jour ou un jour voisin, des teneurs en oxygène dans 5 profils successifs, d'amont en aval, sur 10 km de long permet de se rendre compte par mois du degré d'autoépuration du réservoir, en profondeur.

Les variations de l'oxygène sont celles d'un lac eutrophe. A sa naissance (Fresseline), le réservoir, toujours suffisamment riche en oxygène a naturellement son maximum en hiver et au début du printemps et son minimum en été. A quelques kilomètres en aval (Crozant), l'oxygène se raréfie durant l'été, à partir de 10 m et cette diminution s'observe naturellement de juin à septembre, quelques kilomètres plus bas (Pillemontgin) ; il en est de même à Chambon, là où la profondeur dépasse 20 m. Au barrage, la zone complètement dépourvue d'oxygène peut débiter dès 30 m (août 1952) ; elle s'étend de 40 m au fond, de juin à novembre compris.

L'autoépuration dans le réservoir d'Éguzon n'est donc complète en tout temps que sur une masse d'eau d'une dizaine de mètres. Elle est réduite plus bas en été et en automne, et de plus en plus à mesure que la profondeur augmente et n'est complète dans le réservoir que de décembre à mai compris, grâce à la circulation automnale qui réoxygène complètement le milieu en décembre.

Cette réoxygénation se maintient au printemps grâce à l'activité photosynthétique du phytoplancton et ne disparaît que lorsque celui-ci

TABLEAU I. — VARIATIONS MENSUELLES DE L'OXYGÈNE DISSOUS EN PROFONDEUR
EN DIFFÉRENTS POINTS DU LAC DE BARRAGE. D'EGUZON
(en mmg par litre)

MOIS	Creuse au début du lac (Fresseline)		Lac à 3 km en aval (Crozant)		Lac à 5 km en aval (Pillemontgin)		Lac à 7 km en aval (Chambon)		Lac au barrage (10 km en aval)		
	Pas de profondeur		Profondeur		Profondeur		Profondeur		Profondeur		
	10 m	15 m	10 m	20 m	20 m	20 m	20 m	Fond	30 m	40 m	Fond
Septembre 1949					Traces						0
Janvier 1950	12,4		4,5		11,5		11,3		11		10,9
Mai 1950			11,5		11,2	10				9,1	
Juin 1950			0,8	7,2	2,8	0,2	3,8		4	1,6	
Novembre 1950	11,2		7,5		7,2		5,4				0
Janvier 1951				11,4	11,6	11,7	12,0				12
Mars 1951					8,8	11,2			6		11,2
Mai 1951			7		5,8	5,6	5,0				4,8
Juin 1951	5,6				6,4	2,2					4,2
Juillet 1951	5,5		5,4	1,4	4,8	2	4,0		5		0
Septembre 1951	7,8		4,8	5,6	3,2	1,6	Traces				0,2
Octobre 1951			10,2		6,5	8,5			5,4	0	
Novembre 1951	8,6			7,8	4,8	5,8			1,2		0,4
Décembre 1951	8,2				6,8	7,8			7,1		7,8
Janvier 1952	7,8		6,2	4,8	8,0	8,0			10,2		8,8
Février 1952	8,2		5,9		8,8	5,9			9	9	
Mars 1952	9,3		5,0		6,1	6,8			9,4		7,4
Avril 1952	11,1		11,4	11,1	10,3	11,6	10,5		10,7	11	10,6
Avril 1952	9,2		3,6		1,9	Traces	Néant		0	0	

meurt en été comme il a été indiqué plus bas. Ce sont des variations tout à fait classiques.

Lac de Couesque. — Les variations sont du même ordre, quoique l'autoépuration semble mieux se faire. En novembre (14-11-56), près du fond à 55 m, le taux d'oxygène était de 4,7 cm³ alors qu'à cette époque, il est nul ou presque dans le lac d'Éguzon. Il faut noter en outre que comme je l'ai indiqué plus haut pendant l'été le métalimnion ne peut se former parce qu'il se trouve juste à l'emplacement de la prise d'eau (16 m), ce qui permet une diminution lente de l'oxygène en profondeur et différencie ainsi fortement ce lac du lac d'Éguzon.

Voici les variations en août, période la plus critique de l'auto-épuration (Tableau II) :

TABLEAU II
LAC DE COUESQUE : OXYGÈNE DISSOUS
EN CM³ PAR LITRE EN AOUT

Profondeurs	21-8-1956	29-8-1957
1 m	6,9	5,7
10 m	5,4	5,2
20 m	5,5	5
30 m	5,3	5
40 m	3,2	2,4
Fonds	2,8	0
Débit de l'émissaire	0,2 m ³	10,6 m ³

Donc, dans les réservoirs à prise d'eau superficielle profonds d'une cinquantaine de mètres, les conditions d'auto-épuration sont celles des lacs naturels eutrophes : raréfaction de l'oxygène en profondeur en été et en automne.

II. — RÉSERVOIRS A PRISE D'EAU PROFONDE

Lorsque la prise d'eau est dans la 2^e moitié de la profondeur effective du lac le jour de l'observation, il y a parfois, en été, une autoépuration suffisante dans les réservoirs qui contiennent alors une certaine quantité d'oxygène près du fond ; mais il y a des exceptions.

J'ai rangé les 9 réservoirs dans ce cas, suivant la valeur progressivement décroissante du rapport R :

Lac de Pont-de-Salars (Aveyron), sur le Vaur. — Altitude : 718 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 17,5 m. Profondeur du lac au barrage, les jours d'observation : 32 et 33 m. Profondeur théorique maxima 34 m, R = 1/2 environ.

Lac de Lardit (Aveyron), sur la Truyère. Altitude : 588 m. Hauteur de seuil de la prise d'eau : 25,5 m. Profondeur du lac au barrage, le jour de l'observation : 68 m. Profondeur théorique maxima : 65 m, $R = 2/5$ environ.

Lac de Sarrans (Aveyron), sur la Truyère. Altitude : 617 m. Hauteur de seuil de la prise d'eau : 33 m. Profondeur du lac au barrage, le jour de l'observation : 98 m. Profondeur théorique maxima : 101 m, $R = 1/3$ environ.

Lac de Sainte-Peyres (Tarn), sur un affluent de l'Agout. — Altitude : 670 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 17 m. Profondeur du lac au barrage les jours de l'observation : 57 m. Profondeur théorique maxima : 59 m, $R = 1/3$ environ.

Lac de Castelnau (Aveyron), sur le Lot. — Altitude : 414 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 15,7 m. Profondeur du lac au barrage, les jours d'observations : 52,5 et 55,5 m. Profondeur théorique maxima : 58 m, $R = 2/7$ environ.

Lac de Chastang (Corrèze), sur la Dordogne. — Altitude : 262 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 20 m. Profondeur du lac au barrage, le jour des observations : 69 et 71,7 m. Profondeur théorique maxima : 82 m, $R = 1/4$ environ.

Lac de Bort (Corrèze), sur la Dordogne. — Altitude : 542 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 28,5 m. Profondeur du lac au barrage, le jour de l'observation (13 août 1956) : 111,6 m. Profondeur théorique maxima : 116 m, $R = 1/4$ environ.

Lac de Pareloup (Aveyron), sur le Vieur. — Altitude : 805 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 8 m. Profondeur du lac au barrage, le jour des observations : 44 et 45 m. Profondeur théorique maxima : 46 m, $R = 1/6$ environ.

Lac de l'Aigle (Corrèze), sur la Dordogne. — Altitude : 342 m. Hauteur du seuil de la prise d'eau : 11,5 m. Profondeur du lac au barrage : 70 m. Profondeur théorique maxima : 89 m, $R = 1/7$ environ.

Comme on le voit dans les tableaux 3 et 4, si dans cinq de ces lacs (lacs de l'Aigle, Bort, Chastang, Sainte-Peyres et Pont-de-Salars), l'auto-épuratation se fait bien ou assez bien sur la plus grande partie de ces réservoirs ; dans les quatre autres, elles ne se fait pas ou mal en profondeur durant l'été.

On ne peut donc établir de liaison régulière entre la situation du seuil de la prise d'eau et l'importance de l'auto-épuratation près du fond. Certes un trouble est apporté par l'existence d'une prise d'eau et L. FERREIRO, 1954, l'a bien observé dans des réservoirs d'altitude, à prise d'eau profonde, de l'Appenin toscano-émilien, d'une profondeur semblable à celle des lacs étudiés ici. Cet auteur a noté deux parties : une supérieure, sujette à l'action de la prise d'eau, l'autre profonde, au-dessous, fermée, isolée et presque totalement privée d'oxygène, en été et en automne.

**TABEAU III. — OXYGÈNE DISSOUS EN CM³ PAR LITRE DANS LES RÉSERVOIRS
DONT LA PRISE D'EAU EST COMPRISE ENTRE LA MOITIÉ ET LES 2/3 DE LA PROFONDEUR**

Profondeur	Lac du Pont-de-Salars		Lac de Lardit 30-8-57	Lac de Sarrans 28-8-57	Lac de Sainte-Peyres		Lac de Castelnaud (2)		Observations
	8-9-56	6-9-57			31-7-59	28-8-58	20-8-56	7-9-57	
1 m	7,5	7,8	5,8	5,5	6,8	6,5	6	6,8	(1) Mais : 3,4 m ³ le 25-8-57 8,9 m ³ le 26-8-57 23,4 m ³ le 27-8-57
10 m	6,8	7,2	5,6	4,7	6,2	5,8	2	4	
20 m	6	6	3,4	4	6	5,3	1,2	0,6	
30 m	6	5,2	2,7	1,8	5,3	4,2	1	0,8	
Près du fond	Fond	Fond	0	0	5,3	4,2	1	0,6	(2) Prise d'eau légèrement au-dessous des 2/3 de la profondeur.
Débit de l'émissaire	0 m ³ /s.	6,4 m ³ /s	0,02 m ³ /s	33,4 m ³ /s (1)					

Tableau IV. — OXYGÈNE DISSOUS EN PROFONDEUR EN CM³ PAR LITRE DANS DES RÉSERVOIRS
DONT LA PRISE D'EAU EST COMPRISE ENTRE LES 2/3 DE LA PROFONDEUR ET LE FOND

Profondeur	Lac de Chastang		Lac de Bort		Lac de Pareloup		Lac de l'Aigle	Observations
	22-7-57	7-9-56	13-8-56	21-8-58	17-8-56	26-8-57	21-7-57	
1 m	7	6,2	5,9	5,7	6,1	6	6	
10 m	5,4	4,9	5	4,5	5,2	5	5,5	
20 m	5,2	5,7	5	5	2,1	1,5	4,9	
30 m	5,6	5,8	5,5	6	0,2	0,1	4,9	
Près du fond	4,7	0,7	4,9	5,3	0,2	0,1	4,5	
Débit de l'émissaire	2 m ³ /s		43 m ³ /s	2,2 m ³ /s	5 m ³ /s	1 m ³ /s	9 m ³ /s	

La présence d' « eau morte » au-dessous de la prise d'eau a été aussi bien soulignée par W. S. SLÁDECEK et L. FIALA, 1961. Cette zone est évidemment d'autant moins importante que la prise d'eau est plus près du fond et si celle-ci est très près du fond, elle peut être négligée.

Mais elle n'existe pas toujours et E. SOMMANI, 1956, ne l'a pas rencontrée dans le réservoir de Castello di Varaita (profondeur max. : 62 m) ; il n'a trouvé en août aucune différence sensible tant dans la stratification des températures que dans celle de l'oxygène en dessus et en dessous de la prise d'eau : la teneur en oxygène était encore de 5,65 cm³ à 6 m au-dessous de la prise d'eau, par 55 m de fond.

Il ne faudrait cependant pas conclure de l'examen des tableaux III et IV qui mettent en valeur des richesses en oxygène près du fond que cette zone morte profonde n'existe pas. Pour certains de ces réservoirs dont la prise d'eau est voisine du fond, les prélèvements d'échantillons à la bouteille Friedinger ont été en effet exécutés à la hauteur de cette prise d'eau et non au-dessous et ne donnent donc pas l'état exact de la situation au niveau de la vase. C'est le cas du réservoir de l'Aigle, le 21-7-57. En tout cas cette zone d'eau morte, si elle existe dans ce réservoir, au-dessous de la prise d'eau située à 11 m du fond, est de peu d'étendue et n'altère pas les conclusions d'ensemble que l'on peut tirer de ces tableaux quant à l'autoépuration.

Ceux-ci montrent bien qu'ainsi que l'a observé E. SOMMANI, 1956, il n'y a pas de règle immuable en ce qui concerne l'auto-épuration au-dessous de la prise d'eau. C'est ainsi que dans le lac de Pont-de-Salars à prise d'eau mi-profonde, l'autoépuration se fait bien, en tout temps, sur le réservoir en entier, tandis qu'elle se fait très mal, en août, dans les lacs de Castelnaud et de Pareloup à prise d'eau profonde et cela dès 20 m, donc très au-dessus de l'ouverture de la prise d'eau située respectivement dans ces réservoirs à 15,7 m et à 9 m du fond.

Tout ce que l'on peut dire c'est que l'influence favorable d'une prise d'eau en profondeur sur l'autoépuration est sensible dans un certain nombre de réservoirs tels ceux de l'Aigle, de Bort, de Chastang et de Sainte-Peyres qui demeurent assez riches en oxygène en été. Mais cette influence n'est pas générale, loin de là, dans les réservoirs du Massif Central ; d'autres facteurs entrent en jeu tels que l'altitude, la profondeur, le débit de la prise d'eau, etc., qui demandent à être précisés par d'autres recherches.

Cette étude montre combien est variable l'autoépuration des réservoirs profonds, bien que pourtant semblables par la composition de l'eau, la nature du terrain et l'altitude. Elle doit ouvrir la voie à d'autres travaux, plus approfondis.

BIBLIOGRAPHIE

- FERRERO (L.), 1954. — Limnologia dei laghi artificiali. *Boll. Pesca. Piscic. Idrobiol.* 8, 63-81.
- HUTCHINSON (G.), 1957. — A treatise on limnology, New York et London, I, 1015 p.
- LOPATIN (G. W.), 1961. — Verschlammungsfaktoren von kleinen Staubecken in der Steppen-und-Waldsteppen-zone der UdSSR. *Verh. internat. Ver. Limnol.* 14, 686-689.
- MILOVANOVIC (D.) et ZIVKOVIC (A.), 1956. — Limnological studies of the artificial lake on Vlasina. *Inst. Ecol. et Biol. Beograd* 7, 3-47.
- MOOSBROGGER (H.), 1961. — Über die Beeinflussung der natürlichen künstlichen Schwebstoffführung durch Stauraume an Flusskraftwerken. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 14, 681-685.
- OLSZEWSKI (P.), 1961. — Versuch einer Ableitung des hypolimnischen Wassers aus einem See. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 2, 855-861.
- PARSONS (J. D.) et CAMPBELL (R. S.), 1961. — Metabolism an eutrophic reservoir. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 2, 613-618.
- PECHLANER (R.), 1964. — Plancton production in natural lakes and hydroelectric waterbasins in the alpine region of the austrian Alps. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 15, 375-383.
- PLAGNAT (F.) et NISBET (M.), 1958. — La pollution du Rhône par les vidanges du lac du retenue hydroélectrique de Verbois (Suisse) recevant les égouts de l'agglomération genevoise. Étude biologique et chimique. *Ann. Sta. Cent. Hydrobiol. appl.*, 7, 187-238.
- SCHRADER (T.), 1958. — Thermische Verhältnisse in Talsperren. *Gewässer u. Abwasser*, 21, 68-88.
- SHADIN (W. I.), 1958. — Probleme der Bildung der biologischen Regims und der Typologie in künstlichen Seen (Staussen). *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 13, 446-454.
- SHADIN (W. I.), 1961. — Die Wirkung von Stauanlagen auf natürliche Gewässer. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 14, 792-805.
- SLADECEK (W. S.) et FIALA (L.), 1961. — Der Einfluss der Kraftwerke auf die limnologische Verhältnisse der Stauseen. *Verh. internat. Ver. Limnol.*, 14, 619-624.
- SOMMANI (E.), 1950, 1952, 1957. — Limnologia dei laghi artificiali. *Boll. Pesca. Pescic. Idrobiol.*, 5, 248-255, 7, 92-111 ; 11, 5-31.
- STARMACH (K.), 1961. — Hydrobiologische Untersuchungen an der Talsperre bei Goczalkowice. *Verh. internat. Limnol.*, 643-661.
- STUNDL (K.), 1942. — Limnologische Untersuchungen an einigen westfälischen Talsperren. *Archiv. Hydrobiol.*, 38, 70-97.
- VIVIER (P.), DUSSART (B.), NISBET (M.) et autres, 1956. — Le lac d'Eguzon. Contribution à l'étude physique, chimique et biologique d'un lac de barrage artificiel. *Ann. Sta. Cent. Hydrobiol. appl.*, 6, 15-230.
- VIVIER (P.), 1959. — Les lacs de barrage artificiels : caractères, types, exploitation piscicole. *Bull. Cebedeau, Liège*, 46, 180-186.
- VIVIER (P.), 1961. — Les lacs de barrage artificiel du Massif Central français. *Verh. internat. Limnol.*, 14, 625-632.
- VIVIER (P.), 1959. — Sur l'extension anormale dans la Dordogne d'un Copépode parasite appartenant au genre *Tracheliastes*. *Rev. gén. Sci. pur. appl.*, numéro spécial, Congrès de Périgueux II, 107-108.
- WUNDSCH (H.), 1942. — Das Neisse-Staubecken von Ottmachau O. S. in seiner Entwicklung zum Fischgewässer, *Z. Fisch.*, 40, 339-393.