

**ETUDES SUR L'EAU EN FRANCE**

AGENCES DE L'EAU - MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

**N°83**

**AIDE À LA DÉCISION  
POUR LE TRAITEMENT  
DES PLANS D'EAU**



**MANUEL TECHNIQUE**

Si la vocation première des Agences de l'Eau est le financement de travaux dans les domaines de l'eau et de l'assainissement, il leur est nécessaire d'avoir une vision la plus précise possible des problèmes posés et des solutions adaptées.

Pour cela, elles conduisent des programmes d'études et de recherches au niveau de leur bassin, mais aussi au niveau national, de façon concertée avec la Direction de l'eau du Ministère de l'Environnement, à travers les programmes inter-Agences.

Ainsi, depuis 1977, cinq programmes ont été menés à bien. Le cinquième, portant sur la période 1997 - 2001, a permis de réaliser cette étude.

Les résultats de ces études sont régulièrement publiés dans les collections inter-Agences dans lesquelles le présent document s'inscrit.

D'un montant de 105 millions de francs, ce cinquième programme s'intéresse aux axes suivants :

- AXE 1 : La socio-économie, la planification et les institutions  
*Pilote : Direction de l'eau du Ministère chargé de l'Environnement*
- AXE 2 : La connaissance et l'évaluation des milieux aquatiques  
*Pilote : Rhône-Méditerranée-Corse*
- AXE 3 : L'urbain  
*Pilote : Seine-Normandie*
- AXE 4 : Le rural  
*Pilote : Loire-Bretagne*
- AXE 5 : L'eau et la santé  
*Pilote : Artois-Picardie*
- AXE 6 : La gestion des milieux aquatiques  
*Pilote : Adour-Garonne*
- AXE 7 : Les industries, l'énergie et le transport  
*Pilote : Rhin-Meuse*



## AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU



### MANUEL TECHNIQUE

Document réalisé par les Agences de l'Eau

Directeur de publication : Bernard Baudot

Agence de l'Eau réalisatrice de l'étude : Agence Rhône-Méditerranée-Corse

Réalisation :

Agnès Barillier	IRAP
Claire Nivon	IRAP
Maïder Campagne	IRAP
Denis Fournier	IRAP

Comité de pilotage

Michel Bouchaud	Agence de l'eau Adour-Garonne
Olivier Coulon	Agence de l'eau Loire-Bretagne
Thomas Pelte	Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse
Jean Prygiel	Agence de l'eau Artois-Picardie
Joseph Rivas	Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Experts :

Guy Barroin	INRA Thonon
Charles Bornard	DIREN Rhône-Alpes
Alain Dutartre	CEMAGREF Bordeaux

Crédit photographique :

Agnès Barillier, Claire Nivon, Maïder Campagne (IRAP)  
Pascale Rouxel, p.1  
Claude Fougeirol, p.6  
Valérie Petiteau, p.10  
Maria Leitao, p.11

Mise en forme et infographie : IRAP, Annecy

Impression :

ISSN :

Tiré à



# S O M M A I R E

	Avant propos	
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
1.1.	Considérations préliminaires	6
	Nature des plans d'eau	
	Les différents usages de l'eau	
	Quand considère-t-on qu'un plan d'eau pose problème ?	
1.2.	Quelques notions du fonctionnement des plans d'eau	7
	Influence du bassin versant sur le fonctionnement et l'équilibre écologique	
	Organisation générale de la vie aquatique	
<b>2</b>	<b>TYPES DE PROBLEMES RENCONTRES : NATURE, CAUSES ET CONSÉQUENCES</b>	<b>10</b>
2.1	L'incompatibilité lac / utilisateurs	10
	2.1.1. Problèmes liés au phytoplancton	10
	Nature	
	Causes du développement	
	2.1.2. Problèmes liés aux macrophytes	11
	Nature	
	Causes du développement des herbiers	
	2.1.3 Problèmes engendrés par les sédiments	13
	Nature	
	Causes du comblement	
	2.1.4. Autres problèmes	14
	Pollution bactérienne	
	Pollution toxique	
	2.1.5. Conclusion	14
2.2	Les conflits d'usages	15



3	STRATÉGIE D'INTERVENTION POUR LA RESTAURATION D'UN PLAN D'EAU	16
4	INTERVENIR EN AMONT DU PLAN D'EAU	18
4.1	Où et comment ?	18
4.2	Procédés utilisés au niveau des affluents	19
5	INTERVENIR DANS LE PLAN D'EAU	22
5.1	Contenu du chapitre	22
5.2	Procédés chimiques	23
5.3	Procédés biologiques	24
5.4	Procédés physiques	25
5.5	Evaluation comparative des techniques	28
6	FAIRE LE BON CHOIX	30
	Traiter un problème d'algues	
	Traiter un problème de macrophytes	
	Traiter un problème de sédiments	
	Avertissement : causes d'échecs	
	Références bibliographiques	34
	Glossaire	36
	FICHES TECHNIQUES	



### ■ NATURE DES PLANS D'EAU

Dans le cadre de ce guide, on définit un plan d'eau comme "une étendue d'eau douce stagnante dans une cuvette naturelle ou artificielle, qu'il s'agisse d'un lac de montagne, de lacs de barrage, de lacs de plaine, de réservoirs, d'étangs, grands et petits, de mares forestières, de gravières et même de bassins d'agrément" (Barroin, 1999). On constate depuis deux à trois décennies un développement des activités de loisirs liées à l'eau en général et aux plans d'eau en particulier, avec la pêche amateur, la baignade, la navigation à voile, la planche à voile, le canoë, etc.

Cet accroissement de la demande et le développement engendré s'expliquent par l'attrait que représentent les milieux aquatiques pour les usagers, riverains ou vacanciers, avec cette perception d'un cadre de vie agréable, beau, calme, naturel où il est possible de pratiquer des activités sportives ou de détente en relation avec la nature. Il génère pour les collectivités et pour les gestionnaires de ces plans d'eau une source de revenus, plus ou moins significative en fonction des usages pratiqués.

D'autres fonctions économiques sont également assurées par les plans d'eau de manière plus ancienne comme par exemple la régulation des débits (soutien d'étiage, écrêtement de crues), la production d'énergie, la production d'eau potable, l'irrigation, l'épuration, ...

Parallèlement au développement des activités humaines autour et en amont des plans d'eau, les rejets domestiques, industriels ou agricoles ont également augmenté, entraînant la dégradation de la qualité des eaux des milieux récepteurs, et générant des modifications des cycles de fonctionnement des plans d'eau. Les gestionnaires se sont alors de plus en plus retrouvés confrontés à des nuisances induisant la limitation voire l'impossibilité de pratiquer les usages habituels.

Ces nuisances, assez diverses, peuvent être regroupées en différents types : développements trop importants de végétaux (algues ou macrophytes), dégradation de la qualité des eaux, envasement...

Les solutions préventives ou réellement curatives permettant de remédier à cet état de fait concernent l'ensemble du bassin versant ; bien qu'elles constituent un préalable indispensable, leurs effets limités à court terme ont conduit les gestionnaires à demander des solutions originales aux effets plus immédiats. Différents types de techniques curatives ont été "testées" en France permettant d'établir un retour d'expérience relatif à leur efficacité intrinsèque et vis à vis de telle ou telle problématique prenant en compte le type de nuisance, les caractéristiques du plan d'eau et celles des usages en question.

### ■ OBJECTIFS DU GUIDE

Les objectifs du guide sont d'apporter un éclairage sur les procédés utilisés dans la restauration des plans d'eau, basés sur des exemples concrets d'application en France. Il s'agit à la fois de décrire les techniques, leur principe d'action, leur efficacité, leur coût, etc., mais également de présenter l'ensemble de la démarche que le maître d'ouvrage doit mettre en œuvre pour identifier le problème de son plan d'eau, et pour y remédier, en choisissant la (ou les) technique(s) de restauration interne la (les) mieux adaptée(s) à sa problématique.

Après deux chapitres présentant les types de problèmes rencontrés sur les plans d'eau et les types d'actions envisageables sur les bassins versants pour y remédier, le guide présente la stratégie d'intervention à mettre en œuvre et l'ensemble des techniques de restauration interne. Des fiches techniques décrivant les procédés, et montrant des exemples d'application en France sont ensuite présentées.

Ce guide s'adresse aux collectivités, aux administrations et aux gestionnaires de plans d'eau.

### ■ LIMITES DU GUIDE

Ce guide est basé sur deux études de synthèse réalisées par les Agences de l'eau relatives aux techniques de restauration des plans d'eau (Etude inter-Agences n° 62) et à l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques (Etude inter-Agences n°47), ainsi que sur un large éventail de lacs et de plans d'eau ayant fait l'objet de ces techniques curatives en France.

Ce document ne concerne donc pas les milieux aquatiques salés ou saumâtres, ni les plans d'eau situés en dehors des zones tempérées. Il ne constitue pas non plus un livre de "recettes" qui permettrait aux gestionnaires de s'abstenir de faire appel à des sociétés spécialisées et/ou à des experts pour les aider à définir les objectifs de restauration et les moyens à mettre en œuvre.

Enfin, rappelons que l'ensemble des techniques présentées dans ce document ne sont que des solutions palliatives et que la véritable restauration d'un plan d'eau passe nécessairement, comme le montrera ce guide, par une réduction des apports polluants du bassin versant.



# INTRODUCTION

## 1.1 CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

### ■ NATURE DES PLANS D'EAU

En France, moins de 1 % de la superficie du territoire continental est couvert par des eaux douces dont 2/3 sont couverts par les eaux dormantes.

Avec 46 000 hectares, les lacs d'origine naturelle ne forment qu'un sixième de cette surface, dont la moitié occupée par la partie française du Lac Léman. La plupart des lacs naturels français sont des lacs de montagne, avec environ 2000 lacs recensés au-dessus de 700 m d'altitude dans les Alpes et les Pyrénées.

Les retenues artificielles (lacs de barrage, retenues collinaires, réservoirs) couvrent près de 41 000 hectares, presque autant que les lacs naturels. La fraction la plus importante des eaux dormantes, en terme de superficie, est représentée par les étangs, avec près de 150 000 hectares, dont 120 000 sont exploités. Les carrières en eau, pour leur part, couvrent environ 30 000 hectares, en progression d'environ 1 000 hectares par an.

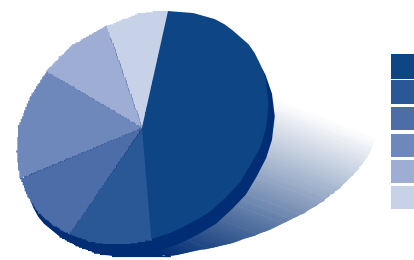


Schéma de la répartition des eaux dormantes en France selon leur nature (d'après Lacroix, 1991).

**Ainsi, plus de la moitié des surfaces en eaux intérieures en France est d'origine humaine.**

### ■ LES DIFFÉRENTS USAGES DE L'EAU

Ils sont bien évidemment assez variés, et fonction du type de plan d'eau (lac, étang, barrage, ...).

Les **lacs naturels** ont une fonction paysagère indéniable ; selon leur taille, ils font, en plus, l'objet d'un grand nombre d'usages : production d'eau potable, loisirs (voile, motonautisme, plongée, baignade, ...), pêche, irrigation, ...

Le lac du Bourget, plus grand lac naturel localisé totalement en France (44 km<sup>2</sup>), offre un cadre naturel et historique responsable d'une forte fréquentation touristique et d'une augmentation constante de la population sur les communes riveraines. Un "Projet Grand Lac" de protection et de restauration des milieux naturels du bassin versant et des abords du lac a été mis en œuvre afin de rendre compatibles les usages avec le bon fonctionnement du lac.



Plage aux Dames sur le Lac du Bourget : les activités de voile (école) côtoient le motonautisme. (photo M. Campagne - IRAP).

Les **lacs de retenue** ont généralement une fonction principale à l'origine de leur création, et à laquelle peuvent se rajouter des fonctions secondaires. Les usages les plus fréquents sont la production hydroélectrique, l'alimentation en eau potable, l'irrigation, le soutien d'étiage et l'écrêtement des crues. Les usages secondaires peuvent être la pêche et pour les plus grands plans d'eau, certaines activités de loisirs (baignade, voile).



La retenue de Puylaurent sur le Chassezac (Lozère) est un exemple où quatre fonctions sont assurées : soutien d'étiage et irrigation en été ; production hydroélectrique en hiver et au printemps ; stockage des crues au printemps et en automne.

Les **étangs** ont généralement une fonction paysagère et une fonction relative à la production piscicole.



Enfin, les anciennes **gravières** (plans d'eau créés par l'extraction de granulats) ont parfois été réutilisées pour les loisirs de baignade ou de pêche.

### ■ QUAND CONSIDÈRE-T-ON QU'UN PLAN D'EAU POSE UN PROBLÈME ?

Un maître d'ouvrage ou un utilisateur considérera que le plan d'eau dont il est propriétaire ou gestionnaire pose un problème quand il ne pourra pas ou plus "l'utiliser" pour les usages habituels (ou souhaités dans le cadre d'une création, ou d'une modification des usages).

Il est important de noter dès à présent et comme on le verra plus tard, que les incompatibilités de certains usages vis à vis de certains plans d'eau peuvent être naturelles et totalement intrinsèques au type de plan d'eau et à ses caractéristiques écologiques ; on verra également que de nombreuses difficultés de gestion peuvent aussi provenir de conflits entre les utilisateurs eux-mêmes.



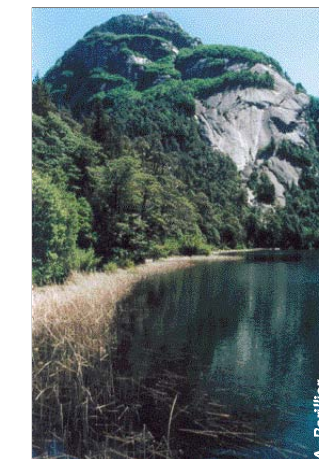
Le plan d'eau de Mondély (Ariège), créé pour des besoins d'irrigation, est situé dans un bassin à vocation agricole extensive (photo A. Barillier - IRAP)

## 1.2 QUELQUES NOTIONS DU FONCTIONNEMENT DES PLANS D'EAU

### ■ INFLUENCE DU BASSIN VERSANT SUR LE FONCTIONNEMENT ET L'ÉQUILIBRE ÉCOLOGIQUE DU PLAN D'EAU

Point bas d'un réseau hydrographique qui draine un bassin versant, un plan d'eau est l'ultime collecteur des eaux qui y circulent, en surface ou de manière souterraine, et des matériaux qu'elles transportent.

**L'aspect d'un plan d'eau et sa qualité dépendent donc essentiellement de son bassin versant, et en particulier de son contexte géologique et climatique (= facteurs naturels), de l'occupation des sols et des rejets polluants d'origines diverses (= facteurs anthropiques).**



Les lacs de montagne sont généralement peu profonds, pauvres en matières organiques, excepté lorsque leur zone littorale est suffisamment développée. L'influence de l'altitude et de la latitude détermine le développement de la végétation sur le bassin versant, et, par suite, la nature et la qualité des eaux du lac. Ces lacs de montagnes ont le plus souvent une origine glaciaire ou tectonique.



Les propriétés thermiques de l'eau, associées aux caractéristiques morphométriques des plans d'eau (= facteurs naturels) sont également à l'origine de modes de fonctionnement très différents des plans d'eau.

En particulier, le réchauffement des eaux d'un lac par la pénétration de la lumière solaire s'atténue au fur et à mesure que la profondeur augmente.

De ce fait, les eaux chaudes, plus légères, ont tendance à rester au-dessus des eaux froides, plus denses, entraînant une stratification de plus en plus marquée en cours de saison, jusqu'à ce que le refroidissement hivernal, avec la plongée des eaux refroidies de la surface, permette la "destratification" (schéma ci-contre).

**Les différences de densité de ces couches d'eau font qu'elles ne se mélangent pas, ce qui entraîne une évolution chimique et biologique différente en cours de saison ; dans les cas extrêmes, cette évolution peut être à l'origine de certaines nuisances pour les usages ou vis à vis de l'équilibre de l'écosystème.**

Ce type de fonctionnement se rencontre sur les plans d'eau dont la profondeur est suffisante pour permettre cette stratification (plus de 15 à 20 m de profondeur en général, selon le contexte climatique, l'altitude, etc.).

Pour les autres, le réchauffement concerne l'ensemble de la masse d'eau et implique une évolution chimique et biologique quasi-homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau, pouvant (ou non) poser problème selon le degré d'eutrophication (naturelle ou anthropique) du plan d'eau considéré.

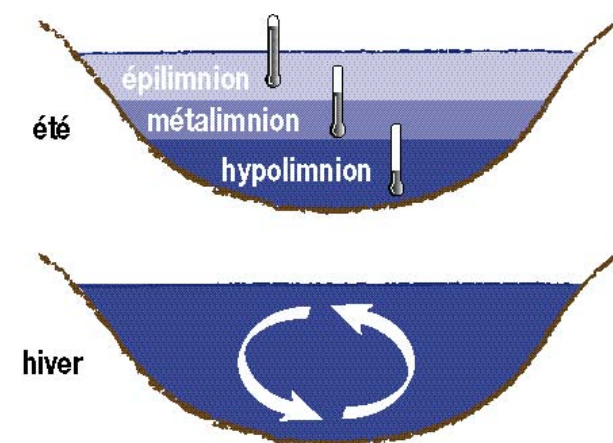


Schéma du fonctionnement d'un lac monomictique, stratifié en été et homogène thermiquement en hiver ; l'épilimnion correspond à la couche de surface, aux eaux chaudes et homogènes ; l'hypolimnion à la couche profonde froide et homogène ; le métalimnion est une couche intermédiaire dont le fort gradient thermique constitue une barrière entre les deux autres couches d'eau (d'après Barroin, 1999).

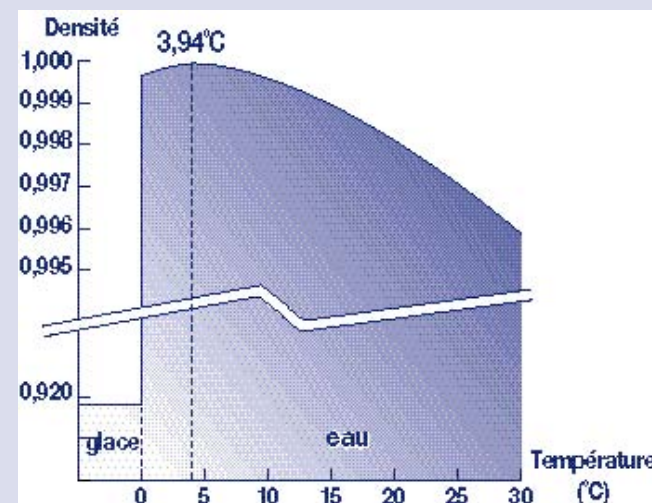
## Pourquoi seule la surface d'un lac gèle, si l'eau froide bascule en profondeur en hiver ?

Comme pour la plupart des liquides, la densité de l'eau augmente au fur et à mesure que la température diminue, **sauf de 3,94°C à 0°C** où elle diminue légèrement, avant de chuter brutalement lors de la prise en glace.

Grâce à cette propriété unique, la glace se forme en surface, au-dessus d'une masse d'eau plus chaude (3,94°C) et stratifiée.

**Ainsi la congélation de l'ensemble de la masse d'eau est sinon évitée, du moins très ralentie ce qui permet la survie des organismes.**

Le schéma ci-contre montre l'évolution de la densité de l'eau en fonction de la température et met en évidence cette brutale chute de densité à 0°C (d'après Lacroix 1991).



## D'où viennent les couleurs des lacs ?

La couleur d'un lac dépend de la lumière qu'il réfléchit, cette dernière étant dépendante de facteurs physiques externes et internes et de facteurs biologiques.

Ainsi les propriétés d'absorption et de réflexion de la lumière vont dépendre de la composition chimique des eaux et notamment des teneurs en différents éléments dissous et particulaires en suspension.

Les très fines particules en suspension dans les lacs glaciaires leur confèrent ainsi une couleur vert-turquoise (photo ci-contre), virant vers le gris à proximité du glacier. Les argiles en suspension donnent aux eaux une couleur jaunâtre ; les matières humiques, une couleur brune.

Avec l'augmentation des matières organiques dissoutes, un lac a ainsi tendance à passer d'une couleur bleu profond (lacs de montagne par exemple) à une couleur verte.



Cette coloration va également dépendre des organismes vivants : les algues vertes donneront une coloration verte au lac, les Cyanobactéries pouvant entraîner pour leur part des colorations allant du vert-bleu au rouge.

La faible profondeur des lacs entraîne également des modifications de la perception des couleurs, avec l'influence du fond, des herbiers, ...

## ORGANISATION GÉNÉRALE DE LA VIE AQUATIQUE

Le compartiment biologique des systèmes d'eaux calmes dépend des conditions environnementales générales initiales, et notamment des caractéristiques physiques et chimiques des lacs. En retour, ce compartiment biologique modifie les caractéristiques chimiques des eaux dans lesquelles il se trouve.

Il est composé d'une multitude d'organismes dont les interactions sont essentiellement du type proie-prédateur, au sein de ce qu'il est convenu d'appeler la chaîne alimentaire et qui constitue plus exactement un réseau trophique.

L'ensemble de ces maillons peut se concevoir comme une pyramide "énergétique" dont chaque niveau contrôle le niveau aval en sachant qu'entre 10 % et 30 % de la matière sont transférés d'un niveau à l'autre, selon les niveaux (Lacroix, 1991).

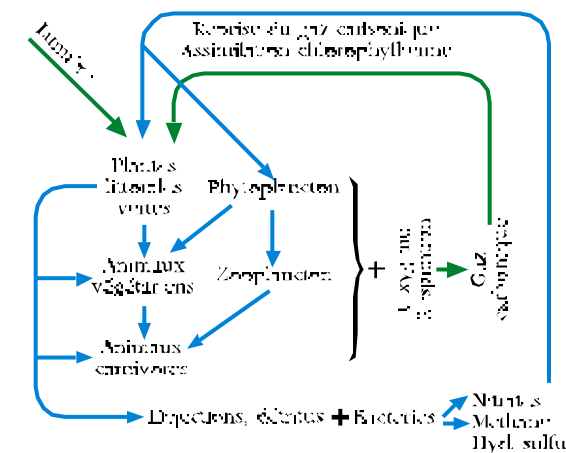
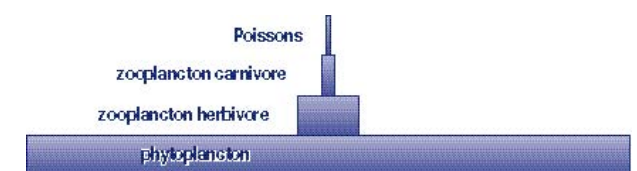


Schéma type d'un réseau trophique simplifié dans un milieu aquatique stagnant.



La pyramide des énergies (d'après Lacroix 1991)

**Il résulte de ce schéma que toute modification d'un niveau de la pyramide entraîne des répercussions sur l'ensemble des populations.**



# TYPES DE PROBLÈMES RENCONTRÉS : NATURE, CAUSES ET CONSÉQUENCES

Les problèmes observés sur les plans d'eau sont généralement limités à quelques types, en raison essentiellement du faible nombre d'usages d'une part et du nivellement par le bas de la qualité des milieux aquatiques.

Selon leurs origines, ils peuvent être classés en deux catégories :

- une incompatibilité du plan d'eau avec les usages ; elle peut être naturelle et liée au plan d'eau, ou nouvelle et liée à une dégradation du milieu aquatique ;
- un conflit d'usages.

## 2.1 L'INCOMPATIBILITÉ LAC / UTILISATEURS

### 2.1.1 PROBLÈMES LIÉS AU PHYTOPLANCTON

#### ■ NATURE

Ils sont multiples, relatifs soit à des "sensations" (désagréments visuels pour les baigneurs ; odeurs, goûts et saveurs désagréables pour l'eau potable), soit à des effets toxiques, notamment dans les cas les plus extrêmes, de forts développements de Cyanobactéries (appelées aussi algues bleues ou Cyanophycées) ou de certaines espèces de phytoplancton.

Rarement mortelles, les toxines libérées par ces organismes, lors de leur croissance ou de leur mort et de leur lyse, peuvent provoquer certaines maladies chez celui qui les ingère (démangeaisons cutanées, intoxication et troubles digestifs ; irritation des muqueuses).



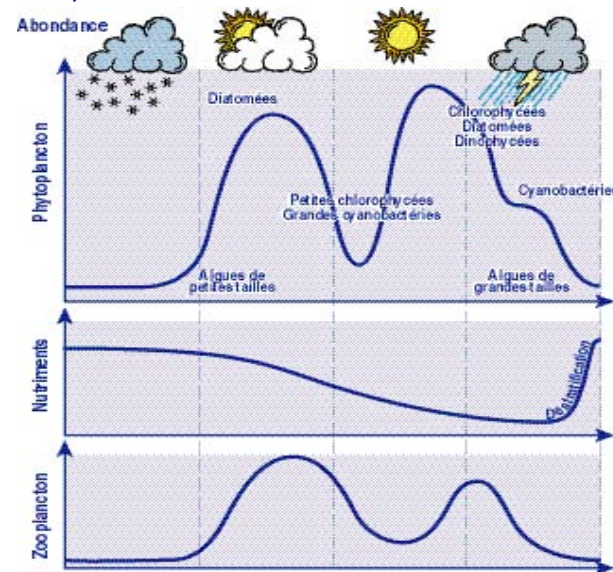
Prolifération de Cyanobactéries en bordure d'une baignade.

Ces problèmes affectent aussi bien le producteur d'eau potable, que le baigneur.

#### ■ CAUSES DU DÉVELOPPEMENT

##### Evolution naturelle

Les espèces du phytoplancton et leur densité se succèdent naturellement au cours des saisons en fonction de facteurs physiques (température, lumière), chimiques (nutriments) et biologiques (prédation, parasitisme).



Evolution saisonnière du plancton et des nutriments (d'après Lacroix 1991).

En hiver, la faible luminosité et l'instabilité des eaux limitent le développement des algues, alors même que les ressources nutritives sont les plus importantes.

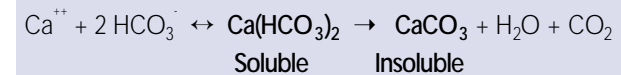
Dès qu'une certaine stabilisation apparaît, et surtout que la durée du jour augmente, le phytoplancton commence à proliférer, notamment les Diatomées. Elles épuisent alors progressivement les ressources nutritives de la zone euphotique (= éclairée) ; cette limitation, jointe à la consommation par le zooplancton herbivore, entraîne la diminution des peuplements algaux (phase dite des eaux claires).

Cette phase est rapidement suivie par la diminution du zooplancton, qui a épuisé sa ressource nutritive et qui se trouve lui-même consommé par des prédateurs. Une 2<sup>e</sup> phase de développement du phytoplancton, constitué généralement de petites algues de type Chlorophycées (algues vertes) se produit alors en été.

En automne, avec l'épuisement des nutriments dans la couche de surface, et avant la déstratification, de nouvelles espèces d'algues apparaissent, capables de résister à la prédation grâce à leur grande taille (Cyanobactéries, certains Péridiniens). La déstratification automnale entraîne la réaugmentation des nutriments dans les zones de surface, et l'apparition de grandes algues adaptées à la turbulence des eaux, avant la forte diminution hivernale du plancton.

#### Pourquoi l'eau du lac devient-elle laiteuse à certaines saisons ?

Dans les eaux riches en calcaire (ou autres composés similaires) provenant du lessivage des sols, il y a formation de composés carbonatés dont les propriétés de solubilité dans l'eau diffèrent : le bicarbonate de calcium  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  est soluble, tandis que le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  est insoluble :



La consommation du  $\text{CO}_2$  lors de la photosynthèse déplace l'équilibre vers la droite, ce qui provoque la formation de  $\text{CaCO}_3$  ; en précipitant, celui-ci donne cet aspect laiteux ou de "neige" visible à l'œil nu dans les lacs.

#### Pollution nutritionnelle et eutrophisation

Des apports de substances fertilisantes (phosphore, azote) vont permettre des développements excessifs du phytoplancton au sein du plan d'eau, générant des problèmes d'incompatibilité d'usages.

Ces apports en excès provoquent des modifications des équilibres écologiques au sein du plan d'eau, assez comparables dans leurs formes aux processus observés naturellement lors de leur vieillissement. Mais ces processus sont fortement accélérés puisqu'ils peuvent se produire en quelques années seulement !

#### Une fois que ce processus d'eutrophisation a démarré, il s'auto-alimente au cours d'un même cycle annuel, et pour les cycles suivants ...

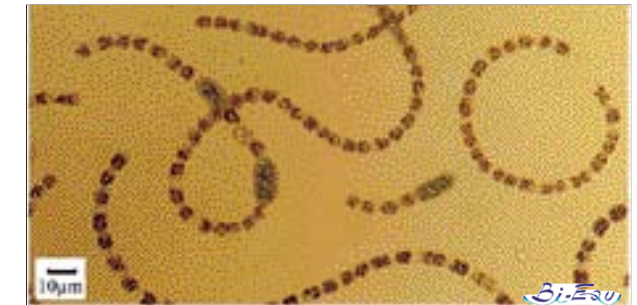
En effet, la désoxygénation des eaux profondes, due à la dégradation des matières produites en surface et qui sédimentent, provoque le relargage du phosphore piégé dans le sédiment : cette charge interne se rajoute alors à la charge externe (= apportée par le bassin versant) pour accélérer encore le processus, ou simplement pour l'entretenir au cas où les apports externes se réduiraient.

#### Dans certains cas extrêmes, les apports en phosphore sont tellement importants, que c'est l'azote qui devient limitant ...

Ce phénomène est à l'origine des fleurs d'eau à Cyanobactéries, dont certaines sont capables de fixer l'azote moléculaire ( $\text{N}_2$ ) dissous dans l'eau et qui provient pour l'essentiel de l'atmosphère.

Ce plancton, mi-bactérie mi-végétal, n'est pas consommé par les organismes herbivores, en raison de sa taille, ou de sa toxicité, ce qui explique ses intenses développements.

Ceux-ci peuvent cependant être limités par des modifications des conditions hydrodynamiques du milieu (augmentation des turbulences et de l'instabilité des masses d'eau ; plans d'eau à faible temps de séjour).



Vue microscopique d'*Anabaena spiroides* Klebahn (Cyanobactérie).

#### Pourquoi parle-t-on toujours des phosphates ?

Le phosphore P est, au même titre que l'azote N et le carbone C, un élément constitutif des cellules végétales qui contiennent :

$$1 \text{ P pour } 16 \text{ N pour } 106 \text{ C} \\ (\text{ou } 1 \text{ g P pour } 7,2 \text{ g N pour } 41 \text{ g C})$$

Or le phosphore est un élément rare naturellement, au contraire de l'azote et du carbone qui proviennent de l'atmosphère.

Ainsi, dans les milieux naturels non influencés par l'homme, le phosphore est en général rapidement consommé et donc absent de la masse d'eau, réduisant le développement des végétaux : on parle d'**élément limitant**.

Dans un tel milieu, il suffit d'un apport de phosphore, plus particulièrement sous forme de phosphate minéral soluble, pour déclencher une nouvelle poussée végétale.

### 2.1.2 PROBLÈMES LIÉS AUX MACROPHYTES

#### ■ NATURE

Par définition, les macrophytes sont des végétaux visibles à l'œil nu ; il s'agit aussi bien de macro-algues (Characées par exemple), que de mousses ou de végétaux supérieurs. Ces derniers, par opposition aux précédents, comportent des racines, des tiges, des fleurs et ils produisent des graines ; ils se développent généralement en herbiers dont la fonction vis à vis des équilibres bio-géochimiques et vis à vis de la faune aquatique est très importante (zone de refuge, de reproduction ou de nourrissage pour les poissons et les oiseaux).





On distingue les plantes flottant librement en pleine eau (lentilles d'eau, par exemple) de celles qui sont fixées au fond ; ces dernières sont soit totalement immergées (élodées), soit partiellement émergentes (roseaux, massettes) ou avec des feuilles flottantes (nénuphars, potamots).



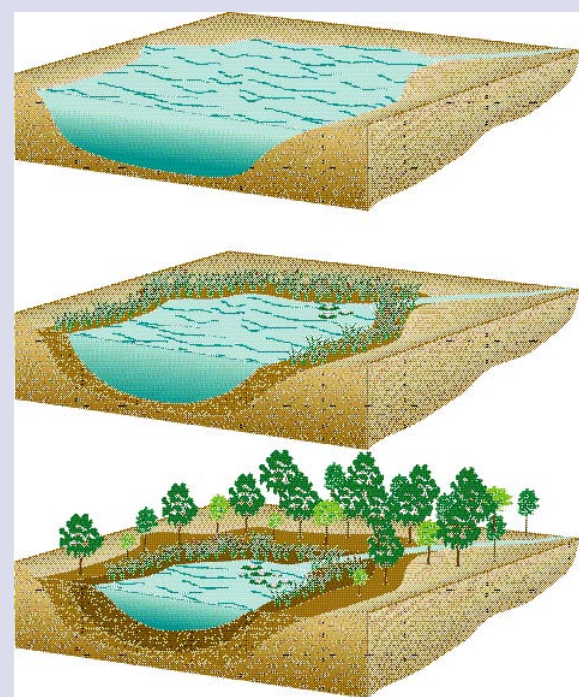
Dans certaines conditions, ces herbiers vont se développer de manière intense, ce qui aura comme conséquence pour l'homme de limiter les usages de loisirs : plaisance, baignade, voire même la pêche, ...

Une autre conséquence à plus long terme de ces développements d'herbiers concerne le fait qu'ils participent à l'accélération du comblement des cuvettes lacustres (notamment les moins profondes), en favorisant le piégeage des matériaux apportés par le bassin versant.

## ■ CAUSES DU DÉVELOPPEMENT DES HERBIERS

Les herbiers aquatiques se développent naturellement dans les zones peu profondes, bien éclairées, sur des sédiments fins et comportant les substances nutritives nécessaires.

Des développements envahissants d'herbiers aquatiques peuvent se produire suite à l'enrichissement du milieu en **substances fer tilisantes** (stimulation de la croissance des plantes), ou suite à l'**envasement pr ogressif** des zones lit-



torales de faible pente ou de la confluence des tributaires (mise à disposition de nouvelles surfaces "colonisables") ; ce phénomène naturel peut être accéléré par les activités humaines sur le bassin versant.



Exemple d'une mare forestière colonisée par les plantes aquatiques.

Un autre type d'envahissement rencontré dans de nombreux plans d'eau, cours d'eau, zones humides, etc... du quart sud-ouest de la France est celui des plantes aquatiques exotiques. Ces espèces (jussie, myriophylle du Brésil, lagarosiphon, égéria, etc.) ont une stratégie de reproduction très performante, par multiplication végétative : chaque fragment de tige doté de ses propres racines peut reformer un individu (on parle de racines adventives). Introduites le plus souvent par ignorance dans un plan d'eau, ces plantes sont capables de le coloniser rapidement, modifiant les paramètres physiques du milieu (piégeage des sédiments, consommation excessive d'oxygène, etc.) ; modifiant également le cortège spécifique initial (régression ou disparition des espèces, etc.) ; et limitant les usages de l'eau (se reporter aux fiches techniques n° 14, 17 et 18) pour des exemples de traitement de plans d'eau envahis par ce type de plantes).

Accélération du processus de comblement des plans d'eau par développement de la ceinture végétale (d'après Lacroix 1991).

Les apports naturels d'un bassin versant stimulent la croissance des plantes et entraînent l'envasement progressif des zones littorales de faible pente. La ceinture végétale littorale colonise cette bande et, en accentuant le piégeage des matériaux en provenance du bassin, contribue à l'étendre. La ceinture littorale "avance" ainsi progressivement vers le centre du plan d'eau ; à l'arrière, la diminution du degré d'humidité des sols entraîne l'évolution vers la zone humide, puis vers la forêt.

## 2.1.3 PROBLÈMES ENGENDRÉS PAR LES SÉDIMENTS

### ■ NATURE

Le plus "immédiat" et direct est bien entendu le **comblement du lac** qui, à terme, induit la disparition de tous les usages d'un plan d'eau !

Avant d'en arriver à cette extrémité, la diminution progressive des profondeurs entraîne petit à petit (i) la limitation des activités de loisirs (plaisance, baignade) qui ont besoin d'un minimum de hauteur d'eau ;

(ii) la limitation de la production hydroélectrique (notamment pour les ouvrages fonctionnant en éclusées), (iii) et celle de la production d'eau potable ;

(iv) de même les possibilités d'irrigation à partir d'un plan d'eau dont le volume disponible aura fortement régressé seront également compromises.

Par ailleurs, le comblement progressif du lac peut s'accompagner d'une diminution de la transparence des eaux (liée à la remise en suspension des matières déposées), trouble qui nuit à la fois à l'esthétique du plan d'eau mais également à la survie de certaines espèces de poisson ... donc



aux activités halieutiques.

Faible transparence des eaux d'une petite retenue hydroélectrique très envasée (photo A. Barillier - IRAP).

Le deuxième type de problème posé par les sédiments est lié aux **phénomènes de r elargage**, en condition d'anoxie, de différents composés normalement piégés (quand ils sont sous forme oxydée) dans le sédiment.

Ces composés peuvent être des substances fertilisantes (phosphore, azote), et elles stimulent alors la production végétale en poursuivant le processus d'eutrophisation du lac ...

... ou ils peuvent être des composés toxiques ou gênants vis à vis de la flore ou de la faune aquatique, mais surtout vis à vis des usages de l'eau, notamment la production d'eau potable (relargage de manganèse, de fer, d'hydrogène sulfuré, de métaux, ...).

## Quelles sont ces bulles qui montent à la surface du lac en été ?

Il peut s'agir de bulles d'oxygène produit en surface par les algues ou les herbiers (en général ces bulles restent alors piégées dans la végétation). La production est tellement importante que l'oxygène ne peut plus se dissoudre dans l'eau.

Mais il s'agit généralement de bulles de gaz (ammoniac, hydrogène sulfuré, méthane, ...) libérées depuis les sédiments en l'absence d'oxygène et qui proviennent de la décomposition de la matière organique.

## ■ CAUSES DU COMBLEMENT

### Evolution naturelle

Les plans d'eau sont condamnés à disparaître que ce soit pour des raisons tectoniques (éboulement, faille) ou climatique (évaporation), ou tout simplement par comblement.

Cette lente disparition s'accompagne d'une évolution morphologique qui entraîne également des modifications de structure et de fonctionnement de l'écosystème.

Ainsi, les apports du bassin versant entraînent progressivement l'envasement des zones littorales, qui devenues peu profondes sont colonisées par les macrophytes.

D'autre part, l'accroissement de la production végétale dans l'épilimnion entraîne la diminution de l'oxygène dissous dans l'hypolimnion ; il en résulte une réduction des capacités de décomposition de la matière organique par les micro-organismes ; une fraction sans cesse croissante de la matière produite n'est plus digérée par le plan d'eau qui se comble progressivement.

**Ce phénomène de comblement naturel et de diminution de la surface du plan d'eau est un atterrissement. En l'absence de perturbation climatique ou humaine, le lac évoluera naturellement vers l'état de marais, puis de prairies et enfin, vers la forêt.**

**Ce processus se déroule naturellement à l'échelle des temps géologiques pour les plus grands lacs.**

### Accélération des processus de comblement

Les activités humaines sur les bassins versants entraînent généralement une augmentation de l'érosion des sols. Les matériaux solides peuvent alors être transportés par les cours d'eau (transport en suspension ou par charriage sur le fond).

# TYPES DE PROBLÈMES RENCONTRÉS



La conséquence en est une **augmentation des apports en particules** minérales et organiques qui vont sédimenter dès que les conditions de courant le permettent, à l'embouchure des cours d'eau dans les lacs.



Zone humide sur le lac du Bourget (photo A. Barillier - IRAP).

Les pollutions nutritionnelles en stimulant la prolifération végétale entraînent une **augmentation de la biomasse** vivante dans les plans d'eau et donc de la quantité de "déchets" internes produits. Toute cette matière va être partiellement reminéralisée par l'activité bactérienne au sein de la masse d'eau, mais va également pour partie sédimenter, participant ainsi à l'accroissement du volume de sédiment.

**Ces deux modes de comblement (apports internes et apports externes) sont proportionnellement plus ou moins importants selon le volume du plan d'eau par rapport à la superficie du bassin versant, selon sa profondeur et sa superficie.**

## 2.1.4 AUTRES PROBLÈMES

### ■ POLLUTION BACTÉRIENNE

Les eaux naturelles abritent de nombreux micro-organismes : protozoaires, bactéries, virus. Ces eaux constituent pour certains d'entre eux l'habitat normal, et ils participent aux transferts d'énergie et de matière au sein du réseau trophique (on parle par exemple de "boucle microbienne").

D'autres micro-organismes ne parviennent qu'accidentellement au milieu aquatique, et on parle alors de **pollution bactérienne** : il s'agit en particulier des micro-organismes vivant normalement dans les animaux à sang chaud, vis à vis desquels ils peuvent avoir une **action pathogène** (coliformes, streptocoques, salmonelles, ...).

Ces micro-organismes ne se multiplient pas dans le milieu aquatique auquel ils ne sont pas adaptés physiologiquement ... mais ils peuvent y survivre plus ou moins longtemps selon l'espèce, la température du milieu, etc.

**Ces micro-organismes peuvent alors transmettre certaines affections aux usagers d'un milieu contaminé.**

Sous nos latitudes et à l'heure actuelle, les problèmes occasionnés vont des lésions cutanées aux troubles digestifs (diarrhées, gastro-entérites, ...). Dans les pays en voie de développement, les troubles sont beaucoup plus graves pouvant entraîner le décès des personnes contaminées (fièvres typhoïdes, choléra, ...).

### ■ POLLUTION TOXIQUE

Les apports de substances toxiques tels que les hydrocarbures, les pesticides, les cyanures, les acides, etc. entraînent la disparition des espèces les moins tolérantes, voire de la quasi-totalité des espèces présentes dans un milieu.

Ces apports peuvent être rares et d'origine **accidentelle** (fuites de cuves de stockage, renversement d'un véhicule de transport, ...), ou au contraire **chronique** (lessivages des chaussées routières avec entraînement des hydrocarbures, des métaux lourds, du sel (en période hivernale dans les zones de montagne, ...), des herbicides, des pesticides (lessivage des zones agricoles), etc.

Les pollutions brutales et massives peuvent entraîner la disparition d'un grand nombre d'espèces, la diminution de la diversité et des abondances et la disparition de l'ensemble des processus écologiques qui régissaient l'équilibre écologique... par disparition des "protagonistes".

Ces pollutions accidentelles sont a priori aisées à identifier et à traiter, en fonction de la taille du plan d'eau et de l'ampleur de la pollution, mais des effets à long terme peuvent se produire du fait de la rémanence de certains produits toxiques (dans les sédiments et dans la chaîne alimentaire).

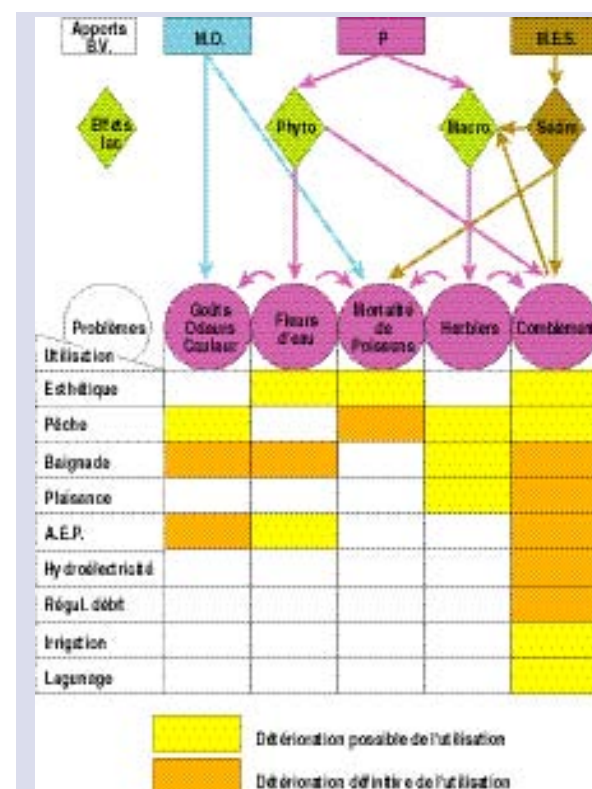
Dans le cas des pollutions chroniques et en particulier les pollutions diffuses, les effets peuvent être identiques (modification des cortèges spécifiques), et les traitements passent par l'interdiction de ces produits (ou un meilleur contrôle de leur modalité d'utilisation).

## 2.1.5. CONCLUSION

**La principale origine des détériorations d'usages liés à la dégradation des plans d'eau est généralement l'enrichissement du milieu en phosphore (schéma de synthèse ci-contre).**

Cet effet du phosphore n'est cependant pas direct, mais secondaire, par ses effets induits sur les développements végétaux qui sont, eux, les phénomènes limitant l'usage.

Le phosphore diffère en cela des autres types d'apports du bassin versant, comme les matières organiques, les matières en suspension ou même les bactéries, qui ont un effet direct vis à vis de l'usage.



Détérioration des usages résultant des principaux types d'apports du bassin versant (schéma Barroin, 1999).

*Le phosphore apporté par le bassin versant stimule la prolifération du phytoplancton et des macrophytes, ce qui entraîne la modification des équilibres biologiques.*

*Ces végétaux peuvent créer des fleurs d'eau ou des envahissements par les herbiers qui vont poser :*

- des problèmes de qualité des eaux, gênant la baignade, la production d'AEP, et dans une moindre mesure l'esthétique, ... (proliférations du phytoplancton) ;
- des problèmes de compatibilité vis à vis de la pêche, de la baignade, voire de la plaisance (proliférations des macrophytes).

*Dans les deux cas, il y aura également une incidence, qui peut être non négligeable, vis à vis du comblement des cuvettes, phénomène aboutissant à la restriction totale (à terme) des usages.*

## 2.2 CONFLITS D'USAGES

Le schéma ci-dessous résume les principales incompatibilités rencontrées en matière d'usages de plan d'eau (schéma d'après Barroin, 1999).

Utilisation	Esthétique	Pêche	Voile	Ski nautique Motonautisme	Plongée	Baignade	Hydro-électricité	Régulation des débits	Irrigation	A.E.P.	Lagunage
Esthétique	Compatible										
Pêche		Compatible									
Voile			Compatible								
Ski nautique Motonautisme				Compatible							
Plongée					Compatible						
Baignade						Compatible					
Hydro-électricité							Compatible				
Régulation des débits								Compatible			
Irrigation									Compatible		
A.E.P.										Compatible	
Lagunage											Compatible

Certains conflits se résolvent aisément par une réglementation délimitant les zonations spatiales et/ou temporelles de pratique des usages.



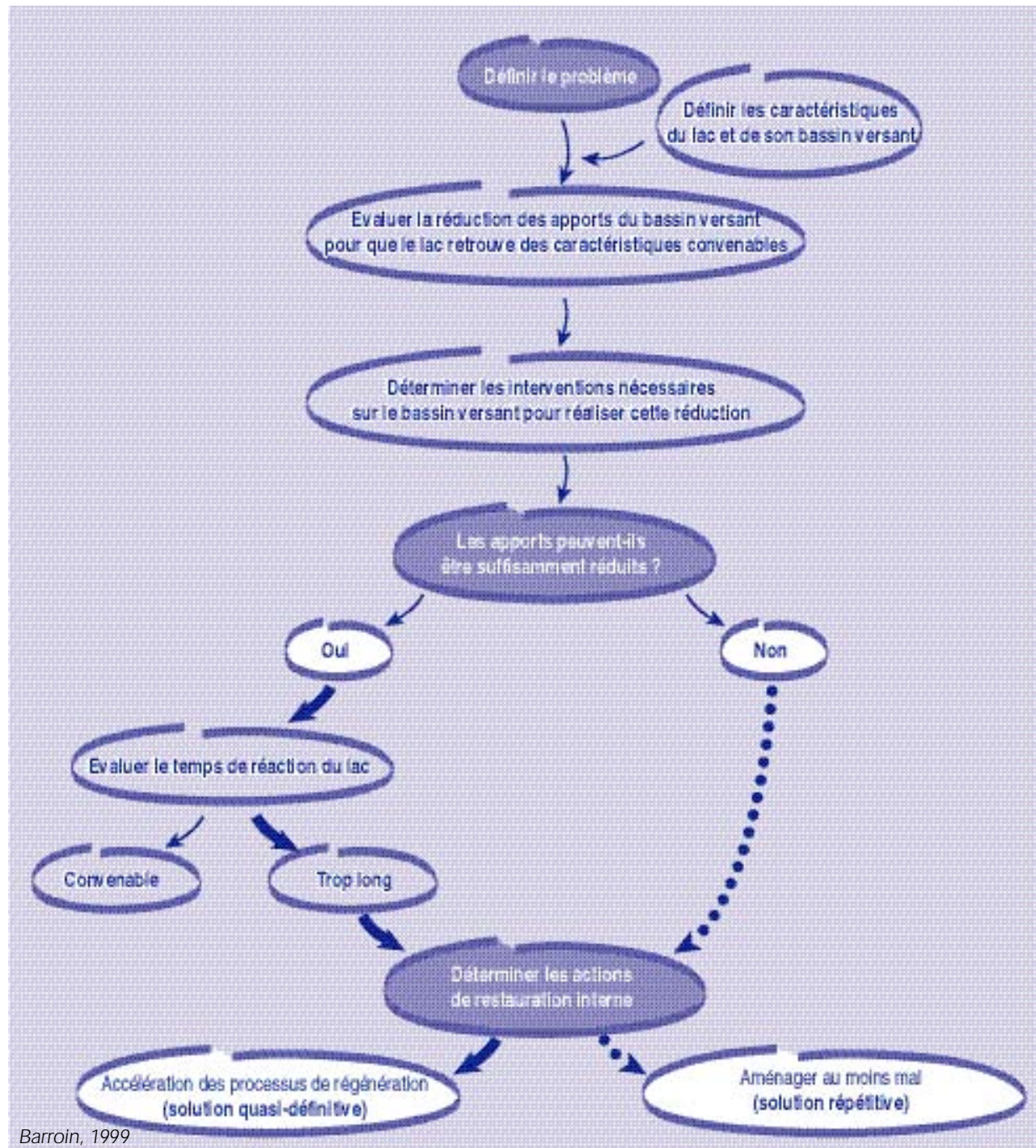
Délimitation d'une zone de baignade par une ligne de bouées (Plage du Lido sur le lac du Bourget). (photo M. Campagne - IRAP).

Pour d'autres, l'incompatibilité est due aux conséquences de la pratique de certains usages sur la qualité ou l'intégrité du milieu. A titre d'exemple, le lagunage ne permet pas d'autoriser un usage de baignade ou de sport aquatique, pour des raisons évidentes de qualité des eaux.



# STRATÉGIE D'INTERVENTION POUR LA RESTAURATION D'UN PLAN D'EAU

Pour des raisons d'efficacité et de coût, la stratégie d'intervention pour la restauration d'un plan d'eau passe nécessairement par toute une série d'étapes, depuis la définition du problème jusqu'à l'identification de la solution à appliquer.



## ■ DÉFINIR LE PROBLÈME

Une bonne définition du problème est évidemment primordiale : la consultation des utilisateurs et la connaissance de leurs difficultés passées et actuelles permettent de déterminer la nature et l'étendue du problème.

## ■ CONNAÎTRE LE LAC ET SON BASSIN

Cette étape permet d'identifier les causes dans le lac et l'origine, sur le bassin, des dégradations observées. Elle peut passer par une étude sommaire (basée sur la documentation) mais nécessite généralement des études plus poussées avec mesures et analyses. Les investigations sont à adapter (et cibler) au problème et au contexte, pour des raisons de coût et d'efficacité. Le guide "Faut-il curer ?" réalisé par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie présente la démarche globale d'étude préalable à adapter en fonction du contexte.

## ■ TRAITEMENT DU BASSIN VERSANT

Cette phase est prioritaire lorsque l'origine du problème est issue du bassin versant. Une réduction suffisante des apports permet alors de ne pas avoir à intervenir sur le lac ou seulement de manière ponctuelle pour accélérer le processus d'autorégénération. A contrario, une réduction insuffisante implique de répéter les actions internes pour pallier les conséquences de cette insuffisance.

Cette solution de traitement du bassin versant n'est malheureusement pas la plus souvent appliquée car les gestionnaires de plans d'eau ont en général peu de possibilités d'intervenir en amont. On observe cependant, depuis quelques années, la mise en œuvre de contrats de lacs (basés sur le même principe que les contrats de rivières) qui permettent d'agir efficacement sur les bassins versants.

## ■ CHOIX DE LA TECHNIQUE

Le choix de la technique va dépendre de tout un ensemble de facteurs qui sont chacun à considérer au préalable :

**la pertinence** : il s'agit d'utiliser une technique apte à traiter le problème considéré. Par exemple, il est inutile d'utiliser des bioadditifs sur des sédiments peu riches en matières organiques, les seules potentiellement "dégradées" par cette technique ;

**l'applicabilité** : toutes les techniques ne peuvent être appliquées partout, pour des raisons d'accessibilité, de dimensionnement, de contraintes d'usages, etc. A titre d'exemple, l'emploi d'herbicides sur un plan d'eau à vocation d'alimentation en eau potable ne peut être retenu ;

**l'efficacité et la fiabilité**, dépendantes de facteurs humains et techniques (compétence des intervenants), ou environnementaux (modification imprévisible), et notamment déterminées à partir des retours d'expérience d'applications ayant fait l'objet de suivis ultérieurs ;

**la durée de vie** de la technique est variable, du court terme (<1 an) au long terme (> 1 an) ; elle constitue également un facteur déterminant du choix ;

**les effets secondaires indésirables** : toute action sur un compartiment de l'écosystème aura des répercussions sur les autres compartiments ; ces effets sont à prendre en compte pour leur étendue dans l'espace et dans le temps ;

**la réversibilité** : toute action peut acquérir une autonomie propre, pouvant entraîner des effets indésirables et il est alors indispensable de s'assurer au préalable que ces effets sont réversibles ;

**les coûts** d'investissement et de "fonctionnement" doivent être évalués au cas par cas, y compris pour une même technique, les conditions d'application pouvant être très différentes selon les caractéristiques du plan d'eau.



# INTERVENIR EN AMONT DU PLAN D'EAU

## 4.1 OÙ ET COMMENT ?

Intervenir en amont du plan d'eau consiste à réduire les apports polluants à l'origine des dégradations du milieu, au niveau du bassin versant.

Ces apports polluants peuvent être "ponctuels", c'est-à-dire que leur origine est matérialisée sous forme d'un tuyau et qu'elle est parfaitement identifiable, ou sous forme diffuse, par opposition à la forme précédente.

Les premiers peuvent être assimilés aux pollutions dues aux activités humaines, les seconds à la pollution transportée lors des épisodes pluvieux qui génèrent un lessivage des sols (prairies, zones imperméabilisées, ...).

L'intervention peut alors se faire à différents niveaux comme le montre le schéma ci-dessous :

### Réduire les apports polluants en amont du plan d'eau

#### à la source

##### En évitant d'utiliser l'eau

peu envisageable dans des pays industrialisés où l'eau n'est pas limitante, ce qui en fait un instrument fondamental de l'assainissement (plus de 90% de l'eau utilisée sert à véhiculer la pollution. Barroin 1999).

##### En évitant de polluer l'eau

- par suppression de composés du phosphore dans certains produits (lessives, industries, ...),
- par modification de certaines pratiques culturelles, domestiques, ...

#### au niveau des effluents

##### En collectant bien les effluents

- domestiques (hors zone où l'assainissement autonome est recommandé),
- de lixiviats de décharges,
- industriels,
- d'élevages,
- de ruissellements urbains,

en veillant à ne pas "mélanger" les effluents incompatibles (certaines industries).

##### En traitant bien les effluents

Les performances des systèmes épuratoires tiennent aussi bien à leur conception qu'à leur bonne exploitation et maintenance.

##### En dérivant les effluents hors bassin versant :

Cela nécessite à la fois un taux de collecte élevé et un réseau séparatif pour éviter les problèmes de déversoirs d'orages. Par ailleurs ce type de solution ne fait que transférer le problème à l'aval...

#### au niveau des affluents

Les apports non évités à la source ou non traités finissent par arriver au lac essentiellement par le biais des affluents.

Il existe alors encore des solutions de piégeage du phosphore notamment, dont les différents procédés dépendent en fait du débit de l'affluent et de la performance de déphosphatation souhaitée.

## 4.2 PROCÉDÉS UTILISÉS AU NIVEAU DES AFFLUENTS

Les interventions au niveau de l'arrivée des affluents dans les plans d'eau suivront l'un des deux principes suivants :

- soit, le piégeage du phosphore par teneur par filtration (sur sol ou sol reconstitué) ou par sédimentation (dans des bassins artificiels ou au sein du plan d'eau lui-même) ;
- soit le traitement du phosphore, au niveau de stations de déphosphatation ou par conservation de zones humides (marais, marécages, ...).

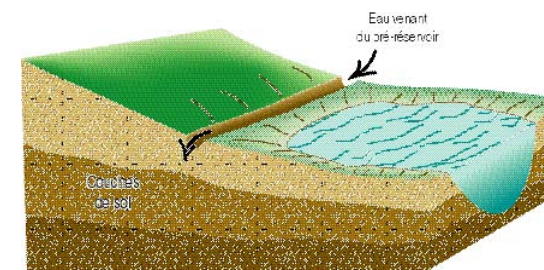
Ces procédés, basés sur quelques principes différents, auront des domaines d'application spécifiques, avec des efficacités dépendant de facteurs environnementaux extérieurs.

### Infiltration (fossés et bassins)

#### Principe :

Sous certaines conditions dépendant de leurs caractéristiques, les sols sont capables de fixer le phosphore présent dans les eaux qui les traversent. Les sables argileux (argiles sableuses) conviennent bien.

La mise en place d'un pré-bassin (en amont) favorise la décantation des matières en suspension, ce qui facilite ensuite l'infiltration.



Représentation schématique d'un fossé d'infiltration (Barroin, 1999)

#### Limites / Contraintes :

La technique est adaptée :

- aux petits bassins versants où les orages ne provoquent pas de crues ;
- à des débits entrants faibles (< 100 l/s) et peu variables.

Pour garantir un fonctionnement pérenne de ce dispositif, il faut :

- prévoir des curages réguliers du pré-bassin pour lui conserver son volume ;
- remplacer régulièrement le lit d'infiltration pour lui conserver sa perméabilité.

### Filtration sur filtres à alumine activée

#### Principe :

Un filtre rempli d'alumine activée (oxyde d'aluminium particulièrement sélectif vis-à-vis de la fixation des phosphates) est immergé dans le bassin collecteur. L'eau est filtrée et déversée à l'aval.

L'élimination du phosphore peut atteindre 75 à 80 % et l'ensemble des autres paramètres de la qualité de l'eau est également amélioré.

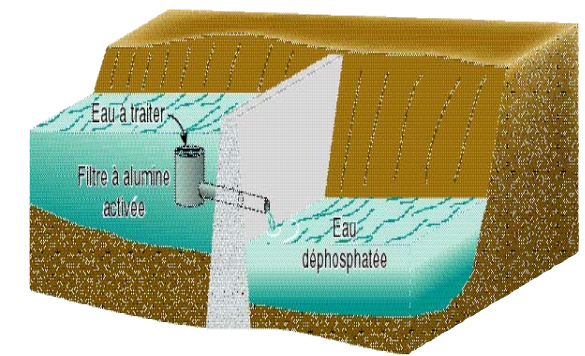


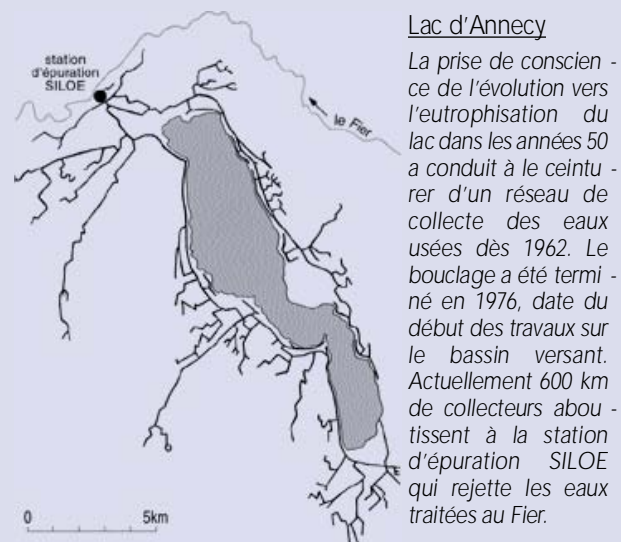
Schéma d'installation d'un filtre à alumine activée (d'après Bernhardt et Clasen, 1985, in Barroin, 1999)

#### Limites / Contraintes :

- le cours d'eau entrant doit avoir un débit très faible (inférieur à 50 l/s) ;
- le filtre doit être nettoyé tous les mois (à contre-courant) ;
- l'alumine doit être régénérée tous les 18 mois ;
- le bassin collecteur doit être régulièrement curé, en fonction de l'importance des dépôts résultant du bassin versant et du nettoyage des filtres.

Peu d'exemples ont été trouvés en France.

Celui qui se rapproche le plus de cette technique a été appliqué sur la rivière de Pont l'Abbé en amont de la retenue de Moulin Neuf (cf. fiche technique n°37). Ce procédé a permis d'abaisser les teneurs en phosphore de la rivière de 80 à 95 % selon les périodes de l'année.



#### Lac d'Annecy

La prise de conscience de l'évolution vers l'eutrophisation du lac dans les années 50 a conduit à la conception d'un réseau de collecte des eaux usées dès 1962. Le bouclage a été terminé en 1976, date du début des travaux sur le bassin versant. Actuellement 600 km de collecteurs aboutissent à la station d'épuration SILOE qui rejette les eaux traitées au Fier.

Le lac a ainsi rapidement retrouvé et conservé un niveau de qualité oligo-mésotrophe (sources : APEGE & SILA).

# INTERVENIR EN AMONT DU PLAN D'EAU



## Pré-réservoirs bio-réacteurs

### Principe :

Le principe est double : il s'agit d'améliorer la qualité des eaux entrant dans le plan d'eau :

- par **sédimentation** des particules charriées, dans un ou plusieurs petits bassins, plus faciles à curer que le plan d'eau lui-même.
- On élimine alors le phosphore fixé sur les argiles et les hydroxydes de fer naturellement présents ;
- par **consommation** du phosphore par le phytoplancton.

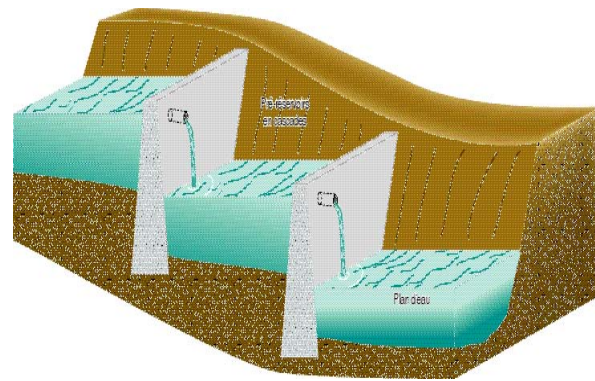


Schéma de réservoirs disposés en cascade en amont du plan d'eau. (schéma IRAP)

Pour garantir son efficacité, le pré-réservoir doit alors être parfaitement dimensionné et géré :

- profondeur < 3 m (permettre à la lumière de pénétrer jusqu'au fond) ;
- temps de séjour compris entre 3 j (laisser suffisamment de temps au phytoplancton pour qu'il puisse se développer) et 10 j (empêcher le développement des cyanobactéries et du zooplancton).

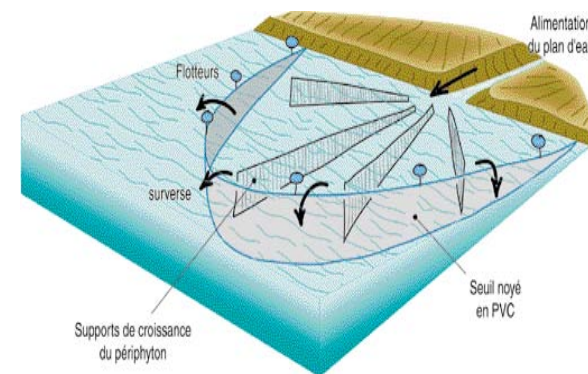
### Limites / Contraintes :

- la teneur en phosphore de l'eau entrante doit être inférieure à 0,5 mg/l ;
- curage du bassin tous les 5 à 10 ans ;
- prise d'eau de sortie en surface (pour assurer la teneur minimale en nutriments) ;
- introduction de poissons planctonophages qui en consommant le zooplancton éliminent les brouteurs d'algues ;
- veiller à maintenir le fond oxygéné, sous peine de voir un enrichissement de la masse d'eau en nutriments.

## PEL Basin system

### Principe :

Le principe est proche de celui des pré-réservoirs construits en dur, sauf que le barrage est "souple" et qu'il est implanté dans la queue de la retenue à protéger ; on y associe des parois longitudinales immergées qui permettent d'accroître la surface disponible pour le périphyton (= algues fixées), qui contribue comme le phytoplancton à éliminer le phosphore.



Représentation schématique d'un "PEL Basin" (d'après Lafforgue 1998).

### Limites / contraintes :

Comme précédemment, un tel système n'est efficace que s'il est correctement dimensionné et bien géré :

- temps de séjour des eaux compris entre 3 et 10 j en été ;
- profondeur maximale de 3 à 4 m ;
- introduction de poissons planctonophages (cette fois-ci en cage d'élevage, pour éviter la colonisation de la retenue).

Ce type de procédé est efficace, sous nos latitudes, pour des débits entrants faibles (en été).

Une variante consiste à réaliser la précipitation et la **sédimentation du phosphore (par ajout d'un réactif) directement au sein du plan d'eau** au niveau de l'embouchure. Ce traitement est efficace pour des retenues peu profondes, aux charges importantes en phosphore, et au temps de séjour réduit. Elle nécessite une extraction régulière des matériaux déposés.

Le recyclage ou la mise en décharge des déchets extraits est un élément à part entière de la filière de traitement.

## Station de déphosphatation

Le procédé le plus efficace consiste à traiter l'ensemble du débit de l'affluent par un procédé de déphosphatation, basé sur les mêmes principes que pour le traitement des eaux usées domestiques (traitement par floculation et filtration).

Cette technique, appliquée en Allemagne sur le réservoir de Wahnbach a permis d'éliminer 95 % du phosphore total et 90% des phosphates des eaux entrantes d'un réservoir de 41,4 Mm<sup>3</sup>, ce qui a permis de réduire fortement les phénomènes d'eutrophisation, notamment les blooms de Cyanobactéries qui étaient très dommageables vis à vis de la production d'eau potable.

Le coût très élevé et le résultat précaire (car les autres affluents de ce réservoir sont également sources d'apports en nutriments) limitent cependant la mise en œuvre de cette technique à des cas bien spécifiques.

## Zones humides

On observera également que les **zones humides** déjà présentes sur certains plans d'eau ("queue" de retenue, par exemple) ont le pouvoir naturel de participer dans une certaine mesure à la réduction des flux nutritionnels des eaux entrantes, par piégeage des matières en suspension (incluant le phosphore particulaire) et dénitrification (élimination de l'azote), l'action vis à vis des différentes formes du phosphore étant très variable selon les zones humides.

Différents cas d'aménagement de ce type de milieu existent en France ; citons l'aménagement d'une roselière en amont du lac des Sapins ou d'une cressonnière en amont du lac de La Roche (Loire Atlantique) (cf. fiche technique n°28), dont les efficacités respectives restent encore peu probantes.

Aménagement d'une roselière en amont du lac des Sapins (Rhône) (photo C. Nivon. - IRAP).





# INTERVENIR DANS LE PLAN D'EAU

## 5.1 CONTENU DU CHAPITRE

Ce chapitre présente de manière générale les différents types de procédés utilisés dans la restauration des plans d'eau.

Pour chaque type de procédé, sont indiqués les objectifs généraux à atteindre, le principe d'action, les limites d'application, les effets secondaires et l'efficacité ; cette dernière est appréciée à partir du retour d'expérience des plans d'eau ayant fait l'objet d'un traitement curatif sur le territoire national, et dont le recensement a été réalisé en 2000 dans le cadre de l'élaboration de ce guide.

Dans chaque cas, un renvoi est effectué à la fiche technique détaillée correspondante (en fin du guide), comportant chacune une description du procédé et deux exemples précis d'application.

Ces descriptions sont synthétisées au niveau d'une analyse comparative, qui débouche au chapitre suivant sur une clé décisionnelle ; celle-ci permet de définir, pour chaque type de problème et pour différentes conditions environnementales, la technique a priori la mieux adaptée à la restauration des usages d'un plan d'eau.

## 5.2 PROCÉDÉS CHIMIQUES

### Objectifs et principes généraux

L'ajout de composés chimiques dans la masse d'eau ou dans le sédiment vise à limiter les développements de végétaux, soit directement, soit via la réduction des teneurs en phosphore dans l'eau.

Les procédés peuvent être utilisés de manière indépendante ou associée et consistent en :

- une précipitation du phosphore (= éliminer le phosphore de la masse d'eau) - Fiches 35 - 36 - 37

Ces techniques ont montré une **efficacité limitée** car elles mettent en œuvre des doses faibles de réactifs. Elles concernent surtout des plans d'eau où la charge interne en P est faible au regard de la charge externe. Leur durée de vie est variable, de très courte à environ 1 an selon les composés utilisés, entraînant un traitement récurrent. Si cette répétition peut poser problème dans certains cas, elle peut être justifiée dans d'autres, par exemple dans les plans d'eau à taux rapide de renouvellement des eaux (plusieurs fois par an). Quelques difficultés de mise en œuvre ont trait au dosage des réactifs (notamment les sulfates d'alumine) ou au protocole d'épandage.

Par ailleurs, l'intérêt de l'utilisation de **sels de fer**, également très efficace vis à vis du piégeage du phosphore, peut également être remise en cause en cas d'anoxie du fond du plan d'eau, le fer "relachant" alors le phosphore.

- une inactivation des sédiments (= empêcher le relargage du phosphore piégé dans les sédiments vers la masse d'eau) - Fiches 35 - 36 - 37

L'inactivation des sédiments par voie chimique peut être utilisée en complément de la précipitation du phosphore, soit en épandant des réactifs depuis la surface, soit en les injectant directement dans le sédiment.

Il s'agit de techniques **efficaces à condition** que les apports externes de P aient été éliminés et que l'ensemble de la surface du plan d'eau soit traitée. Les résultats sont fiables sur le long terme, mais peuvent avoir des effets secondaires plus ou moins indésirables.

Dans le cadre de l'épandage "en surface", les produits utilisés peuvent être simplement des **sels de calcium** (craie, chaux), qui agissent aussi très efficacement dans la précipitation des matières en suspension et qui contribuent ainsi rapidement à l'éclaircissement des eaux, mais de manière très temporaire ; le recouvrement des sédiments d'une couche de craie ou de chaux permet d'éviter tout contact entre le sédiment et l'eau surmontante, et donc tout relargage, seulement si cette couche est suffisamment épaisse ("bétonnage" du fond !). Dans le cas contraire, l'augmentation de la reminéralisation des matières organiques du sédiment (*favorisée par l'augmentation de pH induite par le produit*) va se traduire par l'accroissement du relargage et la stimulation du développement des Cyanobactéries...

Cet effet secondaire de l'épandage de chaux (*reminéralisation*) est en fait recherché dans certains cas, pour réduire la hauteur des vases, résultat généralement peu perceptible, même quand les teneurs en matières organiques dans le sédiment sont élevées.

Les **sels et les sulfates d'aluminium** sont également très utilisés dans l'inactivation des sédiments, en raison de leur efficacité y compris dans les milieux anoxiques. Cette technique présente des difficultés de dosages et d'épandage liées :

- à la maîtrise du pH et à la toxicité de l'ion  $Al^{3+}$  (notamment son éventuel relargage à l'interface eau-sédiments) ;
- à la répartition uniforme des composés et leur mélange avec le sédiment ;
- aux risques de remise en suspension de sédiments anoxiques lors du mélange avec les réactifs.

Du fait de ces difficultés, des **techniques d'injection directe** au niveau du sédiment ont été développées (tubes perforés en V pour l'injection du sulfate d'alumine, par exemple). Dans certains cas (procédé Riplox), on utilise les sels de fer

couplés à un oxydant (nitrate de calcium), éventuellement associés à la chaux (pour remonter le pH). Ces procédés permettent de traiter la couche superficielle des sédiments sur une épaisseur de 15 - 20 cm. Le coût de revient de ce type de technique est légèrement supérieur à celui de l'inactivation depuis la surface, en raison de difficultés opérationnelles supplémentaires pour l'injection.

- l'utilisation des algicides - Fiches 2 - 26

Les algicides sont employés pour faire chuter rapidement la biomasse algale.

Ces produits, notamment le **sulfate de cuivre**, ont une efficacité variable, dépendante des conditions générales du milieu et des espèces algales présentes : certaines Diatomées coloniales sont par exemple réfractaires et certaines algues vertes filamenteuses et cyanobactéries sont devenues résistantes. Même quand le traitement est efficace, sa durée de vie est limitée (surtout pour les plans d'eau de faible temps de séjour, par effet de dilution), ce qui nécessite un emploi régulier au cours d'une même saison ; de plus l'emploi de ces produits induit de **nombreux effets secondaires indésirables** : toxicité vis à vis de l'ensemble de la faune (d'autant plus qu'ils ont tendance à s'accumuler dans la chaîne alimentaire) ; développement d'une résistance au produit chez certaines algues ; accentuation possible de la libération de toxines par certaines Cyanobactéries ; génération de problèmes de potabilisation s'ils sont employés massivement à l'amont de prise d'eau potable ; risques de toxicité dans les sédiments à terme (si ces sédiments sont retirés pour être valorisés en agriculture par exemple).

- l'utilisation d'herbicides - Fiches 24 - 25

L'objectif est de contrôler la végétation aquatique au moyen d'une substance chimique qui détruit les plantes ou inhibe leur croissance.

Les herbicides homologués en France pour utilisation en milieu aquatique sont peu nombreux et les spécialités commerciales autorisées sont référencées annuellement dans un index phytosanitaire.

Cette technique nécessite de nombreuses précautions pour éviter les problèmes d'environnement, d'hygiène et de sécurité (bien identifier les espèces à traiter, bien délimiter les zones traitées, bien respecter le dosage, ...).

Elle constitue un moyen de contrôle généralement **efficace sur le court terme**, mais sa faible rémanence nécessite des traitements réguliers (chaque année, et plusieurs fois par an éventuellement).

Ce procédé présente des **effets secondaires indésirables** qui résultent essentiellement de la décomposition des plantes atteintes (désoxygénation, d'où élimination de la

faune aquatique peu mobile et augmentation des relargages par les sédiments, d'où une stimulation du phytoplancton, d'autant plus que la lumière n'est plus limitante du fait de l'élimination des macrophytes, ...).

Cette technique est souvent utilisée en France, avec un taux de satisfaction des gestionnaires de plans d'eau de l'ordre de 50%.

## 5.3 PROCÉDÉS BIOLOGIQUES

### Objectifs et principes généraux

Les objectifs sont :

- de limiter la désoxygénation des eaux du fond en réduisant la matière organique contenue dans les sédiments ;
- de limiter la prolifération de végétaux en modifiant la chaîne trophique.

Les principes mis en œuvre sont globalement d'introduire dans le milieu des organismes dont l'action va influencer les équilibres bio-chimiques et l'ensemble des interactions dans l'écosystème.

En partant du plus "petit" au plus "grand" organisme ces techniques sont les suivantes :

- ajout de bioadditifs - Fiches 38 - 39 - 40 - 41

Ce procédé est le plus souvent utilisé dans l'espoir de réduire le volume de sédiments, en agissant sur les matières organiques qu'ils contiennent. L'introduction de bactéries associées à des supports calcaires ou argileux doit favoriser la reminéralisation de ces matières, et secondairement réduire la désoxygénation des eaux du fond.

Un **large débat** subsiste actuellement sur l'**efficacité réelle** de ce procédé en raison du peu de retour d'information objective (peu de suivi des milieux après traitement ; traitement associé à d'autres techniques ; etc.). Dans le cadre de l'élaboration de ce guide, l'enquête menée en France montre une absence d'efficacité dans la moitié des cas et une efficacité douteuse pour un quart des autres cas. L'amélioration, quand elle est prouvée, est **temporaire** (cf. *Etang de l'Abbaye aux bois*, fiche 39). De plus, elle n'est pas toujours attribuable aux bactéries, mais plutôt à leur support tel que la craie.

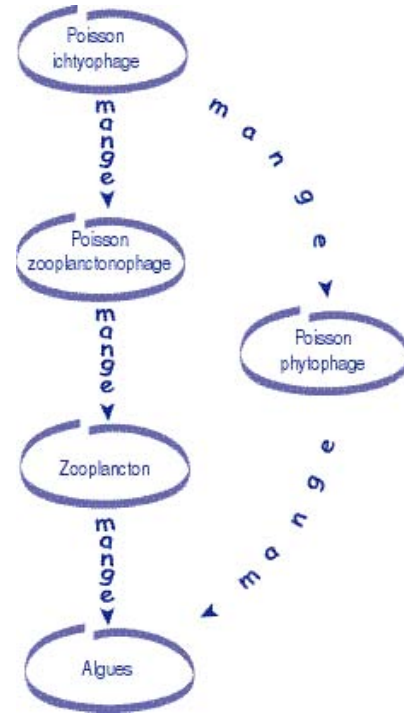
En conclusion, l'addition de bioadditifs peut se traduire par une légère amélioration du milieu (éclaircissement des eaux, diminution des vases, retour à des conditions aérobie), mais son effet est généralement de courte durée nécessitant des interventions régulières, et relativement peu fiables.



## • Biomanipulation (Fiches 3 - 4) et contrôle biologique (Fiche 23)

Le principe est d'utiliser l'activité d'organismes vivants pour contrôler le développement de la végétation ; on parle de "biomanipulation" dans le cas des algues et de "contrôle biologique" dans celui des macrophytes.

La **biomasse algale** peut ainsi être réduite par introduction soit d'organismes qui vont directement la consommer, soit d'organismes qui élimineront les organismes prédateurs des herbivores.



En agissant sur l'un ou l'autre des compartiments biologiques, on agit in fine (théoriquement) sur le développement des algues (élimination ou augmentation), si les éléments nutritifs et les autres conditions du milieu (ensoleillement, température, stabilité de la masse d'eau, ...) ne sont pas limitants ou stimulants par ailleurs.

Concrètement, ce procédé revient à introduire des **poissons phytophages** (en général la carpe argentée) ou éliminer des poissons prédateurs du zooplancton, par pêche sélective, ou emploi de produits piscicides, ou introduction de poissons piscivores (brochets, perches, etc.).

Ce procédé est rarement utilisé en France pour le contrôle des algues ; des études sur la retenue de Villerest ont par exemple mis en évidence la stimulation de la croissance algale par les rejets des carpes (Domaison, 1993). Cette technique est par contre souvent utilisée au Maroc. Ainsi, la carpe argentée introduite depuis 1987 dans le lac Sidi Mohamed Ben Abdellah a permis de réduire les blooms phytoplanctoniques et de les décaler de juin à septembre (Foutlane & Bouloud, 1994).

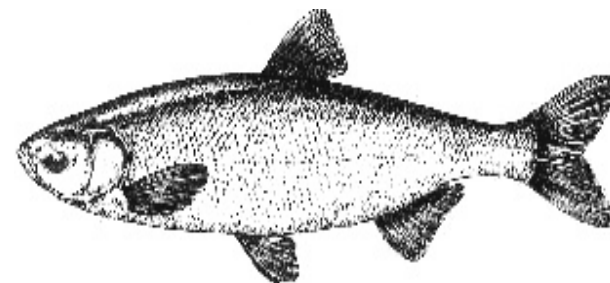
L'introduction de **poissons piscivores** doit représenter entre 30 et 40 % du peuplement total, et comporter une certaine diversité d'espèces.

La biomanipulation est d'une efficacité et d'une fiabilité très aléatoires et douteuses en raison de la complexité des processus considérés : s'agissant d'une action indirecte, il faut s'assurer que tous les maillons de la chaîne vont réagir comme prévu, ce qui est bien évidemment peu garanti.

Par ailleurs, elle présente des risques d'effets indésirables pour les milieux aval (transferts des produits piscicides aussi bien que des poissons introduits).

Les **macrophytes** peuvent également être contrôlées soit de manière directe, par introduction d'animaux phytophages ou d'organismes pathogènes pour les plantes, soit de manière indirecte, par destruction des habitats ou compétition interspécifique.

L'introduction de la carpe Amour blanc (carpe chinoise), interdite dans les eaux non closes, a montré une certaine efficacité sur l'élimination des herbiers des plans d'eau, sous réserve que quelques conditions environnementales soient bien respectées (en matière de température, densité de poisson, espèces végétales à consommer, etc.) ; se reporter aux exemples présentés en fiche 23, concernant des gravières à Chateauneuf du Rhône et à Mariol, où l'introduction de la carpe Amour a donné totalement satisfaction aux gestionnaires.



On peut également utiliser les effets de compétition entre espèces, et ainsi en planter certaines pour éviter qu'une autre "non souhaitée" n'envahisse un plan d'eau.

L'efficacité de ces techniques (et notamment du broutage par les poissons phytophages) et leur fiabilité sont dépendantes du bon "dosage" réalisé. Il s'agit également d'un "investissement" à moyen - long terme, car il est nécessaire de laisser le temps au système de réagir.

Cependant, ce procédé peut présenter des effets secondaires indésirables, tels que la stimulation de la production algale, la déstabilisation des zones littorales, des incidences non prévisibles sur la faune aquatique et aviaire qui sont inféodées aux herbiers pour la reproduction ou le nourrissage, les risques d'introduction de parasites et de maladies.

## 5.4 PROCÉDÉS PHYSIQUES

Ils sont nombreux et variés, visant aussi bien les sédiments que les macrophytes ou la masse d'eau en elle-même.

### 5.4.1 TRAITEMENT DES PROBLÈMES D'ALGUES

#### • Chasse et Dilution - Fiche 5

On limite la prolifération algale en introduisant dans le plan d'eau

- de l'eau de teneur indifférente en phosphore mais à débit élevé (= chasse),
- ou de l'eau pauvre en phosphore à débit indifférent (= dilution).

Outre que ces techniques ne sont pas applicables de manière classique (où trouver de l'eau en été, quand les phénomènes d'eutrophisation sont les plus gênants ?), elles ont une efficacité et une fiabilité moyennes (toujours liées à cette disponibilité en eau).

#### • Déstratification - Fiche 6

Cette technique agit sur plusieurs facteurs :

- elle **casse** (ou empêche) la stratification thermique estivale qui génère une zone d'eau "morte" au fond du lac ;
- elle **oxygène** l'ensemble de la colonne d'eau (y compris à l'interface eau - sédiment, ce qui limite le relargage) ;
- et enfin elle **mélange** l'ensemble des eaux du lac, cette homogénéisation permettant de moyenniser leur qualité.

Cette déstratification s'obtient soit par injection d'air au fond, soit par mélange mécanique (pompes), ce dernier étant moins souvent utilisé.



Schéma d'un dispositif de déstratification (d'après Aquatechnique)

Ce procédé est généralement **efficace vis à vis des algues** (notamment les Cyanobactéries) si le temps de séjour des eaux dans le lac est suffisant (> 15j en été) mais

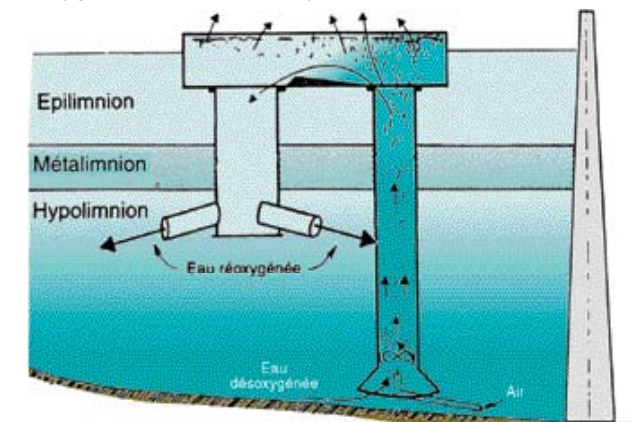
pas forcément vis à vis de la charge interne en phosphore (notamment quand la capacité de fixation du phosphore reminéralisé par le sédiment est dépassée).

De plus cette efficacité est liée à un bon dimensionnement du système, à la période de démarrage du traitement (avant l'installation de la stratification), et elle dépend également du type de lac. Les meilleurs résultats sont observés sur des lacs profonds, où la lumière, plus que le phosphore, limite le développement algal. Dans ce cas, le coût d'installation est alors important et d'autres techniques deviennent compétitives ; ceci explique que ce procédé est généralement plus utilisé sur des lacs dont la profondeur est comprise entre 5 et 15 m.

#### • Aération hypolimnion - Fiche 7

L'objectif est d'**oxygéner les eaux du fond du lac (sans perturber la stratification thermique) afin d'éviter les relargages depuis le sédiment, et permettre le maintien des poissons d'eau froide (salmonidés) dans les zones habituellement désoxygénées.**

Le principe est de prélever l'eau du fond (par pompage ou effet d'air lift), de l'oxygéner (par contact avec de l'air ou de l'oxygène pur) et de la ré-injecter au fond.



Aérateur hypolimnion du réservoir de Wahnbach (ex-RFA) (Lorenzen & Fast, 1977, In Barroin, 1999)

L'efficacité de cette technique est liée à un bon dimensionnement préalable et également à la configuration du site : il est nécessaire en particulier que le lac marne peu et qu'il soit relativement profond (12 - 15 m, 20 m en cas d'injection d'oxygène pur).

Cette technique est efficace vis à vis des **objectifs "piscicoles" et de la production d'eau potable** (amélioration de la qualité des eaux) mais **pas forcément vis à vis des proliférations algales** en particulier quand le phosphore externe est encore important ou quand la capacité de fixation par le sédiment du phosphore reminéralisé (en milieu oxydé) est dépassée.



## • Soutirage hypolimnique - Fiche 8

Les eaux du fond sont préférentiellement éliminées afin d'assurer un renouvellement plus rapide, et éviter l'accumulation d'éléments indésirables vis à vis de la production d'eau potable et des proliférations algales (fer, manganèse, phosphore, ...).

Le dispositif utilise à la fois une canalisation posée au fond et un barrage dressé à l'exutoire naturel du lac. Il s'applique aux lacs suffisamment profonds, très stratifiés, et pour lesquels la charge externe en phosphore est négligeable par rapport à la charge interne. Cette technique a été appliquée au lac de Paladru dans l'Isère (Fiche 4), bien que l'intervention au niveau du bassin versant ait eu lieu après la mise en œuvre du soutirage.

Les difficultés de cette technique ont trait essentiellement à la régulation du débit soutiré : trop faible, il n'aura pas d'impact sur le fonctionnement du plan d'eau ; trop élevé, il entraîne un enfoncement de la thermocline avec risque de déstratification et réchauffement des eaux, phénomènes entraînant une forte dégradation de la qualité des eaux et de l'équilibre du lac.

Si le système est bien dimensionné et géré, il réduit **très efficacement** la concentration en phosphore des eaux du lac, mais également du sédiment superficiel, ce qui induit une amélioration qualitative et quantitative du phytoplancton, sur **le court et le long terme**. Ce système permet de conserver les usages pendant le traitement.

Les effets secondaires indésirables ont trait à la dégradation de la qualité des eaux du milieu récepteur à l'aval, qui peut nécessiter la mise en œuvre d'une modulation du soutirage (compromis), ou le traitement des eaux soutirées avant le rejet vers l'aval.

## • Recouvrement des sédiments - Fiche 22

L'inactivation chimique des sédiments peut théoriquement être remplacée par une séparation physique des sédiments des eaux du lac, en utilisant des géomembranes.

On observera que cette technique, utilisée au Danemark, n'a que très peu d'exemples d'application en France (lac de Hautefort, en Dordogne).

Outre les difficultés techniques de mise en œuvre, ce procédé présente de nombreux inconvénients (suppression de la faune et de la flore benthique, des frayères, etc), accentués par le fait qu'il s'agit d'une technique irréversible.

## • Dragage des sédiments - Fiches 10 - 11 - 12 - 13

L'objectif est d'éliminer la fraction de sédiment responsable de la charge interne en phosphore, en vue de réduire les développements algaux. Il peut également s'agir de redonner une certaine capacité au lac, dans le cas d'un envasement.

Le dragage peut être réalisé "en eau", au moyen de dragues mécaniques (qui donnent de mauvais résultats en raison d'une trop grande remise en suspension des sédiments) ou de dragues hydrauliques, ou sur un lac vide (ce qui présente l'inconvénient de devoir vidanger le lac).



Aspirodragueuse (photo CNR).

C'est une opération très **efficace à court et long terme** sur les lacs peu profonds, envasés et dont la charge interne en phosphore est prépondérante par rapport à la charge externe. Les effets secondaires sont négligeables, limités à la période de travaux en général, et dans tous les cas rapidement réversibles.

L'inconvénient majeur de cette technique (hormis un coût pouvant paraître élevé) est le devenir des sédiments extraits (mise en dépôt, valorisation agricole, etc).

## 5.4.2. TRAITEMENT DES PROBLÈMES DE MACROPHYTES

### • Dragage - Fiches 10 - 11 - 12 - 13

Il permet d'éliminer les herbiers et leurs organes souterrains, les sédiments supports physiques et sources de nutriment, et d'augmenter la hauteur d'eau ce qui réduit la quantité de lumière (et donc la flore) au niveau du sédiment.

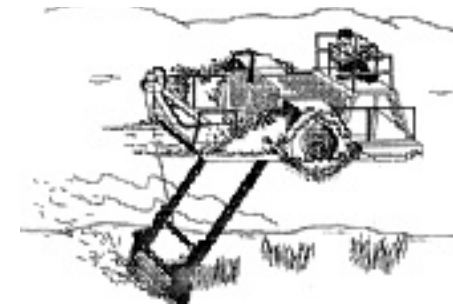
Les moyens utilisés sont des dragues mécaniques ou des dragues suceuses portatives (par plongeurs).

C'est une technique très **efficace à court et long terme** pour maîtriser la croissance des végétaux, même si dans certains cas, la mise en œuvre est délicate et moins fiable (forte diversité spécifique, substrat trop compact ou rocheux...). Les effets secondaires indésirables sont limités.

## • Scarifiage - Fiche 19

L'objectif est d'éliminer les organes souterrains des végétaux aquatiques, en scarifiant le sédiment, de façon à éviter leur développement.

Les moyens utilisés vont du plus "primitif" comme la herse, au plus sophistiqué comme le rotovator ou le Weed Roller.



Rotovator (d'après Cooke et al. In Barroin, 1999)

Ces techniques sont **efficaces** surtout sur les herbiers de myriophylles, et jusqu'à 6 m de profondeur, et ce **à court-moyen terme** selon les possibilités de recolonisation. Il est impératif de bien définir au préalable les surfaces à traiter et l'outil à utiliser, certains étant plus efficaces et moins "pénalisants" pour le milieu que d'autres ; il faut veiller à éliminer le maximum de végétation que l'on veut contrôler (surtout s'il s'agit d'une espèce à fort pouvoir végétatif), sous peine de la voir recoloniser très rapidement le milieu.

D'autre part, ces techniques ne doivent pas être utilisées sur des sédiments contenant des composés toxiques, pour éviter leur remise en suspension dans le milieu aquatique, ni en période de reproduction ou de développement des alevins.

## • Faucardage - Fiches 14 - 15 - 16 - 17 - 18

Le faucardage consiste à couper, ramasser et enlever les plantes aquatiques et les algues associées, dans le but premier de dégager l'eau libre, et secondairement d'éliminer le phosphore interne des plans d'eau.

Les moyens utilisés vont du matériel léger, portatif aux faucardeuses lourdes à ramassage immédiat.

Son efficacité vis à vis de l'élimination du phosphore est variable, plus théorique que réellement mise en évidence, et nécessite que la charge externe soit limitée. Vis à vis de la biomasse végétale, l'efficacité de cette technique est liée à sa bonne mise en œuvre, et notamment au ramassage immédiat des coupes ; elle nécessite plusieurs interventions sur une même saison, et ce chaque année.

En terme d'amélioration de la qualité des milieux, cette technique permet théoriquement d'améliorer l'oxygénation et le niveau de pH, de réduire le comblement des cuvettes, etc.

Cela n'a cependant pas été mis clairement en évidence par les exemples recueillis en France, essentiellement d'ailleurs parce que les apports de phosphore par le bassin versant étaient toujours élevés.

## • Variation du niveau de l'eau - Fiche 20

L'objectif est d'éliminer les végétaux aquatiques en les mettant hors d'eau, entraînant leur mort.

Ce procédé n'est envisageable que sur les plans d'eau artificiels (réservoirs et étangs), possédant un ouvrage de vidange en bon état de fonctionnement.

Son efficacité vis à vis de l'objectif est très variable, dépendante des conditions environnementales (degré d'humidité des sols, de l'air, etc.), des espèces végétales (certaines étant adaptées aux émergences temporaires).

Il permet cependant des améliorations diverses concernant la consolidation des sédiments exondés (amélioration de la transparence), la diminution des transferts de phosphore du sédiment littoral vers la masse d'eau (limitation du phytoplancton), et la facilitation de certaines opérations d'entretien du plan d'eau (dragage, faucardage, épandage, ...).

## • Inhibiteurs physiques de croissance - Fiches 21 - 22

L'objectif est d'empêcher la croissance des plantes en les privant de lumière par :

- recouvrement des sédiments par une couche de particules minérales, sables, graviers, ... ; ou par des géomembranes ou des films divers ;
- opacification de l'eau ;
- mise en place d'écrans en surface, ...

(ces deux dernières approches sont plus expérimentales).

L'efficacité du recouvrement des sédiments dépend de la bonne adéquation de la méthode choisie avec le type de sédiment ou de plante traitée.

Il présente de nombreux inconvénients (limitation aux petites surfaces, nécessité de fonds plats et stables, etc), en plus d'effets secondaires indésirables (destruction de frayères, désoxygénation, ...).

Peu d'exemples se rattachant à ce type de technique ont été recensés en France dans le cadre de ce guide. L'un d'entre eux utilise une géomembrane au niveau d'une plage (plan d'eau de l'Ecoute s'il pleut, fiche 22) ; l'autre se rapproche de l'opacification (fiche 21) et est appliqué avec succès dans les étangs de Champagne : la pénétration de la lumière est limitée par le trouble de l'eau générée par l'activité de poissons fouisseurs.





## 5.5 ÉVALUATION COMPARATIVE DES TECHNIQUES

Pour un gestionnaire, le choix de la technique a priori la mieux adaptée se fera généralement sur la base de son expérience et d'un certain nombre de critères de sélection qui devraient théoriquement être :

- la pertinence de la technique ;
- son applicabilité ;
- son efficacité ;
- sa durée de vie ;
- ses effets secondaires ;
- sa réversibilité ;
- et son coût.

Dans la pratique, les critères de choix sont très souvent limités à "l'exemplarité", l'efficacité, l'applicabilité et le coût.

En excluant ainsi l'analyse vis à vis de la pertinence, des effets secondaires et de la réversibilité, nombre de gestionnaires sont amenés à "tester" plusieurs méthodes successivement, pour arriver ainsi "à tâtons" à une technique qui satisfiera les objectifs qu'ils se sont fixés (*Rappelons que ces objectifs sont rarement de traiter le plan d'eau, mais seulement de permettre la restauration des usages "habituels"*).

L'efficacité de la technique n'est presque jamais un critère de choix, car elle est généralement dépendante de son coût, et celui-ci est primordial : les gestionnaires préfèrent ainsi appliquer chaque année (voire plusieurs fois par an) un traitement peu coûteux plutôt qu'un seul traitement, efficace sur le long terme, mais coûteux.

Les tableaux présentés ci-après comparent les différentes techniques de traitement, vis à vis de leur efficacité (court et long terme), leur fiabilité, leur innocuité, leur réversibilité et leur coût, en supposant que les critères de pertinence et d'applicabilité sont a priori satisfaits.

Pour cela, il est impératif que des études préalables aient été menées par des cabinets spécialisés, afin de déterminer le fonctionnement général du plan d'eau et les quantités et qualités des apports du bassin versant par rapport aux apports internes du plan d'eau (cf. p.16).

**Ces tableaux d'analyses comparatives montrent que dans l'absolu et pour l'ensemble d'un plan d'eau, aucune technique n'est excellente pour tous les critères.**

### Problèmes d'algues :

	Efficacité court terme	Efficacité long terme	Fiabilité	Innocuité	Réversibilité	Coût
Dragage superficiel	Excellent	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Précipitation / Inactivation	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Dilution / Chasse	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Destratification	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Aération hypolimnique	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Soutirage hypolimnique	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Traitement des sédiments	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Biomanipulations	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Algicides	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

(Tableau : Barroin, 1999).

Les techniques les plus performantes (en terme d'efficacité et de fiabilité) sont en théorie le **dragage**, la **précipitation et l'inactivation** des sédiments et, dans une moindre mesure, le **soutirage hypolimnique** ; la première technique étant la plus coûteuse et selon les configurations locales peu facile à mettre en œuvre, elle est généralement peu appliquée. Les techniques les moins performantes (en terme d'efficacité et fiabilité) sont la dilution, la chasse et l'aération hypolimnique. Les techniques les moins "neutres" vis à vis de l'environnement sont celles qui utilisent les algicides, qui peuvent provoquer de graves problèmes pour l'ensemble du milieu (ex : *Fiche 2 - Plan d'eau d'Azole*).

Malgré cette relative inefficacité globale de ces techniques, rappelons qu'elles peuvent **toutes s'avérer satisfaisantes vis à vis de l'objectif fixé pour le plan d'eau, que ce soit une objectif local ou temporaire**.

A titre d'exemple, la destratification par aération diffuse donne généralement toute satisfaction au gestionnaire dans la mesure où elle permet une amélioration locale de la qualité de l'eau (au droit de la zone de destratification), qui facilite le traitement de l'eau pour la potabilisation (cf. *Fiche 6 - exemple de la retenue de Pierre Brune*). Il en est de même pour l'aération de surface (*Fiche 9 - Plans d'eau de la Raille et de Jaunay*).

### Problèmes de macrophytes :

	Efficacité court terme	Efficacité long terme	Fiabilité	Innocuité	Réversibilité	Coût
Dragage profond	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Scarifiage	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Faucardage	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Variations de niveau	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Inhibiteurs physiques de croissance	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Contrôles biologiques	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Herbicides	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

(Tableau : Barroin, 1999).

La technique la plus efficace est sans aucun doute le **dragage** et l'élimination des sédiments, mais c'est également la plus coûteuse ; mais là aussi, le gestionnaire doit rapporter le coût global de mise en œuvre à la durée d'efficacité de la technique, pour la comparer de manière valable aux autres techniques de même efficacité mais qui sont, elles, généralement répétitives d'une année sur l'autre (**scarifiage, faucardage**).

La technique la moins performante et la moins "généralisable" est celle des variations de niveaux du plan d'eau.

Enfin, une technique très intéressante par sa grande efficacité à long terme et son coût très faible est l'introduction de **poissons herbivores** (cf. *Fiche 23*) ; elle nécessite malheureusement un certain délai et ne peut pas répondre à un problème ponctuel. Cette technique est assez souvent utilisée en France, soit en mesure "principale" soit en accompagnement d'une autre technique.

Les herbicides sont très souvent utilisés (33% des plans d'eau recensés pour des problèmes d'invasion par les macrophytes). Ce succès s'explique par le faible coût de mise en œuvre et l'efficacité à court terme de la méthode. Elle pose cependant deux principaux types de problèmes : d'une part, son absence totale d'efficacité sur le long terme et, d'autre part, sa toxicité pour le milieu ; d'autant que très souvent, aucune analyse préalable du milieu n'est réalisée, conduisant à des épandages inadaptés au plan d'eau, à l'espèce, etc. Cette inadéquation peut entraîner à court terme des effets préjudiciables : disparition de la totalité des herbiers (d'où des incidences négatives vis à vis du peuplement piscicole), mortalités de poissons, inefficacité vis à vis de l'espèce visée, ... (cf. *Fiche 24*).

### Problèmes de sédiments :

Il s'agit rarement de problèmes liés seulement au sédiment (excepté dans les cas de processus de comblement), mais plutôt de problèmes associés à la détérioration de la qualité de l'eau, des proliférations d'algues ou d'herbiers... Dans ces cas, les techniques proposées sont synthétisées dans les tableaux précédents.

L'enquête menée en France dans le cadre de ce guide a cependant montré que de nombreux gestionnaires ont été confrontés et amenés à traiter un problème de sédiment seul : les techniques utilisées ont alors été les suivantes :

	Efficacité court terme	Efficacité long terme	Fiabilité	Innocuité	Réversibilité	Coût
Pré-barrage	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Curage à la pelle	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Aspirodragage	Excellent	Excellent	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Traitement des sédiments	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Bioadditifs	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

(Tableau IRAP).

L'**aspirodragage** est une technique efficace et très souvent utilisée (30 % des cas) malgré son coût élevé. Le curage à la pelle mécanique est "réservé" à des actions localisées sur des plans d'eau peu profonds et dont le niveau peut être abaissé.

De nombreux types de **pré-barrages** ont été mis en place (22% des cas), mais leur efficacité est généralement peu mise en évidence à moyen terme du fait du non entretien de ces systèmes.

Enfin, les techniques de traitement des sédiments (chaulage et épandage de sulfate d'alumine) et les bioadditifs sont peu ou mal adaptés à l'objectif de dévasement du plan d'eau ; leur faible coût et leur relative facilité de mise en œuvre entraînent cependant une utilisation relativement large en France dans cet objectif.



# FAIRE LE BON CHOIX

Les caractéristiques intrinsèques des techniques présentées sont utilisées dans le cadre d'un processus décisionnel qui fait également intervenir :

- ⇒ les caractéristiques des plans d'eau,
- ⇒ ainsi que des principes fondamentaux qui feront préférer certains types d'intervention à d'autres :
  - ⇒ traiter la cause plutôt que l'effet (c'est-à-dire intervenir sur la source de phosphore plutôt que sur la végétation aquatique) ;
  - ⇒ extraire plutôt que traiter sur place ;
  - ⇒ utiliser les techniques physiques plutôt que les biologiques, et les biologiques plutôt que les chimiques.

## ■ TRAITER UN PROBLÈME D'ALGUE

Le processus décisionnel (qui rappelle le intervenant en dernière phase du schéma stratégique d'intervention présenté au chapitre 3) est présenté ci-contre.

Ce processus nécessite de connaître la réponse à un certain nombre de questions préalables relatives à :

- ⇒ la réduction de la charge externe en phosphore ;
- ⇒ l'importance réelle de la charge interne en phosphore ;
- ⇒ l'origine de la charge interne en phosphore (sédiments ou macrophytes ?) ;
- ⇒ la teneur en P des sédiments situés à plus de 50 cm de profondeur.

Ce qui confirme la nécessité des études préalables à toute intervention.

D'autre part, dans le cas où aucune action de neutralisation des sédiments ne s'avérerait applicable, les techniques possibles s'apparenteraient alors à celles utilisables quand la charge externe est prépondérante.

## CRITÈRES DE CHOIX :

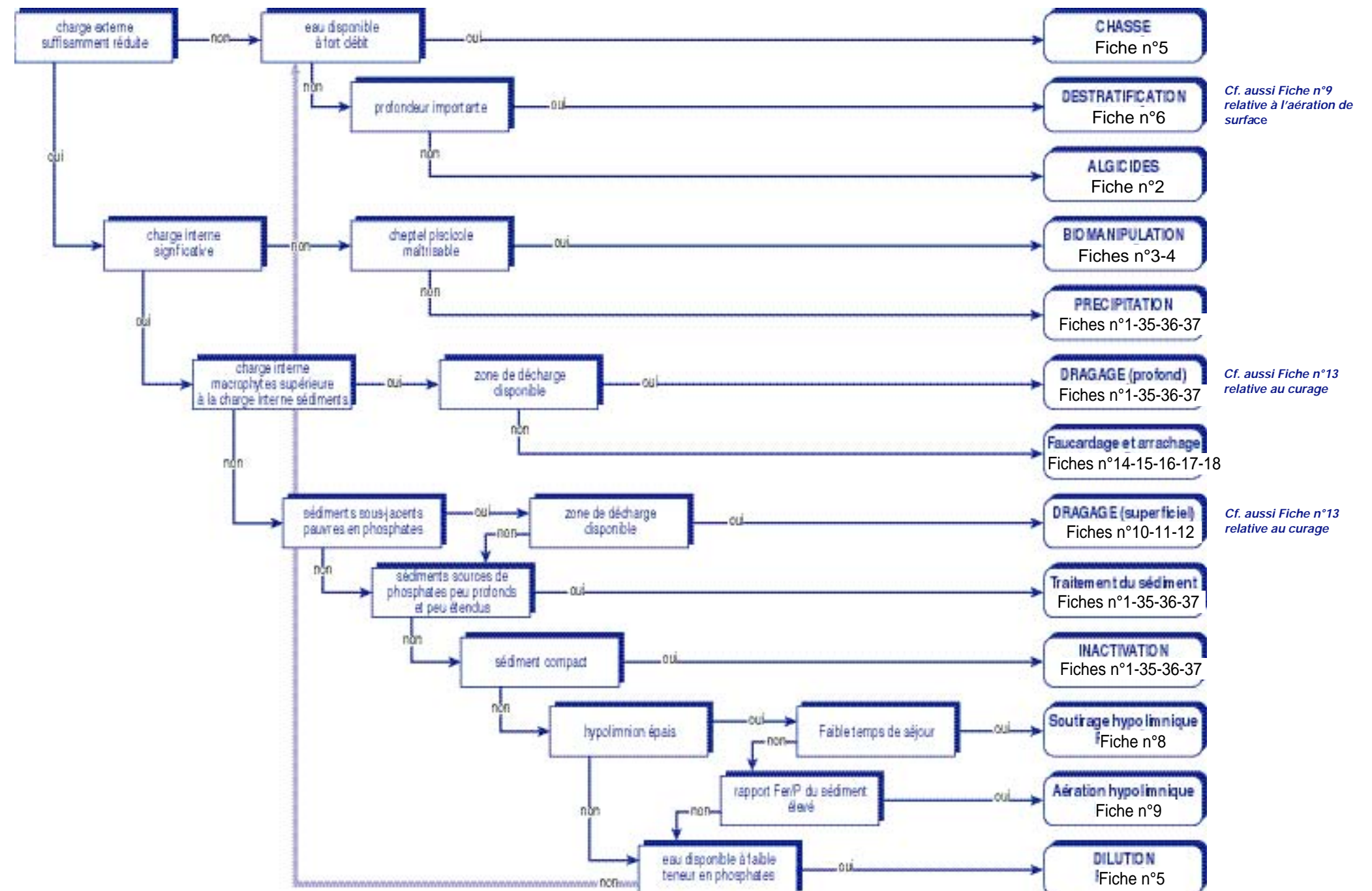
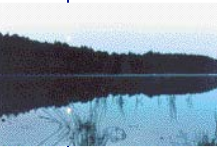


Schéma : Barroin, 1999.



## ■ TRAITER UN PROBLÈME DE MACROPHYTES

### CRITÈRES DE CHOIX :

### TECHNIQUES PRÉFÉRENTIELLES (et fiches correspondantes)

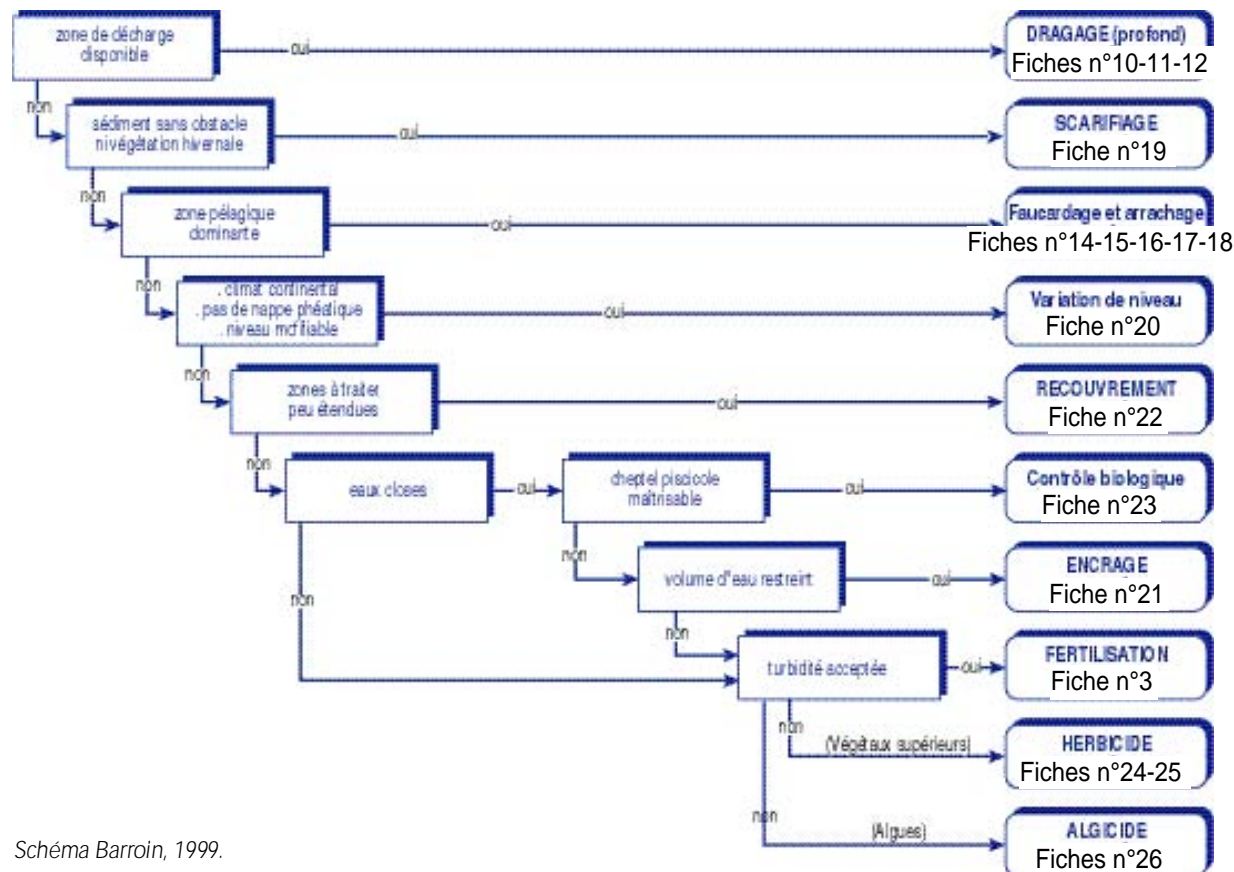


Schéma Barroin, 1999.

## ■ TRAITER UN PROBLÈME DE SÉDIMENTS (SEUL)

Comme on l'a dit précédemment, l'enquête menée en France a montré que certains gestionnaires de plans d'eau ont été amenés à traiter un problème de comblement lacustre. Les techniques utilisées ne font pas l'objet de l'élaboration d'une clé décisionnelle. Elles ont cependant été présentées au niveau de fiches techniques :

**Pré-barages :** Fiches 27 - 28

**Curage à la pelle mécanique :** Fiches 29 - 30 - 31

**Dragage hydraulique :** Fiches 32 - 33 - 34

**Traitement des sédiments :** Fiches 35 - 36 - 37

**Bioadditifs :** Fiches 38 - 39 - 40 - 41

## ■ AVERTISSEMENT : CAUSES D'ÉCHECS

Le gestionnaire n'est pas toujours satisfait des résultats d'une technique, ce qui va l'amener à en "tester" plusieurs sur un même plan d'eau. Assez souvent cette insatisfaction aura pour origine une discordance entre les attentes du gestionnaire et **ce qu'il croit** que la technique peut lui **apporter** : il s'agit en fait assez souvent d'une **méconnaissance des limites et contraintes d'une méthode** de traitement.

Cependant certains véritables échecs peuvent se produire dont les causes seront les suivantes.

### Une inadéquation entre la technique et le problème.

Ce manque de pertinence aura généralement pour origine une mauvaise analyse préalable de la situation générale du bassin versant et du lac, en particulier la non prise en compte de l'importance des apports externes par rapport aux apports internes du lac. Deux exemples figurent dans les fiches techniques que ce soit celui du Lac de Nantua, ou celui de la retenue de Vezins.

Dans le cas de Nantua (Fiche 7), la technique d'aération hypolimnique a été mise en œuvre alors même que les apports polluants du bassin versant n'avaient pas été réduits, permettant la poursuite des blooms phytoplanctoniques.

Dans le cas de la retenue de Vezins (Fiche 35), le chaulage des sédiments s'est révélé totalement inefficace en raison d'une vitesse d'envasement et de sédimentation très rapide de la retenue : les sédiments traités ont été rapidement recouverts par de nouveaux sédiments riches en azote et phosphore.

**Une mauvaise mise en œuvre (ou une mise en œuvre insuffisante)** : erreurs de dosages pour les produits chimiques, algicides ou herbicides, ... ; mauvais "dimensionnement" des ouvrages d'aération ; curage ou scarifiage insuffisant, ...

Des exemples sont donnés à la fois pour les problèmes d'algues et de macrophytes :

- le plan d'eau d'Azole (Fiche 9) a ainsi subi une "hécatombe" suite à des épandages d'algicides ;

- une élimination insuffisante des plantes envahissantes et qui posent problèmes, que la technique utilisée soit le faucardage, le scarifiage ou le dragage (se reporter aux fiches 13 et 19 - lac du Mole) ; l'échec sera lié au fait que les plantes peuvent repousser à partir des racines laissées en place ;

- un curage (ou un dragage) insuffisant des sédiments : dans le cas où le dragage vise à éliminer les sédiments sources de nutriments à l'origine des développements de phytoplancton, il est impératif que le curage traite toute la surface des sédiments en cause ; dans le cas contraire, le gestionnaire expose le plan d'eau à la poursuite des relargages des nutriments par les sédiments, dans des proportions similaires à celles avant curage, générant ainsi la poursuite de blooms toujours pénalisants. On se reportera à la fiche 10 et à l'exemple de la retenue de Vézins pour plus de précisions.

### Un mauvais entretien (ou un entretien insuffisant).

Ce type d'insuffisance concerne généralement les techniques type "Pré-barrage" où on laisse le pré-réservoir jouer son rôle pendant plusieurs années sans y faire attention, jusqu'au moment où, plein, il ne peut plus assurer la décantation. Le curage, impératif pour lui rendre sa capacité initiale ou du moins une capacité suffisante, peut alors s'avérer très coûteux et problématique dans sa mise en œuvre ; un exemple de ce type est donné à la fiche n°27.



AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE & PÔLE DE COMPÉTENCE SUR LES SITES ET SOLS POLLUÉS NORD-PAS DE CALAIS, *Guide méthodologique : Faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision*, 1998.

AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MEDITERRANÉE-CORSE & Institut International de Gestion et de Génie de l'Environnement, *Plans d'eau : de l'autre côté du miroir*, 1988.

AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MEDITERRANÉE-CORSE & INRA Thonon, *Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau*. Barroin (Guy). Etude Inter-Agences n°62, 1999.

AQUATECHNIQUE, *La restauration de la qualité des eaux des lacs et retenues, Présentation des résultats*, 2000.

BERNHARDT (H) & CLASEN (J), *Recent developments and perspectives of restoration for artificial basins used for water supply*. International congress : lake pollution and recovery. Rome 15th-18th april 1985. EWPCA/ANDIS. Proceedings, 292-307, 1985.

BLAIN (François), *Influence de traitements d'ordre biotique (bactéries et oligochètes) et abiotique (carbonate de calcium) sur des sédiments de rivière - Cas de la rivière Morbras (Val de Marne)*, Rapport de DEA, Université Paris XII, 1991.

BOUCHY (Jean-Marc), *Traitement à la craie de Champagne d'un cours d'eau : dynamique des peuplements de végétaux et d'invertébrés*, Rapport de DEA, Université Paris X11, 1990.

CEMAGREF & GERE (Université Bordeaux I), *Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs Ilandais*, Dutartre (A), Delarche (A) & Dulong (J), Etude n°38, Géolandes, 1989.

CEMAGREF, *Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques*. Goubault de Brugière (Olivier) & Dutartre (Alain). Etude Inter-Agences n°47, 1996.

CEMAGREF, *Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques sur quatre étangs landais (Garros, Léon, Soustons, Ychoux)*, Dutartre (A), Castagnos (E) & Laplace-Treytore (C), Etude n°38, Géolandes, Agence de l'eau Adour-Garonne, Conseil Régional Aquitaine, 1999.

COOKE (G.D), WELCH (E.B), PETERSON (S.A), NEWROTH (P.R), *Restoration and management of lakes and reservoirs*. Second Edition Lewis Publishers, 1993.

DHAINAUT (Delphine), *Définition d'une stratégie d'action dans la lutte contre l'eutrophisation et dans la restauration des plans d'eau*. Rapport de DESS. Université USTL Flandres Artois, Agence de l'eau Artois-Picardie, 1991.

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT RHÔNE-ALPES, *Suivi allégé du lac de Paladru ; commentaires des investigations réalisées en 1999*. Rapport SEMA, 1999.

FOUTLANE (A) & BOULOUUD (A), *Processus de lutte contre l'eutrophisation au niveau des retenues de barrages marocaines*, Compte-rendu du séminaire sur l'eutrophisation des retenues de barrages dans les pays méditerranéens, Rabat. 1994.

GONNAY (Erik), *L'aération hypolimnique : une solution pour lutter contre l'eutrophisation des lacs et des retenues*. L'eau, l'industrie, les nuisances n°195, Octobre 1996.

JIGOREL (A), MORIN (J.P) & HÉBERT (M), *Impact sur les sédiments des épandages de sulfate de cuivre dans les retenues*. INSA Rennes, Conseil Général des Côtes d'Armor, Communauté de communes du Pays Bigouden, 279-286

LACROIX (Gérard), *Lacs et rivières milieux vivants*, Ecoguides Bordas, 1991.

LAFFORGUE (M), *Techniques de réhabilitation des plans d'eau eutrophisés*, Techniques, Sciences, Méthodes, n°12, Décembre 1993.

LASCOMBE (C), *Le lac de Paladru, Etat de la qualité des eaux et perspectives d'évolution ; premières observations sur les effets du soutirage*, Colloque AFL, Chambéry, Sept. 1978.

LORENZEN (M) & FAST (A), *A guide to aeration/circulation techniques for lake management*. EPA-600/3-77-004, 1977.

MOSSE (Françoise), *Le lac d'Annecy : de l'oxygène à la vie*. Guide du Patrimoine Naturel de la Région Rhône-Alpes n°6. (Ministère de l'Environnement, Région Rhône - Alpes, Syndicat Intercommunal du Lac d'Annecy), 1993.

OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE, CONSEIL GÉNÉRAL DE L'AIN, DIREN RHÔNE-ALPES ET MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, *L'étang : une question d'équilibre : principes simples pour la gestion et l'aménagement de l'étang dom - biste*. Plaquette.

RÉGION RHÔNE-ALPES, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MEDITERRANÉE-CORSE, *La gestion des rivières et des lacs : Petit guide juridique à l'intention des élus locaux de Rhône-Alpes*. Bolze (Xavier) & Clémens (Anne), Gémina, 1998.

RIGOUARD (A) & BRANDEL (E), *Technologie de l'injection d'oxygène pur dans les retenues d'eau de grande profondeur. Exemple de la retenue du Gouet - Saint Briec*, Techniques & Sciences Municipales, n°4, avril 1985.

ROBIN (Joël), *Dynamique saisonnière du phytoplancton en étang de pisciculture de la plaine du Forez (Loire)*, Essais de contrôle des Cyanobactéries, Rapport de Thèse de l'Université Lyon I, 1999.

SALAS (Bouchaib), *Impact d'un traitement par des bactéries sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du bassin de Lormoy (Essonne)*, Rapport de DEA, Université Paris XII, 1991.

TYMEN (Rozen), *Traitements curatifs de l'eutrophisation sur quelques retenues du bassin Loire-Bretagne*. Rapport de DESS, Institut de Géologie, Agence de l'eau Loire-Bretagne, 1997.



## **Aérobic**

Etre vivant ou processus écologique exigeant la présence d'oxygène (contraire : anaérobic)

## **Algues**

Végétaux chlorophylliens généralement aquatiques ne possédant pas de tissus différenciés et par conséquent pas de racines ni de tiges ni de feuilles. Imperceptibles à l'œil nu à l'état unicellulaire (d'où leur nom de microphytes), elles sont visibles une fois groupées en colonies ou associées en filaments. Certaines sont fixées, d'autres flottent librement dans l'eau (phytoplancton).

## **Anaérobic**

Organisme ou processus se développant seulement en absence d'oxygène.

## **Anthropique**

Qui est propre à l'homme ou qui résulte de son action.

## **Autoépuration**

Epuration naturelle d'un milieu aquatique par l'intervention de micro-organismes minéralisateurs.

## **Bassin versant (d'un lac)**

Aire à caractère hydrologique limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers le lac. Si le sol est imperméable, les limites du bassin versant sont définies topographiquement par la ligne de crête qui le sépare du bassin versant voisin ; pour les sols perméables, le bassin versant hydrologique peut différer du bassin topographique.

## **Benthique**

Qualifie ce qui concerne le fond d'une étendue d'eau, comprenant le sédiment et l'interface eau - sédiment.

## **Benthos**

Ensemble des organismes vivant dans la zone benthique.

## **Bioadditif**

Produit composé en tout ou partie d'organismes vivants ou revivifiables (en général des bactéries) et ajouté dans un milieu pour y traiter certaines nuisances. Ces organismes peuvent être ou non fixés sur un substrat, en général de la craie ou du sulfate d'alumine (biofixation).

## **Biocénose**

Groupement d'être vivants vivant dans des conditions de milieu déterminées et unis par des liens d'interdépendance. Le terme regroupe à la fois les communautés, la répartition de leurs espèces et leurs inter-relations.

## **Bloom (algal)**

Croissance du phytoplancton à caractère explosif et monospécifique entraînant une brusque diminution de la transparence.

## **Charge externe**

Quantité totale d'un élément, d'une substance, d'un matériau... déchargée dans un lac en provenance de son bassin versant et de l'atmosphère ; généralement calculée sur une base annuelle et rapportée à l'unité de surface du lac.

## **Charge interne**

Quantité totale d'un élément, d'une substance, d'un maté-

riau... déchargée dans un lac en provenance des sédiments et des macrophytes ; généralement calculée sur une base annuelle et rapportée à l'unité de surface du lac.

## **Characées**

Algues vertes benthiques munies de structures qui ressemblent à des tiges, des feuilles et des racines leur donnant un aspect de plantes supérieures. Reconnaisables à leur odeur musquée et à leur toucher rugueux et cassant, elles forment des prairies profondes fixées. Inféodées aux eaux calcaires transparentes, leur prolifération crée rarement des nuisances ; au contraire, elles stabilisent le sédiment, constituent un bon habitat pour les poissons et empêchent la prolifération d'autres plantes plus nuisantes.

## **Chlorophycées**

Classe d'algues unicellulaires ou filamenteuses dont la couleur verte est due à la chlorophylle.

## **Chlorophylle**

Pigment vert présent dans les végétaux dont les algues qui permet la photosynthèse.

## **Colonisation**

Une espèce introduite dans un nouveau milieu dont elle n'est pas originaire y occupe finalement tous les habitats qui lui sont favorables.

## **Convection**

Mouvement vertical d'un fluide provoqué par des différences de température. S'oppose à l'advection, qui est un mouvement de direction quelconque provoqué par des causes autres que thermiques.

## **Cyanobactéries**

(aussi appelées algues bleues ou Cyanophycées). Classe d'organismes dont certaines caractéristiques les rapprochent des bactéries, mais qui pratiquent la photosynthèse comme les algues grâce à la chlorophylle. Leur couleur est variable en fonction de pigments complémentaires (brun, rouge, bleu). Certaines espèces sont capables de fixer l'azote moléculaire.

## **Diatomées**

Classe d'algues unicellulaires parfois réunies en colonies dont les cellules sont entourées d'une enveloppe siliceuse diversement ornementée.

## **Dinophycées**

Classe d'algues le plus souvent unicellulaires et biflagellées dont certaines caractéristiques les rapprochent du monde animal (absence de pigments chlorophylliens et capacité d'ingestion de proies chez certaines espèces).

## **Effluent**

Tout fluide émis par une source de pollution.

## **Épilimnion**

Couche d'eau plus chaude qui s'installe à la surface d'un lac au cours de la stratification estivale ; relativement homogène en température car bien mélangée, elle s'étend de la surface au métalimnion.

## **Euphotique (zone)**

Qualifie un milieu où les conditions environnementales sont

réunies pour permettre l'activité photosynthétique. Elle s'étend de la surface jusqu'à une profondeur où ne pénètre plus que 1% de la lumière qui atteint la surface.

## **Eutrophe**

Qualifie un milieu riche en phosphore ce qui entraîne une prolifération des algues et des végétaux.

## **Eutrophisation**

A l'origine, désigne l'évolution naturelle de l'état oligotrophe vers l'état eutrophe au travers de divers paramètres en relation avec le lent comblement des cuvettes lacustres. Par extension, désigne l'évolution accélérée par l'homme.

## **Gradient**

Variation progressive et continue d'un facteur écologique.

## **Hélophyte**

Plante aquatique dotée d'un rhizome enfoui dans la vase.

## **Hypolimnion**

Masse d'eau froide présente au fond d'un lac pendant la stratification estivale ; elle s'étend du métalimnion jusqu'au fond.

## **Ichtyophage**

Qui se nourrit de poissons.

## **Limnicole**

Qui vit dans un lac.

## **Lyse**

Destruction d'éléments organiques (par exemple des cellules) sous l'action d'agents chimiques, physiques ou biologiques.

## **Macrophyte**

Ensemble des plantes aquatiques visibles à l'œil nu. Il comprend les végétaux supérieurs qui ont des fleurs et produisent des graines, mais également des fougères, des mousses, les Characées et parfois les algues filamenteuses en amas. Ces "plantes" constituent ce que l'on appelle des herbiers.

## **Mésotrophe**

Qualifie une eau moyennement riche en phosphore, développant une activité photosynthétique et une transparence également moyennes.

## **Métalimnion**

Dans un lac thermiquement stratifié, couche d'eau située entre l'épilimnion et l'hypolimnion, caractérisée par un fort gradient de température, de densité et de viscosité. Il contient la thermocline. Sa forte résistance au mélange fait qu'il isole l'hypolimnion des perturbations venant des couches supérieures.

## **Nyctéméral**

Alternance de périodes d'activité et de repos d'un être vivant, sur un cycle de 24 h.

## **Oligotrophe**

Qualifie une eau pauvre en phosphore, développant une faible activité photosynthétique et dotée d'une transparence élevée.

## **Monomictique**

Se dit d'un lac qui se mélange une fois dans l'année.

## **Myriophylle**

Plante immergée à rhizome rampant et à tige ramifiée (famille des haloragacées). Les feuilles sont très nombreuses et divisées en fines lanières ; les fleurs petites et regroupées en épis sortent de l'eau entre juin et septembre.

## **Pélagique**

Qualifie ce qui concerne la pleine eau, par opposition à "littoral".

## **Périphyton**

Communauté d'organismes vivants aquatiques, se développant sur des supports physiques (cailloux, sédiments...) ou sur d'autres organismes (tiges, végétaux...)

## **pH (= potentiel Hydrogène)**

Valeur qui quantifie l'état acide ou basique d'un milieu.

## **Photosynthèse**

Chez les végétaux et certaines bactéries, processus utilisant l'énergie lumineuse pour transformer le gaz carbonique et l'eau en sucres.

## **Phytophage**

Qui se nourrit de matière végétale.

## **Phytoplancton**

Ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau.

## **Plancton**

Ensemble des organismes à la mobilité réduite flottant au gré des courants. On distingue le phytoplancton (végétal) et le zooplancton (animal).

## **Planctonophage**

Qui se nourrit de plancton.

## **Potentiel rédox**

Valeur qui quantifie l'état oxydé ou réduit d'un milieu.

## **Réseau trophique**

Ensemble interconnecté des chaînes alimentaires d'une biocénose.

## **Temps de séjour hydraulique**

Par définition, laps de temps moyen qui s'écoule entre le moment où un volume élémentaire d'eau pénètre dans le lac et le moment où il le quitte. Se conçoit comme le laps de temps nécessaire pour remplacer toute l'eau d'un lac par un volume égal d'eau "nouvelle". Se calcule comme le laps de temps nécessaire pour vider tout le lac, selon un débit égal au débit de sortie supposé égal à la somme des débits entrants.

## **Thermocline**

Plan horizontal situé dans le métalimnion à la profondeur où le gradient de température est maximal.

## **Zooplancton**

plancton animal.



# COLLECTION DES CAHIERS TECHNIQUES

AGENCES DE L'EAU / MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT  
DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

## Liste des trente dernières publications :

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>52</b> Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau SEQ-Eau. Etude de rodage - rapport final (1997).</p> <p><b>53</b> Seuils de qualité pour les micropolluants organiques et minéraux dans les eaux superficielles - Synthèse (1997).</p> <p><b>54</b> Optimisation du volet micropolluant du RNB - Guide méthodologique (1997).</p> <p><b>55</b> Les bryophytes aquatiques comme outils de surveillance de la contamination des eaux courantes par les micropolluants métalliques (1997).</p> <p><b>56</b> Etude méthodologique de l'impact des déversements en temps de pluie. Application à la rivière l'Orne - Synthèse (1997).</p> <p><b>57</b> Traitement phytosanitaire et qualité des eaux de drainage (1997).</p> <p><b>58</b> Modes d'utilisation des produits phytosanitaires en France (1997).</p> <p><b>59</b> Réglementations de l'usage des phytosanitaires en Europe (1997).</p> <p><b>60</b> Guide inondabilité (1997).</p> <p><b>61</b> Intérêt et contraintes du recyclage agricole des boues (1998).</p> <p><b>62</b> Limnologie appliquée au traitement des plans d'eau (1998).</p> <p><b>63</b> Efficacité des dispositifs enherbés pour lutter contre la pollution par les phytosanitaires (1998).</p> <p><b>64</b> Rapport de présentation du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau dans les cours d'eau (1998).</p> <p><b>65</b> Gestion des transports solides et des atterrissements (1999).</p> <p><b>66</b> Les techniques végétales appliquées aux plans d'eau marnants (1999).</p> <p><b>67</b> Bilan et analyse des expériences positives en matière de mise en place de périmètres de protection des captages (1999).</p> | <p><b>68</b> Biologie et écologie des espèces aquatiques proliférantes (1999).</p> <p><b>69</b> Programme AGREVE (agriculture-environnement - Vittel) (1999).</p> <p><b>70</b> Audit comparatif des filières d'élimination des boues d'épuration (1999).</p> <p><b>71</b> Effet de l'extraction des granulats sur les milieux aquatiques (1999).</p> <p><b>72</b> Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Principes généraux (1999).</p> <p><b>73</b> La Politique Agricole Commune et ses conséquences sur les ressources en eau. Bilan et perspectives (1999).</p> <p><b>74</b> Etude d'opinion auprès des usagers des services de l'eau et d'assainissement (1999).</p> <p><b>75</b> Protection des captages de surface : quelles stratégies ? (1999).</p> <p><b>76</b> Bioessais sur sédiments - Méthodologie et applications à la mesure de la toxicité de sédiments naturels (1993).</p> <p><b>77</b> Système d'Evaluation de la qualité biologique des cours d'eau : SEQ-Bio - Version 0 - Principes généraux. Synthèse et rapport de présentation (1999).</p> <p><b>78</b> Réseaux d'assainissement et stations d'épuration : échanges des données de l'autosurveillance (2000).</p> <p><b>79</b> Déchets toxiques produits en petites quantités (2000).</p> <p><b>80</b> Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines : rapport de présentation. Version 0 (2000).</p> <p><b>81</b> Les zones humides et la ressource en eau - Guide technique (2000).</p> <p><b>82</b> Autosurveillance d'un déversoir d'orages (2000).</p> |
|---|--|

## ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE

Le manuel technique d'aide à la décision pour le traitement des plans d'eau a été élaboré à partir des informations contenues dans l'ouvrage de limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau rédigé par Guy Barroin et édité dans le cadre des études inter-Agences en janvier 1999.

Ce deuxième document a la particularité d'apporter aux gestionnaires des plans d'eau, un éclairage complémentaire sur les techniques de restauration mises en œuvre dans le contexte national. Différents types de techniques curatives ont pu être ainsi inventoriées à partir des informations fournies par les concepteurs des procédés et les maîtres d'ouvrage confrontés au problème de qualité des eaux. Les objectifs du guide sont d'aider ces derniers à conduire des opérations de reconquête de la qualité des eaux des plans d'eau en conciliant au mieux les contraintes techniques, financières et environnementales. Après deux chapitres présentant les types de problèmes rencontrés sur les plans d'eau et les types d'actions envisageables sur les bassins versants pour y remédier, le guide présente la stratégie d'intervention à mettre en œuvre et l'ensemble des techniques de restauration interne. Des fiches techniques décrivant les procédés, et montrant des exemples d'application en France sont ensuite présentées.

Agence de l'Eau Adour-Garonne  
90, rue du Férétra  
31078 TOULOUSE CEDEX 4  
Tél. : 05 61 36 37 38  
Fax : 05 61 36 37 28

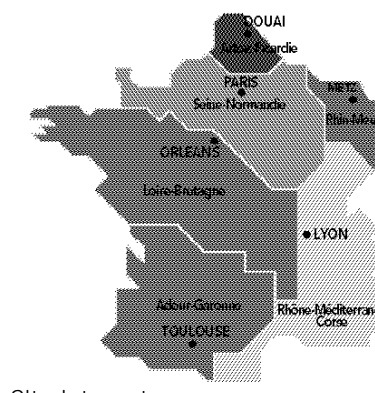
Agence de l'Eau Artois-Picardie  
200, rue Marceline  
59508 DOUAI CEDEX  
Tél. : 03 27 99 90 00  
Fax : 03 27 99 90 15

Agence de l'Eau Loire-Bretagne  
Avenue Buffon - B.P. 6339  
45063 ORLEANS CEDEX 2  
Tél. : 02 38 51 73 73  
Fax : 02 38 51 74 74

Agence de l'Eau Rhin-Meuse  
Route de Lessy-Roziérieulles  
B.P. 30019  
57161 MOULINS-LES-METZ CEDEX  
Tél. : 03 87 34 47 00  
Fax : 03 87 60 49 85

Agence de l'Eau  
Rhône-Méditerranée-Corse  
2-4, allée de Lodz  
69363 LYON CEDEX 07  
Tél. : 04 72 71 26 00  
Fax : 04 72 71 26 01

Agence de l'Eau  
Seine-Normandie  
51, rue Salvador Allende  
92027 NANTERRE CEDEX  
Tél. : 01 41 20 16 00  
Fax : 01 41 20 16 09



Site internet :  
<http://www.eaufrance.tm.fr>

Ministère de l'Aménagement  
du Territoire et de l'Environnement  
Direction de l'Eau  
20, avenue de Ségur  
75302 PARIS 07 SP  
Tél. : 01 42 19 20 21  
Fax : 01 42 19 12 06

Site internet :  
<http://www.environnement.gouv.fr>



Profondeur faible (de préférence < 1m).

Proliférations planctoniques gênant les usages.

Taux de renouvellement des eaux limité (de préférence) pour éviter un effet de dilution.

Charge externe de phosphore prépondérante par rapport à la charge interne (précipitation).

Charge externe de phosphore éliminée (inactivation).

**OBJECTIF ET PRINCIPES**

Réduire la concentration en phosphore dans la colonne d'eau :

- en le précipitant à l'aide d'une substance appropriée (= **précipitation**) ;
- en empêchant son relargage par les sédiments au moyen d'une barrière physico-chimique (= **inactivation**).

**MISE EN ŒUVRE**

**Agents chimiques utilisés**

L'agent de précipitation du phosphore le plus efficace est le **fer**, qui a aussi l'avantage d'être non toxique ; ses principaux inconvénients tiennent à son **faible pouvoir d'inactivation** et au fait qu'en milieu anoxique (cas des sédiments), il a tendance à relâcher le phosphore.

On peut également utiliser des **sels de calcium** (craie, chaux), plus ou moins efficaces selon les conditions du milieu dans la précipitation et l'inactivation.

Le **sulfate d'alumine** est finalement le produit présentant la meilleure efficacité **Précipitation / Inactivation**.

**Epandage**

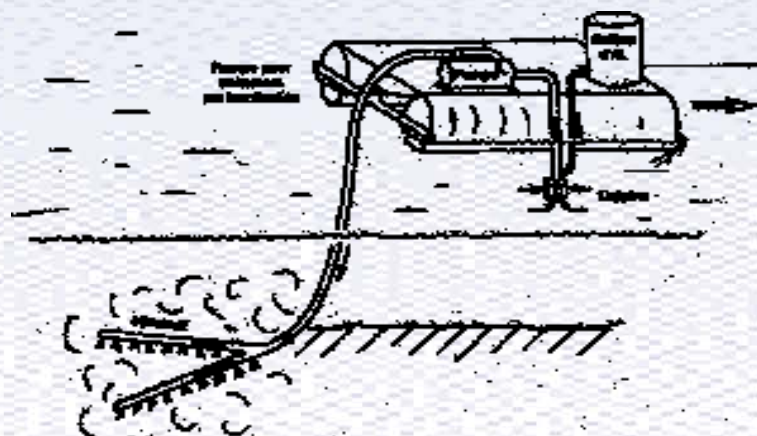
La précipitation se fait par épandage de surface. Il est nécessaire de traiter l'ensemble du lac (quadrillage) en dosant correctement chaque quadrat en fonction des hauteurs de la colonne d'eau et du pH. Cette injection de surface doit se faire préférentiellement à la fin de l'hiver, **avant le démarrage de la production phytoplanctonique**, sous peine de voir les algues précipiter et entraîner alors une désoxygénation drastique des eaux du fond.

L'inactivation peut se faire par épandage de surface mais il est préférable d'injecter le produit directement au niveau du sédiment, lorsque l'on veut traiter une zone bien délimitée (schéma ci-contre).

**Matériel nécessaire**

Pour les petites surfaces : épandage depuis le bord ou un petit bateau (type hors bord) ; seaux et bacs en plastique servent à stocker et diluer les réactifs, qui sont épandus au moyen d'une pompe à main et d'un tuyau perforé.

Pour les grandes surfaces : Utilisation de solutions commerciales de  $AlSO_4$  ; stockée sur une barge, la solution « mère » est diluée au 1/2 avec de l'eau du lac avant d'alimenter une rampe d'injection perforée sur toute sa longueur, et dont la profondeur peut être réglée.



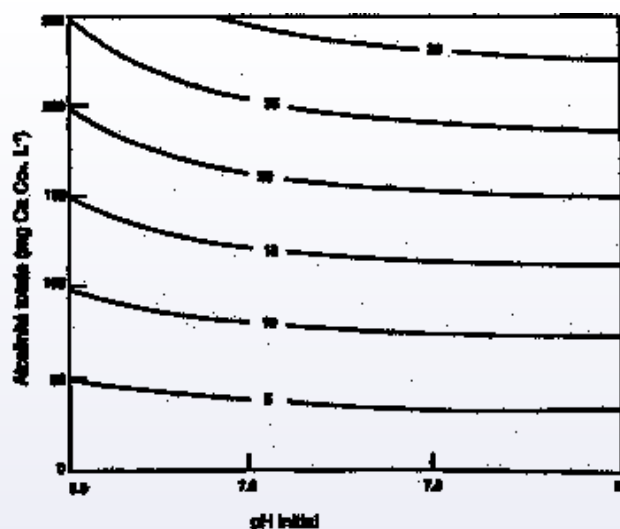
Dispositif d'injection de réactifs dans les sédiments (d'après Barroin, 1999.)

**Dosages**

On injecte le maximum d'Al de manière à ce que la couche d'hydroxyde déposée sur le sédiment ait une valeur maximale, valeur qui dépend de la toxicité de  $Al^{3+}$ , du pH et de l'alcalinité. Pour  $5,5 < pH < 9$ ,  $Al^{3+}$  doit être  $< 50 \mu g/l$ .

Or l'ajout de réactif acidifie le milieu ; la détermination de la dose convenable de réactif pour avoir un  $pH > 6$  peut se faire par 2 méthodes :

- \* on teste les échantillons d'eau avec une solution de sulfate d'Al de concentration connue ;
- \* on mesure le pH initial de l'échantillon d'eau et son alcalinité totale, et on se reporte au graphique ci-contre.



Concentrations en sulfate d'aluminium (mg Al/l) qui font chuter le pH à 6 pour diverses alcalinités totales et pH initiaux (d'après Cooke et al, 1993 In Barroin 1999).

**EFFICACITÉ**

Précipitation :

**Efficacité limitée** (en particulier pour le phosphore dissous) pour les sels de calcium ou les sels d'aluminium, meilleure avec les sels de fer. Dans tous les cas, elle n'est que **de courte durée**. La chaux est efficace à très court terme.

**Nota** : l'effet de compactage des sédiments avec les épandages de craie n'entraîne qu'une réduction limitée de la hauteur de vase, dépendante de la quantité de matières organiques qu'elles contiennent, et en aucun cas comparable à un dragage (cf fiche technique n°36).

Inactivation :

**Efficace à long terme** (si la charge externe a été éliminée).

**AVANTAGES ...**

- + Facilité de mise en œuvre ;
- + rapport coût/efficacité très intéressant (pour l'inactivation) sur le long terme.

**... INCONVÉNIENTS**

Précipitation :

- risques de relargages du phosphore par les hydroxydes de fer, en milieu anoxique ;
- l'augmentation de la transparence (en particulier avec l'utilisation de sels de calcium) peut permettre un plus grand développement du phytoplancton ou des macrophytes, ce qui peut être considéré comme gênant dans certains cas.

Inactivation :

- difficultés de dosage (quel que soit le produit utilisé) :
  - liées à la maîtrise du pH et à la toxicité de  $Al^{3+}$ , quand on utilise des sels d'alumine ;
  - liées aux risques de favoriser le relargage de P quand on utilise les sels de calcium (= effet secondaire induit par l'augmentation du pH qui favorise l'activité microbienne de reminéralisation des matières organiques du sédiment) ;
- « bétonnage » du fond, dans le cas de l'inactivation par les sels de calcium.

**RÉGLEMENTATION**

- Pas de réglementation spécifique en France

**PRÉCIPITATION = POUR RÉPONDRE À UN PROBLÈME PONCTUEL**

**INACTIVATION = EFFICACE À LONG TERME SI LA CHARGE EXTERNE DE PHOSPHORE A ÉTÉ ÉLIMINÉE**

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- COOKE GD, WELCH EB, PETERSON SA, NEWROTH PR, Restoration and management of lakes and reservoirs. Second Ed. Lewis Publishers, 548 p.

**COÛT**

- l'inactivation est plus coûteuse que la précipitation (plus de réactifs)
- le poste le plus important est celui de la main d'œuvre. Selon le matériel utilisé, 0,06 à 4,6 jours / ha sont nécessaires.

## RETENUE DE COURTILLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 390 000 m<sup>3</sup>    **Surface :** 16 ha  
**Profondeur :** 2,5 m    **Type :** dépression naturelle agrandie

**Usages actuels :** base de loisirs (baignade, nautisme, jeux, parcours santé) et pêche (à la carpe notamment).

**Quelques informations sur le bassin versant :** Importants apports en phosphore provenant de l'élevage, de la pratique de certains modes de pêche (amorçage pour la carpe) et d'un lourd passif en matière d'assainissement urbain (Guéret).

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation liée à de fortes teneurs en phosphore des sédiments avec des flux annuels importants (600 kg/an), des apports par le BV (100 kg/an) et par l'amorçage (100 kg/an) ; ces flux de P se traduisent par un ou plusieurs blooms de cyanobactéries en été, également favorisés par le temps de séjour élevé des eaux.

**Date et coût du traitement :** depuis 1998 : suivi du phytoplancton, traitement « préventif » au **sulfate d'alumine** et « curatif » au **sulfate de cuivre** : coûts annuels = 30 à 40 KF TTC pour le suivi ; 32 à 52 KF TTC pour le traitement.  
+ abaissement partiel du niveau d'eau à la fin de la saison touristique (réalisé par les services techniques).

**Commune :** Guéret (Creuse, 23)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** S.A. Aqua Gestion Veyrieras - 87130 Neuvic (*travaux et diagnostic préalable de caractérisation du stade d'eutrophisation du plan d'eau : teneurs en phosphore, identification des apports*).



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## PLAN D'EAU DE LA ROUSSILLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 120 000 m<sup>3</sup>    **Surface :** 6 ha  
**Profondeur :** 2 m (moy)    **Type :** plan d'eau artificiel  
**Usages :** pêche, loisirs (aménagés), baignade surveillée

**Quelques informations sur le bassin versant :** Importants rejets en nutriments (phosphore surtout) provenant de pratiques d'élevage (bovin) intensives (stabulations hivernales massives et prolongées) ; lessivage favorisé par la topographie.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation due à de fortes teneurs en phosphore dans les sédiments et se traduisant par un ou plusieurs blooms de cyanobactéries en été.

**Date et coût du traitement :** depuis 1999 : suivi estival du phytoplancton, traitement « préventif » au **sulfate d'alumine** et « curatif » au **sulfate de cuivre** : ~40 KF TTC pour le suivi et 15 à 20 KF TTC par traitement.

**Commentaires :** 2 traitements routiniers : baisse du niveau en hiver pour enlever les feuilles mortes accumulées au niveau de la plage ; vidange tous les 3 ans (gestion piscicole).

**Commune :** Châtelus-Malvaleix (Creuse, 23)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** S.A. Aqua Gestion Veyrieras - 87130 Neuvic (*travaux et diagnostic préalable de caractérisation du stade d'eutrophisation du plan d'eau : teneurs en phosphore, identification des apports*).



M. Campagne - IRAP

FICHE N° 1

FICHE N° 1

### CONTEXTE

Situé dans une dépression naturelle alimentée par 4 sources et 2 rus principaux, le plan d'eau s'étendait à l'origine sur 3-4 ha et, dès les années 60, servait à l'alimentation en eau potable de la ville de Guéret. En 1973, il est agrandi à 16 ha, avec une prise d'eau à l'aval (gestion communale de la distribution, affermage pour le traitement de type ozonation-chlorination). **L'exploitation AEP a cessé au début des années 80, essentiellement en raison d'un début d'eutrophisation du plan d'eau** (bassin versant drainant beaucoup de MES et de sédiments riches en fer ; assainissement insuffisant des secteurs urbains par le passé) qui rendait le traitement plus contraignant selon les conditions météorologiques. Par la suite, la vocation « loisirs et pêche » s'est développée (camping municipal en rive Est), s'accompagnant de travaux de mise en valeur du plan d'eau et de la zone de loisirs entre 1986 et 1990. **Les blooms de Cyanobactéries observés chaque année depuis l'été 1992 peuvent amener les pouvoirs publics à interdire la baignade (1997).**

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE (chaque année, depuis 1998 )

- **suivi régulier** (un prélèvement / 15 j de mars à mi-juin, hebdomadaire de mi-juin à début septembre) de l'évolution des populations de phytoplancton (liste floristique et quantité en %) et de la transparence de l'eau ;
- **épandage « préventif » de sulfate d'alumine** au moment du relargage du phosphore, afin de le « repiéger » dans les sédiments. Le suivi de l'évolution de la transparence et du phytoplancton permet d'évaluer la période de traitement ;
- **épandage « curatif » de sulfate de cuivre** au début de la phase de croissance des cyanobactéries (>50% du phytoplancton).  
Les épandages sont réalisés **sur toute la surface de la retenue (3 jours)**, à la pelle pour le sulfate d'alumine, et à l'aide de rampes disposées sur un bateau pour le sulfate de cuivre.
- **abaissement partiel du niveau de l'eau** (de 1 m à 1,10 m) dès la fin de la saison touristique, afin de chasser les microalgues avant qu'elles ne meurent et ne rechargent les sédiments en phosphore contenu dans leur paroi cellulaire. Cette opération a nécessité la mise en place d'une vanne de fond qui complète le système de vidange déjà existant (type moine).

Par ailleurs, une ré-orientation de la pêche a été décidée (suppression de la pêche à la carpe) ainsi que l'extension du réseau d'assainissement sur la rive Est (la plus urbanisée).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Nette amélioration de la transparence (toujours > 60 cm) ; il n'y a pas eu d'autre interdiction de baignade depuis 1997. Cette amélioration pourrait également être liée à l'arrêt de déversements de carpes, depuis 1999 (= réduction de la remise en suspension des sédiments, et des apports en P par amorçage).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

« **Entièrement satisfait** ». Les études menées sur le plan d'eau indiquent cependant que la véritable restauration de la qualité des eaux devra passer par un curage des sédiments, principal source de phosphore.

### CONTEXTE

Créé en 1975, pour la pêche, dans le lit du ruisseau de la Coudane, le plan d'eau de la Roussille fait suite à 2 autres plans d'eau, se succédant en cascade. Outre les apports en provenance du bassin versant, **sa problématique est étroitement liée à celle du plan d'eau de la Prugne, à l'amont immédiat**. Jouant le rôle de bassin de décantation, ce dernier présente actuellement un degré d'eutrophisation très marqué, avec des sédiments largement saturés en phosphore. Agissant, il y a encore quelques années, comme retardeur du processus d'eutrophisation de la Roussille, cette fonction ne se fait plus et **la Prugne a actuellement tendance à relarguer son phosphore en excès, accélérant l'eutrophisation à l'aval**.

Les blooms algaux qui se produisent régulièrement en été, même s'ils n'ont pas entraîné des interdictions de baignade, sont particulièrement préjudiciables (transparence) aux activités touristiques de la commune qui vient d'investir (à hauteur de 4 MF) pour aménager une base de loisirs sur le plan d'eau de la Roussille (plage surveillée, aires de jeux, hébergement, restauration légère, chemins).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE (chaque année, depuis 1999 )

- **suivi régulier** (un prélèvement / 15 j de mars à mi-juin, hebdomadaire de mi-juin à début septembre) de l'évolution des populations de phytoplancton (liste floristique et quantité en %) et de la transparence de l'eau ;
- **épandage « préventif » du sulfate d'alumine** au moment du relargage du phosphore, afin de le « repiéger » dans les sédiments. Le suivi de l'évolution de la transparence et du phytoplancton permet d'évaluer la période de traitement ;
- **épandage « curatif » au sulfate de cuivre** au début de la phase de croissance des cyanobactéries (>50% du phytoplancton).

Les épandages sont réalisés **sur toute la surface de la retenue (2 jours)**, à la pelle pour le sulfate d'alumine (forme noisette), et à l'aide de rampes disposées sur un bateau pour le sulfate de cuivre.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Depuis le début du traitement (été 1999), **la transparence est repassée au dessus de la barre des 50 cm** ; elle oscille désormais autour de 70 cm (40 cm lors du diagnostic préalable).

La 1<sup>re</sup> année de traitement (1999) a utilisé 1,8 t de AlSO<sub>4</sub> et 40 kg de CuSO<sub>4</sub> ; en 2000, seulement 750 kg d'alumine ont été nécessaires, les cyanobactéries n'étant apparues qu'en fin de saison touristique (la commune n'a pas souhaité réaliser d'épandage au CuSO<sub>4</sub>).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La commune est **satisfaite** de l'amélioration de la transparence pour la baignade, bien que sa valeur soit inférieure à la norme impérative de 1 m. Le traitement actuel permet de limiter l'impact du développement de Cyanobactéries sur la pratique de la baignade, mais **sa répétition sur une période plus longue n'est pas souhaitée**. La commune s'oriente vers le **choix d'un curage du plan d'eau amont et de la Roussille, et d'actions de sensibilisation pour réduire les sources potentielles de phosphore sur le bassin**.



Peu profonds (<1m).  
Temps de séjour des eaux long.

Proliférations algales gênant les usages.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Réduire la biomasse algale au moyen d'un agent chimique qui agit au niveau du métabolisme cellulaire (blocage ou destruction).

## MISE EN ŒUVRE

### • Produits utilisés

Les algicides organiques sont peu utilisés au contraire des algicides minéraux, tels que le permanganate de potassium et surtout le **sulfate de cuivre**, qui inhibe la photosynthèse, la multiplication cellulaire et la fixation d'azote. Du fait de cette dernière propriété, les cyanobactéries fixatrices de N<sub>2</sub> sont particulièrement sensibles à ce produit.

### • Dosages

Les algues filamenteuses, les Characées et certains oscillaires périphtyques étant plus résistants que les algues planctoniques en général, il est nécessaire de doubler les doses de produits liquides ou d'utiliser plutôt des produits sous forme de granulés ou de cristaux.

Les doses dépendent de l'alcalinité du milieu :

- si alcalinité du milieu < 40 mgCaCO<sub>3</sub>/l → 0,075 mgCu/l, soit 0,3 mg/l de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

- si alcalinité du milieu > 40 mgCaCO<sub>3</sub>/l → 0,250 mgCu/l, soit 1 mg/l de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

Ces doses peuvent être insuffisantes en cas de pH élevés (>9), et dans ce cas, il vaut mieux utiliser du cuivre chélaté par la triéthanolamine ou par l'acide citrique (le rapport acide citrique / sulfate de cuivre étant de 2 en poids).

### • Application

Dès les premiers symptômes de proliférations algales, par temps calme, ensoleillé et pour un T°C > 15°C, de préférence de la berge vers le centre (pour éviter de piéger le poisson dans des zones peu profondes).

En cas de risques de désoxygénation, appliquer le traitement en plusieurs fois et par secteur de plans d'eau.

Epannage à la main ou par déversement depuis un bateau. Utilisation possible de matériels issus de l'agriculture (pulvérisateurs...).

## EFFICACITÉ

Elle est **fortement dépendante des conditions environnementales et du bon respect des prescriptions** du fournisseur. Il faut en particulier :

- que le produit reste suffisamment **longtemps** en contact avec l'algue pour agir, c'est-à-dire qu'il faut prendre en compte le **temps de séjour** des eaux et le **temps de précipitation** des produits. A noter que plus les eaux sont riches en carbonates ou en argiles ou en complexes humiques, et plus le sulfate de cuivre aura tendance à former des complexes ou à s'adsorber, augmentant ainsi sa vitesse de précipitation ;

- que le traitement ait lieu **avant** que les développements ne soient trop intenses (l'activité biologique modifie la composition de l'eau ce qui peut réduire l'efficacité des produits).

**Quelques espèces sont réfractaires** et nécessitent des traitements particuliers :

- *Pithotora* (filamenteuse vert foncé) : sensible à un mélange de cuivre chélaté et de Diquat ;

- *Lyngbya* (cyanobactérie grisâtre formant des masses gélatineuses) : mélange de cuivre chélaté, de Diquat et d'un polymère de contact ;

- Diatomées coloniales (fonds bruns glissants) : résistantes aux traitements chimiques.

## AVANTAGES ...

+ **facilité** de mise en œuvre ;

+ **coût** limité.

## ... INCONVÉNIENTS

- **toxicité vis à vis des poissons** : le niveau de toxicité est variable selon les espèces, le stade de développement et les conditions de milieu ; une espèce comme la truite est particulièrement sensible, ... ;

- **toxicité vis à vis des invertébrés** (notamment certaines espèces brouetteuses de phytoplancton comme la Daphnie : la disparition de ces organismes peut favoriser des poussées algales planctoniques) ;

- **risque de désoxygénation** des eaux par mortalité brutale et dégradation des algues ;

- **accumulation** de cuivre dans les sédiments.

## RÉGLEMENTATION

Loi modifiée du 2 novembre 1943, relative aux procédures d'autorisation de mise sur le marché des substances actives ;

Loi 92-523 sur la distribution et l'application des produits phytosanitaires à usage agricole ;

Décret 94-359 du 5 mai 1994 relative aux autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (transposition de la Directive CE 91/144/CEE) ;

Règlement CE 933/94 du 27/4/94 (liste des substances actives) modifié par 2001/21/CE du 5 mars 2001.

## TECHNIQUE EFFICACE VIS À VIS DES ALGUES ... ... QUAND ELLE EST BIEN RAISONNÉE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## COÛT

• Variable selon les surfaces à traiter, la fréquence du traitement et le dosage.

• 5000 F/ha environ - Prévoir un coût pour le suivi analytique.

## PLAN D'EAU D'AZOLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 12 000 m<sup>3</sup>    **Surface :** 8 000 m<sup>2</sup>  
**Profondeur :** 1,5 m    **Type :** Lac aménagé en dérivation  
**Usages :** Loisirs (camping) ; pêche.

**Commune :** Propière (Rhône, 69)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** --- recours en justice ---

**Quelques informations sur le bassin versant :** Pollution organique provenant des rejets d'élevages et de laiteries depuis les années 90.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Trouble de l'eau dû à un développement d'algues microscopiques.

**Date et coût du traitement :** Mai 2000 : épandage d'algicide à base de sulfate de cuivre et de bioadditifs.

**Mise en œuvre :** Epandage manuel.

**Commentaires :** Plan d'eau domanial classé en première catégorie piscicole (productivité théorique = 163,8 kg/0,8ha)



C. Nivon - IRAP

## RETENUE DE KERNE UHEL

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 2,4 Mm<sup>3</sup>    **Surface :** 74 ha  
**Profondeur :** 8 m    **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable ; loisirs (voile, bateau à rames) ; pêche ; microcentrale.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Importants rejets en nutriments et en pesticides provenant d'une agriculture type élevage peu intensive. Actions incitatives par le programme Bretagne Eau Pure 2 et Programme de Maîtrise des Pollutions Agricoles.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation caractérisée par un développement excessif de phytoplancton dès la mise en eau (1981) avec un ou plusieurs blooms de cyanobactéries dans la période estivale.

**Date et coût du traitement :** Depuis 1985 : suivi régulier et traitement au sulfate de cuivre, 50 KF TTC pour le suivi et 10 à 15 KF TTC par traitement.

Depuis 1999 : destratification par bullage.

**Commune :** Tremargatte (Côtes d'Armor, 22)

**Propriétaire :** Conseil Général

**Gestionnaire :** Conseil Général

**Société ayant réalisé les travaux :** SAUR France (prestataire de service pour l'exploitation et l'entretien du barrage).

### CONTEXTE

Dès sa mise en eau, la retenue de Kerne Uhel a fait l'objet d'un **développement important de phytoplancton** marqué par un ou plusieurs **blooms de cyanobactéries**. La production d'eau potable en est gênée : fortes variations de pH, matières en suspension, matières organiques, odeur, toxines... mais surtout un goût désagréable pour les usagers.

Les épandages de sulfates de cuivre ont pour but, non pas d'éliminer les cyanobactéries mais d'en **empêcher le « bloom »** afin de garantir une qualité d'eau brute « potabilisable ».

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **suivi régulier** (un prélèvement par semaine d'avril à octobre) des paramètres suivants (dans l'eau) : Température - O<sub>2</sub> - Chlorophylle a - "familles" d'algues (en %) ainsi que pH - Azote - Phosphore - Carbone organique total - Fer - Manganèse - Cuivre et météorologie ;
- lorsque les cyanobactéries deviennent majoritaires (>50% du phytoplancton) et que la météorologie est propice à leur développement (ensoleillement et températures élevées), la SAUR réalise l'**épandage** d'un mélange de sulfate de cuivre et acide citrique (50/50) sur toute la surface de la retenue (1 jour) à l'aide de rampes pulvérisatrices disposées sur un bateau (l'acide citrique a pour but de fixer le sulfate de cuivre afin d'augmenter sa rapidité d'action) ;
- les épandages sont réalisés **par zones** selon un protocole qui tient compte des volumes d'eau et de l'intensité des proliférations de cyanobactéries : dosages de plus en plus forts vers le barrage (et la prise d'eau), le but étant d'obtenir environ 20 à 40 µg/l de sulfate de cuivre. Selon les années, 1 à 3 épandages sont nécessaires par saison.

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Bonne efficacité** du traitement préventif qui évite l'apparition de blooms de cyanobactéries.

Lorsque les cyanobactéries se développent (ex en 1999) un 2<sup>e</sup> traitement à une semaine d'intervalle est alors nécessaire pour qu'une diminution sensible des cyanobactéries soit perceptible (deux semaines après le premier épandage).

### RÉSULTATS À LONG TERME

**Aucune action** sur l'évolution de la quantité de **cyanobactéries** : chaque année les épandages sont nécessaires si les conditions météo favorisent le bloom. **Aucune action** sur le **niveau trophique** de la retenue. Par contre ce procédé entraîne une **accumulation de cuivre** dans les sédiments : dans la retenue les valeurs maximales observées sont de 70 mg/kg de sédiment, soit un niveau supérieur aux sédiments dits de bonne qualité (max 30 mg/kg). Ces sédiments restent cependant encore compatibles (vis à vis de ce paramètre) avec une possible revalorisation agricole, en cas de curage (valeur maximale : 100mg/kg pour l'épandage sur des sols agricoles).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le traitement au sulfate de cuivre permet grâce à un **suivi régulier** d'obtenir une qualité d'**eau brute non polluée** par les cyanobactéries, mais cela suppose un suivi très important et coûteux (il peut être réduit aux paramètres Température, O<sub>2</sub>, Chl.a et qualité du phytoplancton).

### CONTEXTE

Petit plan d'eau créé en 1996 pour la baignade, en amont d'un plan d'eau déjà existant pour la pêche. L'exutoire du plan d'eau amont se rejette directement dans la rivière sans passer par le plan d'eau aval. Aucune analyse de qualité n'a été réalisée avant l'épandage du produit mais un **trouble de l'eau, provoqué par un développement d'algues microscopiques, a induit l'interdiction de la baignade en 2000**. Le traitement du plan d'eau est alors précipitamment réalisé en mai 2000.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- baisse du plan d'eau d'un mètre pour améliorer l'efficacité du produit ;
- épandage de quatre types de produits :
  - \* carbonate de calcium ;
  - \* odabio (= bioadditif) : 525 kg épandus en deux fois (mai et juin) ;
  - \* sonnar P5 (= herbicide à base de fluridone) : 7kg épandus sur toute la surface du plan d'eau, soit la 1/2 de la dose prescrite (20 kg/ha/1m de profondeur) ;
  - \* **sulfate de cuivre : la dose utilisée a du être de 0,5 à 1 mg/l (selon des analyses postérieures).**

### RÉSULTATS À COURT TERME

- **mortalité totale de la faune piscicole et des grenouilles** dès le lendemain de l'épandage : 60 kg de poissons morts ;
- **teneurs en cuivre** dans le plan d'eau atteignant 295 µg/l **incompatibles avec la vie piscicole** (les limites de toxicité sont d'environ 100 µg/l pour les salmonidés et 400 µg/l pour les carpes - Brémond R & Perrodon C., 1979. Les paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'Environnement, 2e éd.) ;
- **sédiments non touchés** le lendemain de l'épandage car ils ne contiennent que 15 µg/l de Cu (eaux interstitielles) ;
- **interdiction de la baignade** pour la saison estivale.

Le problème reste de savoir si la mortalité vient d'un surdosage par erreur humaine ou de la nature du mélange de produits.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Trois ans d'attente sont maintenant nécessaires pour que le plan d'eau soit de nouveau propice à la vie piscicole et à la pêche

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La fédération de pêche a dressé un procès verbal à l'encontre des sociétés ayant travaillé pour épandre le produit.

Il s'agit d'un **mauvais souvenir** pour les gestionnaires.

Etangs piscicoles où l'élément nutritif limitant le développement des algues est l'azote, en raison d'un enrichissement en phosphore.

Cette limitation favorise le développement des Cyanobactéries capables d'utiliser l'azote atmosphérique, au détriment de toutes les autres espèces d'algues.

Proliférations de Cyanobactéries qui constituent des impasses trophiques dans la chaîne alimentaire et qui sont également toxiques pour les autres organismes (des algues aux poissons) limitant ainsi la productivité piscicole.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

De manière générale, il s'agit de contrôler le développement de la végétation algale en utilisant l'activité d'organismes vivants.

Ces organismes peuvent être des végétaux ou des animaux.

Les activités sollicitées sont directes :

- consommation par les animaux phytophages (cf fiche n°4) ;
- élimination par des organismes pathogènes (technique au stade de la recherche).

ou indirectes :

- destruction de l'habitat par des organismes fousseurs (cf fiche n°21) ;
- compétition avec d'autres végétaux. La compétition végétale interspécifique consiste à **modifier la composition spécifique du peuplement** de manière à le rendre plus favorable à la production piscicole et/ou aux usages du plan d'eau.

La fertilisation en azote entre dans ce cadre : on agit directement sur la ressource nutritive des algues, non pas pour réduire les proliférations, mais pour modifier la composition spécifique du peuplement.

## MISE EN ŒUVRE

La **compétition végétale** interspécifique intervient :

\* soit au niveau de la disponibilité de la lumière (pour les macrophytes - cf fiche n°21) ; elle peut alors s'envisager de manière passive ou active :

- **passive** = élimination des macrophytes dans les zones à fort développement planctonique ; élimination des plantes fixées immergées par des plantes flottantes ou à feuilles nageantes ;
- **active** = plantation d'espèces (acceptables) capables d'en supplanter d'autres par effet allelopathique (secrétion de toxines).

\* soit au niveau de l'équilibre N/P : dans ce cas on agit directement sur la ressource nutritive des algues en "corrigeant" les teneurs en N en fonction de l'objectif.

*Epandage de nitrate d'ammonium à partir d'un bateau sur l'ensemble de la surface du plan d'eau, dès que l'azote devient limitant (Dose de 8 à 12 unités d'azote /ha - Epandage en juin en général (étangs du Forez) - Durée fonction de la surface de l'étang, 1j en général).*

*Le suivi des algues et l'épandage peuvent se faire par le propriétaire de l'étang. Les études préalables qui aboutissent à déterminer les dosages et les périodes d'épandages, doivent être réalisées par un bureau spécialisé, pendant au moins 1 cycle annuel.*

## RÉGLEMENTATION

- Pas de réglementation spécifique.

## PROCÉDÉ EFFICACE (A COURT TERME SEULEMENT) VIS A VIS DES CYANOBACTÉRIES MAIS TRÈS SPÉCIFIQUE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- ROBIN J., Dynamique saisonnière du phytoplancton en étang de pisciculture de la plaine du Forez (Loire). Essais de contrôle des Cyanobactéries. Thèse de l'Université Claude Bernard Lyon 1 - ISARA Lyon. 1999. 213 p.

## EFFICACITÉ

Peu d'exemples d'application existent en France.

Ce procédé est cependant **efficace vis à vis de l'objectif de modification de la composition spécifique du peuplement algal** s'il a été bien étudié au préalable, ... Les quantités d'azote doivent être « calculées » au cas par cas ; la période d'épandage doit être déterminée précisément, également au cas par cas :

- nécessité d'études préalables caractérisant le fonctionnement trophique de l'étang (au moins 1 cycle annuel) ;
- nécessité de suivre chaque année la qualité de l'étang afin de déterminer avec exactitude le moment où il faut épandre (dès que l'azote devient limitant).

## AVANTAGES ...

- + facilité de mise en œuvre ;
- + coût faible.

## ... INCONVÉNIENTS

- ne concerne que des cas particuliers (c'est-à-dire qu'ils **ne sont pas extrapolables**) essentiellement en raison de la complexité des mécanismes en jeu et qui concernent l'ensemble de l'équilibre d'un écosystème ;
- traitement à effectuer chaque année .

## COÛT

Faible pour l'épandage quand il est réalisé par le propriétaire ou gestionnaire de l'étang.

Faible pour les études préalables et le suivi.

## ÉTANGS DU FOREZ

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~ 90 000 m<sup>3</sup> moy. **Surface :** 6 ha moy. (max. 32 ha)  
**Profondeur :** 1,5 m moy. **Type :** Étangs  
**Usages :** Pisciculture.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture (céréales et élevage) limitée.

**Problèmes identifiés sur les étangs :** Apports de fertilisants phosphatés jusqu'aux années 80 et chaulage au début des années 90. Stratification estivale avec anoxie du fond et prolifération massive de cyanobactéries toutes les fins d'été. Mortalités piscicoles et départ des canards.

**Date et coût des traitements :** Depuis 95 des études ont proposé d'effectuer des fertilisations azotées dans quelques étangs. Coût : 250 F max pour l'épandage du produit et environ 15 000 F pour le suivi d'un étang isolé pendant 2 ans.

**Mise en œuvre :** Epandage d'une solution liquide de nitrate d'ammonium pour rééquilibrer le rapport Azote/Phosphore au moment où l'azote devient limitant.

**Commentaire :** Les étangs du Forez restent toujours en eau.

**Communes :** Nombreuses communes (Loire, 42)

**Propriétaires :** Privés

**Gestionnaires :** Propriétaires aidés de l'ISARA

**Société ayant réalisé les travaux :** ISARA - Cellule Aquaculture - 31, place Bellecour - 69 288 Lyon Cedex 2



### CONTEXTE

Les étangs de pisciculture du Forez sont toujours soumis aux **effets des fertilisations en phosphore** (apports de scories) effectués depuis 50 ans. Accumulé dans les sédiments, le phosphore est à l'origine des **proliférations de Cyanobactéries** observées pendant l'été.

Des **essais de chaulage** ont été faits pour provoquer le relargage précoce de phosphore et stimuler la croissance d'autres micro-algues mais sans résultats probants, les Cyanobactéries prenant toujours le dessus.

Des **apports en azote** ont alors été effectués suite à des études de l'ISARA de Lyon sur quelques étangs du Forez : ces derniers sont caractérisés par une **succession classique d'algues** à l'approche de la période estivale avec :

- 1 - un développement d'algues filamenteuses en avril/mai, période où le P est limitant ;
- 2 - une période de transition où le rapport N/P est équilibré : le peuplement algal est alors diversifié avec des Chlorophytes, des Diatomées, des Cryptophycées, des Dinophycées. La chaîne alimentaire fonctionne bien et permet un développement rapide du poisson ;
- 3 - un développement des Cyanobactéries en 2 phases : deux précurseurs se développent tout d'abord (*Aphanizomenon* puis *Anabaena*) profitant du déséquilibre N/P. Puis *Microcystis* se développe formant le « bloom » et entraînant une impasse trophique avec risques importants de mortalité piscicole.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

L'objectif est de **concurrenter les cyanobactéries** en favorisant le développement des Chlorophytes (Chlorococcales ou Volvocales) par un apport d'azote **au moment où il devient limitant**. Les cyanobactéries doivent être concurrentées dès le début de leur "poussée".

Un **suivi régulier** des algues filamenteuses (au moins 1 prélèvement par semaine) permet de savoir à quel moment précis l'étang perd son équilibre N/P et devient limitant en N. C'est à ce moment qu'une solution liquide de nitrate d'ammonium est épandue sur toute la surface de l'étang à partir d'un bateau. (Dose : 8 à 12 unités d'azote à l'hectare. Période : juin en général).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les développements des Cyanobactéries sont très limités ce qui permet d'**augmenter le rendement piscicole**. Grâce aux deux années de suivi analytique qui ont permis de bien comprendre le fonctionnement des étangs, l'efficacité de l'épandage est maintenant garantie, grâce à son "bon dimensionnement" (en termes de quantités et périodes d'épandage).

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le traitement n'a qu'un résultat à court terme, il **ne fait pas disparaître les Cyanobactéries** définitivement. Il faut donc le reproduire tous les ans.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Il s'agit d'une méthode **efficace vis à vis de la limitation des Cyanobactéries et peu onéreuse** (épandage par le propriétaire) qui favorise un meilleur fonctionnement de la chaîne alimentaire et donc prolonge la période de croissance du peuplement piscicole.

Retenue située dans un contexte géo-climatique lui permettant d'abriter des espèces de zooplancton herbivore de grande taille (dont le broutage est efficace, comme les Daphnies).

Retenue dont la charge externe en P n'est pas trop élevée (<0,69 gP/m<sup>2</sup>/an) pour éviter les blooms d'espèces non contrôlables comme les Cyanobactéries.

Marnges limités pour permettre la reproduction des espèces introduites, notamment les ichtyophages.

Proliférations algales gênant la production d'eau potable ou les usages de loisirs (liées à des apports nutritifs « internes » ou « externes » au plan d'eau).

### OBJECTIF ET PRINCIPE

De manière générale, il s'agit de contrôler le développement de la végétation algale en utilisant l'activité d'organismes vivants.

Ces organismes peuvent être des végétaux ou des animaux.

Les activités sollicitées sont directes :

- consommation par les animaux phytophages ;
- élimination par des organismes pathogènes (technique au stade de la recherche).

ou indirectes :

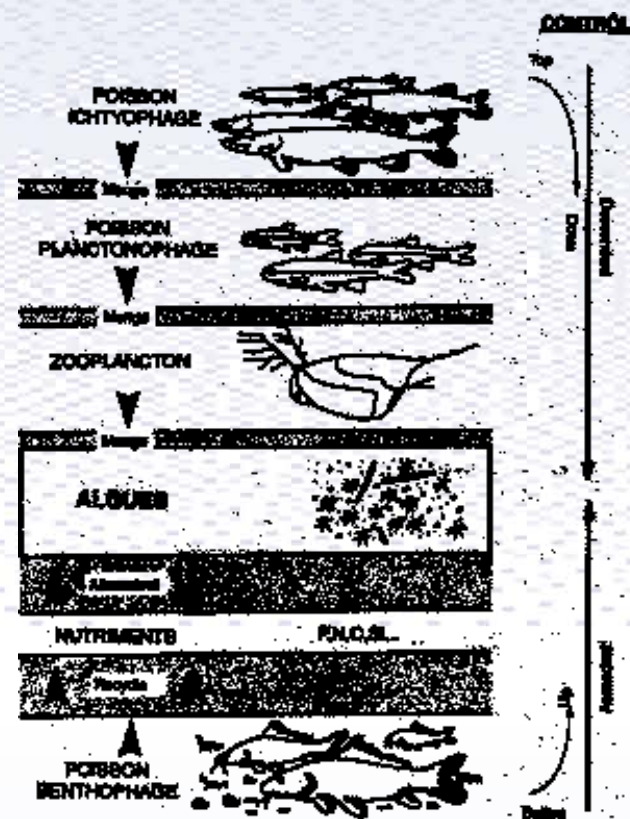
- destruction de l'habitat par des organismes fouisseurs (cf fiche n°21) ;
- compétition avec d'autres végétaux (cf fiche n°3).

Dans le cas présent, on agit sur les organismes qui contrôlent directement ou indirectement le développement des algues, pour réduire leur prolifération.

### MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre est très simple, consistant à déverser les poissons dans le plan d'eau.

Les études préalables sont cependant complexes, nécessitant les compétences de spécialistes.



Cascade trophique et contrôles réalisés par biomanipulation. Schéma extrait de Barroin, 1999.

Le **contrôle** peut être de **type « descendant »** dans la chaîne trophique :

1) on élimine les poissons qui consomment le zooplancton, de manière à le laisser se développer et brouter le phytoplancton par :

- capture des poissons,
- empoisonnement,
- l'introduction de poissons ichtyophages ;

2) on introduit directement des poissons consommateurs de phytoplancton, comme la carpe argentée, ...

Le **contrôle** peut être de **type « ascendant »** dans la chaîne trophique avec l'élimination des poissons dont les activités entraînent une augmentation de la charge du lac en P, comme les poissons benthophages, fouisseurs, ... par :

- capture des poissons,
- empoisonnement,
- l'introduction de poissons ichtyophages.

### EFFICACITÉ

**Efficacité aléatoire** en raison de la complexité des processus considérés ; s'agissant d'une action indirecte, il faut s'assurer que tous les maillons de la chaîne vont se comporter comme prévu ... ce qui est bien évidemment peu garanti !

Dans le cas d'introductions de poissons planctonophages ou ichtyophages, il est en particulier **impératif** :

- de bien connaître la **composition du peuplement** piscicole en place (et des espèces planctoniques) - (*Etudes préalables*) ;
- que le **nombre** d'individus soit adapté à la taille de la retenue : les piscivores doivent représenter 30 à 40 % du peuplement total soit un rapport compris :  $0,28 < \{ \text{biomasse piscivores} / (\text{biomasse planctonophages} + \text{benthophages}) \} < 0,66$  ;
- que les espèces garantissent le maintien d'une certaine **diversité** : c'est en effet par la diversité du peuplement piscivore que l'on peut assurer la continuité de la prédation quelles que soient les variations saisonnières des conditions environnementales.

### AVANTAGES ...

- + facilité de mise en œuvre ;
- + coût faible.

### ... INCONVÉNIENTS

- ne concerne que des cas particuliers (c'est-à-dire qu'ils **ne sont pas extrapolables**) essentiellement en raison de la complexité des mécanismes en jeu et qui concernent l'ensemble de l'équilibre d'un écosystème ;
- incertitude vis à vis des résultats ;
- risque d'introduction « involontaire » d'espèces dans les milieux aval.

### RÉGLEMENTATION

- Pas de réglementation spécifique (hormis l'interdiction d'introduire des espèces exotiques dans des eaux non closes).

## EFFICACITÉ ALÉATOIRE VIS À VIS DE LA RÉDUCTION DE PROLIFÉRATIONS ALGALES

Relativement faible.

### COÛT

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## RETENUE DU JAUNAY

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 3,7 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 114 ha

**Profondeur :** 3 m (max.7m) **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, loisirs (canoës, pédalos), pêche, soutien d'étiage et écrêtage des crues, gestion de la restitution d'eau pour les marais salants.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture semi-intensive et importants rejets domestiques non ou mal assainis. Exploitations et dispositifs d'assainissement mis aux normes dans le périmètre rapproché. Autour, études de zonages et Programme de Maitrise des Pollutions Agricoles en cours.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Retenue très eutrophisée par les apports importants de phosphore et d'azote : blooms de cyanobactéries, désoxygénation des eaux du fond, relargage de Fe et Mn et variation des paramètres Fe, Mn, NH<sub>4</sub>, pH et O<sub>2</sub> perturbent la filière de potabilisation.

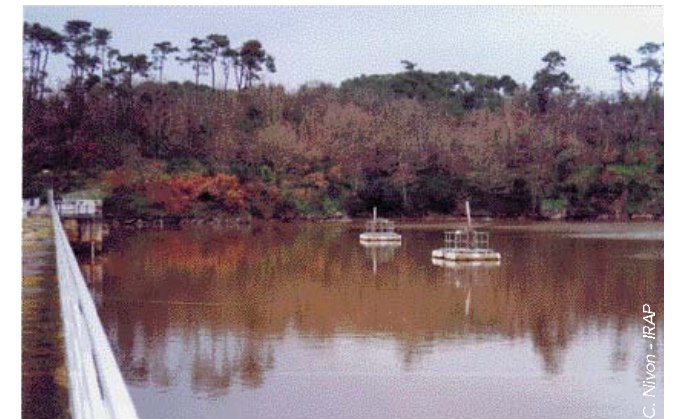
**Date et coût du traitement :** **1987** : brassage par 2 aérateurs type turbines (400 KF) ; **Depuis 1990** : empoissonnements (593 KF HT pour 9 ans) ; **1997** : mise en place d'un pré-barrage (digue en terre isolant 20 ha en amont) (2,1 MF).

**Commune :** La Chapelle Hermier (Vendée, 85)

**Propriétaire :** Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable du Pays de Brem.

**Gestionnaire :** SIAEP Pays de Brem

**Société ayant réalisé les travaux :** Fédération de pêche de Vendée.



### CONTEXTE

Depuis la mise en eau de la retenue mais surtout depuis 1983, la **qualité de l'eau**, en période estivale, est **dégradée**, en raison des apports nutritifs de l'affluent. Chaque été, une **couche épaisse d'algues** (cyanobactéries : *Microcystis aeruginosa* et *Planktothrix agardhii*) couvre la surface du plan d'eau. Malgré la possibilité de prélever de l'eau brute à différents niveaux dans la retenue, le **traitement de l'eau est perturbé** par la forte charge organique, les variations de pH et les fortes teneurs en fer, manganèse et ammonium. La présence d'algues provoque une mauvaise décantation de l'eau et un colmatage des filtres à sable. En 1990, la station s'est dotée d'un système de fottation afin de traiter la remontée des algues.

Outre le **système d'aération** mis en place dès 1987, la retenue fait l'objet d'**empoissonnements** depuis 1990 en tant que mesure d'accompagnement.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Chaque année 2 déversements de poissons sont réalisés (décembre et printemps). Au total : **2T de rotengles et 10 000 brocheton**.

Le choix du rotengle a été fait dans la mesure où l'on pensait ce poisson partiellement phytophage (algues microscopiques et filamenteuses), alors qu'en fait son régime alimentaire est proche de celui du gardon (zooplanctonophage) ; le choix du brochet (carnassier) visait à limiter la population de gardon, principal prédateur du zooplancton.

### RÉSULTATS

Deux techniques ont été mises en place en même temps : aération au droit de la prise d'eau et empoissonnement de la retenue. Il est difficile de connaître la part de chacune d'autant plus que la retenue du Jaunay est très sensible aux variations climatiques : beaucoup de facteurs entrent en jeu. Une étude est actuellement en cours pour connaître les effets de chaque traitement. On sait d'ores et déjà que l'aération a au minimum un effet positif vis à vis de la qualité de l'eau et de l'oxygénation, localisé au niveau de la prise d'eau.

Les **blooms de cyanobactéries sont toujours présents**, et la retenue conserve un **niveau trophique élevé**. Ce n'est que depuis 3 - 4 ans que ces blooms ne sont plus aussi catastrophiques mais cela coïncide également avec des étés moins chauds ; de plus, la mise en place en 1997 d'un pré-barrage permet de retenir en partie les matériaux chargés en éléments nutritifs provenant du bassin versant.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le syndicat d'alimentation en eau potable ainsi que la SAUR sont **sceptiques** quant à l'efficacité du déversement en poissons (*remarque : il est certain que le choix du rotengle ne paraissait pas adapté*). Les lâchers d'eau effectués pour le soutien d'étiage ou pour les marais salants entraînent très certainement une importante quantité de poissons en aval. La **survie des brochetons et des rotengles n'a pas été étudiée jusqu'alors**.

Cette année 2000, le syndicat a souhaité stopper l'empoissonnement afin de lancer une étude permettant d'en connaître l'efficacité. Le coût annuel de l'opération est en effet relativement important et mérite que soit appréciée son efficacité.

Ce type de technique est **rarement appliqué** en raison de la contrainte majeure que représente la **disponibilité d'une ressource en eau suffisante** :

- **en quantité (pour les chasses)** : la qualité de l'eau est alors indifférente, mais le débit de chasse doit être tel qu'il permette un taux de **renouvellement de 10 à 15 % du volume du lac par jour** ;

- **ou en qualité (pour la dilution)** : les teneurs en P des eaux de dilution doivent être très inférieures aux teneurs internes du lac.

Proliférations algales gênant les usages.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Il s'agit de limiter la prolifération phytoplanctonique dans le lac en y injectant :

- une eau pauvre en phosphore, à un débit indifférent, pour **diluer le P** interne du lac ;

ou

- un débit élevé, de teneurs indifférentes en P, de manière à **chasser les algues**, plus vite qu'elles ne se multiplient.

## MISE EN ŒUVRE

L'eau utilisée pour les chasses ou les dilutions peut être :

- une eau de surface d'un réseau hydrographique voisin (débit élevé → chasse) ;
- une eau de réseau de distribution (bonne qualité → dilution) ;
- une eau souterraine (bonne qualité → dilution).

Les temps de mise en œuvre sont variables en fonction du type de technique utilisée et de la ressource en eau.

## EFFICACITÉ

### Dilution

La technique est **d'autant plus efficace** sur les concentrations en phosphore, et donc sur le développement du phytoplancton, que **l'écart entre les concentrations en P du lac et des eaux de dilution est important**.

### Chasse

La technique est **d'autant plus efficace que le taux d'entraînement est proche du taux de croissance des algues**.

## AVANTAGES ...

Les **avantages** de la dilution passent aussi par des **effets induits** tels que :

- + la destabilisation de la colonne d'eau, phénomène défavorable au développement de certaines espèces telles que les Cyanobactéries ;
- + la stimulation de la croissance du zooplancton ;
- + la dilution des produits d'excrétion des Cyanobactéries qui s'opposent à la croissance des autres espèces ;
- + faibles effets secondaires indésirables ; ils sont liés à la qualité de l'eau que l'on injecte (vérifier sa non toxicité) et dans le cas des chasses, dans les effets d'entraînement vers l'aval de la faune piscicole et la perturbation hydraulique du réseau à l'aval.

## ... INCONVÉNIENTS

- **techniques coûteuses** ;
- **ne traitent pas le fond du problème**.

## RÈGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993 ;

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996 ;

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## TECHNIQUE MARGINALE EN RAISON DES TRAVAUX QU'ELLE IMPLIQUE ET DES CONDITIONS PARTICULIÈRES QU'ELLE REQUIERT

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## COÛT

Coûts d'investissements élevés selon la technique utilisée (dérivation des eaux de surface, pompages, ...)

Coûts de fonctionnement élevés selon la technique (eau de distribution publique, ...).

## RETENUE À NIVEAU CONSTANT DE LAVAUD

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~ 1 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 40 ha  
**Profondeur :** 3 à 4 m max.      **Type :** Retenue niveau constant  
**Usages :** Baignade, loisirs

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture intensive marquée surtout par 2 gros élevages bovins en amont. Un Programme de Maîtrise des Pollutions Agricoles est en cours.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation caractérisée par un développement de cyanobactéries, depuis 1991, gênant les activités touristiques.

**Date et coût du traitement :** Depuis ~1994 : chasse des cyanobactéries par vidange annuelle du plan d'eau dans la retenue de Lavaud, mi-septembre. Coût ~ 0 F.

**Commentaires :** Ce plan d'eau a été créé en amont d'une grosse retenue à vocation d'AEP et de soutien d'étiage (Lavaud), pour conserver une zone à niveau constant pour les loisirs. Les deux plans d'eau sont en connexion en période de hautes eaux.

**Commune :** Lavaud (Charente, 16)

**Propriétaire :** Conseil Général

**Gestionnaire :** Institution départementale du fleuve Charente

**Société ayant réalisé les travaux :** Mode de gestion de l'institution départementale du fleuve Charente.

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## BASE DE LOISIRS DE MANSIGNÉ

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~ 700 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 28 ha  
**Profondeur :** 2 à 3 m      **Type :** Lac  
**Usages :** Loisirs, baignade, voile, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Rejets de l'agglomération de Yvré-le-Pôlin (STEP) et pollution diffuse importante due à une agriculture intensive (75% des apports en phosphore).

Le bassin versant fait actuellement l'objet d'études de zonage pour la mise aux normes des STEP. L'affluent a été curé et en partie dévié sur une succession de décanteurs et chutes d'eau.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Apports importants en nutriments et envasement (1-2m) provoquant un développement excessif de phytoplancton en été avec bloom de cyanobactéries dès le mois de juin depuis 1989.

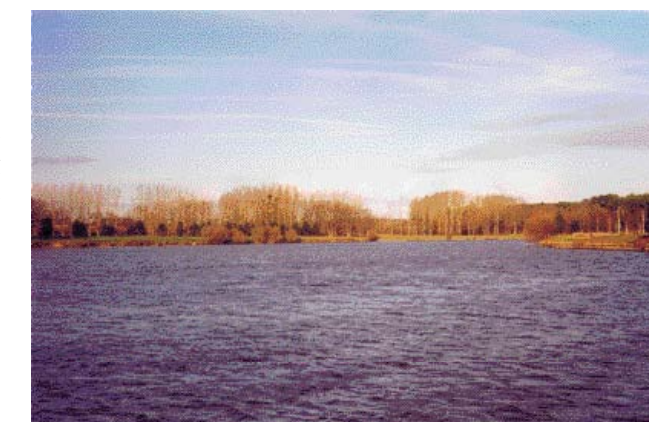
**Date et coût du traitement :** 1998 : forage dans la nappe captive du sénonien, investissement 250 KF (aide du Conseil Général) et fonctionnement ~500F / semaine.

**Commune :** Mansigné (Sarthe, 72)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** DDAF

**Société ayant réalisé les travaux :** société de forage



FICHE N° 5

FICHE N° 5

### CONTEXTE

Au cours de la construction de la retenue de Lavaud, utilisée pour le **soutien d'étiage du fleuve Charente**, une **retenue à niveau constant** a été mise en place pour garantir la **possibilité de baignade et de loisirs** sur le lac. Les deux retenues sont en communication lorsque Lavaud est plein et au contraire isolées en été, lorsque Lavaud fait des lâchers.

Depuis le début des années 90, Lavaud et sa retenue amont subissent une **dégradation de qualité avec le développement de cyanobactéries** en période estivale. Sur la retenue à niveau constant, cela pose des problèmes pour les activités de loisirs.

Le mode de gestion qui consistait à vidanger le plan d'eau tous les 2 ans a permis de se rendre compte que la vidange avait un effet de chasse sur les cyanobactéries, et permettait de limiter leur développement l'année suivante.

Depuis 1994 environ, les vidanges sont devenues annuelles.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

**Vidange de la quasi-totalité du plan d'eau** (sauf 1 ha conservé pour le poisson) à la fin de la période estivale mais avant que les cyanobactéries ne meurent et se déposent au fond (mi-septembre).

### RÉSULTATS À COURT TERME

- **Limite le développement des cyanobactéries** l'année suivante. Les résultats ne sont pour l'instant que visuels : un suivi des algues va être mis en place à partir de l'été 2001.
- **Limite le dépôt des cyanobactéries mortes au fond de l'eau** qui contribuait à aggraver le phénomène d'eutrophisation et donc le développement ultérieur des algues.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Depuis 1994, **les cyanobactéries sont toujours présentes**, en quantités apparemment moindres, mais aucun suivi algal n'a encore pu confirmer réellement l'efficacité de la vidange. Aucun suivi de chlorophylle n'a été fait non plus sur le fleuve Charente ; il est donc, pour l'instant, impossible de dire si le développement des cyanobactéries de la retenue de Lavaud (et sa retenue à niveau constant) a une influence sur la qualité du fleuve.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les gestionnaires ont adapté leur mode de gestion pour limiter le développement des cyanobactéries. « **Dès le départ ça a bien fonctionné** ».

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Le forage a été réalisé jusque dans la **nappe captive du Sénonien** à 171 m de profondeur. De 0 à 105 m le forage est cimenté pour protéger les nappes supérieures ; la crépine est installée de 105 à 140 m. Avec un diamètre de 220 mm et une pompe de 4 pouces, les débits peuvent théoriquement atteindre 150 m<sup>3</sup> /h.

Le forage est soumis à déclaration et son **débit est limité au maximum à 80 m<sup>3</sup> /h**. Une étude préliminaire a été nécessaire pour montrer que le pompage dans la nappe ne restreignait pas les ressources en eau potable de la région.

En 1999 et 2000, ce dispositif n'a été mis en route que lorsque la température dépassait 17°C en surface, soit environ 3 semaines à raison de 6 à 10h par nuit et à un débit de 60 m<sup>3</sup> /h.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Cette dilution provoque immédiatement une **baisse de la température** (T° de la nappe : 10°C) et une **amélioration de la qualité physico-chimique** du plan d'eau et de la rivière en aval. Cela permet de limiter les effets de l'eutrophisation et notamment de **stopper les blooms** de cyanobactéries.

D'autre part le forage augmente la quantité d'eau en sortie du plan d'eau et permet un soutien d'étiage de la rivière (une étude est actuellement prévue pour déterminer la répercussion de ce dispositif sur le peuplement piscicole).

### RÉSULTATS À LONG TERME

Avec juste 2 ans de fonctionnement, on ne peut pas estimer les résultats à long terme ; d'autant plus que ces deux dernières années n'ont pas été marquées par un ensoleillement et une chaleur estivale importants, limitant ainsi naturellement le développement des cyanobactéries.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Il ne s'agit là que d'un **traitement palliatif** pour diluer l'eau du plan d'eau et limiter le développement des cyanobactéries. Un curage a été proposé pour approfondir le plan d'eau mais le coût, trop important, et le manque de subvention n'a pas permis d'adopter ce choix. Le forage **ne traite pas le problème d'eutrophisation** ; pour cela, il faudra d'une part réaliser un curage afin d'éliminer les sédiments (réduction de la charge interne en phosphore) et d'autre part agir sur la pollution diffuse provenant de l'agriculture intensive et sur l'assainissement domestique collectif (réduction de la charge externe en phosphore).



Stratification thermique estivale peu prononcée.

Profondeur supérieure à 15 / 20 m (en général la technique est plutôt appliquée aux lacs de 5 - 15 m pour des raisons économiques).

Développements d'algues préférant des milieux à hydrodynamique stable.

Conditions anoxiques au fond du plan d'eau.

Relargages de composés indésirables (phosphore, fer, manganèse, ammoniacale) depuis les sédiments.

Développement massif et brutal d'algues (notamment cyanobactéries).

Mauvaise qualité des retenues pour l'eau potable.

Dépréciation du patrimoine piscicole.

Dégradation des conditions de baignade.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Réduire la prolifération du phytoplancton ou améliorer sa composition spécifique en **détruisant la stratification thermique** ou en empêchant qu'elle ne s'installe.

L'air est envoyé sous pression dans un réseau de canalisations immergées reposant sur le fond du plan d'eau. Les bulles, formant un rideau, entraînent des courants de convection qui permettent le mélange progressif des eaux du fond et de surface, améliorant ainsi le niveau d'oxygénation global (par contact avec l'air atmosphérique et réoxygénation directe par diffusion des bulles d'air dans l'eau).

## MISE EN ŒUVRE

• **Analyses préalables sur le plan d'eau et le bassin versant pour dimensionner l'installation**

- calcul de la **longueur** et du **nombre de lignes** de bullages nécessaires et du **débit d'air** à injecter ;

- choix de l'**emplacement des canalisations**. Ce système agit plus efficacement si elles sont placées perpendiculairement au barrage que parallèlement ;

- calcul de la **période de fonctionnement**. L'aération est mise en fonctionnement durant la période de stabilité thermique, généralement d'avril à octobre. Dans ce cas, la circulation des eaux peut débuter bien avant que la stratification ne s'installe (généralement au printemps) ou bien une fois la stratification bien établie (il faut alors démarrer le mélange très doucement et l'intensifier graduellement). Une fois la circulation établie, le dispositif peut éventuellement ne fonctionner que de façon intermittente.

Selon l'état de la qualité des eaux et de la morphologie du plan d'eau, un fonctionnement permanent peut aussi être adopté.

• **Installation**

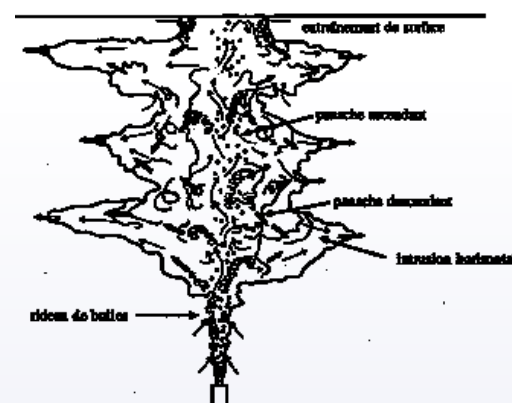
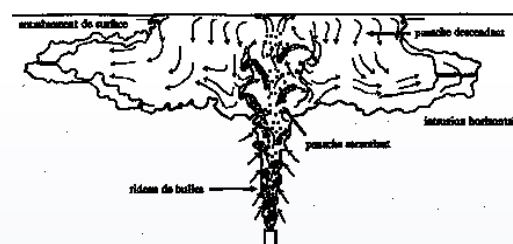
Les canalisations sont installées au fond du plan d'eau par des plongeurs. Elles sont lestées à l'aide de béton armé et de sangles. Le compresseur est déposé dans un local insonorisé sur la berge. Il est généralement actionné par un moteur électrique.

Selon la taille du plan d'eau, quelques semaines à plusieurs mois sont nécessaires pour installer les lignes de bullage et la connexion avec le compresseur.

## CONFIGURATION D'UN SYSTÈME DE DÉSTRATIFICATION PAR AÉRATION DIFFUSE



Schéma Aquatechnique



Modélisation de la dispersion du panache de bulles, en cas de milieu faiblement stratifié et d'un fort débit d'air (à g) : le panache de bulles atteint la surface sans intrusion intermédiaire ; et en cas d'un milieu modérément stratifié et d'un débit d'air moyen (à d.) : plusieurs intrusions horizontales intermédiaires se produisent lors de la remontée des bulles. (d'après Asaeda & Imberger, 1993, In Salençon 1998).

## EFFICACITÉ

La circulation artificielle est efficace vis à vis de la diminution des concentrations de phytoplancton par :

- entraînement des algues au fond où la **carence en lumière** permet de réduire rapidement la biomasse par unité de volume ;
- augmentation de la teneur en **CO<sub>2</sub>** épilimnique d'où une réduction du **pH** et la stimulation du **broutage** par le zooplancton.

et permet également d'améliorer la qualité d'eau par :

- rééquilibrage des **échanges chimiques** entre les sédiments et le fond de l'eau et inactivation des composés indésirables ;
- **amélioration** des eaux stagnantes du fond.

Elle est inefficace vis à vis du traitement du problème du phosphore.

## AVANTAGES ...

En plus du **contrôle des algues nuisantes**, la circulation artificielle produit des effets intéressants sur :

- + la **qualité de l'eau** car goûts et odeurs dus aux algues sont éliminés. Cette homogénéisation de la qualité de l'eau se fait dans l'espace comme dans le temps, ce qui est de nature à satisfaire le traiteur d'eau ;
- + la **faune piscicole** car elle augmente le volume d'eau colonisable par les espèces thermophiles qui restaient auparavant "bloquées" dans l'épilimnion.

## ... INCONVÉNIENTS

- risque de **remise en suspension** des sédiments avec des conséquences vis à vis de la transparence et du relargage du phosphore ;  
⇒ Nécessité de rehausser les lignes de bullage ;
- lorsque les **sédiments sont très chargés en phosphore** par rapport au fer, son inactivation n'est pas totale  
⇒ risque de relargage et de stimulation de la prolifération algale ;
- si le plan d'eau n'est **pas assez profond**, l'augmentation de la température accroît les phénomènes de biodégradation aérobie et donc la charge interne en phosphore.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## EFFICACE VIS À VIS DES NUISANCES LIÉES AUX ALGUES MAIS NE TRAITE PAS LE FOND DU PROBLÈME (= PHOSPHORE)

## COÛT

- Principalement lié à l'investissement et l'installation du matériel ;
- Environ 3 MF (HT) pour l'installation de 6 Km de lignes de brassages et un compresseur sur la berge dans un local insonorisé.
- Environ 100 à 150 KF par an pour le fonctionnement et l'entretien du système.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Études des Agences de l'eau n°62. 214 p
- Aqua Technique, Restauration de la qualité des plans d'eau. Plaquette de présentation.
- Salençon, Brassage artificiel des eaux de la retenue de Grangent. Etude par traçage des circulations créées par les lignes de brassage en 1997. Rapport EDF DER, 1998.

## RETENUE DE PIERRE BRUNE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 3 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 75 ha  
**Profondeur :** 10 m      **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, soutien d'étiage et gestion de crue, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture de type élevage hors sol, entraînant un apport important de nutriments dans la retenue. Des études sont en cours sur le bassin versant afin de déterminer les actions nécessaires.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation se manifestant depuis 15 ans par une désoxygénation des eaux du fond et un développement de cyanobactéries en surface. Problèmes de goûts dans l'eau potable et d'odeurs au niveau de la base de loisirs en aval.

**Date et coût du traitement :** 1999 : déstratification par bullages, investissement 1 MF et fonctionnement 80 à 100KF /an.

**Mise en œuvre :** 4 lignes de bullages de 7 à 11 m de profondeur. Un compresseur de 75 KW sur la rive.

**Commentaires :** Une base de loisirs est située juste en aval de la retenue.

**Commune :** Mervent (Vendée, 85)

**Propriétaire :** Syndicat intercommunal pour l'utilisation de l'eau du Mervent.

**Gestionnaire :** SAUR

**Société ayant réalisé les travaux :** Tech Sub.

**Etudes :** Bi-Eau (Angers), SAUR.

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## RETENUE DE MOULIN NEUF

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 1,3 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 55 ha  
**Profondeur :** 2 m (5 m max)      **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Apports importants de nutriments par les deux affluents : rejets de STEP, rejets diffus d'origine domestique et agricole + importants rejets phosphorés par la pisciculture de Moulin Callac.

Plusieurs programmes (Bretagne Eau Pure ; Maîtrise de Pollution Agricole) ont été mis en œuvre depuis 10 ans ainsi que le rachat et fermeture de la pisciculture en 1989.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation depuis sa mise en eau (1977) caractérisée par une prolifération phytoplanctonique excessive, notamment de cyanobactéries entraînant des gênes dans la filière de traitement de l'eau.

**Date et coût du traitement :** épandages de sulfate de cuivre depuis 1982 (non maîtrisés jusqu'en 1990). Aération diffuse depuis 1990, investissement 960 KF HT.

**Commune :** Pont l'Abbé (Finistère, 29)

**Propriétaire :** Communauté de commune du Pays Bigouden Sud

**Gestionnaires :** Exploitant SAUR

**Société ayant réalisé les travaux :** Aqua Technique - Parc de l'Isles - 15-27 rue du port - BP 727 - 92 007 Nanterre - Tél : 01 46 14 71 73



### CONTEXTE

Mise en eau en 1977, la retenue de Moulin Neuf a été créée pour **soutenir l'étiage de la rivière de Pont l'Abbé** sur laquelle se trouve la **prise d'eau potable** au fil de l'eau. La pisciculture de Moulin Callac, en amont de la retenue, a été orientée de 1986 à 1989 (date de sa fermeture) vers la production de saumons (120 T/an) et a eu un impact considérable sur les **flux de phosphore** de la rivière de Pont l'Abbé.

Depuis 1982 la retenue fait l'objet d'épandages de sulfate de cuivre afin de limiter la prolifération des cyanobactéries. Jusqu'en 1990, les épandages non raisonnés ont entraîné une accumulation excessive de cuivre dans les sédiments. C'est en 1990, que le système d'aération a été mis en place, fonctionnant chaque année en période estivale. Quelques épandages de sulfate de cuivre ont encore été réalisés en complément mais de manière maîtrisée puisqu'un suivi régulier de la qualité des eaux est effectué par l'INSA de Rennes (teneur en O<sub>2</sub>, pH, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, analyse qualitative des algues) ; les épandages ne sont effectués que lorsqu'il s'agit de développements de cyanobactérie (le sulfate de cuivre est inefficace contre les diatomées ou les chlorophycées).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- Deux rampes de diffusion de 300 et 500 m installées dans l'ancien lit de la rivière alimentées par une unité de compression installée sur la rive.

- Fonctionnement de 8h par jour en période estivale (d'avril à octobre) au début. Actuellement le fonctionnement est continu pendant toute la période estivale.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Dès 1991, le système d'aération a permis une bonne homogénéisation verticale de la température. Les variations de pH ont été nettement atténuées et les concentrations en O<sub>2</sub> restent supérieures à 4 mg/l jusque dans le fond de la retenue (au lieu de 1,8 mg/l auparavant). Un déplacement des rampes au droit de la vanne de fond en 1996 a permis d'augmenter le taux en oxygène dans le fond à 6 mg/l en période estivale. Le traitement de l'eau pour la potabilisation a été nettement facilité.

### RÉSULTATS À LONG TERME

La destratification de la retenue n'empêche pas totalement les relargages en nutriments depuis les sédiments mais les limitent considérablement par une réoxygénation des eaux de fond. **Le développement de phytoplancton est ainsi limité** par cette réduction de relargage mais aussi par la turbulence engendrée par les lignes de bullage. Jusqu'en 2000, le système d'aération a été complété par des épandages contrôlés en sulfate de cuivre juste avant le bloom de cyanobactéries.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La destratification a permis, pour la SAUR, d'**éviter des frais supplémentaires de traitement de l'eau potable**. La communauté de communes n'a pas eu besoin d'épandre du sulfate de cuivre cette année mais n'est pas en mesure de dire si l'effet provient de l'aération ou des actions sur le bassin versant. Enfin, les pêcheurs sont satisfaits car à la mise en route du système, les poissons, "effrayés" se réfugient sur les rives et se pêchent plus facilement.

### CONTEXTE

La retenue de Pierre Brune est située dans un complexe de quatre barrages pour la production d'eau potable. Elle est située entre un petit barrage en amont et un barrage en aval sur lequel se trouve la prise d'eau. En parallèle, une quatrième retenue vient alimenter la prise d'eau. Une base de loisirs se trouve entre la retenue de Pierre Brune et la retenue aval. Le complexe est aussi utilisé pour la gestion de la quantité d'eau du Marais Poitevin.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- installation de 4 lignes de bullage parallèlement au lit de la rivière, légèrement au dessus du fond de la retenue ;

- alimentation par un compresseur de 75 KW ;

- fonctionnement de 4 à 6 mois par an dont juin à septembre obligatoires ;

- fonctionnement journalier de 20h selon : Cycle de jour : 5h de fonctionnement pour 1h d'arrêt  
Cycle de nuit : 3h de fonctionnement pour 2h d'arrêt

### RÉSULTATS À COURT TERME

- amélioration de la qualité d'eau : le traitement permet maintenant d'éliminer le goût de l'eau ;

- élimination de toutes les algues planctoniques sauf les chlorophytes (moins gênantes que les cyanobactéries) ;

- bonne homogénéisation des paramètres : O<sub>2</sub>, T°, pH, ... ;

- disparition du problème d'odeur en aval du barrage.

Pour comparaison, Pierre Brune est maintenant **bien moins eutrophisée que la retenue située en parallèle** (qui possède les mêmes caractéristiques), alors qu'elle était auparavant soumise à un développement beaucoup plus important de cyanobactéries.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le système ne fonctionne que depuis 2 ans, mais montre déjà son **efficacité vis à vis de la potabilisation de l'eau** (réduction de 1/2 des quantités de charbon actif nécessaires à la neutralisation du goût de l'eau).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La SAUR est entièrement satisfaite car le dispositif a permis de **faciliter le traitement de l'eau**. Plus aucune plainte n'a été déposée de la part des touristes en aval du barrage concernant les mauvaises odeurs. Avec du recul la station est peut être un peu surdimensionnée ; le compresseur de 75 KW aurait peut-être pu être remplacé par un surpresseur de 10 KW, pour une économie de consommation d'énergie.

# AÉRATION HYPOLIMNIQUE

## TYPE DE PLAN D'EAU

- Stratification estivale prononcée.
- Profondeur supérieure à 12 - 15 m.
- Hypolimnion volumineux, épais et stable.
- Faibles marges.

## PROBLÉMATIQUE

- Conditions anoxiques au fond du plan d'eau.
- Relargages de composés indésirables (phosphore, fer, manganèse, ammoniacale) depuis les sédiments.
- Développement massif et brutal d'algues (notamment les cyanobactéries).
- Mauvaise qualité des retenues pour l'eau potable.
- Dépréciation du patrimoine piscicole.

# AÉRATION HYPOLIMNIQUE

## OBJECTIF ET PRINCIPE

L'objectif est d'augmenter les teneurs en oxygène dissous dans l'hypolimnion sans gêner la stratification pour :

- réduire les relargages de P en maintenant oxydés les sels de fer à l'interface eau - sédiment ;
- oxyder les composés réduits (NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, Mn, Fe, ...) présents dans l'hypolimnion et qui sont sources de goûts et d'odeurs dans l'eau destinée à l'eau potable ;
- permettre le maintien de populations piscicoles dans les eaux profondes habituellement désoxygénées.

## MISE EN ŒUVRE

Deux types de systèmes, avec chacun des variantes, ont été développés.

### par pompage mécanique

#### Système installé sur la berge

- la zone à traiter doit être proche du bord ;
- l'efficacité est satisfaisante ;
- le coût de revient est plus élevé que les autres systèmes (rendement de transfert de l'O<sub>2</sub>/KWH plus faible).

#### Système installé en pleine eau

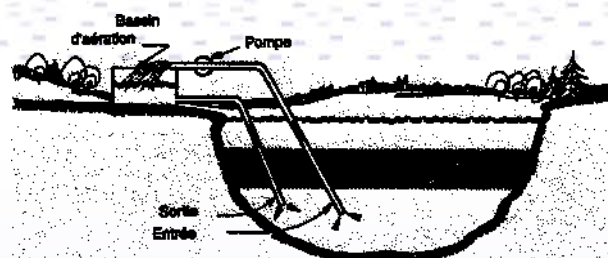
- installation à l'aplomb de la zone à traiter ;
- principe : introduire des bulles d'air dans un flux descendant ce qui permet d'améliorer le rendement ;
- inconvénient = problème de la séparation et de l'évacuation des gaz non dissous.

### par effet d'air lift

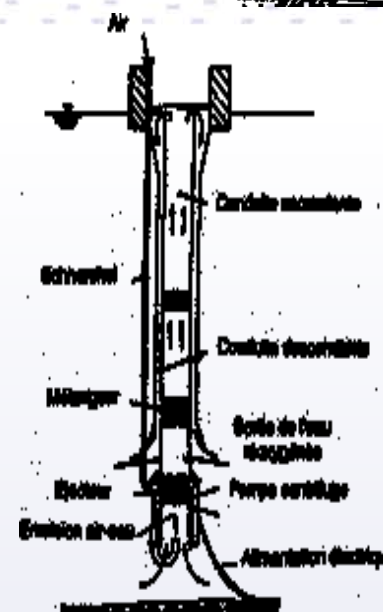
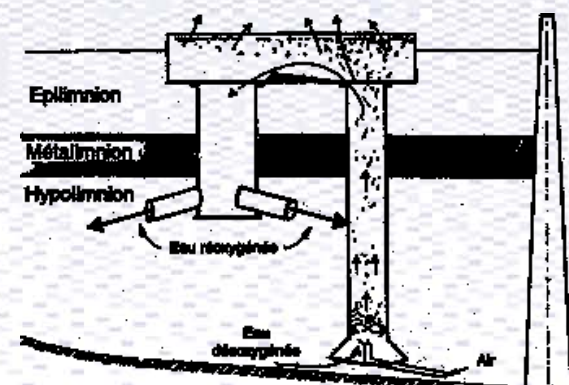
Le principe est d'oxygéner l'eau et de la mettre en mouvement.

Cet effet de courant peut être :

- **total** : mélange de l'eau et de l'air sur toute la colonne d'eau au sein d'une conduite verticale ;
- **partiel** : mélange limité à une enceinte ancrée au fond : système plus discret, mais moins efficace ;
- **modulable** : le prélèvement, le mélange et le rejet des eaux peuvent se faire à différents niveaux selon les besoins, pouvant même aboutir à la formation de thermoclines supplémentaires.



Exemple du dispositif d'aération par pompes mécaniques du lac de Bret (Suisse) - Lorenzen & Fast 1977, In Barroin 1999.



Principes de fonctionnement de dispositifs à air lift total (haut - Lorenzen & Fast 1977, In Barroin 1999) et partiel (bas - Jaeger, 1990 in Barroin 1999).

## EFFICACITÉ

Le procédé est très efficace vis à vis de l'amélioration de la qualité des eaux et du cheptel piscicole.

Vis à vis du développement des algues, l'efficacité du procédé est plus variable, et en général faible, dépendant de plusieurs facteurs :

- si la source de phosphore est surtout externe, le procédé n'aura aucune efficacité vis à vis du développement des algues ;
- si la source de phosphore est surtout interne, et que le pouvoir fixateur du sédiment est saturé, la reminéralisation du phosphore organique favorisée par l'aération hypolimnique, induira un relargage de phosphore disponible pour les algues dans la masse d'eau, stimulant ainsi leur prolifération.

Ce système nécessite donc :

- un dimensionnement correct (études préalables) ;
- une mise en fonctionnement au moment opportun (dès que s'installe la stratification) ;

En tout, en fonction des objectifs qui devront être préalablement fixés (en matière de teneurs en O<sub>2</sub> à respecter, notamment).

## AVANTAGES ...

- + efficace et fiable vis à vis des objectifs piscicoles et « eau potable » ;
- + coûts relativement faibles (en particulier les coûts de fonctionnement peuvent être très réduits, avec la possibilité d'utiliser de l'énergie solaire ou éolienne).

## ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients sont peu nombreux et sont surtout liés à un mauvais dimensionnement du système :

- risque de persistance de la désoxygénation ;
- risque d'aggravation des poussées algales ;
- risque de déstratification intempestive, entraînant la dégradation de la qualité de l'eau, la stimulation des algues, ...

## RÉGLEMENTATION

- Pas de réglementation spécifique.

## EFFICACITÉ ET FIABILITÉ VIS A VIS DES OBJECTIFS PISCICOLES ET EAU POTABLE, POUR LES RETENUES PROFONDES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- LORENZEN M & FAST A, A guide to aeration / circulation techniques for lake management. EPA-600/3-77-004, 1977.
- JAEGER D, Tiban a new hypolimnic water aeration plant. Verh. Intern. Verein. Limnol., 24, 184-187. 1990.

## COÛT

Très variable selon le dispositif utilisé (de l'ordre de 600 MF pour l'investissement).

Coût de fonctionnement variable selon le choix de la source d'énergie, pouvant être fortement réduit en utilisant des sources solaire ou éolienne.

## RETENUE DU GOUËT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 8 Mm<sup>3</sup> **Surface :** 81 ha  
**Profondeur :** 10 m (max. 39m) **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, écrêtement des crues, pêche, microcentrale.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Importants apports en fertilisants : 13,3 T de phosphore par an dont 45% élevages bovins et 40% rejets domestiques. - Programme Bretagne Eau Pure lancé sur le bassin versant et mise en place d'un périmètre de protection.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation marquée par des fleurs d'eau de cyanobactéries, désoxygénation des eaux de fond et relargages en Fer, Mn, PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>.

=> Difficultés dans la filière de production d'eau potable.

**Date et coût du traitement :** Depuis 1981 : épandage de sulfate de cuivre avec un suivi régulier des algues.

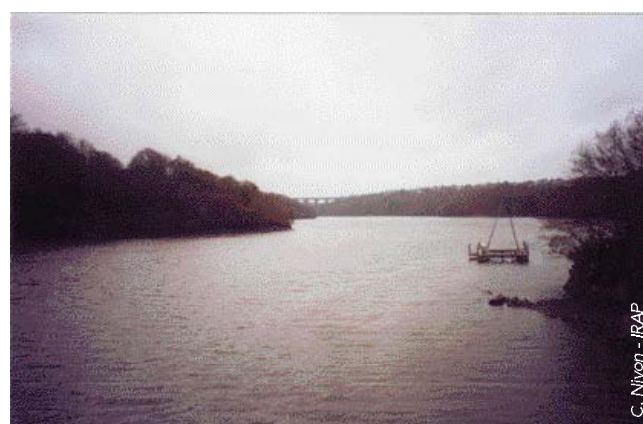
Depuis 1984 : mise en place du système d'oxygénation hypolimnique, investissement 600 KF, fonctionnement 300 KF/an dont 230 KF en consommation.

**Commune :** La Méaugon (Côtes d'Armor, 22)

**Propriétaire :** Conseil Général

**Gestionnaire :** Syndicat mixte du barrage du Gouët

**Société ayant réalisé les travaux :** Air Liquide.



C. Niven - IRAP

### CONTEXTE

La retenue du Gouët a été construite en 1975 afin de satisfaire les besoins en eau potable de la ville de St-Brieuc. Dès 1978, d'importants développements algaux, à cyanobactéries, se sont produits. Cet état ayant une implication directe sur le ravitaillement en eau de la ville de St-Brieuc, le département des Côtes d'Armor a choisi d'installer un système d'oxygénation hypolimnique.

**Intérêt de l'oxygénation hypolimnique :** il s'agit d'une **solution curative** car il est impossible de traiter les apports en polluants de manière exhaustive. Elle permet de limiter les relargages en fer, manganèse, phosphates, ... tout en **conservant la stratification thermique**, intéressante pour la prise d'eau potable.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- La société Air Liquide a déterminé - **la zone d'intervention :** hypolimnion d'un volume de 1,85 Mm<sup>3</sup> ;
- **la quantité d'oxygène à injecter :** débit massique journalier = 375 kg/jour ;
- **les appareils de transfert d'O<sub>2</sub> :** 3 oxygénateurs de **type Isoxal** qui traitent journalièrement 150 000 m<sup>3</sup> ;
- **la disposition des appareils** sur 1500 m afin qu'ils traitent effectivement l'ensemble de l'hypolimnion.

### RÉSULTATS À COURT TERME

La première campagne de mesures fait apparaître un bon comportement de la retenue :

- **O<sub>2</sub> dissous** voisine 5 mg/l en fond de retenue en période estivale (au lieu de < 2 mg/l auparavant) ;
- décroissance du taux de **manganèse** et absence totale d'**ammoniaque** ;
- stabilisation des concentrations en **éléments réduits** ;

Dès la première année, le traitement de la retenue permet de **faciliter le traitement de l'eau potable**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les résultats à long terme font apparaître, non seulement une **amélioration de la qualité d'eau de la retenue, mais aussi une amélioration de la qualité de l'eau en aval**, notamment vis à vis des teneurs en ammoniaque.

Le système d'oxygénation n'a par contre aucun effet sur le développement des cyanobactéries ; les épandages de sulfate de cuivre sont toujours effectués pour empêcher les blooms algaux de se produire.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

**Satisfaction** car le procédé facilite effectivement le traitement de l'eau, en diminuant notamment les quantités d'ammonium difficiles à éliminer dans la filière d'eau potable.

## LAC DE NANTUA

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 40 Mm<sup>3</sup> **Surface :** 140 ha  
**Profondeur :** 20 m (max.42m) **Type :** Lac naturel (glaciaire)  
**Age estimé :** 15 000 ans.

**Usages :** Loisirs, baignade, voile, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Rejet de 4 communes + Industries type tanneries (apports importants en P). Programme d'assainissement depuis 1966, achevé en 1980 avec mise en service de la STEP intercommunale de Nantua en 1971 et rejet en aval du lac.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation conduisant à la prolifération de cyanobactéries (Oscillaire = « Sang des Bourguignons »).

**Date et coût du traitement :** 1976 à 1978 : oxygénation des eaux du fond.  
Installation : 650 KF HT et fonctionnement : 100 KF /an.

**Commentaire :** Nantua est un site classé ; cette technique a été mise en place à titre expérimental.

### CONTEXTE

Par le passé, le lac de Nantua a souvent été cité comme un exemple caractéristique de l'influence néfaste de l'activité humaine sur l'environnement. La prolifération anarchique des oscillaires, depuis les années 1890, a fait l'objet de nombreuses études et suivis depuis 1963. L'eutrophisation se manifeste par :

- des concentrations importantes en **P** en profondeur et dans les sédiments ;
- une **anoxie** à partir de 10 m de profondeur (fort déficit en O<sub>2</sub> sur les 2/3 de la profondeur) ;
- des **proliférations algales** intenses dans les eaux superficielles.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Réoxygénation des eaux du fond du lac avec un **oxygénateur de type Turboxal** : les eaux sont pompées à -33m et réinjectées, saturées en O<sub>2</sub> à -33m (2 m au dessus du fond). Le système a fonctionné d'août à septembre 1976, de mai à septembre 1977 puis de mai à octobre 1978. En 1977 : 51 Tonnes d'O<sub>2</sub> ont été injectées ; en 1978 : 60 Tonnes.

### RÉSULTATS À COURT TERME

- les teneurs en O<sub>2</sub> dissous sont restées faibles au fond du lac ;
  - les teneurs en P et N ont diminué dans l'hypolimnion mais cela peut aussi être du à la diminution des rejets domestiques depuis 1972.
- Il n'y a **pas de résultat sensible** : il aurait fallu surdimensionner l'appareil par rapport à la vitesse de désoxygénation (injection de 3,5 à 4T d'O<sub>2</sub>/j au lieu de 250 Kg/j). En 1979, la technique n'a pas été reconduite.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les résultats à long terme (diminution sensible de la teneur en P à -30 m et chute de la teneur en eau dans les sédiments) proviennent principalement de la **collecte des eaux usées et de la création de la STEP**.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La station d'hydrobiologie de l'INRA à Thonon-les-bains a observé une certaine amélioration des eaux du fond mais il est **difficile de faire la part réelle** de l'influence de l'oxygénation. Il aurait fallu poursuivre l'opération pour avoir plus d'éléments. De 1976 à 1978 le coût était réparti entre 11 communes mais il était tel que celles-ci n'ont pas souhaité reconduire l'opération faute de résultat probant.

### BIBLIOGRAPHIE :

- INRA. Le lac de Nantua.
- DIREN SEMA. Diagnose rapide des milieux lacustres - Lac de Nantua - 1988.
- Feuillade J & Orand D. : Les principaux paramètres physico-chimiques dans le réseau hydrographique du Lac de Nantua (Ain, France) entre 1969 et 1972. Variations et relations avec les oscillaires du lac. Rapport Station d'hydrobiologie lacustre de l'INRA - Thonon.

Stratification estivale prononcée.

Hypolimnion volumineux, épais et stable.

Charge externe en phosphore (apporté par le bassin versant) négligeable en regard de la charge interne au plan d'eau.

Conditions anoxiques au fond du plan d'eau.

Relargages de composés indésirables (phosphore, fer, manganèse, ammoniac) depuis les sédiments.

Développement massif et brutal d'algues (notamment les cyanobactéries).

Mauvaise qualité des retenues pour l'eau potable.

Dépréciation du patrimoine piscicole.

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

On force le lac à se vider par le fond (au lieu de la surface) par un dispositif artificiel afin de :

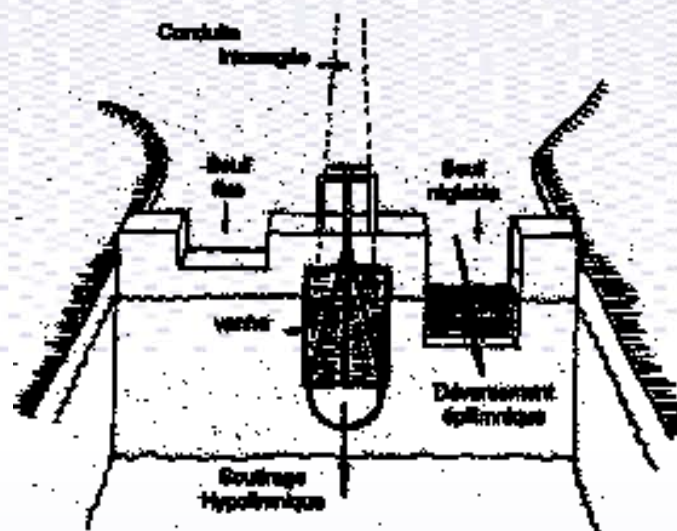
→ **soutirer les eaux profondes**, désoxygénées, chargées en phosphore et autres éléments indésirables ;

→ diminuer le temps de séjour des eaux dans l'hypolimnion et **réduire ainsi les risques d'anoxie** et de transfert des nutriments vers la zone trophogène.

## MISE EN ŒUVRE

Le dispositif comporte :

- une **canalisation** : posée à même le fond, elle relie le point le plus profond du lac à l'exutoire, la prise d'eau étant légèrement surélevée et de préférence ouverte vers le haut, avec un dispositif anti-vortex, de manière à empêcher l'entraînement des sédiments. Les systèmes existants peuvent évacuer de 1,5 à 3,5 l/s ;
- un **barrage**, dressé à l'exutoire qui permet d'éviter l'écoulement naturel de surface ;
- éventuellement, un **dispositif de traitement des eaux restituées** à l'aval.



Exemple de configuration de l'exutoire d'un barrage destiné au soutirage hypolimnique - Cas du Lac de Kortowo (Pologne) -

In Barroin. 1999.

## EFFICACITÉ

**Le système est efficace et fiable vis à vis :**

- de l'**oxygène dissous**, que ce soit par diminution de la durée d'anoxie ou par augmentation des teneurs en O<sub>2</sub> ;
- de la **diminution des concentrations en phosphore dans l'eau** à condition que la technique soit appliquée à bon escient et de manière correcte ; en particulier le débit de soutirage doit être suffisant en regard du temps de séjour des eaux du lac.

## AVANTAGES ...

Cette technique conduit à diminuer la concentration en phosphore du sédiment, d'où une **efficacité sur le long terme**.

Au final, cette exportation du phosphore permet de **diminuer les blooms algaux**, et notamment ceux des cyanobactéries.

## ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients sont peu nombreux et sont surtout **liés à un mauvais dimensionnement du système**.

**Pour le lac**, les inconvénients sont liés à un mauvais dimensionnement du soutirage par rapport au temps de séjour du lac ; on risque alors la **rupture de la thermocline** ou l'augmentation de l'épaisseur de l'épilimnion si le débit de soutirage est trop élevé, d'où des effets inverses à ceux recherchés.

**Pour le milieu aval**, l'inconvénient majeur est du au fait qu'on injecte des eaux riches en P, Fe, Mn, NH<sub>4</sub>, ..., ce qui peut induire des **déséquilibres du milieu aquatique** et/ou des perturbations des usages habituels (notamment s'il existe une prise d'eau potable !).

⇒ des **compromis** peuvent éventuellement être appliqués en gérant le soutirage dans le temps (arrêt du soutirage lors d'atteintes à l'aval de valeurs critiques préalablement définies de certains paramètres) ou dans l'espace (modulation de la profondeur de soutirage ou dilution des eaux soutirées avec des eaux de surface), ou mieux, en traitant les eaux soutirées.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## TRAITEMENT CURATIF ET EFFICACE VIS À VIS DU PHOSPHORE INTERNE DU LAC ET DU NIVEAU D'OXYGÉNATION MAIS PROBLÈME DE DÉGRADATION DU MILIEU AVAL

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- LASCOMBE C., Le lac de Paladru (Isère) : état de la qualité des eaux et perspectives d'évolution : premières observations sur les effets du soutirage. Coll. AFL, Sept 78.
- DIREN SRAE, Diagnose du Lac de Paladru. 1994. Rapport.
- DIREN SRAE, Suivi allégé du Lac de Paladru. Commentaires sur les investigations réalisées en 1998. 1998. Rapport.

## COÛT

Très variable selon la taille du projet et la difficulté de mise en œuvre. Il est surtout lié au dispositif de traitement des eaux restituées à l'aval (quand ce dispositif existe).

## LAC DE PALADRU

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 94 Mm<sup>3</sup>                      **Surface :** 390 ha  
**Profondeur :** 25 m (max.36m)      **Type :** Lac naturel

**Commune :** Tullins (Isère, 38)

**Propriétaire :** Privé = Société Civile Immobilière du lac de Paladru

**Gestionnaire :** Syndicat Intercommunal à Vocation Unique dans le cadre du contrat de bassin Paladru/Fure

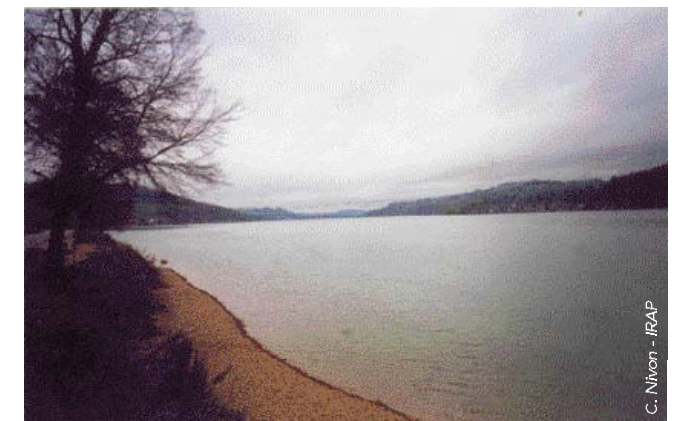
**Société ayant réalisé les travaux :** -

**Usages :** Loisirs, baignade, voile, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Nombreuses industries de métallurgie au XIV siècle. Pollution en P de l'agriculture type élevage, des programmes d'opérations coordonnées sont actuellement en cours. Rejets domestiques de 6 communes. Un collecteur de ceinture a été mis en place en 1993 pour se rejeter en aval sur la Fure.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation marquée par une désoxygénation des eaux du fond du lac. Stratification qui peut se maintenir la moitié de l'année entraînant un relargage important de P et conduisant à la prolifération de cyanobactéries (*Oscillatoria rubescens* dite « sang des Bourguignons »). Phénomène amplifié dans les années 1970.

**Date et coût du traitement :** Depuis 1976, mise en place d'un soutirage hypolimnique.



## CONTEXTE ET MISE EN ŒUVRE

Les analyses sporadiques réalisées dans les années 1950 à 1968 ont montré une dégradation progressive du milieu, surtout sensible à partir de 1957 où les pêcheurs ont vu disparaître l'omble chevalier. Cette évolution s'est accélérée par la suite, pour se manifester au cours de l'été 1973, par un développement massif de cyanobactéries.

La mise en place d'un siphon dans le fond du lac permet de **soutirer les eaux désoxygénées** qui contiennent une quantité importante de P dû au relargage des sédiments. Le soutirage est effectué à la cote -30m ; une canalisation en acier de 877m de long pour 60 cm de diamètre assure un débit de 333 l/s. Les rejets sont exportés en aval sur la Fure.

## RÉSULTATS

**De 1976 à 1978** (deux premières années de fonctionnement du soutirage) :

- aucune amélioration n'a été observée sur la qualité des eaux de fond ;
- augmentation de l'exportation des fertilisants : 17 % sur l'Azote minéral et 26 % sur la Phosphore.

**Jusqu'en 1980 :**

- les **exportations de phosphore ont augmenté de 43 %** .

**1993** (mise en service d'un collecteur de ceinture en 1993) :

- élimination quasi-totale de *O. rubescens* ;
- la désoxygénation des eaux du fond est cependant toujours présente (en 1988, elle atteint les dix derniers mètres du lac) et le plan d'eau garde son caractère eutrophe ; présence d'H<sub>2</sub>S en automne dans les eaux du soutirage, entraînant des odeurs nauséabondes sur l'émissaire.

**Depuis 1994 :** augmentation significative de la transparence couplée à une baisse de la productivité algale.

**1998**, après le raccordement de toutes les communes à des systèmes de traitement des eaux usées domestiques :

- *O. rubescens* a disparu du lac ;
- des cyanobactéries et des chlorophycées inféodées aux milieux eutrophes restent encore présentes ;
- les 10 derniers mètres sont toujours désoxygénés (<0,2 mg/l).

L'amélioration est ainsi principalement due aux actions menées sur le bassin versant, même s'il reste encore à réduire les apports en P.

Une étude de la DIREN a montré que pour retrouver un bon fonctionnement du lac (nécessitant une concentration moyenne annuelle en phosphore de 0,015 mg/l) il faut réduire les apports annuels de P d'1 tonne (ils sont actuellement de 2 tonnes/an).

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

L'amélioration du lac a été réellement perceptible après les travaux d'assainissement mais **le soutirage a permis d'accélérer cette amélioration** . Aujourd'hui, la baignade n'est plus gênée par le bloom des cyanobactéries rouges et la réintroduction de l'omble chevalier (qui avait disparu dans les années 70) a été réussie, ce qui marque un retour à de meilleures qualités du milieu.

Profondeurs faibles.

Proliférations algales induisant :

- des désoxygénations estivales ;
- des relargages de composés indésirables (phosphore, fer, manganèse, ammoniac) depuis les sédiments ;
- une mauvaise qualité des retenues pour l'eau potable ;
- une dépréciation du patrimoine piscicole.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Empêcher la stratification thermique (pour les retenues les plus profondes) ou **pallier aux désoxygénations** cycliques (notamment nocturnes) lors des blooms algaux en période estivale.

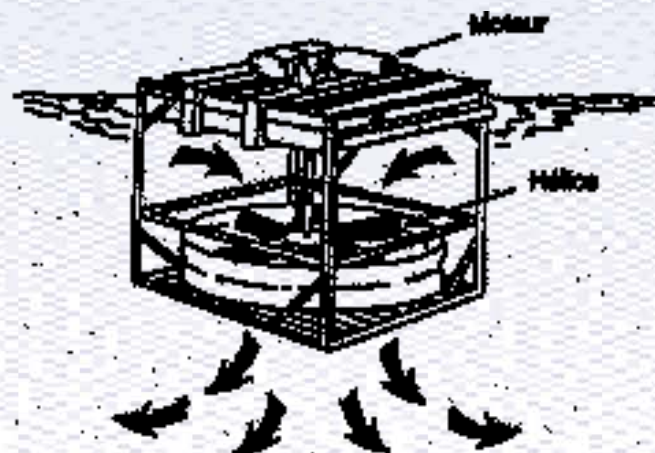
L'eau de surface est brassée mécaniquement (hélice à diaphragme ou à flux axial) ; un système d'insufflation d'air peut être associé permettant d'envoyer de l'air sous la surface de l'eau.

## MISE EN ŒUVRE

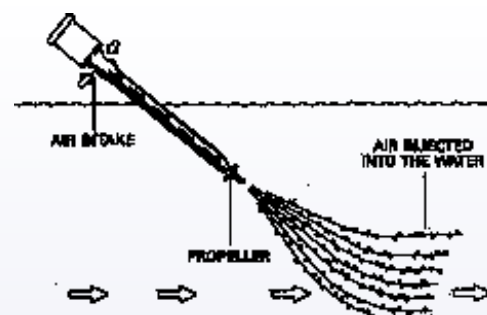
- **Analyses préalables sur le plan d'eau pour dimensionner l'installation :**
  - calcul du **nombre** et de la **puissance** des brasseurs à installer et du **débit d'air** à injecter ;
  - choix de l'**emplacement des brasseurs** (en fonction des objectifs : près d'une prise d'eau pour l'eau potable, par exemple) ;
  - calcul de la **période de fonctionnement** . L'aération est mise en fonctionnement durant la période de développement des algues, et de réchauffement des eaux, de juin à octobre en général. Le dispositif peut ne fonctionner que de façon intermittente, la nuit en l'occurrence, où les désoxygénations sont les plus importantes en raison de l'absence de photosynthèse.

### Installation

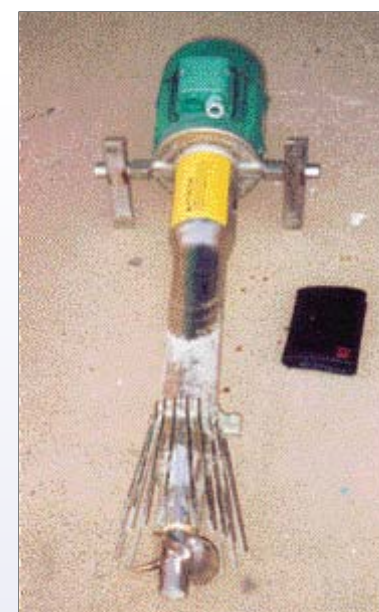
Les dispositifs sont installés sur des barges flottantes (l'installation peut être réalisée en moins d'une semaine).



Pompe de Garton (schéma d'après Giles, 1988, In Barroin, 1999). L'eau brassée mécaniquement est réoxygénée au contact de l'air ; le courant provoqué par l'hélice entraîne l'eau vers le fond.



Exemple d'un système à injection d'air (AIRE-O<sub>2</sub> ECO Aerator - ARM Technology)



Aérateur à injection d'air utilisé à Apt (ARM Technology)

## EFFICACITÉ

Le procédé est **efficace localement** , au droit des agitateurs et jusqu'à 0,5 ha, **vis à vis de la concentration en oxygène dissous** .

Selon le dimensionnement de l'installation, il permet en effet de maintenir des teneurs minimales, préalablement définies en fonction d'objectifs de qualité vis à vis des usages de l'eau ou de la faune piscicole.

Ce type de traitement est par contre **inefficace vis à vis du traitement du plan d'eau en lui-même** , toujours soumis aux mêmes problèmes d'eutrophication (teneurs en phosphore élevées, blooms algaux, ...).

## AVANTAGES ...

En plus du maintien d'un niveau minimum d'oxygène dissous, la circulation artificielle produit des effets intéressants sur :

- + la **qualité de l'eau** car goûts et odeurs dus aux algues sont éliminés. Cette homogénéisation de la qualité physico-chimique se fait dans l'espace comme dans le temps, ce qui est de nature à satisfaire le traiteur d'eau ;
- + la **faune piscicole** car elle permet le maintien de zones correctement oxygénées, où les poissons peuvent se réfugier en cas de désoxygénation du plan d'eau ;
- + il s'agit par ailleurs, d'un procédé **simple à utiliser** .

## ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients, outre le fait que le procédé ne traite pas le fond du problème, sont liés à de mauvais dimensionnements des installations qui peuvent entraîner :

- une **remise en suspension** des sédiments avec des conséquences vis à vis de la transparence et du relargage du phosphore ;
- lorsque les **sédiments sont très chargés en phosphore** par rapport au fer, son inactivation n'est pas totale ;
  - ⇒ risque de relargage et de stimulation de la prolifération algale ;
- le risque de **maintien d'une zone anoxique au fond** (à l'interface eau - sédiments) qui entraîne le relargage des composés indésirables à l'origine des proliférations algales et des problèmes de traitement des eaux.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## TECHNIQUE PERMETTANT D'ÉVITER LES MORTALITÉS PISCICOLES LIÉES AU MANQUE D'OXYGÈNE ET DE FACILITER LES FILIÈRES DE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE

## COÛT

Investissement : 100 à 200 KF par aérateur.  
Fonctionnement : coût faible.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- GILES M.L., Destratifier is a mechanical alternative to chemical treatment. Water survey currents. Illinois State Water Survey, 3 (16), 1p. 1988.

## RETENUE DU JAUNAY

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 3,7 Mm<sup>3</sup>      **Surface** : 114 ha

**Profondeur** : 3 m (max.7m) **Type** : Retenue

**Usages** : Production d'eau potable, loisirs (canoës, pédalos), pêche, soutien d'étiage et écrêtage de crues, gestion de la restitution d'eau pour les marais salants.

**Quelques informations sur le bassin versant** : Agriculture semi-intensive et importants rejets domestiques non ou mal assainis. Exploitations et dispositifs d'assainissement mis aux normes dans le périmètre rapproché. Autour, études de zonages et Programme de Maîtrise des Pollutions Agricoles en cours.

**Problèmes identifiés sur le lac** : Retenue très eutrophisée par les apports importants de nutriments : blooms de cyanobactéries, désoxygénation des eaux du fond, relargage de Fe et Mn, variations des paramètres Fe, Mn, NH<sub>4</sub>, pH et O<sub>2</sub> perturbent la filière de potabilisation.

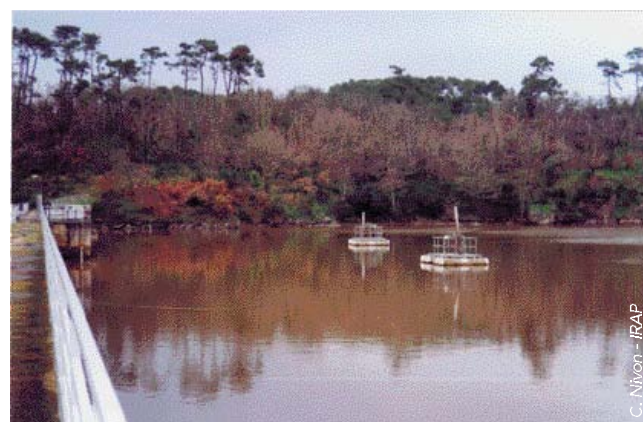
**Date et coût du traitement** : 1987 : brassage par 2 aérateurs type turbines (400 KF) ; Depuis 1990 : empoissonnements (593 KFHT en 9 ans) ; 1997 : mise en place d'un pré-barrage (digue en terre isolant 20 ha en amont) (2,1 MF).

**Commune** : La Chapelle Hermier (Vendée, 85)

**Propriétaire** : Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable du Pays de Brem.

**Gestionnaire** : SIAEP Pays de Brem

**Société ayant réalisé les travaux** : Fédération de pêche de Vendée.



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## BASE DE LOISIRS DE LA RIAILLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 150 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 10 ha

**Profondeur** : 1 m (max 4,5m) **Type** : Retenue

**Usages** : Loisirs, baignade, voile, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant** : Rejet de 2 STEP (sans traitement N et P) jusqu'en 1995.

**Problèmes identifiés sur le lac** : Désoxygénation ayant entraîné une mortalité de poissons en 1994. Eutrophisation marquée avec une DCO élevée et une quantité importante de sulfates et phosphates dans les sédiments.

**Date et coût du traitement** :

1984 : mise en place d'un pré-barrage à la mise en eau qui ne fonctionne pas jusqu'en 1996 (mal disposé).

1995 : aération du plan d'eau par 3 aérateurs de surface, investissement 230 KF.

1999 : introduction de carpes Amour.

**Commune** : Apt (Var, 84)

**Propriétaire** : Commune

**Gestionnaire** : Commune

**Société ayant réalisé les travaux** : ARM Biotechnologie - ZA La "Grande Marine" - BP 147 - 84 804 L'Isle sur la Sorgue.



C. Nivon - IRAP

FICHE N° 9

FICHE N° 9

### CONTEXTE

Depuis la mise en eau de la retenue mais surtout depuis 1983, la **qualité de l'eau**, en période estivale, est **dégradée** par les apports nutritifs du bassin versant. Chaque été, une **épaisse couche d'algues** couvre la surface du plan d'eau. Malgré la possibilité de prélever de l'eau brute à différents niveaux dans la retenue, le **filier e de traitement de l'eau potable est per turbée** par la forte charge organique, les variations de pH et les fortes teneurs en fer, manganèse et ammonium. Les algues décantent mal et colmatent les filtres à sable. En 1990, la station s'est dotée d'un système de flottation afin de traiter la remontée des algues.

Depuis 1987, des aérateurs de surface ont été installés au droit de la prise d'eau afin d'homogénéiser l'eau.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- installation des deux aérateurs face à la prise d'eau (hélice = brassage mécanique + insufflateur d'air) ;

- fonctionnement en continu de mai à novembre (-6 mois).

### RÉSULTATS

- bonne homogénéisation des paramètres T°, O<sub>2</sub>, pH, NH<sub>4</sub>, Mn, Fe dans un rayon de 150 m (= destratification), ce qui facilite nettement la filière de traitement des eaux en permettant de moyennner la qualité de l'eau brute en permanence au lieu d'avoir à traiter des pics de très mauvaise qualité ;

- les teneurs en Mn, Fe et NH<sub>4</sub> restent élevées dans l'ensemble : **le relargage est seulement limité dans le secteur de la prise d'eau** ;

- aucune action sur le développement des algues : les **blooms de cyanobactéries sont toujours présents** ;

- la retenue conserve un **niveau trophique élevé** .

Depuis 3 - 4 ans les blooms de cyanobactéries ne sont plus aussi catastrophiques ; mais cela coïncide avec des étés moins chauds et également avec la mise en place en 1997 d'un pré-barrage qui permet de retenir les sédiments chargés en éléments nutritifs provenant du bassin versant.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le syndicat d'eau et la SAUR sont satisfaits des aérateurs ainsi que des actions qui commencent à se faire sur le bassin versant. Les aérateurs permettent de **faciliter le traitement de l'eau potable** mais la « restauration » du plan d'eau ne passera que par les actions menées sur le bassin versant : « les choses commencent seulement à se faire, mais elles vont dans le bon sens ».

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- installation de **3 appareils oxygénateurs de sur face** (2 petits et 1 gros) au-dessus de la zone la plus profonde et dans trois directions différentes (brassage mécanique de l'eau et insufflation d'air) ;

- fonctionnement en général **du 15/06 au 15/09** de 21h à 6/7h soit **9 à 10h** de fonctionnement par nuit. Si la température augmente trop les aérateurs fonctionnent aussi le jour (rare) ;

- chaque appareil assure l'oxygénation et le brassage d'environ **1/2 ha** .

### RÉSULTATS À COURT TERME

La **désoxygénation de la totalité** du plan d'eau ne s'est **plus jamais reproduite**, ni aucune mortalité de poissons, grâce notamment à la présence des zones « refuge » créées par les aérateurs.

Un suivi régulier des concentrations en O<sub>2</sub> pendant deux ans a montré le maintien de concentrations correctes en O<sub>2</sub> pendant toute la période estivale **en surface et en moyenne profonde** . L'absence de mesures en profondeur ne permet pas de dire si le fond est toujours soumis à une désoxygénation mais il est probable que, hormis dans les zones proches des aérateurs, cela se produise encore.

### RÉSULTATS À LONG TERME

La **prolifération du phytoplancton et le trouble de l'eau ont nettement diminué** d'année en année et en 2000 aucun "bloom" ne s'est produit (*données uniquement visuelles, pas de mesure des teneurs en chlorophylle par ex.*). La pénétration de la lumière augmentant, les végétaux de type myriophylle ont également pu se développer.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le gestionnaire de la base de loisirs est satisfait de l'augmentation de la transparence, améliorant la **sécurité des usagers** . Il apprécie aussi la **facilité d'utilisation** des appareils (qui sont relativement petits).



**OBJECTIF ET PRINCIPE**

Il s'agit d'**extraire toute la fraction de sédiments responsable de la charge interne en phosphore** (et donc du développement des algues) ; on laisse en place les sédiments moins riches en P (et donc moins susceptibles d'en relarguer), notamment les matériaux de granulométrie plus grossière.

La **destination finale** des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

**MISE EN ŒUVRE**

Dans le cas présent, il s'agit **plus d'écramer les sédiments** (c'est-à-dire d'enlever la couche superficielle de sédiment, à l'interface eau-sédiment) **que de creuser**. Différents types de dragues ont été développés.

Drague suceuse à tête dilacératrice

= la plus couramment utilisée

L'engin progresse en prenant appui sur des pieux qu'il enfonce alternativement dans le sédiment ; la tête de succion décrit des arcs de cercles en avant de la barge (schéma ci-contre).

Les sédiments dilacérés, sont pompés et évacués jusqu'à la zone de dépôt. Les matériaux extraits sont à 10 - 20 % de solides.

Il est possible également de les diluer et de les rejeter en aval de la retenue (sous réserve de satisfaire un certain nombre de critères de qualité).

par suceuse transpor table (ex : Mud Cat)

Le principe est identique : la pièce dilacératrice (semblable à une fraise à neige) déloge le sédiment et le ramène au centre où il est aspiré et évacué. Les matériaux extraits sont à 30 - 40 % de solides. Le système permet d'opérer entre 3 et 18 m de profondeur et à des débits de 15 à 1875 m³/h.

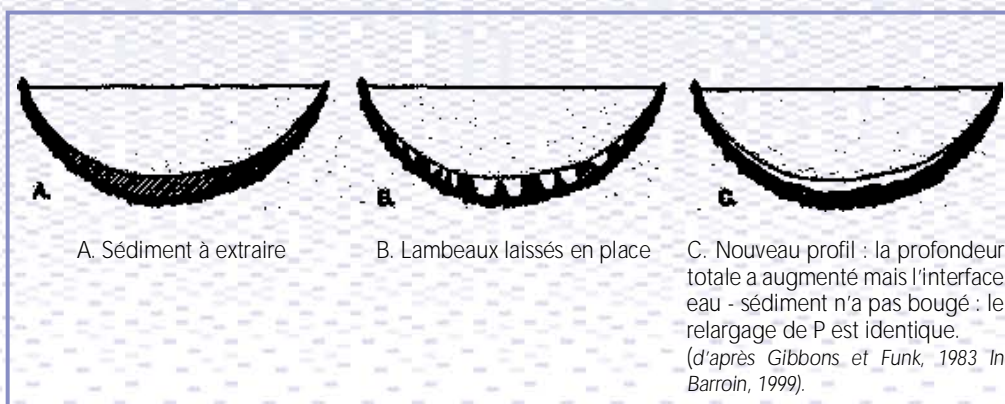
la Clean Up System

Même principe mais adapté aux sédiments fluides (empêche la dispersion des sédiments dans l'eau)

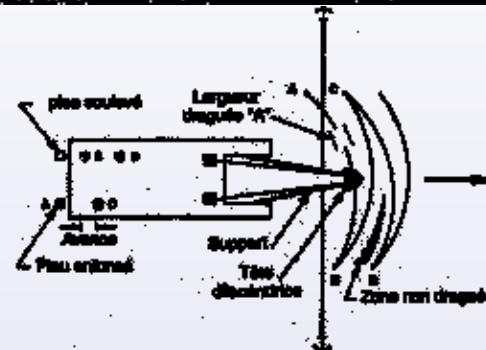
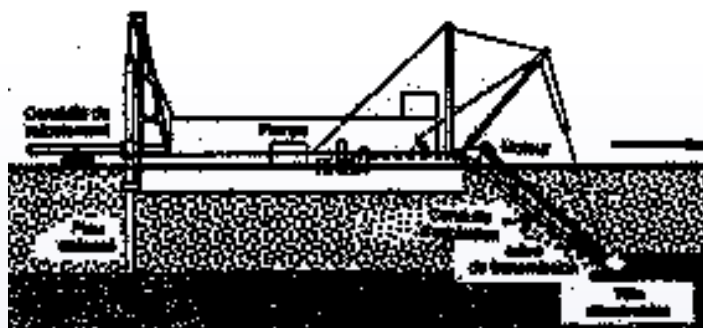
Autres types

Les **dragues pneumatiques** (pas d'exemple d'application en France) : le sédiment est remobilisé par injection d'air comprimé, au lieu d'une dilacération mécanique.

Les **dragues mécaniques** (dragues à bennes preneuses, à godets, ...) sont **inadaptées** en raison de l'irrégularité du travail et de l'intense remise en suspension des sédiments qu'elles provoquent.



Drague suceuse à tête dilacératrice. Vue d'ensemble ci-contre et façon de progresser (bas). Schémas extraits de Barroin 1999.



**EFFICACITÉ**

La technique est **très efficace à court et long terme vis à vis des développements d'algues à condition** d'être correctement appliquée :

- Il faut **respecter le domaine d'application**
- il faut déterminer de manière très précise (**cartographie**) **les sédiments à extraire**, en fonction de données objectives relatives à leur caractérisation préalable : caractérisation en terme de teneurs en eau, en matières organiques, en phosphore, ...
- l'extraction doit concerner la **totalité des sédiments « pollués »** sous peine de générer des effets contraires à ceux recherchés. En effet, un sédiment laissé en place aura tendance à s'étaler (glissement sur des zones laissées vacantes par le dragage) ce qui augmente la possibilité de relargage du phosphore qu'il contient.
- le **site de dépôt doit être convenable** et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, réalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval). Dans certains cas, les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) avant leur valorisation ultérieure.
- les eaux de ressuyage des sédiments doivent être **déphosphatées** avant leur rejet au milieu naturel.

**AVANTAGES ...**

+ Traitement efficace à court et long terme vis à vis des nutriments et des algues.

**... INCONVÉNIENTS**

- **coût** (main d'œuvre et matériel spécialisés) ... mais le rapport qualité / prix doit toujours être évalué sur le long terme ;
- **risques de perturbation temporaires lors des travaux** .

**COÛT**

Coûts de mise en œuvre élevés, mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

**SUPPRESSION RADICALE DE LA SOURCE DE PHOSPHORE INTERNE AU LAC RESPONSABLE DES PROBLÈMES D'EUTROPHISATION**

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- GIBBONS Jr.H.L., FUNK W.H., A few pacific northwest examples of short-term lake restoration successes and potential problems with some techniques. Lake restoration, protection and management. EPA 440/5-83-001, 4-7, 1988.

**RÉGLEMENTATION**

- Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.
- Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.
- Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## ÉTANG DES PONTS-NEUFS

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 55 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 14,5 ha  
**Profondeur :** 0,3 à 1,8 m      **Type :** Retenue

**Usages :** Petite production hydroélectrique, site touristique, pêche, intérêt ornithologique.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Activité intensive d'élevages porcins. Apport de matières organiques, de phosphates et nitrates par les affluents provoquant l'eutrophisation du plan d'eau.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Apparitions saisonnières de « fleurs d'eau » et de lentilles d'eau. Importante vasière en queue d'étang et envasement de la totalité de l'étang (affleurement sur 18 000 m<sup>2</sup> ; épaisseurs de vases comprises entre 2 et 4 m sur tout l'étang).

#### Date et coût du traitement :

1989 à 1992 : Aspirodragage, 2,6 MF.

**Commentaires :** Fort intérêt ornithologique lié aux secteurs en eau mais aussi aux vasières en queue d'étang (limicoles) ; il faut donc conserver un minimum de vasière.

**Commune :** Morieu (Côtes d'Armor, 22)

**Propriétaire :** Communauté de communes de Lamballe.

**Gestionnaire :** Communauté de communes de Lamballe.

**Société ayant réalisé les travaux :** Entreprise de travaux publics de Brest.

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## RETENUE DE LA VISANCE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 350 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 11,7 ha  
**Profondeur :** 7 m(max)      **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, loisirs, voile, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Rejets d'une STEP vétuste, importants rejets de phosphore par une usine de ferronnerie, quelques rejets domestiques non traités et une dizaine d'exploitations d'élevage bovin non raccordées et non mises aux normes. Depuis 1995, déphosphatation des rejets de l'usine ; études de périmètre de protection, de remise en état du réseau d'assainissement et de mise aux normes des bâtiments.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation apparue progressivement, depuis 1976, avec un développement important de phytoplancton et notamment de cyanobactéries. Problèmes de traitement dans la filière d'eau potable par colmatage régulier des filtres.

**Date et coût du traitement :** 1989/1990 : sulfate de cuivre, (12 campagnes - 1T) 1990 : destratification par bullage (800 KF investissement, 95 KF TTC/an de fonctionnement et suivi analytique depuis). 1996/97 : dragage de l'étang de la Blaire (=pré-barrage sur 1/3 amont de la retenue et de la rivière) ; installation et curage biennuel de 2 décanteurs de 550 m<sup>3</sup> sur les 2 affluents de la retenue.

**Commune :** Flers (Orne, 61)

**Propriétaire :** Communauté d'agglomération du pays de Flers.

**Gestionnaire :** Idem.

**Société ayant réalisé les travaux :** -



### CONTEXTE

La retenue de la Visance a été créée en 1952 pour alimenter l'agglomération de Flers (20 000 habitants). La retenue est soumise **depuis les années 75, à des développements de cyanobactéries** entraînant une gêne dans le traitement de l'eau potable : colmatage régulier des filtres, obligeant à les laver très fréquemment. Après une année de traitement à l'**algicide**, efficace mais non satisfaisant du fait de l'enrichissement du milieu en cuivre, la retenue est équipée en 1990, d'un système de **destratification** qui permet, grâce à l'homogénéisation de la colonne d'eau et à la régression des cyanobactéries, de faciliter le traitement de l'eau et surtout de gagner 56% d'eau potable entre chaque série de lavage des filtres.

Au cours de l'hiver 1996, l'étang de la Blaire (pré-barrage sur une des queues de la retenue) est dragué, ainsi que le 1/3 amont de la rivière Visance. Des décanteurs (550 m<sup>3</sup>) ont également été installés sur les 2 affluents de la retenue (Visance, Aubrière), curés tous les 2 ans.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

**20 000 m<sup>3</sup> ont été refoulés** (aspirodragageuse), dans une ancienne sablière à 1,5 km (2 mois de travaux).

### RÉSULTATS À COURT TERME

L'objectif du dragage était initialement de redonner de la capacité hydraulique à la retenue, mais les gestionnaires espéraient tout de même que cela permettrait de **retirer une part importante du stock interne** en nutriment, et notamment **en phosphore** responsable du développement de cyanobactéries, les décanteurs artificiels permettant de limiter les apports depuis l'amont. Aucun résultat n'est disponible à court terme.

### RÉSULTATS À LONG TERME

La retenue a subi progressivement un retour des blooms algaux depuis le dragage, toujours en liaison avec un niveau eutrophe de la retenue du point de vue des nutriments. En 2000, les gestionnaires envisagent même de réaliser des épandages de sulfate de cuivre en complément, pour lutter contre les cyanobactéries.

**Une étude est actuellement en cours pour connaître l'origine de la dégradation de la qualité (= retour des blooms) et déterminer notamment s'il y a un lien avec le dragage, ou avec la poursuite d'apports externes encore trop importants.**

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Très **satisfait vis à vis de la destratification et du dragage** qui ont permis respectivement d'améliorer la qualité de la retenue et d'augmenter sa capacité ; mais un **doute** subsiste quant à la possibilité que le dragage soit à l'origine de la dégradation actuelle de la qualité (mise à nu des sédiments, remobilisation, ...). (Remarque : un dragage réalisé dans le secteur amont d'une retenue élimine les matériaux les plus grossiers et pas forcément les sédiments les plus fins, susceptibles d'être chargés d'un phosphore plus biodisponible...)

### CONTEXTE

L'étang des Ponts-Neufs, créé au Moyen-Âge, a appartenu à EDF jusqu'en 1981 puis à la communauté de communes de Lamballe. Sa vocation première était la **production hydroélectrique** (limitée). La communauté de communes de Lamballe souhaitant y développer un **usage plus touristique** s'est trouvée confrontée immédiatement au problème d'eutrophisation et d'envasement du plan d'eau.

Des apports de phosphates et nitrates importants conduisent à un **développement saisonnier de « fleurs d'eau »** (algues microscopiques colorant l'eau en vert) et de **lentilles d'eau** en surface. Parallèlement, l'étang est **ensavé sur la totalité de sa superficie** (épaisseurs évaluées entre 2 et 4 m) avec présence de vasières en queue d'étang fréquentées par de nombreux oiseaux limicoles.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

En 1989, débute un programme de désenvasement de l'étang, dont les objectifs sont de redonner de la profondeur, conserver la fréquentation par les oiseaux migrateurs et les limicoles, et stabiliser la qualité de l'eau en diminuant la remise en suspension des germes bactériologiques et des nutriments présents dans les sédiments.

- Extraction d'une couche de sédiments d'épaisseur variable et d'au maximum 1,8 m soit un **volume total de 100 000 m<sup>3</sup>** (= triplement du volume d'eau) au moyen d'un rotodévaseur (matériel permettant d'aspirer des boues moyennement diluées - 30 à 70% d'eau), en conservant certaines vasières (pour l'accueil des limicoles).
- Aménagement d'un **bassin de décantation** à proximité de l'étang par creusement et construction d'un merlon en terre d'un mètre de large, pour le stockage des vases. Ses abords sont aménagés par des plantations pour une protection totale des rives.

### RÉSULTATS

Aucun suivi de la qualité de l'eau n'a été réalisé à la suite de ces travaux mais le site est effectivement devenu touristique : création d'un sentier tout autour de l'étang, établissement d'un restaurant, l'activité pêche a bien perduré. **L'envahissement du plan d'eau par les lentilles d'eau et les microalgues s'est nettement atténué et les oiseaux continuent de fréquenter le site.**

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La communauté de communes de Lamballe est **satisfaite** des résultats obtenus puisque l'étang est maintenant **bien fréquenté** par les touristes et les promeneurs de la région. Pas d'avis concernant la qualité du milieu.

**OBJECTIFS ET PRINCIPES**

Les objectifs sont :

- d'**éliminer les végétaux nuisants** (y compris leurs organes souterrains) ;
- d'**éliminer les sédiments** supports physiques et sources de nutriment ;
- d'**augmenter l'épaisseur d'eau**, de manière à réduire l'intensité lumineuse au fond, et donc la flore ...

en **extrayant les sédiments littoraux colonisés par ces herbiers**.

La **destination finale** des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

**MISE EN ŒUVRE**

Contrairement à l'aspirodragage destiné à éliminer la source de phosphore responsable des développements phytoplanctoniques (cf fiche n°10), il s'agit dans le cas présent, de **creuser le sédiment** plutôt que de simplement ôter la couche superficielle au contact de l'eau.

Deux types de dragues peuvent être utilisés ; dans le cas de plans d'eau vidangeables (assèchement), il est également possible d'utiliser des pelles mécaniques ; on parle alors de curages (cf fiche n°13).

Dragues mécaniques

= couramment utilisées

Ces dragues (type benne preneuse, drag-line) présentent l'avantage de pouvoir travailler quels que soient les types de sédiment (cf fiche n°12). Elles ont l'inconvénient d'agir irrégulièrement et de provoquer d'intenses remises en suspension des matériaux. Noter par ailleurs, qu'il est préférable d'opérer en début de la croissance des végétaux (moins de biomasse à manipuler et moins de risque de favoriser la multiplication végétative).

Dragues suceuses portatives

La pièce suceuse est portée et manipulée par un plongeur. Elle s'enfonce moins profondément que les autres types de dragues (environ 20 cm seulement, ce qui limite leur utilisation à certaines espèces aux racines « superficielles »). Leur utilisation ne peut se concevoir que sur des superficies limitées ou difficiles d'accès.

Autres types

Les **aspirodragues à tête dilacératrice** (cf fiche n°10) sont **inadaptées** car elles ne permettent pas d'éliminer directement les végétaux ni les racines profondes ; il faut alors préalablement faucher les herbiers (cf exemple du plan d'eau de la Roche).

**RÈGLEMENTATION**

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

**TECHNIQUE EFFICACE À COURT ET LONG TERME VIS À VIS DU DÉVELOPPEMENT DES HERBIERS ET AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS**

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

**EFFICACITÉ**

La technique est **très efficace à court et long terme vis à vis des développements d'herbiers à condition d'extraire la totalité du sédiment support**.

L'efficacité peut être **améliorée** par l'emploi d'engins terrestres et l'assèchement des zones à draguer (cf fiches n°11 et 13).

Elle peut être **limitée** par la nature des sédiments (trop compacts par exemple) ou par la diversité et l'importance des herbiers.

L'efficacité du dragage manuel est pour sa part limitée par la turbidité de l'eau induite.

**AVANTAGES ...**

- + Traitement efficace à court et long terme vis à vis des herbiers.
- + **Dragage manuel** : peut être utilisé dans tous les cas difficiles (accessibilité problématique, diversité des herbiers, ...).

**... INCONVÉNIENTS**

Dragage mécanique :

- **risque de perturbation temporaire lors des travaux** (remise en suspension de sédiments, d'où relargages de phosphore et stimulation possible du phytoplancton, ...).

Dragage manuel :

- **coût** (main d'œuvre et matériel spécialisés) ;
- **superficie traitée relativement limitée** ;
- **risque de perturbation temporaire lors des travaux** (remise en suspension de sédiments, d'où relargages de phosphore et stimulation possible du phytoplancton).

**COÛT**

Coûts de mise en œuvre élevés, mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## PLAN D'EAU DE LA SANGSUE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 200 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 8,5 ha  
**Profondeur :** 1,5 à 2 m (moy)      **Type :** artificiel (loisirs)  
**Usages :** loisirs (promenade, détente, aire de jeux), pêche  
**Quelques informations sur le bassin versant :** ancien bassin minier où l'étiage des cours d'eau est soutenu par les eaux d'exhaure des mines (fer, sulfates).

Rejet direct des eaux usées des communes rurales amont dans la rivière Woigot qui alimente le plan d'eau.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envasement important (80 cm à l'amont), envahissement par les potamots; myriophylles, etc., odeurs putrides par grosses chaleurs, eaux colorées (vertes) en permanence.

#### Dates et coût des traitements :

1986 : dragage sur 6 ha par aspirodragueuse, 800 KF HT;  
 1987 et 1988 : épandage de Nautex, 50 KF + 50 KF TTC;  
 juin 1999 : curage partiel (pelle, 1000 m<sup>3</sup>), 178 KF HT.

**Remarques :** le plan d'eau, creusé dans le lit du Woigot, peut être vidangé (ouvrage de décharge à l'aval).

**Commune :** Briey (Meurthe et Moselle, 54)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune et AAPPMA locale

**Société ayant réalisé les travaux :** Commune, AAPPMA, Sté ETPE + DDE (Maîtrise d'œuvre pour le dragage de 1986)



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DE LA ROCHE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 180 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 9 ha  
**Profondeur :** 2 m      **Type :** Etang  
**Usages :** Loisirs (promenade, camping...), pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** apports importants de fertilisants par l'agriculture (élevage hors sol) et le rejet de deux communes. Les agriculteurs ont été mis en demeure d'aménager correctement des fosses à lisier.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Envahissement permanent par les élodées depuis les années 80. Apports alluvionnaires et accumulation de sédiments (25 à 30 cm) riches en phosphore et azote.

#### Date et coût du traitement :

1983 et 1984 : épandage de Nautex, 57 KF + 59 KF TTC.

1986 : Faucardage et dragage de l'étang + création d'une cressonnière en amont, 700 KF TTC.

**Remarque :** L'étang fait office de lagune d'épuration, ... et il n'est pas vidangeable.

**Commune :** Marsac-sur-Don (Loire Atlantique, 44)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** Harris France - Travaux Publics et Particuliers - La Grigonnais - 44 170 Nozay

**Etudes :** Service Régional d'Aménagement des Eaux des Pays de la Loire, Nantes & DDAF.



C. Nivon - IRAP

FICHE N° 11

FICHE N° 11

### CONTEXTE

Ce plan d'eau créé en 1970-1971 par la commune de Briey dans un but touristique et de loisirs, est envahi périodiquement depuis les années 80, par des **macrophytes (potamots et myriophylles notamment)**, provoquant une gêne des différents usagers (pêche, mauvaises odeurs, eaux vertes), bien qu'aucune mortalité piscicole n'ait été observée. Ce phénomène a pour origine un envasement rapide du plan d'eau par les apports continus du bassin versant (berges encaissées et boisées, sédiments apportés par le Woigot) et des eaux d'alimentation de qualité médiocre (eaux usées). Mais aucune étude spécifique n'a été menée à ce jour sur le plan d'eau (malgré l'existence d'un contrat de rivière sur le Woigot et ses affluents depuis 1998).

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

- **1986 :** dragage (sous maîtrise d'œuvre de la DDE) par aspirodragueuse, effectué en octobre 1986 par la Société ETPE (Pontarlier, 25). Seulement 6 ha ont été traités (progression d'amont en aval). Le dragage a nécessité la construction de deux bassins de décantation (capacité totale de 18000 m<sup>3</sup>), en bordure du plan d'eau. Le volume de boues extraites a été estimé à 15 000 m<sup>3</sup>. Aucun suivi qualitatif n'a été effectué pendant ces opérations.

- **1987 et 1988 :** suite au dragage, traitement au **Nautex** (épandage annuel de 2 fois 20 T de craie de Champagne) effectué par les services techniques de la commune de Briey, sur la totalité du plan d'eau dans le but de conserver des eaux "claires" et ralentir le processus de développement des herbiers; épandage par bateau à l'aide d'un épandeur à engrais (craie préalablement mélangée à l'eau du bassin).

- la dernière intervention sur le plan d'eau consiste en un **curage partiel (pelle mécanique)**, en juin 1999, sur la partie la plus amont. Ce curage très limité (volume < 1000 m<sup>3</sup>; boues enfouies sur une aire de stockage proche des anciens bassins de décantation de 1986) a été effectué par une Sté locale (WH SA).

### RÉSULTATS CONSÉCUTIFS À CES DIFFÉRENTES INTERVENTIONS

- **L'éclaircissement des eaux et la diminution des proliférations de plantes**, suite au dragage et au traitement à la craie, ont été **temporaires**, les problèmes réapparaissant dès le début des années 1990, avec continuation du processus d'eutrophisation.

- le curage partiel de 1999 avait pour objectif de limiter le dégagement des odeurs putrides, particulièrement aigu sur ce secteur (restaurant au bord de l'eau). Cet objectif a été atteint pour la saison estivale 2000; les macrophytes sont par contre toujours présents.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Aucune de ces techniques n'ayant donné satisfaction durablement, la commune attend d'une part, un **accord pour financement d'un curage/dragage total** (dossier non monté) et d'autre part, la mise en œuvre du **volet Assainissement** du contrat de rivière, qui en agissant sur la réduction des flux polluants à l'amont permettra d'améliorer la qualité des eaux du plan d'eau.

### CONTEXTE

Cet étang, vieux de 200 ans au moins, acquis par la commune de Marsac-sur-Don dans un but d'activités de loisirs, a été envahi dans les années 80 par des **élodées et des algues filamenteuses**, le rendant incompatible avec tout usage touristique. Les eaux de l'étang sont brunes; aucune mortalité piscicole n'a été observée.

Deux traitements au Nautex ont été effectués, sans succès, au cours des années 1983 et 1984. Les études menées par le Service Régional d'Aménagement des Eaux ont montré que le plan d'eau se comportait comme une **véritable lagune** (mauvaise qualité entrante :  $NH_4 = 122 \text{ mg/l}$  et  $PO_4 = 77 \text{ mg/l}$ ; bonne qualité d'eau sortante :  $NH_4 = 0,05 \text{ mg/l}$  et  $PO_4 = 0,03 \text{ mg/l}$ ).

Finalement, le plan d'eau n'étant pas vidangeable, la solution du **dragage par aspir odragueuse** a été décidée.

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

Les travaux se sont déroulés en deux phases :

- Une **phase curative** consistait à **faucarder** et évacuer les végétaux (bateau faucardeur) puis réaliser un dragage sur l'ensemble de la superficie de l'étang et sur une épaisseur de 25 à 30 cm. Le dragage s'est effectué à l'aide d'une **petite aspir odragueuse** pouvant aspirer les alluvions jusqu'à 4,5 m de profondeur. Les sédiments ont été refoulés et déposés, avec les végétaux issus du faucardage, sur le pré d'un particulier, où ils ont ensuite été étalés après un temps de séchage.

- Une **phase préventive** a été réalisée par la suite, sur la zone amont de l'étang avec l'installation d'un dispositif tranquillisateur de courant planté d'une cressonnière.

### RÉSULTATS À COURT TERME

- Les élodées ont disparu suite au dragage ;

- **Pas d'amélioration de la qualité de l'eau** : l'étang est resté eutrophe sans modification des teneurs en phosphates et nitrates dans l'eau.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Aucune analyse n'a été faite après le curage, étant donné la disparition des élodées. Il est donc difficile d'interpréter les résultats à long terme et de savoir si les élodées ne sont pas ré-apparues du fait de l'approfondissement du plan d'eau ou du fait d'une consommation des nitrates dans la cressonnière. Les dernières analyses faites par la DDAF montrent en effet des **apports en nitrates toujours importants** (>30mg/l) en amont du plan d'eau et de la cressonnière (1986).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Satisfaction, le **tourisme a pu reprendre normalement**.

## DRAGAGE (DRAGUE MÉCANIQUE)

### TYPE DE PLAN D'EAU

Peu profonds.  
La vitesse d'envasement est faible (de préférence).

### PROBLÉMATIQUE

Proliférations végétales (macrophytes), gênant les loisirs (pêche, baignade, navigation) ou posant des problèmes d'esthétisme.

## DRAGAGE (DRAGUE MÉCANIQUE)

### OBJECTIFS ET PRINCIPES

Les objectifs sont :

- d'**éliminer les végétaux nuisants** (y compris leurs organes souterrains) ;
- d'**éliminer les sédiments** supports physiques et sources de nutriment ;
- d'**augmenter l'épaisseur d'eau**, de manière à réduire l'intensité lumineuse au fond, et donc la flore ...

en **extrayant les sédiments littoraux colonisés par ces herbiers**.

La **destination finale** des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

### MISE EN ŒUVRE

Contrairement à l'aspirodragage destiné à éliminer la source de phosphore responsable des développements phytoplanctoniques (cf fiche n°10), il s'agit dans le cas présent, de **creuser le sédiment** plutôt que de simplement ôter la couche superficielle au contact de l'eau.

Deux types de dragues peuvent être utilisés ; dans le cas de plans d'eau vidangeables (assèchement), il est également possible d'utiliser des pelles mécaniques ; on parle alors de curage (cf fiche n°13).

#### Dragues mécaniques

**couramment utilisées**

Ces dragues (type benne preneuse, drag-line) présentent l'avantage de pouvoir travailler quels que soient les types de sédiment. Elles ont l'inconvénient d'agir irrégulièrement et de provoquer d'intenses remises en suspension des matériaux. Noter par ailleurs, qu'il est préférable d'opérer au début de la croissance des végétaux (moins de biomasse à manipuler et moins de risque de favoriser la multiplication végétative).

#### Dragues suceuses portatives

La pièce suceuse est portée et manipulée par un plongeur. Elle s'enfonce moins profondément que les autres types de dragues (environ 20 cm seulement, ce qui limite leur utilisation à certaines espèces aux racines « superficielles »). Leur utilisation ne peut se concevoir que sur des superficies limitées ou difficiles d'accès.

#### Autres types

Les **aspirodragueuses à tête dilacératrice** (cf fiche n°10) sont **inadaptées** car elles ne permettent pas d'éliminer directement les végétaux ni les racines profondes ; il faut alors préalablement faucher les herbiers (cf exemple du plan d'eau de la Roche, fiche n°11).

### RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## TECHNIQUE EFFICACE À COURT ET LONG TERME VIS À VIS DU DÉVELOPPEMENT DES HERBIERS ET AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

### EFFICACITÉ

La technique est **très efficace à court et long terme vis à vis des développements d'herbiers à condition d'extraire la totalité du sédiment support**.

L'efficacité peut être **améliorée** par l'emploi d'engins terrestres et l'assèchement des zones à draguer.

Elle peut être **limitée** par la nature des sédiments (trop compacts par exemple) ou par la diversité et l'importance des herbiers.

### AVANTAGES ...

- + Traitement efficace à court et long terme vis à vis des herbiers.

### ... INCONVÉNIENTS

- **risque de perturbation temporaire lors des travaux** (remise en suspension de sédiments, d'où relargages de phosphore et stimulation possible du phytoplancton, ...);
- dans certains cas nécessité de **vidanger (ou abaisser) le plan d'eau**.

### COÛT

Coûts de l'ordre de 20 à 40 F/m<sup>3</sup> de matériaux extraits (avec réutilisation locale des sédiments extraits).

## RETENUE DES FORGES

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 44 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 2,5 ha  
**Profondeur :** 1,5 à 2 m      **Type :** retenue de barrage (1965)  
**Usages :** loisirs, promenade, pêche, agrément.

**Quelques informations sur le bassin versant :** agriculture intensive (sylviculture du pin, maïsiculture) ; alimentation par un réseau complexe de fossés de drainage ; lessivage important des terres agricoles.

**Problèmes identifiés sur l'étang :** pression humaine potentiellement très forte (3/4 rives directement accessibles, stationnement) ; envahissement par des herbiers denses (espèces autochtones) sur la quasi-totalité de la surface gênant la pratique de la pêche et allant à l'encontre de l'aspect « miroir d'eau ».

### Date et coût du traitement :

1991-1992 : assec et décapage, 229 KF TTC

**Commune :** Ychoux (Landes, 40)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landes.org/fr](http://www.landes.org/fr))

**Société ayant réalisé les travaux :** Chognot (Le Bouscat) Suivi régulier des peuplements de plantes aquatiques par le Cemagref (Bordeaux) depuis 1988.

### CONTEXTE

Les étangs landais ont commencé à subir des proliférations végétales importantes dans les années 70 ; la création du syndicat mixte Géolandes a permis une appréhension globale de ce problème à partir de 1988. Auparavant, les communes concernées par des développements d'herbiers limitant les usages des plans d'eau (dont Ychoux) avaient déjà tenté d'y remédier. Dans le cas de la retenue des Forges, les techniques mises en œuvre ont été :

- **1978** : essai expérimental d'herbicide (le Dichlobénil) sur un herbier de potamots (zone très limitée). Malgré son efficacité (l'herbier traité a disparu), ce type de traitement ne peut être généralisé sur une retenue installée sur un ruisseau, à cause des risques de contamination des milieux aquatiques et des usages à l'aval (pisciculture).
- **1987** : moisson (coupe et récolte) des Characées. Des problèmes techniques liés à la discontinuité des fonds, la présence d'un film (aménagement ancien) et les caractères de la plante (petite taille) ont rendu son extraction difficile et ont nuit à l'efficacité de la moisson.
- **1990-1991** : assec hivernal et gel ; les herbiers de fond, essentiellement composés de myriophylles, se reconstituent rapidement.

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE (sous maîtrise d'ouvrage Géolandes)

- **Mise en assec** du plan d'eau de fin septembre 1991 à fin mars 1992 ; suivi d'un **décapage des sédiments très riches en matières organiques (40 %) et des herbiers aquatiques** à l'aide de deux draguelines tirant un godet monté en rappel pour retirer la couche superficielle des sédiments : en moyenne 30 cm de hauteur pour un total de **7400 m<sup>3</sup> de sédiments extraits**. Les matériaux extraits (sédiments + plantes) ont été transportés et stockés à proximité.
- **hiver 1992-1993** : nouvel assec et gel des plantes.
- **1994-1995-1996** : campagnes annuelles (en juin) de moissonnage (coupe et récolte) des herbiers de potamot à feuilles nageantes (40 m<sup>3</sup> de plantes récoltées en 1996), par la Société Européenne de Dragage (35 KF TTC / an).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les Characées sont en régression nette sur toutes les surfaces décapées, mais le potamot à feuilles nageantes a recolonisé rapidement les surfaces laissées libres. Au cours de l'assec hivernal, le feutrage végétal protège le sédiment sous-jacent du dessèchement ce qui explique la rapidité de recolonisation du milieu. Les campagnes successives de moissonnage ont permis, cependant, une régression notable du potamot.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les derniers relevés de végétation (1998) montrent une **colonisation végétale toujours importante et continue par les plantes indigènes** (myriophylles, algues filamenteuses *Spirogyra* et *Microspora*), ainsi qu'un **début de colonisation par deux plantes exotiques envahissantes : le jussie et le lagar osiphon**, à surveiller de près (actions à entreprendre = arrachage manuel systématique des pieds pionniers).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le site est très favorable aux développements des plantes aquatiques, en raison de la transparence de l'eau et de sa richesse potentielle en nutriments. La commune et les usagers sont satisfaits de ces résultats. Aujourd'hui, le plan d'eau semble avoir trouvé un équilibre relatif.

Peu profond.  
La vitesse d'envasement est faible (de préférence).

Proliférations végétales (macrophytes), gênant les loisirs (pêche, baignade, navigation) ou posant des problèmes d'esthétisme.

## OBJECTIFS ET PRINCIPES

Les objectifs sont :

- d'éliminer les végétaux nuisants (y compris leurs organes souterrains) ;
- d'éliminer les sédiments supports physiques et sources de nutriment ;
- d'augmenter l'épaisseur d'eau, de manière à réduire l'intensité lumineuse au fond, et donc la flore ...

en extrayant les sédiments littoraux colonisés par ces herbiers.

La destination finale des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de curage.

## MISE EN ŒUVRE

Comme dans les cas du dragage mécanique (fiche n°12) et de l'aspirodragage (fiche n°11), il s'agit de **creuser et d'extirper le sédiment** plutôt que de simplement ôter la couche superficielle au contact de l'eau.

Dans le cas de plans d'eau vidangeables (assèchement), on utilise des pelles mécaniques. Ces pelles peuvent également être embarquées sur des barges.

Pour des raisons écologiques,

il est impératif de ne pas éliminer la totalité des herbiers : ceux-ci contribuent en effet au maintien des berges d'une part et au maintien et au développement de nombreuses espèces piscicoles.

Cependant, au cas où l'éradication d'une espèce végétale s'avèrerait nécessaire, il est impératif d'éliminer du plan d'eau la totalité des individus de cette espèce, sous peine d'avoir à recommencer dans de brefs délais ...



Photo D. Genoud. Fed. AAPPMA 07

## EFFICACITÉ

La technique est très efficace à court et long terme vis à vis des développements d'herbiers à condition d'extraire la totalité du sédiment support.

## AVANTAGES ...

- + Traitement efficace à court et long terme vis à vis des herbiers.
- + peut concerner de grandes superficies.
- + coût

## ... INCONVÉNIENTS

- nécessité de vidanger (ou abaisser) le plan d'eau

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## TECHNIQUE EFFICACE À COURT ET LONG TERME VIS À VIS DU DÉVELOPPEMENT DES HERBIERS ET AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais: Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

## COÛT

Coûts de l'ordre de 20 à 40 F/m<sup>3</sup> de matériaux extraits (avec réutilisation locale des sédiments extraits).

## LAC DU MOLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 200 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 10 ha  
**Profondeur :** 2 m      **Type :** Plan d'eau en dérivation  
**Usages :** Pêche, loisirs

**Commune :** La Tour (Haute Savoie, 74)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** Annecy Travaux Sous-Marins - ZAE Les Chamoux - 74 650 Chavanod.

**Quelques informations sur le bassin versant :**  
Néant.

**Problèmes identifiés sur le lac :**  
Envasement par les nénuphars depuis 15 ans (sauf dans les secteurs les plus profonds) ; remontées de tourbe.

**Date et coût du traitement :**  
Hiver 1995 : Scarifiage, 183 KF HT (cf Fiche n°19).  
Été 1997 : curage d'1/5<sup>e</sup> du plan d'eau, <300 KF (poursuivi tous les 5 ans)



C. Niven - IRAP

## ÉTANG DE SAINT-MALO DE BEIGNON

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 120 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 8 ha  
**Profondeur :** 1,5 m      **Type :** Etang

**Commune :** St-Malo de Beignon (Morbihan, 56)  
**Propriétaire :** Communauté de communes du pays de Guer  
**Gestionnaire :** Commune de Guer  
**Société ayant réalisé les travaux :** Entreprise de travaux publics.  
**Etudes :** Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.

**Usages :** Loisirs, promenade, pédalo, pêche.  
**Quelques informations sur le bassin versant :**

Rejet de la commune de Saint-Malo de Beignon dont la STEP est sous-dimensionnée en raison du raccordement d'une zone industrielle. La STEP est en cours de redimensionnement.

**Problèmes identifiés sur le lac :**  
Envasement important (20 à 50 cm) et envahissement par les élodées toute l'année gênant les loisirs. Teneurs en phosphates importantes dans les affluents.

**Date et coût du traitement :**  
Avant 1990 : introduction de carpes Amour.  
1994 : curage, environ 200 KF TTC.



C. Niven - IRAP

### CONTEXTE

Créé au début des années 70, le lac du Mole est à vocation essentiellement halieutique. Le tourisme s'y est développé, avec un chemin de promenade et un restaurant.

Depuis 15 ans, le plan d'eau a été progressivement envahi par des nénuphars, très certainement implantés par une personne qui trouvait cette plante jolie. Les nénuphars colonisent aujourd'hui totalement le plan d'eau (sauf dans les zones les plus profondes), mettant en péril l'activité pêche.

Après avoir tenté d'éliminer les nénuphars à l'aide de la technique de scarifiage, mais sans réel succès, le mode de gestion du plan d'eau a été modifié en 1997 : la **superficie a été divisée en 5 parties, qui seront curées l'une après l'autre tous les cinq ans**. La première partie du plan d'eau a été vidangée en été 97. Le curage à la pelle mécanique, dont le but était aussi de retirer la tourbe, a atteint **70 cm de profondeur**.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- Vidange du plan d'eau en été 1997.
- Curage, en hiver 1997, à l'aide d'une pelle mécanique sur 1/5<sup>e</sup> du plan d'eau (environ 2 ha). Au total le curage a duré 1 mois.

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Résultat positif** sur les nénuphars : il ne reste que quelques pousses dans la zone curée, le reste du plan d'eau étant toujours envahi.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Il est difficile de dire si la technique aura un effet à long terme : **depuis 3 ans les nénuphars n'ont pas recolonisé entièrement le secteur curé**, mais il reste encore 2 ans avant de curer la seconde partie du plan d'eau, et presque 20 ans pour que tout le plan d'eau soit curé ; le gestionnaire utilise, le reste du temps, un herbicide (Biovert aqua).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Compte tenu de l'échec du scarifiage et du coût important du curage de tout le plan d'eau, la commune de La Tour ne peut "qu'étaler" dans le temps l'ensemble de l'opération ; elle semble plutôt positive au gestionnaire vis à vis des objectifs recherchés (pêche).

### CONTEXTE

Aménagé dans les années 70 pour créer une **zone de loisirs**, l'étang occupait initialement une dépression naturelle. Il a été creusé quelques années après afin d'obtenir une profondeur d'eau de 80 cm environ. Cette zone peu profonde a été envahie par *Elodea canadensis*, gênant alors l'usage des pédalos et la pêche.

Plusieurs types de traitements ont été proposés (faucardage, bioadditifs) ; jugés mal adaptés ou trop chers, ils ont été écartés au profit de la technique du curage : l'élodée ne pouvant se développer si la profondeur atteint 1,3 m, il fallait donc creuser le plan d'eau sur une profondeur moyenne de 50 cm.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **mise en assec** du plan d'eau de fin septembre 1993 jusqu'en été 94 ;
  - **curage de la retenue** à l'aide d'une pelle mécanique : en moyenne 15 à 40 cm d'épaisseur pour un total de 11 000 m<sup>3</sup> retirés ;
  - **épandage de chaux vive** sur toute la surface de la retenue avant remise en eau : 200 kg/ha ;
- Les sédiments retirés ont été réutilisés :
- comblement d'une cuvette profonde de l'étang = 2 000 m<sup>3</sup> ;
  - agrandissement d'un îlot : 500 m<sup>3</sup> ;
  - construction d'un terre-plein en amont de l'étang = 2 000 m<sup>3</sup> ;
  - régalage sur le terrain de camping = 6 500 m<sup>3</sup> ;=

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Disparition des élodées** (sauf en quelques endroits en bordure, non gênant), et **reprise des activités touristiques**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Aucun suivi n'a été réalisé depuis la disparition des élodées. L'envahissement ne s'est plus reproduit mais il est fort probable que l'étang ait conservé le même niveau trophique. C'est bien l'approfondissement qui a limité le développement des élodées.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le maire de St-Malo de Beignon est **satisfait** et soulagé d'avoir pu régler le problème. La DDAF a préconisé de faire un assec tous les 5/6 ans, mais la commune ne l'a pas encore fait.



Peu profond : 2 à 5 m maximum ou avec un littoral peu profond.

Pour le contrôle du phosphore :

Charge externe < 1g /m<sup>2</sup> /an.

Forte densité de macrophytes.

Colonisation quasi-totale du plan d'eau.

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

## OBJECTIFS ET PRINCIPE

- Couper, ramasser et évacuer les macrophytes, pour **dégager l'eau libre** ; et secondairement ;
- **Éliminer le phosphore interne** du plan d'eau, de manière indirecte (élimination de la charge interne littorale représentée par les végétaux et leurs produits de décomposition).

## MISE EN ŒUVRE

- Lorsque c'est possible, il est préférable de couper au ras du sédiment, voire même d'y pénétrer d'un ou deux cm afin d'attaquer l'appareil racinaire.
- **Une seule coupe** est généralement **inefficace**, il faut au moins compter deux à trois coupes dans la saison, dont une en fin d'automne, si l'on veut obtenir un résultat à la saison suivante.
- Selon la quantité de végétation, il faut une demi-journée à une journée pour 10 ha faucardés.

## EFFICACITÉ

• **Vis à vis du phosphore, l'efficacité de la technique est variable, plus théorique que mise en évidence et quantifiée** ; elle est en tout cas impérativement associée à des apports externes en phosphore, faibles (< 1g/m<sup>2</sup>/an), ainsi qu'à une colonisation quasi-totale du plan d'eau par une forte densité de plantes aquatiques.

• **Vis à vis du dégagement du plan d'eau, la technique est efficace, avec quelques réserves :**

- **Cypéracées, typhacées, scirpes, certains potamots** : ces plantes issues de semis sont difficilement contrôlées.
- **Myriophylles, renoncules, élodées** : les plantes faiblement enracinées à forte multiplication végétative sont plus stimulées qu'éliminées.
- **Typhacées** : les plantes partiellement émergées doivent être coupées en dessous du niveau de l'eau pour qu'elles meurent par manque d'oxygène.
- **Roseau, jonc** : les plantes à rhizome doivent subir pendant plusieurs années, deux coupes par an avant la floraison, pour épuiser leurs réserves.
- **Nénuphar** : le plus récalcitrant ; il faut au moins six coupes toutes les deux semaines pour en venir à bout.
- **Plantes exotiques** (lagarosiphon, jussie, myriophylle du Brésil, égéria) : l'éradication est impossible ; seul un contrôle de l'extension est possible avec un arrachage systématique des pieds pionniers suite au moissonnage.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.



Contrôles de la végétation des étangs landais par bateau faucardeur (g) et transbordement des végétaux sur la rive (d). Photos L. Fournier. Conseil Général 40.



## MATÉRIEL :

Il est composé de plusieurs unités.

La coupe et le ramassage sont effectués par la même unité (la moissonneuse).

• **La faucardeuse :**

Monocoque ou catamaran, elle est propulsée par roues à aubes, vis d'Archimède ou propulseurs à air ou à eau.

Elle est munie à l'avant de trois barres de coupe disposées en U. La profondeur de coupe maximale va de 1,5 à 2,5 m pour 2 à 3,7 m de largeur.

Un jeu de tapis transporteurs permet de sortir les végétaux à mesure de la coupe, de les stocker et de les transférer à l'unité suivante.

• **La barge de transport :**

Elle fait la navette entre la faucardeuse et le site de dépôt. Élément de la chaîne non indispensable, elle permet à la faucardeuse de ne pas stopper son travail.

Le déplacement de la masse végétale, comme sur la faucardeuse, est assuré par des tapis transporteurs perforés.

• **Le tapis transporteur de rive :**

Il reprend la masse végétale de la faucardeuse ou de la barge de transport pour en faire un tas sur la berge ou la décharger dans un camion pour l'évacuer.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAIGNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- DUTARTRE A., DELARCHE A., DULONG J. : Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs landais. CEMAGREF, n°38 (1989)
- DUTARTRE A., CASTAGNOS E., LAPLACE-TREYTURE J. : Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques de 4 étangs landais (Garros, Léons, Soustons, Forges). Propositions d'interventions. CEMAGREF, n°38 (1999).

## AVANTAGES ...

- + **peu de risque pour l'environnement**, (pas de modification des peuplements piscicoles par exemple) ni pour l'homme ;
- + selon les espèces, les quantités et les coûts de transformation et de transport, les végétaux récoltés peuvent être **revalorisés** des points de vue **écologique et économique** :
  - amélioration des sols (compost) ; c'est en réalité la seule vraiment réalisable (si le transport est faible) ;
  - alimentation du bétail et des poissons (peu appliquée) ;
  - source d'énergie (biogaz) (peu appliquée).
- + dans les lacs profonds, le faucardage des zones littorales permet d'éliminer le phosphore sans modifier les conditions pélagiques, d'où une **diminution des algues planctoniques**.

## ... INCONVÉNIENTS

- la pratique répétée du faucardage **favorise les espèces qui se régénèrent vite** (myriophylle) au détriment d'espèces plus lentes comme le potamogeton ou la renoncule ;
- le faucardage doit être réalisé sérieusement après avoir étudié : la zone de coupe ; la profondeur d'eau ; la hauteur de coupe ; le moment et la fréquence des coupes, sous peine d'être inefficace, voire d'induire des effets contraires à ceux recherchés. Les **risques** sont alors :
  - d'augmenter les teneurs en phosphore dans l'eau ;
  - de stimuler la croissance des végétaux (plantes ou algues) ;
  - d'intensifier la désoxygénation ;
  - d'accélérer le comblement de la cuvette ;
  - de provoquer la colonisation d'autres sites par les plantes (bouturage à partir de fragments de végétaux).
- le faucardage **per turbe le milieu** par remise en suspension de divers matériaux. Il convient d'en tenir compte si des activités telles que la baignade sont pratiquées. Il peut aussi exister un **risque d'érosion** à long terme du littoral.
- le phytoplancton peut être **stimulé** par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

## COÛT

- Principalement du à l'investissement ;
- Achat : **300 KF minimum** ;
- + entretien, carburant, chauffeur.

## PLAN D'EAU D'EMBRUN

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~75 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 3 ha  
**Profondeur :** 2,5 m      **Type :** Lac en dérivation

**Usages :** Loisirs, baignade, sports d'eau, pêche.

#### Quelques informations sur le bassin versant :

Rejets d'un hameau non raccordé jusqu'en 2000 (construction d'une STEP). Anciens apports importants d'alluvions du torrent de Ste Marthe.

#### Problèmes identifiés sur le lac :

Eutrophisation du plan d'eau caractérisée par l'envahissement de la totalité du plan d'eau par le potamot et le myriophylle en été, depuis 1995.

#### Date et coût du traitement :

Hiver 95 et 96 : essais de baisse du niveau de 2 à 3 m avec gel des plantes (cf fiche n°20).

Été 96 et 97: Faucardage manuel, 50 KF HT (cf fiche n°16).

Depuis 1998 : Faucardage par bateau faucardeur (achat 450 KF HT et entretien annuel 10 KF).

**Commune :** Embrun (Hautes Alpes, 05)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** -

**Étude :** Bureau d'étude "Etudes et conseils en environnement", Apt.



C. Nivion - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG BLANC

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~1,1 M m<sup>3</sup>      **Surface :** 183 ha  
**Profondeur :** 60 cm (moy.)      **Type :** étang littoral d'eau douce

**Usages :** traditionnels (pêche, chasse), touristiques (planche à voile, canotage, baignade,...).

**Quelques informations sur le bassin versant :** proliférations de plantes aquatiques et notamment exotiques, observées sur les autres plans d'eau du bassin versant ; communication physique entre ces plans d'eau

**Problèmes identifiés sur le lac :** siège de la plus importante prolifération de *Lagarosiphon major* de la région ; colonisation également par la jussie ; gêne considérable pour la pratique de la planche à voile et de la pêche.

**Date et coût du traitement :** depuis 1988, campagnes annuelles de faucardage (avec ramassage) sur 40 ha pendant 2 mois, 500 KF TTC / an.

**Commentaires :** la prolifération de *Lagarosiphon major* a modifié la qualité des eaux de l'étang : transparence multipliée par 2 et teneur en chlorophylle divisée par 3.

**Communes :** Soustons, Tosse, Seignosse (Landes, 40)

**Propriétaire :** Communes

**Gestionnaire :** Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landes.org/fr](http://www.landes.org/fr))

**Sociétés ayant réalisé les travaux :** Riv'Ouest (Nantes), Fondclair (Soustons), Dipland (Soustons), Aquitaine Travaux Aquatiques (Ustaritz).

Suivi régulier des peuplements de plantes aquatiques par le Cemagref depuis 1988.



M. Campagne - IRAP

### CONTEXTE

Les étangs landais ont commencé à subir des proliférations végétales importantes dans les années 70 ; la création du Syndicat Mixte Géolandes a permis une appréhension globale de ce problème à partir de 1988. L'étang Blanc appartient au bassin versant de Soustons. Alimenté par l'étang Noir (classé en Réserve Naturelle), il se déverse dans l'étang de Hardy, les eaux s'écoulant ensuite vers l'étang de Soustons, puis vers l'océan. **Ces interactions entre plans d'eau sont importantes à prendre en compte pour évaluer les risques de « contamination » par des plantes aquatiques exotiques.**

L'étang Blanc est le **siège de la plus importante prolifération de *Lagarosiphon major* de la région**, la superficie colonisée étant passée de 6 à près de 80 ha de 1986 à 1988. La profondeur modérée de l'étang et la relative transparence de ses eaux expliquent l'ampleur de ce développement (plante apparue en 1983 sur le plan d'eau).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Après quelques essais peu concluants par des herbicides (en 1988-89 et 1996, sur des surfaces limitées), le Syndicat Mixte Géolandes finance des **campagnes annuelles de moisson (avec ramassage) du *Lagarosiphon***. Chaque année, entre mai et juin, un bateau moissonneur est chargé de dégager **40 ha** du plan d'eau pour permettre la circulation des planches à voile. A chaque fois, **~12 000 m<sup>3</sup>** de plantes sont collectés par le bateau-faucardeur, déchargés dans une remorque polybenne attelée à un camion ou un tracteur et transportés hors du site. Après séchage, une partie de ces déchets végétaux est recyclée par compostage.

Des arrachages de jussie, apparue sur le plan d'eau en 1986, ont été menés en 1993 sous maîtrise d'ouvrage du Syndicat Mixte Géolandes (coût inclus dans le faucardage) et en 1995, sous maîtrise d'ouvrage communale, mais n'ont pas été poursuivis.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Concernant le *Lagarosiphon*, après 10 ans de travaux de contrôle, l'espèce est restée présente dans les mêmes secteurs et a même augmenté son aire de répartition (dans des proportions certes moindres que l'explosion observée de 1986 à 1988) : 120 ha colonisés, avec une abondance supérieure (de 3,5 à 4 sur une échelle de 5) sur la partie Ouest du plan d'eau.

Les campagnes d'arrachage de la jussie n'ayant pas été poursuivies, la recolonisation s'est avérée rapide. **Actuellement, la progression des deux espèces exotiques se poursuit sur l'ensemble des rives de l'étang (le *Lagarosiphon* est plus présent que la jussie).**

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le *Lagarosiphon major*, plante immergée (jusqu'à des profondeurs de 4-5 m), possède des tiges très ramifiées dont la fragilité augmente le risque de dispersion par bouturage. C'est pourquoi, son arrachage, très délicat, n'est pas recommandé, la moisson étant la seule intervention physique spécifique à cette plante. Cependant, **aucune des opérations engagées n'a permis son élimination sur les sites traités. Sur l'étang Blanc, les élus souhaitent continuer les campagnes d'entretien annuelles qui permettent de dégager une surface d'eau libre suffisante pour les activités de loisirs et touristiques.**

### CONTEXTE

Le plan d'eau a été créé en même temps que la mise en eau du barrage de Serre Ponçon en 1961 pour aménager une base de loisirs. Depuis le début de l'été 1995, des **explosions végétales** perturbent chaque été l'exploitation sportive (triathlon) et touristique du plan d'eau. Outre cette explosion, l'eutrophisation du plan d'eau d'Embrun se manifeste par :

- une **production phytoplanctonique** importante et prolongée (ex : pic de chlorophylle a = 69 mg/m<sup>3</sup>, donnée 1998).
- un peuplement algal composé d'**algues filamenteuses et de cyanobactéries** ;
- une **réduction de la transparence** de l'eau (<1m en 1997).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Après des essais de variations du niveau de l'eau et de gels hivernaux, qui n'ont rien donné en 1995 et 1996, des faucardages manuels (par scaphandriers et barre de coupe), également peu satisfaisants, la solution du faucardage mécanique (par bateau) a été retenue à partir de 1998. La commune d'Embrun s'est donc dotée d'un **bateau faucardeur**, qui fonctionne tous les jours en période estivale pour limiter le développement des macrophytes.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les herbiers coupés ne sont donc plus gênants pendant un certain temps mais ils **repoussent vite**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Pas suffisamment de retour pour juger ; cependant, le gestionnaire signale une diminution des herbiers en 2000 (observation qualitative visuelle).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

**Satisfaits** malgré la "lourdeur" du travail. Une étude diagnostic aboutissant à l'élaboration d'un **plan de gestion quinquennal** a cependant été réalisée à la demande de la commune en 2000 par un cabinet d'environnement, qui propose de traiter le problème à différents niveaux:

- 1) maîtriser les effets de l'assec (ramassage des végétaux au fur et à mesure, remise en eau précoce) ;
- 2) améliorer les conditions de renouvellement de l'eau ;
- 3) mieux gérer les faucardages (**cartographie, planification** des interventions en fonction des espèces et des phases végétatives) ;
- 4) procéder localement à des **coupes sélectives** ;
- 5) réduire les apports en nutriments depuis l'amont ;
- 6) intervenir sur les sédiments (curage localisés, scarifiages localisés).

# FAUCARDAGE A RAMASSAGE IMMÉDIAT (BATEAU)

## TYPE DE PLAN D'EAU

Peu profond : 2 à 5 m maximum ou avec un littoral peu profond.

Pour le contrôle du phosphore :

Charge externe < 1g /m<sup>2</sup> /an.

Forte densité de macrophytes.

Colonisation quasi-totale du plan d'eau.

## PROBLÉMATIQUE

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

# FAUCARDAGE A RAMASSAGE IMMÉDIAT (BATEAU)

## OBJECTIFS ET PRINCIPE

- Couper, ramasser et évacuer les macrophytes, pour **dégager l'eau libre** ; et secondairement ;
- **Éliminer le phosphore interne** du plan d'eau, de manière indirecte (élimination de la charge interne littorale représentée par les végétaux et leurs produits de décomposition).

## MISE EN ŒUVRE

- Lorsque c'est possible, il est préférable de couper au ras du sédiment, voire même d'y pénétrer d'un ou deux cm afin d'attaquer l'appareil racinaire.
- **Une seule coupe** est généralement **inefficace**, il faut au moins compter deux à trois coupes dans la saison, dont une en fin d'automne, si l'on veut obtenir un résultat à la saison suivante.
- Selon la quantité de végétation, il faut une demi-journée à une journée pour 10 ha faucardés.

## EFFICACITÉ

• **Vis à vis du phosphore, l'efficacité de la technique est variable, plus théorique que mise en évidence et quantifiée** ; elle est en tout cas impérativement associée à des apports externes en phosphore, faibles (< 1g/m<sup>2</sup>/an), ainsi qu'à une colonisation quasi-totale du plan d'eau par une forte densité de plantes aquatiques.

• **Vis à vis du dégagement du plan d'eau, la technique est efficace, avec quelques réserves :**

- Cypéracées, typhacées, scirpes, certains potamots : ces plantes issues de semis sont difficilement contrôlées.
- Myriophylles, renoncules, élodées : les plantes faiblement enracinées à forte multiplication végétative sont plus stimulées qu'éliminées.
- Typhacées : les plantes partiellement émergées doivent être coupées en dessous du niveau de l'eau pour qu'elles meurent par manque d'oxygène.
- Roseau, jonc : les plantes à rhizome doivent subir pendant plusieurs années, deux coupes par an avant la floraison, pour épuiser leurs réserves.
- Nénuphar : le plus récalcitrant ; il faut au moins six coupes toutes les deux semaines pour en venir à bout.
- Plantes exotiques (lagarosiphon, jussie, myriophylle du Brésil, égéria) : l'éradication est impossible ; seul un contrôle de l'extension est possible avec un arrachage systématique des pieds pionniers suite au moissonnage.

## RÈGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.



Contrôles de la végétation des étangs landais par bateau faucardeur (g) et transbordement des végétaux sur la rive (d).  
Photos L. Fournier. Conseil Général 40.



## MATÉRIEL :

Il est composé de plusieurs unités.

La coupe et le ramassage sont effectués par la même unité (la faucardeuse).

• **La faucardeuse :**

Monocoque ou catamaran, elle est propulsée par roues à aubes, vis d'Archimède ou propulseurs à air ou à eau.

Elle est munie à l'avant de trois barres de coupe disposées en U. La profondeur de coupe maximale va de 1,5 à 2,5 m pour 2 à 3,7 m de largeur.

Un jeu de tapis transporteurs permet de sortir les végétaux à mesure de la coupe, de les stocker et de les transférer à l'unité suivante.

Les végétaux peuvent être broyés pour réduire leur volume et les préparer à un usage ultérieur.

• **La barge de transport :**

Elle fait la navette entre la faucardeuse et le site de dépôt. Élément de la chaîne non indispensable, elle permet à la faucardeuse de ne pas stopper son travail.

Le déplacement de la masse végétale, comme sur la faucardeuse, est assuré par des tapis transporteurs perforés.

• **Le tapis transporteur de rive :**

Il reprend la masse végétale de la faucardeuse ou de la barge de transport pour en faire un tas sur la berge ou la décharger dans un camion pour l'évacuer.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAIGNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- DUTARTRE A., DELARCHE A., DULONG J. : Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs landais. CEMAGREF, n°38 (1989)
- DUTARTRE A., CASTAGNOS E., LAPLACE-TREYTURE J. : Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques de 4 étangs landais (Garros, Léons, Soustons, Forges). Propositions d'interventions. CEMAGREF, n°38 (1999).

## AVANTAGES ...

- + **peu de risque pour l'environnement**, (pas de modification des peuplements piscicoles par exemple) ni pour l'homme ;
- + selon les espèces, les quantités et les coûts de transformation et de transport, les végétaux récoltés peuvent être **revalorisés** des points de vue **écologique et économique** :
  - amélioration des sols (compost) : c'est en réalité la seule vraiment réalisable (si le transport est faible) ;
  - alimentation du bétail et des poissons (peu appliquée) ;
  - source d'énergie (biogaz) (peu appliquée).
- + dans les lacs profonds, le faucardage des zones littorales permet d'éliminer le phosphore sans modifier les conditions pélagiques, d'où une **diminution des algues planctoniques**.

## ... INCONVÉNIENTS

- la pratique répétée du faucardage **favorise les espèces qui se régénèrent vite** (myriophylle) au détriment d'espèces plus lentes comme le potamot ou la renoncule ;
- le faucardage doit être réalisé sérieusement après avoir étudié : la zone de coupe ; la profondeur d'eau ; la hauteur de coupe ; le moment et la fréquence des coupes, sous peine d'être inefficace, voire d'induire des effets contraires à ceux recherchés. Les **risques** sont alors :
  - d'augmenter les teneurs en phosphore dans l'eau ;
  - de stimuler la croissance des végétaux (plantes ou algues) ;
  - d'intensifier la désoxygénation ;
  - d'accélérer le comblement de la cuvette ;
  - de provoquer la colonisation d'autres sites par les plantes (bouturage à partir de fragments de végétaux).
- le faucardage **per turbe le milieu** par remise en suspension de divers matériaux. Il convient d'en tenir compte si des activités telles que la baignade sont pratiquées. Il peut aussi exister un **risque d'érosion** à long terme du littoral.
- le phytoplancton peut être **stimulé** par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

## COÛT

- **Principalement du à l'investissement ;**
- Achat : **300 KF minimum ;**
- + entretien, carburant, chauffeur.

## ÉTANGS DE LA DOMBES

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 100 000 m<sup>3</sup> moy. **Surface** : 10 ha en moyenne

**Profondeur** : 1m (moy). **Type** : Etangs

**Usages** : Pisciculture ; Chasse ; Protection de l'environnement

**Quelques informations sur le bassin versant** : Néant si ce n'est une topographie qui facilite le transfert des éléments fins du sol vers les étangs.

**Problèmes identifiés sur le lac** : Colmatage naturel mais rapide. Envahissement par la végétation flottante : potamot, renouclé aquatique... gênant la production piscicole.

**Date et coût du traitement** : Programme ACNAT et LIFE de 1994 à 1997 : pour un curage en douceur avec reprofilage des berges, 40 à 120 KF / étang selon la taille.

Faucardage de la végétation flottante, coût non communiqué.

**Commentaires** : Vidange chaque année pour la pêche. Mise en assec pendant 1 an tous les 4/5 ans.

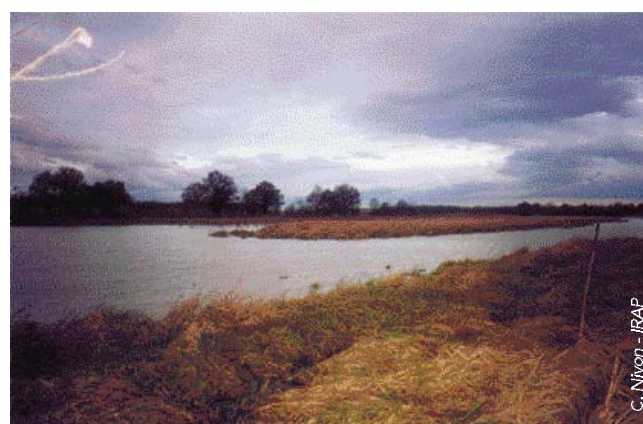
### Communes :

Nombreuses autour de Villard-les-Dombes (Ain, 01)

**Propriétaires** : Privés

**Gestionnaire** : Syndicat des exploitants d'étangs, aidé de l'Office national de la chasse (ONC).

**Société ayant réalisé les travaux** : -



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## PLAN D'EAU DE BOUVENT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 660 000 m<sup>3</sup> **Surface** : 22 ha

**Profondeur** : 2 à 7 m max **Type** : Ancienne gravière

**Usages** : Loisirs (navigation, baignade) ; Epandage des crues de la Reyssouze (temps de retour > 20 ans).

**Quelques informations sur le bassin versant** : néant (pas d'étude spécifique).

**Problèmes identifiés sur le lac** : Plan d'eau envahi de macrophytes (potamot, myriophylles) et d'algues filamenteuses (spirogyres) dans les zones littorales. Développement important du phytoplancton. Epaisseur importante de sédiments. Charge interne en P élevée. Stratification thermique et désoxygénation estivale des eaux du fond.

**Date et coût du traitement** : 3 à 4 traitements par an dont le 1<sup>er</sup> juste avant l'utilisation par les kayakistes au printemps.

Achat du bateau faucardeur : 300 KF puis entretien, carburant et chauffeur : 10 à 15 KF par an.

**Mise en œuvre** : par un employé de la base de loisirs.

**Commentaires** : La gravière est alimentée par la nappe phréatique et par les débordements de la Reyssouze en crue.

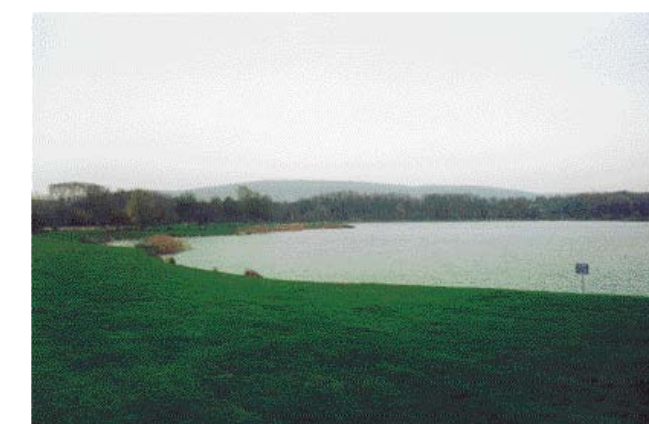
**Commune** : Bourg-en-Bresse (Ain, 01)

**Propriétaire** : Commune

**Gestionnaire** : Commune (service des sports).

**Société ayant réalisé les travaux** : Commune.

*Etude préalable à la définition des techniques à employer par SAFE - GE Ingénieurs-Conseils (1988) - Suivi analytique annuel par le bureau d'études GREBE depuis 1986.*



C. Nivon - IRAP

### PRÉSENTATION DE L'ÉTANG DOMBISTE

Créé, géré et entretenu par l'homme, sa vocation première est la **pisciculture** (production moyenne : 250 kg/ha, carpes essentiellement). Intégré à un paysage ouvert, le profil plat permet à la végétation aquatique de se développer, l'accueil des populations d'oiseaux et l'exercice de la chasse. Le mode de gestion consiste à garder l'étang 4 ans en eau puis 1 an en assec afin de ralentir l'envasement et maîtriser les quantités de fertilisants accumulés.

Au printemps, les étangs sont envahis par une **végétation dont le feuillage flottant recouvre plus ou moins densément la surface de l'eau**. La Châtaigne d'eau, par son couvert dense, **diminue la productivité piscicole**. Mais le feuillage est utilisé par certains oiseaux d'eau comme support pour le nid (Grèbe huppé, Grèbe à cou noir et surtout Guifette moustac). Un mode de gestion radical des étangs, éliminant la végétation flottante en période de nidification a longtemps mis en péril l'équilibre de ces populations.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Lorsqu'une colonie de Guifette est installée sur la végétation, les nids ne sont généralement pas disséminés sur toute la superficie de l'étang. La gestion consiste alors à faire un faucardage par bateau faucardeur tout en **laissant une partie de la végétation**.

- un premier passage avant le 15 juin

- un deuxième passage un mois et demi après (fin juillet)

*Si la Guifette est déjà présente sur l'étang un spécialiste vient indiquer les secteurs de végétation à préserver.*

### RÉSULTATS À COURT TERME

La végétation laissée en place permet aux oiseaux de nidifier correctement. L'espèce est alors protégée tout en laissant l'étang suffisamment libre de végétation pour une bonne productivité piscicole.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Dans le cadre d'une gestion équilibrée globale des étangs, le faucardage réalisé de cette manière permet de concilier « **production piscicole** » et « **protection de l'écosystème** ».

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les propriétaires sont **satisfaits** grâce aux aides européennes perçues en contrepartie de la perte de production piscicole liée au maintien de la végétation flottante pour la protection de la Guifette.

Le gestionnaire est satisfait car le programme permet de **concilier Pisciculture, Chasse et Protection de l'environnement**.

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Disparition des algues et des plantes**, permettant la poursuite des activités de loisirs, **à condition** que le faucardage soit renouvelé 3 à 4 fois dans la saison.

Le suivi réalisé par un bureau d'étude depuis 1986, ne montre **aucune évolution des caractéristiques physico-chimiques et biologiques** du plan d'eau, hormis une phase d'augmentation des paramètres d'eutrophisation en 1990. Cette eutrophisation marquée est liée à l'importante charge interne en phosphore piégé dans les sédiments et relargué en été lorsque le fond du plan d'eau se trouve en condition d'anoxie.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le faucardage du plan d'eau de Bouvent, bien que n'agissant pas sur les causes de l'eutrophisation et ne permettant pas d'y remédier sur le long terme, permet de conserver un grand nombre d'activités de loisirs, importantes pour la commune.

Il limite sans aucun doute la quantité de matière végétale atteignant le fond du plan d'eau mais son réchauffement entraîne inévitablement une stratification et des conditions anoxiques.

Une lutte contre l'eutrophisation ne pourra passer que par l'identification de l'origine du phosphore (ancienne décharge ou apports par la Reyssouze, rivière qui fait actuellement l'objet d'un contrat de rivière), et par l'inactivation ou l'élimination de cette charge interne.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Avant de faucarder par bateau, un faucardage par plongeurs a été tenté, mais il fallait 2 plongeurs pendant deux semaines au moins pour un résultat peu satisfaisant et fort coûteux.

Le choix du faucardage a été fait ensuite par **souci économique** et pour sa **souplesse d'utilisation** : "il répond au besoin au moment nécessaire".

## OBJECTIFS ET PRINCIPE

- Couper, ramasser et évacuer les macrophytes, pour **dégager l'eau libre** ; et secondairement ;
- **Éliminer le phosphore interne** du plan d'eau, de manière indirecte (élimination de la charge interne littorale représentée par les végétaux et leurs produits de décomposition).

## MISE EN ŒUVRE

- Lorsque c'est possible, il est préférable de couper au ras du sédiment, voire même d'y pénétrer d'un ou deux cm afin d'attaquer l'appareil racinaire.
- **Une seule coupe** est généralement **inefficace**, il faut au moins compter deux à trois coupes dans la saison, dont une en fin d'automne, si l'on veut obtenir un résultat à la saison suivante.
- Selon la quantité de végétation, il faut environ 2 jours à 2 personnes pour un hectare faucardé.

## EFFICACITÉ

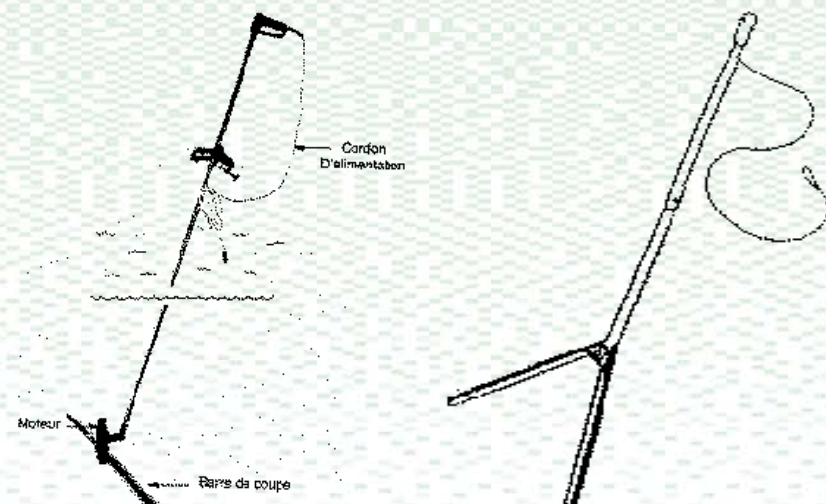
- **Vis à vis du phosphore, l'efficacité de la technique est variable, plus théorique que mise en évidence et quantifiée** ; elle est en tout cas impérativement associée à des apports externes en phosphore, faibles (< 1g/m<sup>2</sup>/an), ainsi qu'à une colonisation quasi-totale du plan d'eau par une forte densité de plantes aquatiques.

- **Vis à vis du dégagement du plan d'eau, la technique est efficace, avec quelques réserves :**

- Cypéracées, typhacées, scirpes, certains potamots : ces plantes issues de semis sont difficilement contrôlées.
- Myriophylles, renoncules, élodées : les plantes faiblement enracinées à forte multiplication végétative sont plus stimulées qu'éliminées.
- Typhacées : les plantes partiellement émergées doivent être coupées en dessous du niveau de l'eau pour qu'elles meurent par manque d'oxygène.
- Roseau, jonc : les plantes à rhizome doivent subir pendant plusieurs années, deux coupes par an avant la floraison, pour épuiser leurs réserves.
- Nénuphar : le plus récalcitrant ; il faut au moins six coupes toutes les deux semaines pour en venir à bout.
- Plantes exotiques (lagarosiphon, jussie, myriophylle du Brésil, égéria) : l'éradication est impossible ; seul un contrôle de l'extension est possible avec un arrachage systématique des pieds pionniers.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.



Exemples de petits matériels de faucardage léger type « taille-haie » subaquatique - (à gauche - matériel Water Weeder - document Waterside Products Corp. In Barroin 1999) - (à droite - Aqua Weed Cutter ; document JL. Industries, Inc. In Barroin 1999).

## MATÉRIEL :

Le matériel est de type léger, inspiré pour certains du matériel de jardinage (taille - haies).

Ils sont généralement constitués d'une barre métallique de coupe d'environ 1,5 à 2,5 m de long, articulée au bout d'une perche (pour un travail depuis la berge ou la surface du plan d'eau), permettant de travailler jusqu'à 4 m de profondeur ou au bout de cordes fixées à chaque extrémité et tractées par le plongeur.

Les plantes coupées sont récupérées directement par le plongeur muni d'un filet de ramassage ou à la surface depuis un bateau ; elles sont ensuite évacuées.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAINNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## AVANTAGES ...

- + **Peu de risque pour l'environnement**, (pas de modification des peuplements piscicoles par exemple) ni pour l'homme.
- + Selon les espèces, les quantités et les coûts de transformation et de transport, les végétaux récoltés peuvent être **revalorisés** des points de vue **écologique et économique** :
  - amélioration des sols (compost) : c'est en réalité la seule vraiment réalisable (si le transport est faible) ;
  - alimentation du bétail et des poissons (peu appliquée) ;
  - source d'énergie (biogaz) (peu appliquée).
- + Dans les lacs profonds, le faucardage des zones littorales permet d'éliminer le phosphore sans modifier les conditions pélagiques, d'où une **diminution des algues planctoniques**.

## ... INCONVÉNIENTS

- La pratique répétée du faucardage **favorise les espèces qui se régénèrent vite** (myriophylle) au détriment d'espèces plus lentes comme le potamo ou la renoncule.
- Le faucardage doit être réalisé sérieusement après avoir étudié : la zone de coupe ; la profondeur d'eau ; la hauteur de coupe ; le moment et la fréquence des coupes, sous peine d'être inefficace, voire d'induire des effets contraires à ceux recherchés. Les **risques** sont alors :
  - d'augmenter les teneurs en phosphore dans l'eau ;
  - de stimuler la croissance des végétaux (plantes ou algues) ;
  - d'intensifier la désoxygénation ;
  - d'accélérer le comblement de la cuvette ;
  - de provoquer la colonisation d'autres sites par les plantes (bouturage à partir de fragments de végétaux).
- Le faucardage **perturbe le milieu** par remise en suspension de divers matériaux. Il convient d'en tenir compte si des activités telles que la baignade sont pratiquées. Il peut aussi exister un **risque d'érosion** à long terme du littoral.
- Le phytoplancton peut être **stimulé** par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

## COÛT

- **Principalement lié au temps passé ;**
- de l'ordre de 15 000 FHT/ha pour le faucardage manuel ;
- 25 000 FHT/ha pour faucardage + plantation.

## PLAN D'EAU DES BUISSONNADES

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~450 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 10 ha

**Profondeur :** 4/5 m      **Type :** Gravière

**Usages :** Loisirs, baignade et activités nautiques.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture céréalière intensive polluant les nappes phréatiques (nitrates, phosphates). Plan d'eau bordé de la Durance et de l'Asse. Débordement de l'Asse lors des crues de 1994 apportant une quantité importante de sédiments. Depuis, une consolidation des digues empêche ce phénomène.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation se manifestant par un développement d'algues filamenteuses et de végétaux supérieurs mettant en péril les activités du plan d'eau, suite au débordement de l'Asse.

#### Date et coût du traitement :

1991 à 1996 : traitements au sulfate de cuivre (150 kg/an).

1997 : faucardage manuel (scaphandriers) et implantation de characées, 279 KF TTC.

2000 : faucardage par bateau faucardeur et complément par des plongeurs, 50 KF HT.

**Commune :** Oraison (Alpes de Haute Provence, 04)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune avec l'aide du Canal de Provence.

**Société ayant réalisé les travaux :** Dhélios : Plongeurs

**Etude :** Société du Canal de Provence.



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## PLAN D'EAU D'EMBRUN

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~75 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 3 ha

**Profondeur :** 2,5 m      **Type :** Lac en dérivation

**Usages :** Loisirs, baignade, sports d'eau, pêche.

#### Quelques informations sur le bassin versant :

Rejets d'un hameau non raccordé jusqu'en 2000 (construction d'une STEP). Anciens apports importants d'alluvions du torrent de Ste Marthe.

#### Problèmes identifiés sur le lac :

Eutrophisation du plan d'eau caractérisée par l'envahissement de la totalité du plan d'eau par le potamot et le myriophylle en été, depuis 1995.

#### Date et coût du traitement :

Hiver 95 et 96 : essais de baisse du niveau de 2 à 3 m avec gel des plantes (cf fiche n°20).

Été 96 et 97 : Faucardage manuel, 50 KF HT.

Depuis 1998 : Faucardage par bateau faucardeur (achat 450 KF HT et entretien annuel 10 KF - cf fiche n°14).

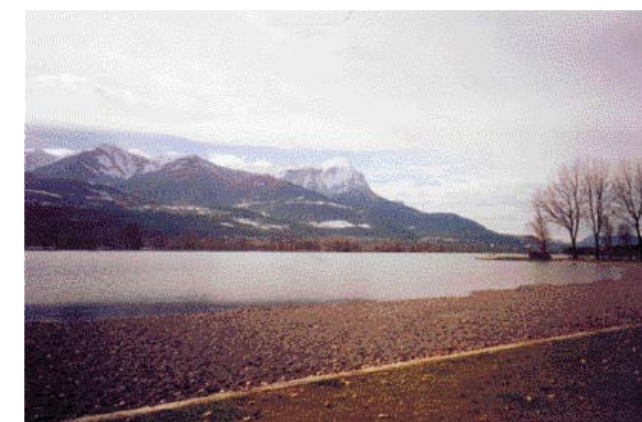
**Commune :** Embrun (Hautes Alpes, 05)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** Dhélios, plongeurs.

**Etude :** Bureau d'étude "Etudes et conseils en environnement", Apt.



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Le plan d'eau a été créé en même temps que la mise en eau du barrage de Serre Ponçon en 1961 pour aménager une base de loisirs. Depuis le début de l'été 1995, des **explosions végétales** perturbent chaque été l'exploitation sportive (triathlon) et touristique du plan d'eau. Outre cette explosion, l'eutrophisation du plan d'eau d'Embrun se manifeste par :

- une **production phytoplanctonique** importante et prolongée (ex : pic de chlorophylle a = 69 mg/m<sup>3</sup>, donnée 1998) ;
- un peuplement algal composé d'**algues filamenteuses et de cyanobactéries** ;
- une **réduction de la transparence** de l'eau (<1m en 1997).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Après des essais de variations du niveau de l'eau et de gels hivernaux, qui n'ont rien donné en 1995 et 1996, la solution du faucardage a été retenue pour les étés 1996 et 1997.

Il s'agit d'un faucardage manuel par un **scaphandrier** qui coupe les plantes à l'aide d'une **barre de coupe**. Un deuxième personne, sur un bateau, ramasse les plantes coupées et surnageantes pour les exporter dans une décharge.

Au total, 7 jours sont nécessaires pour traiter la totalité du plan d'eau avec l'emploi de 2 personnes (3 ha).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les herbiers coupés ne sont donc plus gênants pendant un certain temps mais ils **repoussent vite** ; il faut effectuer plusieurs passages au cours du même été, ce qui induit un coût total non négligeable, sans permettre l'élimination convenable de ces herbiers.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Impensable d'obtenir un résultat à long terme par cette technique.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le coût important et les analyses faites par le bureau d'étude ont montré que le faucardage manuel ainsi que le gel réalisé les 2 ans auparavant étaient des **pratiques inadaptées et insuffisantes**, ce qui est aussi l'avis du gestionnaire.

La commune d'Embrun s'est maintenant dotée d'un **bateau faucardeur**, qui fonctionne tous les jours en période estivale pour limiter le développement des macrophytes. En 2000 a également été élaboré un plan de gestion quinquennal (cf fiche n°14).

### CONTEXTE

La base de loisirs d'Oraison est aménagée autour de **2 plans d'eau**, l'un destiné à la baignade et au canotage, l'autre à la pêche. Le plan d'eau de baignade subit des **développements végétaux** (plusieurs espèces d'algues et de végétaux supérieurs), de nature à **compromettre son utilisation touristique**. Le choix du type de traitement s'est porté sur une opération de faucardage raisonnée : coupe sélective au ras du sédiment et recouvrement des zones ainsi libérées par d'autres espèces autochtones replantées.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **Cartographie des herbiers** : présence d'algues filamenteuses (*Spiroryra*, *Ulothrix*) et de végétaux supérieurs (*Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton lucens*), sur les zones les plus envasées, principalement sur les buttes. Le *Potamogeton coloratus* se développe surtout en pourtour des buttes et les Characées sont réparties de manière très uniforme sur le plan d'eau, formant des coussins de 80 cm d'épaisseur.

- **Coupe sélective de *Potamogeton pectinatus***, remplacé par des plants de Characées, prélevés dans le plan d'eau (mai - juin 1997). Au total : retrait de 43 T de végétaux.

### RÉSULTATS À COURT TERME

En septembre 1997, une nouvelle cartographie révèle un résultat globalement positif :

- **régression sensible des herbiers à *P. pectinatus***, sauf quelques foyers ;
- développement de *Ceratophyllum*, jusque là non observé (le potamot ayant tout colonisé), caractéristique d'eaux eutrophes ;
- croissance accrue de *P. Coloratus* caractéristique des bonnes qualités d'eau ;
- régression des algues filamenteuses.

### RÉSULTATS À LONG TERME

La technique du faucardage + implantation n'a pu être reconduite, le coût étant trop important pour la commune, sans aucune subvention. Le plan d'eau est resté par la suite sans besoin de traitement pendant deux ans. Actuellement, le faucardage par bateau faucardeur est de nouveau utilisé. Les résultats positifs à court terme laissent penser qu'en reproduisant la technique de faucardage + implantation plusieurs fois, il est possible de venir à bout de l'envahissement du *P. pectinatus*. Mais il est impossible de confirmer cette hypothèse, par manque de données.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La technique de faucardage + implantation semblait être une bonne solution mais non reproductible car trop coûteuse.

Le bateau faucardeur permet de passer la saison estivale sans encombre mais il faut le réutiliser chaque année.

Peu profond : 2 à 5 m maximum ou avec un littoral peu profond.

Pour le contrôle du phosphore :

Charge externe < 1g /m<sup>2</sup>/an.

Forte densité de macrophytes.

Colonisation quasi-totale du plan d'eau.

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

### OBJECTIFS ET PRINCIPE

- Couper, ramasser et évacuer les macrophytes, pour **dégager l'eau libre** ; et secondairement ;
- **Éliminer le phosphore interne** du plan d'eau, de manière indirecte (élimination de la charge interne littorale représentée par les végétaux et leurs produits de décomposition).

### MISE EN ŒUVRE

- **Les plantes sont attrapées et arrachées par une griffe preneuse** située au bout d'un bras hydraulique positionné sur une barge. Les plantes sont déposées dans la barge et transportées régulièrement sur le bord.
- Selon la quantité de végétation, il faut une demi-journée à une journée pour 10 ha arrachés.

### EFFICACITÉ

• **Vis à vis du phosphore, l'efficacité de la technique est variable, plus théorique que mise en évidence et quantifiée** ; elle est en tout cas impérativement associée à des apports externes en phosphore, faibles (< 1g/m<sup>2</sup>/an), ainsi qu'à une colonisation quasi-totale du plan d'eau par une forte densité de plantes aquatiques.

• **Vis à vis du dégagement du plan d'eau, la technique est efficace, avec quelques réserves :**

- **myriophylles, renoncules, élodées** : les plantes faiblement enracinées à forte multiplication végétative sont plus stimulées qu'éliminées.
- **plantes exotiques** (lagarosiphon, jussie, myriophylle du Brésil, égéria) : l'éradication est impossible ; seul un contrôle de l'extension est possible avec un arrachage systématique des pieds pionniers suite au moissonnage.



Contrôle de la végétation des étangs landais par arrachage mécanique. Une griffe preneuse située au bout d'un bras hydraulique porté par une barge permet d'arracher les végétaux qui sont ensuite déposés dans la barge. Photo A Dutartre. CEMA - GREF (Bordeaux).

### AVANTAGES ...

- + **Peu de risque pour l'environnement**, (pas de modification des peuplements piscicoles par exemple) ni pour l'homme.
- + Selon les espèces, les quantités et les coûts de transformation et de transport, les végétaux récoltés peuvent être **revalorisés** :
  - amélioration des sols (compost) : c'est en réalité la seule vraiment réalisable (si le transport est faible) ;
  - alimentation du bétail et des poissons (peu appliquée) ;
  - source d'énergie (biogaz) (peu appliquée).
- + Dans les lacs profonds, le faucardage des zones littorales permet d'éliminer le phosphore sans modifier les conditions pélagiques, d'où une **diminution des algues planctoniques**.

### ... INCONVÉNIENTS

- La pratique répétée de l'arrachage **favorise les espèces qui se régénèrent vite** (myriophylle) au détriment d'espèces plus lentes comme le potamogeton ou la renoncule.
- L'arrachage doit être réalisé sérieusement après avoir étudié : la zone de coupe ; la profondeur d'eau ; le moment et la fréquence des coupes, sous peine d'être inefficace, voire d'induire des effets contraires à ceux recherchés. Les **risques** sont alors :
  - d'augmenter les teneurs en phosphore dans l'eau ;
  - de stimuler la croissance des végétaux (plantes ou algues) ;
  - d'intensifier la désoxygénation ;
  - d'accélérer le comblement de la cuvette ;
  - de provoquer la colonisation d'autres sites par les plantes (bouturage à partir de fragments de végétaux)..
- Le phytoplancton peut être **stimulé** par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

### RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAIGNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- DUTARTRE A., DELARCHE A., DULONG J. : Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs landais. CEMAGREF, n°38 (1989)
- DUTARTRE A., CASTAGNOS E., LAPLACE-TREYTURE J. : Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques de 4 étangs landais (Garros, Léons, Soustons, Forges). Propositions d'interventions. CEMAGREF, n°38 (1999).

### COÛT

- Principalement du à l'investissement ;
- Achat : **300 KF minimum** ;
- + entretien, carburant, chauffeur.

## ÉTANG DE GARROS

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 154 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 22 ha  
**Profondeur** : 0,7 m (moy).      **Type** : étang littoral d'eau douce  
**Usages** : pêche ; chasse (tonne, barque)

**Quelques informations sur le bassin versant** : lessivage important en éléments fins des terres agricoles (maïsiculture & sylviculture) lié à la pluviométrie, la nature sableuse des sols et la topographie ; nombreuses infrastructures routières et pression urbaine forte.

**Problèmes identifiés sur le plan d'eau** : comblement naturel mais rapide. Niveau trophique situé entre eutrophie et hypertrophie. Forte colonisation d'une plante exotique (la jussie) au détriment des herbiers de plantes autochtones (potamots, cornifle); prolifération gênant la pêche et la navigation.

#### Date et coût du traitement :

**été 1997** : arrachage sélectif mécanique, 300 KF TTC

**depuis** : entretien régulier par arrachage manuel (frais de fonctionnement internes).

**Commune** : Tarnos, Ondres (Landes, 40)

**Propriétaire** : Communes

**Gestionnaire** : Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landés.org/fr](http://www.landés.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux** : Aquitaine Travaux Aquatiques (Ustaritz, 64). Suivi par le Cemagref de l'évolution des peuplements végétaux aquatiques dans les lacs et étangs landais depuis 1988.



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DU TURC

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 119 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 7 ha  
**Profondeur** : 1,7 m moy      **Type** : étang littoral d'eau douce  
**Usages** : pêche ; agrément (zone pavillonnaire)

**Quelques informations sur le bassin versant** : lessivage important en éléments fins des terres agricoles (maïsiculture & sylviculture) lié à la pluviométrie, la nature sableuse des sols et la topographie ; nombreuses infrastructures routières et pression urbaine forte.

**Problèmes identifiés sur le lac** : comblement naturel mais rapide. Forte colonisation d'une plante exotique (la jussie) au détriment des herbiers de plantes autochtones ; prolifération gênant la pêche et la navigation.

**Date et coût du traitement** : été 1992, arrachage sélectif mécanique, 400 KF TTC

**Commentaires** : l'étang du Turc est situé à l'aval immédiat de l'étang de Garros ; un court chenal lentique les relie. **Les lacs et étangs landais sont classés en eaux libres.**

**Commune** : Ondres (Landes, 40)

**Propriétaire** : Commune

**Gestionnaire** : Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landés.org/fr](http://www.landés.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux** : Fond Clair (Soustons)  
Suivi par le Cemagref de l'évolution des peuplements végétaux aquatiques dans les lacs et étangs landais depuis 1988.



M. Campagne - IRAP

### CONTEXTE

Les étangs landais ont commencé à subir des proliférations végétales dans les années 70 ; la création du Syndicat Mixte Géolandes a permis une appréhension globale de ce problème à partir de 1988. Depuis cette date, le **Cemagref de Bordeaux** assure un suivi du développement des plantes aquatiques de 14 lacs et étangs landais dont notamment les évolutions des peuplements de plantes exotiques (jussie, lagarosiphon, myriophylle du Brésil, égéria). Un diagnostic de la situation initiale a débouché sur la **mise en place d'un plan de gestion en 1989**.

La jussie est apparue sur l'étang du Garros entre 1982 et 1988 ; les relevés floristiques montrent une augmentation de l'indice d'occupation de la plante, de 0,10 en 1988 à 1,79 en 1998 (sur une échelle de 5) et une colonisation de plus de 79 % des secteurs de rives en 1998.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **Entre juin et septembre 1997**, un **arrachage mécanique des herbiers de jussie a été réalisé**. Depuis une barge flottante, les plantes sont arrachées par une griffe installée au bout d'un bras hydraulique. Les plantes sont enlevées du site pour être broyées et compostées. L'opération a nécessité la construction d'un barrage (provisoire) afin de remonter le niveau de l'étang et faciliter les déplacements de la barge, ainsi que la mise en place d'un quai de transbordement dans la partie Sud Ouest de l'étang. Seuls les herbiers les plus denses ont été retirés (soit 2 ha), correspondant à **1775 m<sup>3</sup> de plantes extraites**. Dans les secteurs où la profondeur trop faible empêchait l'accès des engins, l'enlèvement des bouts a été terminé manuellement.

- **Depuis août 1998**, travaux d'**entretien régulier** par deux employés communaux. Les pieds de jussie sont arrachés **manuellement** ou à l'aide d'une herse construite spécialement (1,5 X 1 m) tractée, depuis la rive, avec un 4X4. Les pieds apparaissant en pleine eau sont également arrachés (barque). Les plantes sont évacuées du site par un tracto-pelle. Depuis le début de ces interventions, le temps de travail a été estimé à environ 5 mois, soit environ 2 mois / an.

### RÉSULTATS À COURT TERME

La comparaison des relevés floristiques de 1998 et de 1994 montre une **stabilisation du processus de colonisation** du milieu par l'espèce exotique. Les travaux d'arrachage ont permis de retirer de très importantes quantités de plantes et ont donc eu un impact fort sur les populations déjà installées.

Mais la colonisation de l'étang par cette plante est loin d'être terminée. C'est pourquoi les **travaux d'entretien régulier** sont **nécessaires au contrôle de ces développements**. Un bilan est actuellement en cours pour mesurer leur effet. Sur d'autres plans d'eau landais (Léon), ils ont montré leurs limites sur la maîtrise des processus de prolifération.

### AVIS DU GESTIONNAIRE

L'arrachage sélectif et systématique des plantes exotiques envahissantes, dès leur apparition sur un site, est la seule intervention qui permette de limiter leur extension et densité ; aucune technique d'éradication n'est connue à l'heure actuelle.

### CONTEXTE

Les étangs landais ont commencé à subir des proliférations végétales dans les années 70 ; la création du Syndicat Mixte Géolandes a permis une appréhension globale de ce problème à partir de 1988. Depuis cette date, le **Cemagref de Bordeaux** assure un suivi du développement des plantes aquatiques de 14 lacs et étangs landais dont notamment les évolutions des peuplements de plantes exotiques (jussie, lagarosiphon, myriophylle du Brésil, égéria). Sur l'étang du Turc, une étude hydraulique de 1982 signale déjà la présence d'herbiers de jussie et l'état initial réalisé par le Cemagref en 1988 donne une colonisation de plus de 90 % des secteurs de rives, sous forme d'herbiers continus et très denses. Des essais de contrôle de ces herbiers sont alors tentés :

- printemps 1987 (durée 3 j) : faucardage avec ramassage sur 0,6 ha (anse Nord-Ouest) de 250 m<sup>3</sup> de plantes. Reprise très rapide de la végétation et à l'été 88, l'anse est envahie à plus de 50 %.

- août 1988, puis printemps 1989 : des essais successifs d'herbicides sur des surfaces limitées (50 à 100 m<sup>2</sup>) montrent une durée d'action limitée qui oblige à une utilisation régulière et généralisée, préjudiciable à terme sur l'écologie du milieu et la santé publique (incompatibilité avec les usages).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Entre juin et septembre 1992, un **arrachage mécanique des herbiers de jussie** a été réalisé. Depuis une barge flottante, les plantes sont arrachées par une griffe installée au bout d'un bras hydraulique. Les plantes sont enlevées du site et compostées en l'état sur des terres agricoles. La quasi-totalité de la surface de l'étang a été traitée compte tenu de la très forte occupation de la plante dans le milieu, correspondant à **5600 m<sup>3</sup> de plantes extraites**.

### RÉSULTATS À COURT ET LONG TERME

L'importance du volume de plantes enlevées a permis de **dégager le plan d'eau**. Mais ces travaux lourds d'arrachage mécanique n'ont **pas été suivis d'un entretien régulier léger** (arrachage manuel de toute nouvelle pousse de jussie ou d'autre espèce exotique envahissante), et en l'espace de 3 ans, la **colonisation de l'espèce exotique a repris** jusqu'à atteindre une occupation similaire à celle de 1988. Malgré la mise en place d'un entretien régulier (arrachage manuel) depuis 1995 par les services de la commune, l'envahissement est trop important et nécessiterait une nouvelle intervention mécanique sur le secteur Sud de l'étang.

Une autre espèce exotique envahissante a fait son apparition sur l'étang du Turc depuis 1997-1998 : le **lagarosiphon**, très prolifique par bouturage. Chaque nouvelle pousse est systématiquement arrachée à la main, bien que son système racinaire très profond et ses rameaux cassants ne simplifient pas cette tâche. L'évolution du peuplement de cette plante est surveillée de près, afin de prévenir son arrivée sur l'étang de Garros (liaison directe).

### AVIS DU GESTIONNAIRE

Il faut agir sur les espèces exotiques le plus tôt possible, en début de colonisation et non quand les premières nuisances apparaissent. Cela limite l'ampleur et le coût des interventions. Il n'existe aucune technique d'éradication de ces espèces à l'heure actuelle.



Peu profond : 2 à 5 m maximum ou avec un littoral peu profond.

Pour le contrôle du phosphore :

Charge externe < 1g /m<sup>2</sup>/an.

Forte densité de macrophytes.

Colonisation quasi-totale du plan d'eau.

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

### OBJECTIFS ET PRINCIPE

- Couper, ramasser et évacuer les macrophytes, pour **dégager l'eau libre** ; et secondairement ;
- **Éliminer le phosphore interne** du plan d'eau, de manière indirecte (élimination de la charge interne littorale représentée par les végétaux et leurs produits de décomposition).

### MISE EN ŒUVRE

- **Les plantes sont attrapées et arrachées par une griffe preneuse** située au bout d'un bras hydraulique positionné sur une barge. Les plantes sont déposées dans la barge et transportées régulièrement sur le bord.
- Selon la quantité de végétation, il faut une demi-journée à une journée pour 10 ha arrachés.

### EFFICACITÉ

• **Vis à vis du phosphore, l'efficacité de la technique est variable, plus théorique que mise en évidence et quantifiée** ; elle est en tout cas impérativement associée à des apports externes en phosphore, faibles (< 1g/m<sup>2</sup>/an), ainsi qu'à une colonisation quasi-totale du plan d'eau par une forte densité de plantes aquatiques.

• **Vis à vis du dégagement du plan d'eau, la technique est efficace, avec quelques réserves :**

- **myriophylles, renoncules, élodées** : les plantes faiblement enracinées à forte multiplication végétative sont plus stimulées qu'éliminées.
- **plantes exotiques** (lagarosiphon, jussie, myriophylle du Brésil, égéria) : l'éradication est impossible ; seul un contrôle de l'extension est possible avec un arrachage systématique des pieds pionniers suite au moissonnage.



Contrôle de la végétation des étangs landais par arrachage mécanique. Une griffe preneuse située au bout d'un bras hydraulique porté par une barge permet d'arracher les végétaux qui sont ensuite déposés dans la barge. Photo A Dutartre. CEMA - GREF (Bordeaux).

### AVANTAGES ...

- + **Peu de risque pour l'environnement**, (pas de modification des peuplements piscicoles par exemple) ni pour l'homme.
- + Selon les espèces, les quantités et les coûts de transformation et de transport, les végétaux récoltés peuvent être **revalorisés** :
  - amélioration des sols (compost) : c'est en réalité la seule vraiment réalisable (si le transport est faible) ;
  - alimentation du bétail et des poissons (peu appliquée) ;
  - source d'énergie (biogaz) (peu appliquée).
- + Dans les lacs profonds, le faucardage des zones littorales permet d'éliminer le phosphore sans modifier les conditions pélagiques, d'où une **diminution des algues planctoniques**.

### ... INCONVÉNIENTS

- La pratique répétée de l'arrachage **favorise les espèces qui se régénèrent vite** (myriophylle) au détriment d'espèces plus lentes comme le potamogeton ou la renoncule.
- L'arrachage doit être réalisé sérieusement après avoir étudié : la zone de coupe ; la profondeur d'eau ; le moment et la fréquence des coupes, sous peine d'être inefficace, voire d'induire des effets contraires à ceux recherchés. Les **risques** sont alors :
  - d'augmenter les teneurs en phosphore dans l'eau ;
  - de stimuler la croissance des végétaux (plantes ou algues) ;
  - d'intensifier la désoxygénation ;
  - d'accélérer le comblement de la cuvette ;
  - de provoquer la colonisation d'autres sites par les plantes (bouturage à partir de fragments de végétaux)..
- Le phytoplancton peut être **stimulé** par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

### RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAIGNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- DUTARTRE A., DELARCHE A., DULONG J. : Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs landais. CEMAGREF, n°38 (1989)
- DUTARTRE A., CASTAGNOS E., LAPLACE-TREYTURE J. : Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques de 4 étangs landais (Garros, Léons, Soustons, Forges). Propositions d'interventions. CEMAGREF, n°38 (1999).

### COÛT

- Principalement du à l'investissement ;
- Achat : **300 KF minimum** ;
- + entretien, carburant, chauffeur.

## ÉTANG DE LÉON

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : -2,38 Mm<sup>3</sup>      **Surface** : 340 ha  
**Profondeur** : 70 cm (moy)      **Type** : étang littoral d'eau douce  
**Usages** : traditionnels (pêche, chasse) et touristiques (baignade et canotage), Réserve Naturelle en partie Ouest, site classé...

**Quelques informations sur le bassin versant** : Proliférations de plantes aquatiques et notamment exotiques, observées sur les autres plans d'eau du bassin versant, communication physique entre ces plans d'eau.

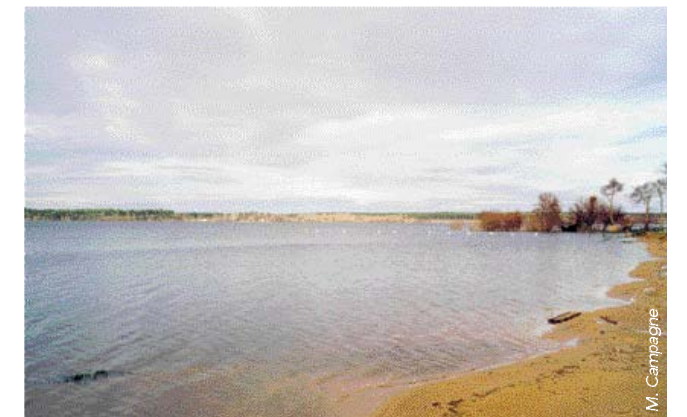
**Problèmes identifiés sur le lac** : entre 1988 et 1993, forte colonisation par deux plantes exotiques réputées envahissantes (jussie et myriophylle du Brésil) ; prolifération gênant la pêche et la navigation et exerçant une concurrence forte sur les espèces indigènes (perte de la diversité biologique).

**Date et coût du traitement** : 1993, travaux lourds d'arrachage mécanique (coûts = 300 KF TTC) ; suivis depuis 1995 par un entretien mécanique régulier par le SIVOM du lac (130 KF TTC en 2000 par exemple).

**Commune** : Léon, Vielle St Girons (Landes, 40)  
**Propriétaire** : Communes regroupées en SIVOM

**Gestionnaire** : Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landés.org/fr](http://www.landés.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux** : Dipland (Soustons)  
*Suivi par le Cemagref de l'évolution des peuplements végétaux aquatiques dans les lacs et étangs landais depuis 1988.*



## CONTEXTE

Les étangs landais ont commencé à subir des proliférations végétales dans les années 70 ; la création du Syndicat Mixte Géolandes a permis une appréhension globale de ce problème à partir de 1988. Depuis cette date, le **Cemagref de Bordeaux** assure un suivi du développement des plantes aquatiques de 14 lacs et étangs landais dont notamment les évolutions des peuplements de plantes exotiques (jussie, lagarosiphon, myriophylle du Brésil, égéria). Un diagnostic de la situation initiale a débouché sur la **mise en place d'un plan de gestion en 1989**.

Sur l'étang de Léon, les relevés de végétation réalisés en 1988 par le Cemagref signalent la présence de la jussie et du myriophylle du Brésil en quelques points des rives de l'étang (début de colonisation). Les relevés suivants (1991 et 1993) confirment cette installation et révèlent même une colonisation très active (anse Sud-Est, marais Sud, rive Nord, départ du courant de Huchet au Sud-Ouest). Le fort développement de ces herbiers pose notamment des problèmes d'accès à la Réserve de Chasse au Sud de l'étang : **engorgement des chenaux et du débouché gênant considérablement la pénétration et la navigation en barque**.

Les travaux de dragage (45 ha ; aspirodragueuse), entrepris en 1991 et 1992 pour lutter contre le comblement mais qui contribuent également à limiter l'extension potentielle de la végétation (approfondissement), ont été réalisés en dehors des zones d'extension majeure de ces espèces et n'ont donc eu aucun rôle sur leur répartition.

## TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **Mai à Juin 1994** : **Arrachage mécanique des herbiers de jussie et de myriophylle du Brésil**. Les plantes ont été arrachées par une griffe au bout d'un bras hydraulique monté sur une barge, déposées dans un container placé sur un ponton flottant puis déchargées à terre par une petite grue à bras télescopique. 11 125 m<sup>2</sup> de plan d'eau ont été traités pour un total de 1869 m<sup>3</sup> de plantes extraites.

- Depuis 1994, des **travaux d'entretien allégé** sont réalisés par les deux communes (personnel du SIVOM), avec du matériel acquis spécifiquement par le SIVOM (pas d'estimation de la quantité annuelle de plantes enlevées).

## RÉSULTATS À MOYEN TERME

Malgré les travaux d'arrachage manuel et mécanique réalisés depuis 1993, **la colonisation des rives par les deux espèces exotiques n'a cessé de progresser**. Les derniers relevés de 1998 montrent que la jussie colonise les deux tiers des secteurs de rive avec un indice d'occupation en très nette progression depuis 1993 et le myriophylle un peu plus de la moitié des secteurs avec une augmentation d'indice plus faible. Les anses de la rive Est sont particulièrement favorables à leur installation **en peuplements mélangés, réduisant ou éliminant les autres espèces (scirpe piquant)**. Des petits herbiers sont en cours d'installation sur les rives de la Réserve Naturelle et font l'objet d'une surveillance particulière (arrachage manuel systématique des pieds pionniers).

## AVIS DU GESTIONNAIRE

Bien que les arrachages mécaniques déjà réalisés montrent leurs limites, il ne semble pas envisageable de recourir à d'autres méthodes à cette échelle de travail et dans les sites considérés. **Les interventions à programmer devraient être d'une ampleur plus grande afin que la pression de régulation des peuplements végétaux permettent de les faire effectivement régesser**.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Éliminer durablement les herbiers en déchiquetant et extrayant leurs organes souterrains.

## MISE EN ŒUVRE

- Il est préférable de réaliser le **scarifiage en dehors des périodes végétatives**, soit d'octobre à mars, ce qui minimise les risques de multiplication végétative des fragments de végétaux.
- Pour obtenir l'efficacité maximale, il est nécessaire :
  - d'effectuer **2 passages successifs à 90°** l'un par rapport à l'autre ;
  - d'opérer du centre vers les berges de manière à faciliter la récupération du matériel végétal.
- le temps de mise en œuvre est de l'ordre de **1 semaine / hectare**.

## MATÉRIEL

Plusieurs types de matériels sont disponibles dont deux principaux :

### • Le rotovator

Constitué d'un cultivateur portatif de type agricole monté entre deux bras pivotants fixés sur une barge propulsée par des roues à aubes. Ce type d'engin peut travailler jusqu'à 6 m de profondeur.

### • Le cultivateur

Constitué d'un vibroculteur de type agricole tracté par un engin amphibie (roues + hélices), ce type d'engin peut travailler jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Il est plus rapide et précis que le rotovator et plus efficace sur les bords sableux et sur les plages.

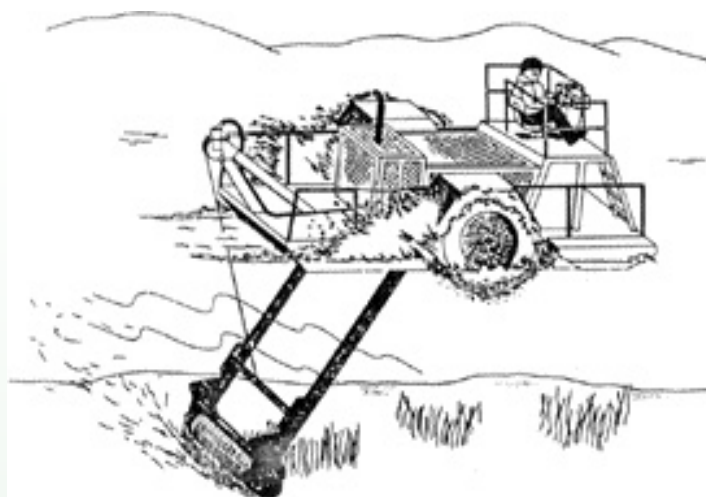
### • Matériel léger

Il s'agit essentiellement de sortes de herses pouvant être tractées à bras d'homme depuis la berge.

Pour des raisons écologiques,

**il est impératif de ne pas éliminer la totalité des herbiers : ceux-ci contribuent en effet au maintien des berges d'une part et au maintien et au développement de nombreuses espèces piscicoles.**

**Cependant, au cas où l'éradication d'une espèce végétale s'avèrerait nécessaire, il est impératif d'éliminer du plan d'eau la totalité des individus de cette espèce, sous peine d'avoir à recommencer dans de brefs délais ...**



Rotovator subaquatique.  
(Schéma d'après Cooke et al., 1993 In Barroin, 1999).

## EFFICACITÉ

La technique est **efficace à court et moyen terme** (jusqu'à 2 - 3 ans dans les meilleurs cas) surtout vis à vis des espèces comme le **myriophylle** (dont les fragments de racines remontent vers la surface).

Pour garantir ce niveau d'efficacité, il est impératif d'**éliminer 90 à 95 % des racines**, car il s'agit de plantes à fort pouvoir végétatif.

Il est donc nécessaire de **prévoir** :

- un repérage préalable des zones à traiter (superficie, espèces végétales, ...)
- un contrôle de l'efficacité du scarifiage par plongée ; la technique entraîne en effet une forte turbidité de l'eau qui empêche de voir le fond.

## AVANTAGES ...

- + **efficacité** ;
- + possibilité de **recolonisation des espaces dégagés par d'autres espèces** plus favorables à l'équilibre du milieu (diversité biologique) et moins proliférantes.

## ... INCONVÉNIENTS

- importante remise en suspension des sédiments lors des travaux, entraînant une perturbation du milieu. Celle-ci est d'autant plus pénalisante que ces sédiments contiennent des éléments toxiques, ou que la zone traitée est située à proximité de frayères (à salmonidés notamment), susceptibles d'être colmatées lors de la redéposition des matériaux ;
- le phytoplancton peut être stimulé par l'enrichissement en phosphore, ou une possible réduction du broutage, mais surtout par l'inévitable amélioration des conditions de lumière (surtout pour les eaux peu profondes).

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## DÉGAGER DE L'EAU LIBRE POUR LES USAGES QUI EN RÉCLAMENT : BAINNADE, PÊCHE, NAVIGATION, ESTHÉTIQUE.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- COOKE G.D., WELCH E.B., PETERSON S.A. & NEWROTH P.R., Restoration and management of lakes and reservoirs. Second Edition Lewis Publishers, 1993.

## COÛT

Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont relativement comparables à ceux du faucardage :

- coût d'investissement élevé de l'ordre de 400 KF ;
- coûts de fonctionnement pouvant être plus élevés en raison d'un passage plus lent. Ce coût est à relativiser avec l'efficacité supérieure sur le long terme de la scarification par rapport au faucardage.

## LAC DU MOLE

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 200 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 10 ha  
**Profondeur :** 2 m      **Type :** Plan d'eau en dérivation  
**Usages :** Pêche, loisirs

**Commune :** La Tour (Haute Savoie, 74)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** Annecy Travaux Sous-Marins - ZAE Les Chamoux - 74 650 Chavanod.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Néant.

**Problèmes identifiés sur le lac :**

Envahissement par les nénuphars depuis 15 ans (sauf dans les secteurs les plus profonds) ; remontées de tourbe.

**Date et coût du traitement :**

Hiver 1995 : Scarifiage, 183 KF HT.  
 Été 1997 : curage d'1/5<sup>e</sup> du plan d'eau, <300 KF (poursuivi tous les 5 ans) - (cf Fiche n°13).



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## LAC D'ANTHON

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 75 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 2,5 ha  
**Profondeur :** 3 m      **Type :** Marais curé  
**Usages :** Loisirs, promenade, pêche.

**Commune :** Mieussy (Haute Savoie, 74)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune  
**Société ayant réalisé les travaux :** Annecy Travaux Sous-Marins - ZAE Les Chamoux - 74 650 Chavanod.

**Quelques informations sur le bassin versant :**

Présence d'une pisciculture (rejets de fertilisants).

**Problèmes identifiés sur le lac :**

Envahissement important par les plantes (myriophylles, potamots, myosotis, nénuphars) chaque année depuis 1986.

**Date et coût des traitements :**

1995 : arrachage des plantes, ~55 KF HT (arrachage + traitement au diquat).  
 1996 : traitement au diquat, 14 000 F HT.

**Mise en œuvre :** Passage à la dérocteuse (~herse) et plongeurs qui terminent l'arrachage des plantes puis traitement avec un herbicide.



Photo: Maître Mieussy

## CONTEXTE

Le lac d'Anthon est un ancien marais, approfondi au début des années 1980 pour faciliter la **pratique de la pêche**. Il est envahi notamment par le myriophylle et le nénuphar ce qui gêne l'activité pêche.

La DDAF de Haute Savoie conseillait un nettoyage et un curage par étapes afin de ne pas sacrifier l'aspect paysager ni les espèces protégées. La solution retenue par le gestionnaire a finalement été l'arrachage des végétaux.

## TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

En juillet 1995 :

- **arrachage des végétaux** à l'aide d'un dérocteuse (sorte de herse disposée sur un bateau). La herse s'enfonce dans le sédiment pour arracher les racines des plantes.
- en fin d'arrachage, épandage de 100 l de DIQUAT (**herbicide**) sur toute la surface du plan d'eau pour traiter les végétaux n'ayant pu être arrachés mécaniquement.

En juillet et août 1996 :

- épandage de 60 l de diquat sur les 2/3 du plan d'eau puis 20 l en une tranchée perpendiculaire à l'exutoire.

## RÉSULTATS À COURT TERME

- myriophylles et potamots ont bien disparu de la majorité du plan d'eau mais restent présents en 1996 au niveau de l'exutoire où la profondeur est plus faible ;
- la disparition des myriophylles dans le centre du plan d'eau a favorisé la pousse de myosotis qui ne sont pas encore trop envahissants. Il a donc fallu, l'été suivant le premier traitement, reconduire un traitement d'herbicide afin de limiter le développement des myosotis. Depuis, aucun autre traitement n'a été réalisé ; les végétaux ont progressivement recolonisé le milieu jusqu'à l'envahissement total en 1999.

## RÉSULTATS À LONG TERME

Ce type de traitement est inefficace à moyen terme puisque les végétaux peuvent recoloniser le milieu tant que des individus ou des racines sont encore présents.

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La mairie de Mieussy a été **satisfaite** des traitements réalisés puisque la pêche a pu continuer 2 ou 3 ans. La société de pêche qui a pris la gestion du plan d'eau en 1997 n'a **pas souhaité reconduire le traitement** par crainte de pollution par les herbicides.

## CONTEXTE

Créé au début des années 70, le lac du Mole est à vocation essentiellement halieutique. Le tourisme s'y est développé, avec un chemin de promenade et un restaurant.

Depuis 15 ans, le plan d'eau a été progressivement envahi par des nénuphars, très certainement implantés par une personne qui trouvait cette plante jolie. Les nénuphars colonisent aujourd'hui totalement le plan d'eau (sauf dans les zones les plus profondes), mettant en péril l'activité pêche.

Le gestionnaire n'osait pas abaisser le plan d'eau pour le mettre en assec et le curer, en raison de l'influence négative sur la fréquentation touristique et pour le restaurant. Le choix s'est alors porté sur la technique de dérocteuse, qui avait fait ses preuves sur d'autres plans d'eau (Anthon, par exemple).

## TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Une dérocteuse (sorte de herse) est fixée sur un bateau : elle **s'enfonce dans les sédiments à 40-50 cm**. Puis deux plongeurs terminent d'arracher les plantes et les sortent de l'eau. Au total 5 semaines sont nécessaires pour traiter l'ensemble du plan d'eau.

## RÉSULTATS À COURT TERME

**Echec total :** l'été suivant (1996), les nénuphars envahissent le plan d'eau à l'identique. Au vu de ce résultat, la société épand un herbicide (Diquat), sur toute la surface du plan d'eau, sans plus de succès.

## RÉSULTATS À LONG TERME

Impossible d'obtenir des résultats à long terme avec cette technique : **la herse ne descend pas assez profondément** pour retirer toutes les racines de nénuphars, ce qui leur permet de repousser très facilement.

Par la suite le mode de gestion du plan d'eau a changé (cf Fiche n°13).

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

**Fort mécontentement**.

Vidangeable ou pouvant subir des variations de niveau (étangs, réservoirs).

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

**Éliminer durablement les herbiers en entraînant leur dessiccation par la mise hors d'eau de leur appareil végétatif (y compris les racines).**

Si l'opération est menée en hiver, l'effet du gel peut se rajouter à celui de la dessiccation.

## MISE EN ŒUVRE

L'importance de la baisse de niveau et de sa durée est fonction de la profondeur de colonisation de l'espèce visée et de sa profondeur d'enracinement ; elle varie entre 1 et 3 m.

L'assec peut durer toute une année (avec un minimum de 2 mois consécutifs) ou seulement l'hiver (avec un minimum de 2 semaines de gel).

## EFFICACITÉ

L'efficacité de cette technique est **variable** en fonction des conditions environnementales et des espèces visées. Certaines espèces sont en effet adaptées aux variations de niveau (acore, potamogeton à feuilles de graminées, massette, ...).

Il faut également que l'assec se prolonge sur un cycle végétatif complet et tenir compte des particularités biologiques de chaque espèce.

Dans tous les cas, l'efficacité se mesurera en terme de contrôle du développement des herbiers, en quantité et en qualité.

## AVANTAGES ...

Le procédé présente quelques avantages parallèles :

- + **réduction des flux de phosphore littoral** (par réduction de la charge interne "macrophyte", minéralisation du phosphore organique, et fixation de ce phosphore par le fer oxydé) ;
- + **consolidation des sédiments exondés** (ce qui permet d'augmenter la transparence, et dans une certaine mesure de réduire les transferts d'éléments entre le sédiment et l'eau) ;
- + **facilitation d'autres procédés** (curage des sédiments, épandage de produits divers, replantations, ...).

## ... INCONVÉNIENTS

Les effets secondaires indésirables peuvent être liés à des problèmes de remplissage ou à l'assec lui-même :

- remplissage trop lent : problème esthétique ou vis à vis des usages ;
- remplissage trop rapide : possibilité d'entraînement des sédiments par la rivière entrant dans la retenue, d'où turbidité, augmentation des relargages, etc.
- assec : mise hors d'eau de zones humides en queue de retenue, destabilisation de berges, etc.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

**DOMAINE D'APPLICATION SENSIBLEMENT LIMITÉ ;  
EFFICACITÉ VARIABLE,  
FORTEMENT DÉPENDANTE DES ESPÈCES VÉGÉTALES**

## COÛT

Nul dans la mesure où le dispositif de variations de niveau existe (barrage).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## PLAN D'EAU DE PELLÉAUTIER

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 800 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 27 ha  
**Profondeur :** 3 m (max. 6m)      **Type :** Retenue  
**Usages :** Irrigation, pêche, baignade.

#### Quelques informations sur le bassin versant :

Pollution agricole diffuse (agriculture intensive).

#### Problèmes identifiés sur le lac :

Envahissement par les potamots ; modification de la nature chimique de l'eau (très agressive), ce qui provoque la corrosion des canaux d'irrigation.

Le plan d'eau était utilisé, avant le développement des potamots, pour les loisirs (pêche).

**Date et coût du traitement :** nombreux essais (cf ci-dessous) :

Faucardage par câble tendu entre deux barques ; Carpes Amour ; Baisse du niveau avec gel des plantes ; Désherbage au glyphosate.

**Commentaires :** Plan d'eau qui gèle chaque année.

**Commune :** Pelléautier (Hautes Alpes, 05)

**Propriétaire :** ASA du canal de Gap.

**Gestionnaire :** ASA du canal de Gap.

**Société ayant réalisé les travaux :** ASA du canal de Gap, 2 av. Lesdiguière, 05 000 Gap.



C. Nizon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## PLAN D'EAU D'EMBRUN

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~75 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 3 ha  
**Profondeur :** 2,5 m      **Type :** Lac en dérivation  
**Usages :** Loisirs, baignade, sports d'eau, pêche.

#### Quelques informations sur le bassin versant :

Rejets d'un hameau non raccordé jusqu'en 2000 (construction d'une STEP). Anciens apports importants d'alluvions du torrent de Ste Marthe.

#### Problèmes identifiés sur le lac :

Eutrophisation du plan d'eau caractérisée par l'envahissement de la totalité du plan d'eau par le potamot et le myriophylle en été, depuis 1995.

#### Date et coût du traitement :

Hiver 95 et 96 : essais de baisse du niveau de 2 à 3 m avec gel des plantes.

Été 96 et 97 : Faucardage manuel, 50 KF HT (cf fiche n°16).

Depuis 1998 : Faucardage par bateau faucardeur (achat 450 KF HT et entretien annuel 10 KF - cf fiche n°14).

**Commune :** Embrun (Hautes Alpes, 05)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** -

**Étude :** Bureau d'études « Etudes et conseil en environnement », Apt.



C. Nizon - IRAP

### CONTEXTE

Le plan d'eau a été créé en même temps que la mise en eau du barrage de Serre Ponçon en 1961 pour aménager une base de loisirs. Depuis le début de l'été 1995, des **explosions végétales** perturbent chaque été l'exploitation sportive (triathlon) et touristique du plan d'eau. Outre cette explosion, l'eutrophisation du plan d'eau d'Embrun se manifeste par :

- une **production phytoplanktonique** importante et prolongée (ex : pic de chlorophylle a = 69 mg/m<sup>3</sup>, donnée 1998) ;
- un peuplement algal composé d'**algues filamenteuses et de Cyanobactéries** ;
- une **réduction de la transparence** de l'eau (<1m en 1997).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Hiver 1995/1996 : Baisse du plan d'eau de 2 à 3 m pendant toute la période hivernale.

Hiver 1996/1997 : Baisse du plan d'eau de 2 à 3 m pendant toute la période hivernale et ramassage des plantes séchées sur les rives.

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Echec :** l'été suivant les plantes envahissent le plan d'eau de la même manière qu'en 1995.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Impensable d'obtenir un résultat à long terme par cette technique.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

L'étude menée par « Etudes et Conseils en Environnement » a démontré que la baisse hivernale pour le gel était une technique **mal adaptée** car le réchauffement précoce de la masse d'eau (lors de la remise en eau) favorise au contraire le développement du potamot.

La commune d'Embrun a par la suite testé le faucardage manuel par plongeur et barre de coupe, technique qui s'est aussi avérée être un échec. Elle s'est maintenant dotée d'un bateau faucardeur, qui fonctionne tous les jours en période estivale pour limiter le développement des macrophytes.

### CONTEXTE

Plan d'eau créé en 1971 pour l'irrigation des terrains agricoles. Situé à proximité de la ville de Gap, il a eu pendant longtemps une vocation touristique importante (pêche et baignade). Depuis le début des années 90, le lac de Pelléautier a vu ses activités mises en péril par un **développement excessif de potamot luisant** sur environ la moitié du plan d'eau et pendant 4 mois de l'année (juin à septembre). La baignade et la pêche sont rendues impossibles par le développement de ces plantes en surface, mais l'irrigation est aussi touchée par une modification de la nature chimique de l'eau (devenue agressive, elle provoque la corrosion des canaux d'irrigation).

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

De nombreuses techniques ont été successivement mises en œuvre pour essayer de lutter contre cet envahissement :

**1985 :** Déversement de **carpes chinoises** pour un coût de 80 000 F : **résultat nul**, la température est trop basse pour la survie de ces poissons et la masse végétale trop importante.

**Début des années 90 :** Assèchement par **vidange** du plan d'eau et action du froid pour faire **geler les plantes** : **aucun résultat**, l'été suivant les plantes sont toujours présentes.

**1999 :** **Désherbage chimique** (glyphosate) à petite échelle pour un coût de 3 000 F/ha : **résultats encourageants**.

**2000 :** Juin : **Herbicide SONAR P5** sur 0,5 ha pour un coût de 20 000 F : **efficacité nulle**.

Septembre : **Herbicide à base de glyphosate** épandu sur 5 ha : coût 3000 F/ha. Mise en œuvre difficile car le fond du lac est très envasé et interdit la pénétration de machines : **bonne efficacité mais à renouveler** en 2001 pour confirmation.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le gestionnaire considère que les techniques antérieures (arrachage, gel, carpes, Sonnar...) n'ont **pas été ciblées sur le problème**, c'est pourquoi rien n'a encore fonctionné. D'autre part il serait important d'agir directement sur le bassin versant mais il s'agit d'un sujet sensible qui touche directement les agriculteurs.

Pour l'instant, il y a un **manque de recul** pour conclure que les herbicides ont eu une action efficace.

## PRINCIPE ET OBJECTIF

**Priver les plantes aquatiques de lumière** pour les empêcher de pousser.

## MISE EN ŒUVRE

Différentes techniques existent concernant soit directement le fond des plans d'eau, soit la surface ou la colonne d'eau.

### • Recouvrement des sédiments

Le recouvrement peut se faire au moyen de matériaux " naturels " ou non :

- couches de graviers, sables, argiles ... : l'épaisseur doit être importante pour éviter que les plantules n'arrivent à percer cette couche ;
- films de polyéthylène, polypropylène, caoutchouc, nylon, polyester ... : ces films nécessitent généralement d'être lestés, et d'être posés le plus possible au contact du sédiment en évitant d'emprisonner des poches d'air ...

Les zones de recouvrement doivent être repérées préalablement (identifier les frayères, les fonds irréguliers, etc.). La pose des films se fait en déroulant la couverture à partir d'un rouleau installé à l'arrière d'une embarcation ; les bords sont fixés à l'aide de piquets. En eau profonde, l'aide de plongeurs est indispensable.

Un seul exemple a été recensé en France dans le cadre de ce guide (cf fiche n°22).

### • Opacification de l'eau

L'opacification se fait par l'introduction d'une encre (encre à aniline = Aquashade), efficace à une dose de 1 ppm pour des plans d'eau d'au moins 1 m de profondeur (colore l'eau en bleu).

Aucun exemple n'a été recensé en France dans le cadre de ce guide.

### • Ecrans de sur face

Mise en place de membranes « flottantes » fixées par des ancrs, au-dessus des zones que l'on souhaite « protéger » (zones de baignade ...).

On peut également favoriser le développement de la végétation arborescente terrestre.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## MÉTHODES ET TECHNIQUES SIMPLES DANS LEUR PRINCIPE, ASSEZ DIVERSIFIÉES, MAIS PEU UTILISÉES EN FRANCE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les études des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## EFFICACITÉ

### • Revêtement du fond :

Méthode **efficace mais limitée dans le temps** (biodégradabilité des matériaux, recouvrement par des sédiments ...) **et dans l'espace** (petites superficies, pour des raisons de coût).

## AVANTAGES ...

### • Revêtement du fond :

- + utilisation dans des milieux peu accessibles par des techniques plus lourdes (faucardage) ;
- + non toxique ;
- + réversible.

### • Opacification, encrage :

- + utilisation dans des milieux peu accessibles par des techniques plus lourdes (faucardage) ;
- + non toxique ;
- + réversible.

Mais manque d'exemples pour conclure.

## ... INCONVÉNIENTS

### • Revêtement du fond :

- coût élevé ;
- superficies limitées ;
- non utilisable sur berges pentues ou dans les zones à fort battillage ;
- aisément dégradable par les ancrs, ou tout objet perforant.

### • Opacification, encrage :

- superficies limitées.

## COÛT

- Variable selon la méthode.
- Coût de revient élevé pour les membranes, faible pour l'opacification et les techniques d'ombrage naturelles.

## ÉTANGS DE CHAMPAGNE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

#### Exemple de l'étang de la Hore

Volume : 5 Mm<sup>3</sup> Surface : 330 ha

Profondeur : 1,5 m moy. Type : Etang

Usages : Pisciculture (productivité moyenne : 200 kg/ha)

Quelques informations sur le bassin versant : Agriculture intensive de type céréalière à l'origine d'une importante fertilisation des étangs (phosphore et azote).

Problèmes identifiés sur le lac : Envasement et envahissement par les plantes (potamots, myriophylles, cératophylles) réduisant la productivité piscicole.

Date et coût : Sur l'ensemble des étangs :

Années 70 à 90 : traitements par bateau faucardeur (investissement 100 KF) ou par herbicide type Zéphir (1600 F/traitement pour un étang moyen de 20 ha).

Depuis les années 90 : augmentation de la densité des carpes et tanches pour troubler l'eau (coût difficile à estimer mais faible pour un pisciculteur).

Commune : Epothémont (Aube, 10)

Propriétaire : Privé

Gestionnaire : Pisciculture Bachelier (Trouans, 10)

Société ayant réalisé les travaux : Propriétaire privé à l'aide du gestionnaire des étangs de Champagne (pisciculture Bachelier).

### CONTEXTE

Les étangs de Champagne, créés au Moyen-Âge, appartiennent aujourd'hui à des propriétaires privés et leur principal usage est la production piscicole. La gestion de ces étangs est faite par les propriétaires avec l'aide d'une pisciculture.

Ces étangs sont naturellement soumis à l'eutrophisation et au comblement par les sédiments. L'envahissement des étangs par les plantes (potamots, myriophylles, cératophylles...) limite considérablement la productivité piscicole, qui peut tomber à 35 kg/ha sur certains étangs au lieu de 200 kg/ha en moyenne.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Après avoir testé pendant de nombreuses années les techniques du faucardage et de l'herbicide, relativement coûteuses mais surtout lourdes et peu "naturelles", les gestionnaires ont choisi d'introduire de grandes quantités de poissons fousseurs (de 300 à 500 kg/ha de carpes et de tanches).

Ces poissons fousseurs agitent la vase pour rechercher leur nourriture, et le trouble engendré limite la pénétration de la lumière dans l'étang ; ceci empêche la photosynthèse de se réaliser correctement et réduit donc l'envahissement par les plantes.

Lorsqu'un étang a été remis en état, une partie des poissons est récupérée et réintroduite dans un autre étang également envahi. Il est nécessaire que l'étang traité conserve environ 300 kg/ha de carpes pour l'entretien ultérieur.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les résultats ne sont pas visibles immédiatement sauf pour les petits étangs de quelques hectares.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Selon la taille de l'étang, il faut 1 à 3 ans pour que les herbiers disparaissent.

Il a par exemple, fallu 3 ans pour éliminer 300 ha d'herbiers sur l'étang de la Hore (330 ha) ; il reste encore actuellement environ 50 ha d'herbiers, non gênants pour la productivité piscicole. 500 kg de carpes avaient été introduits à l'hectare et environ 300 kg/ha ont ensuite été conservés.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Cette technique « douce » permet d'améliorer nettement la rentabilité des étangs, à condition de conserver à terme, au maximum 20% de la superficie totale de l'étang colonisée par des herbiers immergés ou des roselières.

D'après le gestionnaire, il s'agit de « la méthode la plus douce pour réhabiliter un étang ».



## PRINCIPE ET OBJECTIF

**Priver les plantes aquatiques de lumière** pour les empêcher de pousser.

## MISE EN ŒUVRE

Différentes techniques existent concernant soit directement le fond des plans d'eau, soit la surface ou la colonne d'eau.

### • Recouvrement des sédiments

Le recouvrement peut se faire au moyen de matériaux " naturels " ou non :

- couches de graviers, sables, argiles ... : l'épaisseur doit être importante pour éviter que les plantules n'arrivent à percer cette couche ;
- films de polyéthylène, polypropylène, caoutchouc, nylon, polyester ... : ces films nécessitent généralement d'être lestés, et d'être posés le plus possible au contact du sédiment en évitant d'emprisonner des poches d'air ...

Les zones de recouvrement doivent être repérées préalablement (identifier les frayères, les fonds irréguliers, etc.). La pose des films se fait en déroulant la couverture à partir d'un rouleau installé à l'arrière d'une embarcation ; les bords sont fixés à l'aide de piquets. En eau profonde, l'aide de plongeurs est indispensable.

Un seul exemple a été recensé en France dans le cadre de ce guide (cf fiche n°22).

### • Opacification de l'eau

L'opacification se fait par l'introduction d'une encre (encre à aniline = Aquashade), efficace à une dose de 1 ppm pour des plans d'eau d'au moins 1 m de profondeur (colore l'eau en bleu).

Aucun exemple n'a été recensé en France dans le cadre de ce guide.

### • Ecrans de sur face

Mise en place de membranes « flottantes » fixées par des ancrs, au-dessus des zones que l'on souhaite « protéger » (zones de baignade ...).

On peut également favoriser le développement de la végétation arborescente terrestre.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## MÉTHODES ET TECHNIQUES SIMPLES DANS LEUR PRINCIPE, ASSEZ DIVERSIFIÉES, MAIS PEU UTILISÉES EN FRANCE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les études des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## EFFICACITÉ

### • Revêtement du fond :

Méthode **efficace mais limitée dans le temps** (biodégradabilité des matériaux, recouvrement par des sédiments ...) **et dans l'espace** (petites superficies, pour des raisons de coût).

## AVANTAGES ...

### • Revêtement du fond :

- + utilisation dans des milieux peu accessibles par des techniques plus lourdes (faucardage) ;
- + non toxique ;
- + réversible.

### • Opacification, encrage :

- + utilisation dans des milieux peu accessibles par des techniques plus lourdes (faucardage) ;
- + non toxique ;
- + réversible.

Mais manque d'exemples pour conclure.

## ... INCONVÉNIENTS

### • Revêtement du fond :

- coût élevé ;
- superficies limitées ;
- non utilisable sur berges pentues ou dans les zones à fort battillage ;
- aisément dégradable par les ancrs, ou tout objet perforant.

### • Opacification, encrage :

- superficies limitées.

## COÛT

- Variable selon la méthode.
- Coût de revient élevé pour les membranes, faible pour l'opacification et les techniques d'ombrage naturelles.

## PLAN D'EAU DE L'ÉCOUTE S'IL PLEUT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 125 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 5 ha  
**Profondeur** : 2,5 m (moy)      **Type** : plan d'eau artificiel (1978)  
**Usages** : pêche ; loisirs (jeux, promenade, baignade, pédalos)

**Quelques informations sur le bassin versant** : Néant en l'absence d'étude spécifique sur le sujet. A noter à l'amont immédiat du plan d'eau, 2 exploitations agricoles (élevages ovins et bovins à caractère plutôt extensif), de fortes pentes, un réseau complexe de fossés de drainage.

**Problèmes identifiés sur le plan d'eau** : développement estival de plantes aquatiques (potamots, myriophylles) dans les parties les moins profondes et notamment au niveau de la zone de baignade (gêne et plaintes des usagers).

**Date et coût du traitement** : nov. 96 à mai 97, remodelage de la plage + pose d'une géomembrane et d'une couche de sables, 550 KF HT

**Commentaires** : le plan d'eau s'intègre dans un domaine de loisirs de 40 ha, comprenant un camping, 2 villages vacances et un complexe sportif, des espaces verts, des bois et une zone naturelle « protégée ».

**Commune** : Gourdon (Lot, 46)

**Propriétaire** : Commune

**Gestionnaire** : Commune

**Société ayant réalisé les travaux** : entreprise de BTP locale, société Doubiers (Gourdon)



M. Campagne - IRAP

### CONTEXTE

Créé en 1978 sur le cours d'un ru, le plan d'eau de « l'Écoute s'il pleut » n'a été mis en service pour les loisirs et la baignade qu'à partir de 1983, délai nécessaire pour régler un problème d'étanchéité ; le fond du plan d'eau a été couvert d'une couche d'argile surmontée d'un géotextile. En 1993, apparaissent les premiers développements de plantes de plus en plus gênantes au niveau de la baignade. De plus, ces herbiers retiennent les vases qui sont remises en suspension par les mouvements des baigneurs induisant un trouble inesthétique de l'eau.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- vidange et mise en **assec** du plan d'eau en novembre 1996.
- **remodelage de la partie « plage »** de façon à avoir une variation uniforme de la profondeur. Les plantes aquatiques sont arrachées, à l'exception d'un herbier maintenu (frai) à la transition entre la plage et la partie réservée à la pêche, à la demande de l'AAPPMA.
- pose sur les sédiments remaniés d'une **géomembrane (feutre)**, recouverte d'une épaisseur de **sables de rivières d'environ 30 cm** ;
- remise en eau en mai 1997.

Depuis 1997, la plage fait l'objet d'un **entretien hivernal (février-mars) régulier (tous les 2 ans)** par 4 à 5 employés communaux qui consiste en :

- un abaissement du niveau d'eau (d'environ 1,50 m) pour découvrir la plage,
- un ratissage des sédiments qui sont ensuite réessuyés ; les sédiments décantés sont séparés des sables qui sont, seuls, régalez sur la plage, complétés ou non par des sables apportés (2 à 3 semi-remorques).

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Les plantes ne sont pas réapparues sur la partie plage** . La partie pêche a conservé l'herbier (+ quelques autres en bordure).

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le petit plan d'eau amont (2-3 ha), à usage exclusif de pêche, est sujet depuis la fin des années 80, à des proliférations estivales de plantes aquatiques, plus ou moins contrôlées par faucardage (« bricolé ») régulier par l'AAPPMA. **Sa situation laisse supposer qu'il joue le rôle de pré-barrage, voire de lagune naturelle, permettant de ralentir l'eutrophisation de « l'Écoute s'il pleut »** .

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les travaux sur la plage ont été engagés essentiellement pour sécuriser la pratique de la baignade : **par hasard, l'envahissement par les plantes a été résolu** . Les usagers sont très satisfaits. L'entretien régulier de la plage (inclus dans les frais de fonctionnement) ne pèse pas plus lourd dans le budget communal, avec en contrepartie la satisfaction des usagers et une fréquentation accrue du site.

Situé dans un contexte géo-climatique qui permet l'accueil d'espèces herbivores exotiques telles que la carpe Amour ou le Tilapia (températures minimales de 16°C) ;

Envahissement par les macrophytes, rendant la pratique des usages de loisirs (pêche, navigation, baignade) impossible ou le plan d'eau inesthétique.

Eaux closes de préférence.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

**De manière générale, il s'agit de contrôler le développement de la végétation macrophytique en utilisant l'activité d'organismes vivants.**

Ces organismes peuvent être des végétaux ou des animaux.

Les activités sollicitées sont en générale directes ce qui correspond à la consommation par des animaux herbivores ; elles peuvent être également indirectes :

- destruction de l'habitat par des organismes fouisseurs (cf fiche n°21) ;
- compétition avec d'autres végétaux.

Dans le cas présent, on introduit des poissons herbivores qui vont contrôler directement le développement des herbiers et réduire leur prolifération.

## MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre est très simple et consiste à déverser les poissons herbivores dans le plan d'eau.

Les études préalables sont plus complexes, nécessitant les compétences de spécialistes. **La quantité déversée et la taille des poissons doivent être déterminées préalablement en fonction de certaines caractéristiques du plan d'eau et en fonction des objectifs**. Pour ce faire, des modélisations mathématiques ont été mises au point prenant en compte :

- la superficie du plan d'eau ;
- la superficie du plan d'eau dont la profondeur est inférieure à 2,4 m ;
- le pourcentage de la superficie envahie par la végétation au maximum du développement ;
- les espèces végétales concernées ;
- le climat (pour la durée de la période végétative) et la température de l'eau ;
- le pourcentage de la superficie que l'on souhaite maintenir enherbée pour des objectifs de maintien des possibilités de refuge, nourrissage et reproduction de la faune piscicole propre au plan d'eau.

Ces modélisations aboutissent à des densités variables comprises selon les plans d'eau **entre 5 et 170 individus /ha (carpe Amour)**.

## RÉGLEMENTATION

L'introduction de carpe chinoise est interdite en eaux libres.

## TECHNIQUE AISÉE, PEU COÛTEUSE ET EFFICACE VIS À VIS DES HERBIERS IMMERGÉS SOUS RÉSERVE DU RESPECT DE CERTAINES CONDITIONS D'INTRODUCTION

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## EFFICACITÉ

**Efficacité à moyen-long terme des carpes Amour sous réserve de bien cerner les conditions d'introduction.**

En particulier, les conditions de températures de l'eau (> 16°C - optimum au-delà de 20°C) et de densités de poissons herbivores introduits sont prépondérantes.

De même, l'efficacité est également variable en fonction des espèces végétales présentes, la carpe Amour ayant certaines préférences alimentaires :

- plantes immergées > plantes émergées ;
- élodée ou potamot ou hydrille > nénuphar ou massette.

## AVANTAGES ...

- + coût faible.
- + facilité de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- risque de stimulation du phytoplancton par différents effets induits par le broutage des herbiers (relargage de phosphore, notamment) ;
- risque de destabiliser des zones littorales, du fait de la suppression des herbiers ;
- perturbation des peuplements invertébrés, piscicoles et aviaires inféodés à ces herbiers ;
- risques d'introduction de parasites et maladies.

Par ailleurs, un certain nombre **d'incertitudes** persiste quant à l'ensemble des conséquences de cette technique sur l'écosystème ; il faut notamment veiller à ce que les espèces introduites, qui n'ont pas de véritables prédateurs hormis l'homme, **ne se reproduisent pas** dans le milieu (des hybrides de la carpe Amour, moins « performants » ont été « créés ») ; veiller également à ce qu'elles **ne colonisent pas d'autres milieux** que ceux dans lesquels on les a introduites (plans d'eau en eaux closes, ou disposant de systèmes de rétention).

## COÛT

- Faible ;
- Amorti sur la durée de vie de la carpe (plusieurs années).

## GRAVIÈRE DE BERTHET

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 30 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 2 ha  
**Profondeur :** 1 à 2,50 m      **Type :** ancienne gravière  
**Usages :** pêche

**Quelques informations sur le bassin versant :** plaine agricole intensive (maïsculture, élevage bovin). Apports importants de matières organiques par la végétation de berges. Décharges sauvages (macrodéchets) ; qualité douteuse des matériaux de la gravière.

**Problèmes identifiés sur le lac :** eaux turbides et envahissement par des végétaux (myriophylles, cératophylles, potamogetons), gênant l'activité pêche.

**Date et coût du traitement :** 1995-1996 : déversement de 150 kg de carpes « Amour blanc », 4500 F.

**Mise en œuvre :** par l'AAPPMA, en 2 déversements successifs à une année d'intervalle, en même temps que l'alevinage d'automne.

**Commentaires :** alimentation en eau par la nappe alluviale (marnage très faible) et par les crues exceptionnelles de l'Allier (1977, cinquantennale).

**Commune :** Mariol (Allier, 03)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Association de pêche de Vichy  
**Société ayant réalisé les travaux :** Association de pêche de Vichy



ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## GRAVIÈRE DE CHÂTEAUNEUF-DU-RHÔNE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 200 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 5 ha  
**Profondeur :** 4 m      **Type :** Gravière  
**Usages :** Pêche.

**Commune :** Châteauneuf-du-Rhône (Drôme, 26)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Association de pêche de Montélimar  
**Société ayant réalisé les travaux :** Association de pêche de Montélimar.

### Quelques informations sur le bassin versant :

Plaine agricole intensive ; nappes phréatiques polluées par les fertilisants. Importants apports de matières organiques par la végétation de berges.

### Problèmes identifiés sur le lac :

Envasement du plan d'eau et envahissement par des végétaux type *Chara vulgaris*, gênant l'activité pêche.

**Date et coût :** 1992 : déversement de 300 kg de carpes Amour, 12 000 F.

**Commentaire :** Eau close.



### CONTEXTE

Datant des années 60, la gravière de Châteauneuf-du-Rhône est située dans la plaine alluviale du Rhône, et n'étant jamais inondée, elle est considérée comme eau close. Les espèces pêchées sont : gardon, rotengle, brème, carpe, brochet, sandre, ...

Depuis une vingtaine d'années, elle a subi un **envahissement progressif par les végétaux de type *Chara vulgaris***, gênant considérablement l'activité pêche. Des **mortalités piscicoles** ont été observées pendant les périodes estivales, traduisant la désoxygénation de l'eau.

Il y a une dizaine d'années, les gestionnaires ont tenté, par épandage de sulfate de cuivre, d'éliminer cette « explosion végétale ». L'échec les a poussés vers le choix d'un déversement de carpes Amour pour leur capacité à brouter les végétaux du fond.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- Déversement de **300 kg de carpes Amour** en même temps que l'alevinage en automne 1992.
- Les carpes pesaient alors 500 g chacune.

### RÉSULTATS À COURT TERME

En été 1993, **des trous étaient déjà visibles** dans la végétation de fond.

### RÉSULTATS À LONG TERME

C'est **au bout de 3 ans que l'eau est devenue totalement claire** et l'est restée jusqu'à aujourd'hui. Certaines de ces carpes sont encore présentes dans le plan d'eau puisqu'elles sont parfois pêchées. Elles pèsent en moyenne 7 à 8 Kg aujourd'hui.

Aucun déversement n'a été reconduit depuis 1992, puisque la technique a bien fonctionné.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le président de l'AAPPMA de Montélimar est **totalement satisfait** ; la technique est très simple, peu coûteuse et a permis de retrouver un **rendement piscicole bien meilleur** de la gravière.

L'AAPPMA projette de la reproduire sur d'autres gravières de type eau close, subissant le même phénomène.

### RÉSULTATS À COURT TERME

En été 1996, aucune amélioration de la situation n'était visible, d'où le déversement à l'automne 1996 de poissons plus petits (< 500 g).

En été 1997, les eaux apparaissaient plus transparentes et des trous étaient déjà visibles dans la végétation du fond. La reprise de la pêche a alors été possible.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Au bout de 3 ans, l'envahissement par les macrophytes a cessé et la **situation est actuellement très satisfaisante** : quelques herbiers ont pu être maintenus pour le frai des carnassiers. Les carpes sont encore présentes dans le plan d'eau où elles sont parfois pêchées (et le plus souvent relâchées). Elles pèsent en moyenne 10 kg actuellement (certains spécimens atteignent 15 kg).

Aucun déversement supplémentaire n'a été reconduit depuis 1996.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le président de l'AAPPMA de Vichy ne s'explique pas l'envahissement de ce plan d'eau par les macrophytes, alors que l'association gère deux autres anciennes gravières de caractéristiques physiques similaires, où le phénomène ne s'est pas produit. Une des hypothèses avancées est un renouvellement des eaux insuffisant du Berthet, par rapport aux deux autres plans d'eau alimentés régulièrement par les crues classiques de l'Allier.

Il est **totalement satisfait** par la simplicité d'exécution de la technique, son faible coût et surtout la rapidité de ses effets ; au bout d'une année, la pêche était de nouveau praticable sur le plan d'eau et le problème n'est pas réapparu depuis.

Potentiellement, tous les plans d'eau concernés par des proliférations de macrophytes.

Proliférations végétales (macrophytes) qui gênent les usages (pêche, loisirs) ou l'esthétique du plan d'eau.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Contrôler la biomasse végétale, jusqu'à son éventuelle éradication, au moyen d'un agent chimique qui agit au niveau du métabolisme cellulaire (blocage ou destruction).

## MISE EN ŒUVRE

Les herbicides d'origine minérale sont interdits en France. Parmi les nombreux **herbicides d'origine organique** commercialisés de par le monde, la France autorise l'utilisation de **sept** d'entre eux (cf ci-contre).

Compte tenu de la toxicité des produits utilisés, il est impératif :

- ⇒ **avant tout épandage**, de :
  - délimiter les zones à traiter de manière précise ;
  - identifier les espèces à traiter ;
  - vérifier que le produit est efficace sur l'espèce à contrôler.
- ⇒ **lors de l'épandage**, de :
  - respecter les doses prescrites par le fabricant ;
  - respecter les délais et les modalités d'utilisation de l'eau traitée ;
  - manipuler avec précautions les produits.

Pour les plantes immergées : utilisation préférable de produits sous forme liquide ; si le plan d'eau est totalement recouvert, n'effectuer les traitements qu'en plusieurs étapes, par secteur géographique ; chaque traitement est effectué à une semaine d'intervalle. Le traitement doit préférentiellement se faire en fin de printemps, avant que les plantes n'aient atteint leur maximum de développement.

Pour les plantes émergées : Le traitement peut utiliser des produits liquides avec aspersion des feuilles, en général au début de l'été, par temps sec et en milieu de journée (éviter que les feuilles ne soient mouillées par la rosée) ou des granulés ; ces derniers sont plus lents à agir mais plus efficaces car après sédimentation, le produit est absorbé par les racines, ce qui permet d'éviter la pousse des plantes l'été suivant. Dans ce cas, le traitement doit avoir lieu en fin d'été.

Pour les plantes flottantes : Le traitement par aspersion doit être réalisé quand la plante est en phase de croissance et pour des températures de l'eau supérieures à 16°C. Comme pour les plantes émergées, le traitement est plus efficace s'il se fait par absorption racinaire.

Pour des raisons écologiques,

**il est impératif de ne pas éliminer la totalité des herbiers : ceux-ci contribuent en effet au maintien des berges d'une part et au maintien et au développement de nombreuses espèces piscicoles.**

**Cependant, au cas où l'éradication d'une espèce végétale s'avèrerait nécessaire, il est impératif d'éliminer du plan d'eau la totalité des individus de cette espèce, sous peine d'avoir à recommencer dans de brefs délais ...**

## PRODUITS AUTORISÉS

Les herbicides d'origine organique autorisés en France sont les suivants (en 1996, d'après Barroin, 1999) :

- l'aminotriazole, pour les plantes émergées (absorption foliaire) ;
- le chlortiamide, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption racinaire) ; ce produit présente un risque pour les poissons ;
- le Dalapon, pour les plantes émergées (absorption foliaire et racinaire) ; ce produit présente peu de risque pour les poissons, mais est déconseillé en cas d'irrigation de cultures sensibles (vignes, blé, betteraves, ...) ;
- le Dichlorobénil, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption racinaire) ; ce produit présente un risque pour les poissons ;
- le Diquat, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption foliaire) ; ce produit est non toxique pour les poissons ; il est nécessaire d'attendre quelques jours avant d'utiliser l'eau pour une irrigation par aspersion ;
- le Fluridone, pour toutes les sortes de plantes aquatiques (absorption foliaire et racinaire) ;
- le glyphosate, pour les plantes émergées (absorption foliaire).

Cette liste est susceptible d'évoluer régulièrement.

## MODALITÉS D'ÉPANDAGE

L'épandage des liquides se fait par pulvérisateur à partir d'un bateau ou à dos d'homme (pour les superficies inférieures à 2 ha).

L'épandage des granulés se fait à la main pour les petites zones et au moyen d'épandeurs manuels centrifuges, capables de traiter des bandes de 4 m de large ; pour les bandes plus larges (jusqu'à 10 m), des épandeurs mécanisés sont nécessaires.

Pour les grandes superficies, l'épandage se fait à partir d'un avion ou d'un hélicoptère, capables de traiter 16 ha/heure (dans ce cas, le traitement doit être réalisé en accord avec la législation).

## EFFICACITÉ

Le traitement est **très efficace à court terme sous réserve** que les conditions de mise en œuvre soient correctes en terme de dosage, modalités d'épandage, ciblage des espèces et des zones traitées, ...

## AVANTAGES ...

- + **facilité** de mise en œuvre
- + **coût** faible
- + **rapidité** des effets

## ... INCONVÉNIENTS

- **toxicité vis à vis des organismes en général** : le niveau de toxicité est variable selon le produit et les conditions de milieu ;
- **risque de désoxygénation** des eaux par mortalité et dégradation des végétaux sur place ; dans ce cas, il peut y avoir risques de relargages de composés indésirables par les sédiments ;
- **stimulation du phytoplancton** par les apports minéraux depuis les sédiments et du fait de l'augmentation de la transparence liée à la disparition des plantes ;
- **risque d'atteintes de milieux non visés** en fonction des conditions hydrodynamiques dans le plan d'eau, dans la rivière en aval, ...

## RÉGLEMENTATION

Loi modifiée du 2 novembre 1943, relative aux procédures d'autorisation de mise sur le marché des substances actives ;  
Loi 92-523 sur la distribution et l'application des produits phytosanitaires à usage agricole ;  
Décret 94-359 du 5 mai 1994 relative aux autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (transposition de la Directive CE 91/144/CEE) ;  
Règlement CE 933/94 du 27/4/94 (liste des substances actives) modifié par 2001/21/CE du 5 mars 2001.

## PROCÉDÉ EFFICACE VIS À VIS DU CONTRÔLE DES HERBIERS MAIS PRÉSENTANT DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ... ... D'OÙ D'IMPORTANTES PRÉCAUTIONS PRÉALABLES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les études des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## COÛT

- Variable selon les surfaces à traiter, la fréquence du traitement et du dosage.
- 5000 F/ha environ - Prévoir un coût pour le suivi analytique.

## ÉTANG DE LA CHEVALERIE

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 45 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 3 ha  
**Profondeur :** 1,20 m (moy)    **Type :** artificiel (agrément)  
**Usages :** loisirs (promenade), pêche

**Quelques informations sur le bassin versant :** néant (en absence d'étude spécifique sur le sujet). L'environnement immédiat du plan d'eau est constitué par un lotissement (200 lots) et une forêt.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envahissement par l'élodée du Canada ; "bloom" au cours de l'été 1998 (facteur d'une sécheresse prolongée) ayant entraîné une anoxie des eaux profondes et des mortalités de poissons.

**Date et coût du traitement :** fin avril 1999, une application de Sonar P5 en bordure (bande de 20 m de large), 10 000 F.

**Mise en œuvre :** par l'AAPPMA assistée du matériel et du personnel de la Fédération de pêche ; 1/3 de la surface de l'étang traitée (quantité : 120 kg/ha) par épandage mécanique depuis un bateau.

**Commentaires :** inclus dans la liste des traitements chimiques agréés par la Fédération de Pêche (45).

**Commune :** Nogent sur Vernisson (Loiret, 45)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Association de pêche « la Carpe Nogentaise »  
**Société ayant réalisé les travaux :** Association de pêche assistée de la Fédération de Pêche (matériel et personnel).



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DE BALLOY

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 90 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 6 ha  
**Profondeur :** 1,50 m (moy), 4 m (max)    **Type :** Gravière  
**Usages :** Pêche (plan d'eau fédéral)

**Quelques informations sur le bassin versant :** plaine d'agriculture intensive ; l'environnement immédiat du plan d'eau est constitué d'autres gravières et entrelacs du lit majeur de la Seine.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envahissement par l'élodée du Canada aux endroits où la profondeur n'excède pas 1,5 m, gênant la pratique de pêche depuis le bord.

**Date et coût :** avril 1994, une application au Réglex 2 sur les zones où prolifère l'élodée (souci de préserver les herbiers centraux), 56 000 F TTC.

**Mise en œuvre :** poudre dissoute avec l'eau du milieu (quantité = 40 l/ha), épandue par gicleur depuis un bateau.

**Commune :** Balloy (Seine et Marne, 77)  
**Propriétaire :** Fédération de pêche de Seine et Marne  
**Gestionnaire :** Fédération de pêche de Seine et Marne  
**Société ayant réalisé les travaux :** EBAPE, 18 rue Jeanne d'Arc, 94 320 Thiaie.



M. Campagne - IRAP

## RÉSULTATS À COURT TERME

Dans les 3 à 5 semaines suivant le traitement, **mortalité de quelques gros brochets**, liée à une désoxygénation temporaire (3 mg/l O<sub>2</sub>) des eaux profondes (hypolimnion) suite à l'absence d'exportation de la masse végétale morte.

**Modification de certains paramètres physico-chimiques de la masse d'eau :** alcalinisation (pH 8 à 9) et hausse de la conductivité.

**Baisse notable de l'envahissement par les élodées dès l'été suivant (1994).**

## RÉSULTATS À LONG TERME

**Après trois années marquées par l'absence complète de l'élodée, la plante est réapparue en 1998 et provoque, de nouveau, un envahissement gênant depuis l'été 1999.**

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Suite à des recherches bibliographiques faites par le garde-chef du secteur, il apparaît que le traitement le mieux adapté pour gérer les herbiers d'élodée du Canada est **l'arrachage sélectif de la plante** (qui se multiplie végétativement par bouturage), soit manuellement, soit mécaniquement (pelle) (se reporter aux fiches n°17 et 18 qui montrent quelques exemples).

Cette technique n'ayant pu être mise en œuvre par le passé sur l'étang de Balloy, essentiellement pour des raisons administratives et techniques (problèmes d'accès), la Fédération envisage une opération de ce type, courant 2001, en faisant appel à un prestataire de services (coût estimé à 40 000 F HT).

## CONTEXTE

Les paramètres physico-chimiques « classiques » de qualité des eaux ont été ponctuellement analysés, dans le cadre des travaux pratiques des étudiants du BTS « Gestion et Protection de la Nature », de 1996 à 1998. Les campagnes automnales de 1996 et 1997 ont montré une bonne qualité générale des eaux, accompagnée d'un développement important, mais sans excès, de la végétation aquatique (notamment de l'élodée du Canada), avec des effets bénéfiques sur l'avifaune (nidification des canards et des poules d'eau dans la végétation des bordures) et la faune piscicole (nourrissage des herbivores, frai des carnassiers, caches).

Au cours de **l'été et de l'automne 1998**, un étiage plus marqué (sécheresse prolongée), accompagné de températures anormalement élevées dans la durée, ont provoqué une **prolifération de l'élodée** qui envahit la totalité de la masse d'eau. La décomposition de cette masse végétale est à l'origine d'une **anoxie des eaux profondes et même superficielles**, s'accompagnant de quelques mortalités de poissons. La situation a été sauvée *in extremis* (une pêche de sauvetage a même été envisagée) par le retour de la pluie et le rafraîchissement des températures.

Le traitement a été choisi pour sa simplicité de mise en œuvre, le faucardage d'abord envisagé ayant trop de contraintes (moyens en personnel et techniques).

## RÉSULTATS À COURT TERME

Au cours de l'été 1999, aucune pousse d'élodée n'a été observée sur la totalité de la surface de l'étang : parmi les herbiers, seuls les pieds de nénuphars ont résisté au traitement.

## RÉSULTATS À LONG TERME

L'été 2000 a confirmé la **disparition complète de l'élodée du Canada**. Mais cette **absence totale d'herbiers** apparaît **préjudiciable à la population piscicole** du plan d'eau et se traduit par des effectifs réduits d'alevins (qui subissent une prédation plus efficace avec la limitation des possibilités de caches).

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le vice-président de l'AAPPMA juge le **traitement efficace, mais trop radical (disparition des herbiers potentiels pour les poissons)**.

Il souhaite implanter un herbier en queue d'étang, dans l'optique de créer une pseudo-réserve de pêche.

Potentiellement, tous les plans d'eau concernés par des proliférations de macrophytes.

Proliférations végétales (macrophytes) qui gênent les usages (pêche, loisirs) ou l'esthétique du plan d'eau.

## OBJECTIF ET PRINCIPE

Contrôler la biomasse végétale, jusqu'à son éventuelle éradication, au moyen d'un agent chimique qui agit au niveau du métabolisme cellulaire (blocage ou destruction).

## MISE EN ŒUVRE

Les herbicides d'origine minérale sont interdits en France. Parmi les nombreux **herbicides d'origine organique** commercialisés de par le monde, la France autorise l'utilisation de **sept** d'entre eux (cf ci-contre).

Compte tenu de la toxicité des produits utilisés, il est impératif :

- ⇒ **avant tout épandage**, de :
  - délimiter les zones à traiter de manière précise ;
  - identifier les espèces à traiter ;
  - vérifier que le produit est efficace sur l'espèce à contrôler.
- ⇒ **lors de l'épandage**, de :
  - respecter les doses prescrites par le fabricant ;
  - respecter les délais et les modalités d'utilisation de l'eau traitée ;
  - manipuler avec précautions les produits.

Pour les plantes immergées : utilisation préférable de produits sous forme liquide ; si le plan d'eau est totalement recouvert, n'effectuer les traitements qu'en plusieurs étapes, par secteur géographique ; chaque traitement est effectué à une semaine d'intervalle. Le traitement doit préférentiellement se faire en fin de printemps, avant que les plantes n'aient atteint leur maximum de développement.

Pour les plantes émergées : Le traitement peut utiliser des produits liquides avec aspersion des feuilles, en général au début de l'été, par temps sec et en milieu de journée (éviter que les feuilles ne soient mouillées par la rosée) ou des granulés ; ces derniers sont plus lents à agir mais plus efficaces car après sédimentation, le produit est absorbé par les racines, ce qui permet d'éviter la pousse des plantes l'été suivant. Dans ce cas, le traitement doit avoir lieu en fin d'été.

Pour les plantes flottantes : Le traitement par aspersion doit être réalisé quand la plante est en phase de croissance et pour des températures de l'eau supérieures à 16°C. Comme pour les plantes émergées, le traitement est plus efficace s'il se fait par absorption racinaire.

Pour des raisons écologiques,

**il est impératif de ne pas éliminer la totalité des herbiers : ceux-ci contribuent en effet au maintien des berges d'une part et au maintien et au développement de nombreuses espèces piscicoles.**

**Cependant, au cas où l'éradication d'une espèce végétale s'avèrera nécessaire, il est impératif d'éliminer du plan d'eau la totalité des individus de cette espèce, sous peine d'avoir à recommencer dans de brefs délais ...**

## PRODUITS AUTORISÉS

Les herbicides d'origine organique autorisés en France sont les suivants (en 1996, d'après Barroin, 1999) :

- l'aminotriazole, pour les plantes émergées (absorption foliaire) ;
- le chlortiamide, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption racinaire) ; ce produit présente un risque pour les poissons ;
- le Dalapon, pour les plantes émergées (absorption foliaire et racinaire) ; ce produit présente peu de risque pour les poissons, mais est déconseillé en cas d'irrigation de cultures sensibles (vignes, blé, betteraves, ...) ;
- le Dichlorobénil, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption racinaire) ; ce produit présente un risque pour les poissons ;
- le Diquat, pour les plantes immergées ou à feuilles flottantes (absorption foliaire) ; ce produit est non toxique pour les poissons ; il est nécessaire d'attendre quelques jours avant d'utiliser l'eau pour une irrigation par aspersion ;
- le Fluridone, pour toutes les sortes de plantes aquatiques (absorption foliaire et racinaire) ;
- le glyphosate, pour les plantes émergées (absorption foliaire).

Cette liste est susceptible d'évoluer régulièrement.

## MODALITÉS D'ÉPANDAGE

L'épandage des liquides se fait par pulvérisateur à partir d'un bateau ou à dos d'homme (pour les superficies inférieures à 2 ha).

L'épandage des granulés se fait à la main pour les petites zones et au moyen d'épandeurs manuels centrifuges, capables de traiter des bandes de 4 m de large ; pour les bandes plus larges (jusqu'à 10 m), des épandeurs mécanisés sont nécessaires.

Pour les grandes superficies, l'épandage se fait à partir d'un avion ou d'un hélicoptère, capables de traiter 16 ha/heure (dans ce cas, le traitement doit être réalisé en accord avec la législation).

## EFFICACITÉ

Le traitement est **très efficace à court terme sous réserve** que les conditions de mise en œuvre soient correctes en terme de dosage, modalités d'épandage, ciblage des espèces et des zones traitées, ...

## AVANTAGES ...

- + **facilité** de mise en œuvre
- + **coût** faible
- + **rapidité** des effets

## ... INCONVÉNIENTS

- **toxicité vis à vis des organismes en général** : le niveau de toxicité est variable selon le produit et les conditions de milieu ;
- **risque de désoxygénation** des eaux par mortalité et dégradation des végétaux sur place ; dans ce cas, il peut y avoir risques de relargages de composés indésirables par les sédiments ;
- **stimulation du phytoplancton** par les apports minéraux depuis les sédiments et du fait de l'augmentation de la transparence liée à la disparition des plantes ;
- **risque d'atteintes de milieux non visés** en fonction des conditions hydrodynamiques dans le plan d'eau, dans la rivière en aval, ...

## RÉGLEMENTATION

Loi modifiée du 2 novembre 1943, relative aux procédures d'autorisation de mise sur le marché des substances actives ;  
Loi 92-523 sur la distribution et l'application des produits phytosanitaires à usage agricole ;  
Décret 94-359 du 5 mai 1994 relative aux autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (transposition de la Directive CE 91/144/CEE) ;  
Règlement CE 933/94 du 27/4/94 (liste des substances actives) modifié par 2001/21/CE du 5 mars 2001.

## PROCÉDÉ EFFICACE VIS À VIS DU CONTRÔLE DES HERBIERS MAIS PRÉSENTANT DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ... D'OÙ D'IMPORTANTES PRÉCAUTIONS PRÉALABLES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les études des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## COÛT

- Variable selon les surfaces à traiter, la fréquence du traitement et du dosage.
- 5000 F/ha environ - Prévoir un coût pour le suivi analytique.

## MARAIS DU MORON

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 40 000 m<sup>3</sup> Surface : 2,7 ha

Profondeur : 1,50 m (moy) Type : anciens méandres

Usages : loisirs (promenade), pêche (gestion patrimoniale), intérêt écologique (ZPENS).

Quelques informations sur le bassin versant : non identifiés

Problèmes identifiés sur le marais : depuis 1995, envahissement des chenaux par une plante exotique, la jussie, qui gêne considérablement la navigation et la pratique de la pêche.

Date et coût du traitement : depuis 1995, traitement de routine des chenaux à l'Aquaprop, quantité diminuant de 75 à 25 kg/an à 44,5 F/kg ; traitement 1999/2000 au Round Up Biovert (89 F/l).

Mise en œuvre : épandage manuel sur les herbiers de jussie (pulvérisateur à dos) depuis un bateau.

Commentaires : les deux derniers traitements ont été couplés avec des travaux d'arrachage des plantes mortes.

Les plans d'eau fédéraux ont fait l'objet de traitements similaires depuis 1995. Des expérimentations systématiques menées sur 4 d'entre eux dont celui de Moron en 2000 feront l'objet d'un bilan, permettant d'établir les bases d'un plan de gestion (2001).

Commune : Prignac et Marcamps (Gironde, 33)

Propriétaire : Commune

Gestionnaire : Commune assistée de l'AAPPMA locale et de la Fédération Départementale des AAPPMA de la Gironde

Société ayant réalisé les travaux : Fédération Départementale des AAPPMA de la Gironde.

## ÉTANG DE PRÉ-FLEURY

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 25 000 m<sup>3</sup> Surface : 1,6 ha

Profondeur : 1,50 m (moy) Type : ancienne carrière

Usages : loisirs et agrément (camping municipal, centre d'accueil de classes vertes), pêche.

Quelques informations sur le bassin versant : néant en absence d'étude spécifique sur le sujet. Agriculture de type polyculture et élevage ; fermeture de la dernière laiterie, assainissement individuel sur la commune (320 hab.) avec rejet à la Mortagne (qui longe le plan d'eau).

Problèmes identifiés sur le lac : envahissement par des macrophytes (myriophylle, cératophylle) sur 2/3 de la surface ; devenant préoccupant depuis 1995 à cause de la gêne occasionnée pour la pratique de la pêche (plaintes).

Date et coût du traitement : depuis 1994, une application annuelle d'Aquaprop, 75 kg, 4700 F TTC par an.

Mise en œuvre : par un employé communal (pulvérisateur à dos), durée de l'application = 1/2 journée.

Commentaires : la rivière Mortagne abrite des herbiers importants, présents même en hiver.

Commune : Magnières (Meurthe et Moselle, 54)

Propriétaire : Commune

Gestionnaire : Commune

Société ayant réalisé les travaux : employé communal



M. Campagne - IRAP

## TECHNIQUES ANTÉRIEURES MISES EN ŒUVRE

- 03/02/1995 : 75 kg Aquaprop, - 12/02/1996 : 75 kg Aquaprop, - 21/02/1997 : 50 kg Aquaprop,

- 23/02/1998 : 25 kg Aquaprop, - 02/03/1999 : 25 kg Aquaprop.

Soit sur 5 ans, un coût d'entretien de 11 125 F HT (qui rentre dans le budget de fonctionnement de la Fédération de Pêche).

## RÉSULTATS SUR LE LONG TERME

L'efficacité sur l'élimination de la plante est de durée limitée et nécessite de répéter le traitement chaque année. La sensibilité et l'intérêt patrimonial du milieu ne sont pas compatibles avec le maintien d'un tel traitement chimique sur une longue période.

C'est pourquoi, depuis 1999, la Fédération Départementale s'est engagée dans un programme de recherche de traitements efficaces sur les problèmes récurrents de leurs plans d'eau : ensablement, envasement et envahissement par les herbiers de plantes aquatiques (jussie notamment).

Dans cet objectif, elle a engagé un même procédé expérimental sur 4 plans d'eau dont le marais du Moron.

## NOUVEAU PROCÉDÉ EXPÉRIMENTAL (1999-2000)

Le principe est de combiner différents traitements de façon à les rendre plus efficaces. Dans ce cas, il s'agit de coupler un traitement chimique (Round Up Biovert, réputé moins « agressif » que l'Aquaprop) et un traitement physique (arrachage manuel spécifique des pieds de jussie). Les effets seront évalués courant 2001.

Dans le cas présent, les herbiers de jussie ont été traités à deux reprises à l'herbicide (septembre et novembre) et les campagnes d'arrachage ont eu lieu en février et décembre 2000 ; la matière morte a été exportée.

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Dans ces tentatives, il a manqué un diagnostic de l'état initial et un protocole expérimental précis. C'est pourquoi, en 2001, la Fédération s'engage dans une démarche de gestion et d'entretien des plans d'eau (une vingtaine), logique et complète :

- tous les traitements chimiques sont arrêtés, y compris sur les 4 plans d'eau en cours d'expérimentation (évaluation de leur efficacité),
- les plans d'eau vont faire l'objet d'un diagnostic de leur situation actuelle (démarrage sur 6 plans d'eau) par des visites de terrain,
- une meilleure compréhension de leur problématique aboutira à des propositions d'action mieux ciblées.

## TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

- 1994, tentative d'élimination des herbiers par introduction de poissons phytophages (3-4 carpes chinoises d'environ 8 kg). Les poissons ont disparu au cours de l'année suivante (ils ont sans doute été pêchés) et ne sont pas restés suffisamment longtemps dans le plan d'eau pour que leur action soit visible.

- depuis 1997, suivant les conseils de l'ancien garde-pêche du secteur, un employé communal applique annuellement un traitement à l'Aquaprop sur la totalité du plan d'eau. L'application (durée = 1/2 journée) a lieu en début de période de pousse des plantes (mars à mai) et elle se fait par épandage manuel depuis une barque, à l'aide d'un pulvérisateur à dos.

Les doses prescrites sont les suivantes, en fonction de la profondeur du plan d'eau :

- profondeur < 50 cm, 65 à 80 kg/ha,
- profondeur comprise entre 50 cm et 1 m, 80 à 100 kg/ha,
- profondeur > 1 m, 125 à 160 kg/ha.

Le produit est dangereux pour la faune piscicole à partir de 160 kg/ha. La dose utilisée n'excède pas 75 kg/an sur l'étang de Pré Fleury.

## RÉSULTATS À LONG TERME

Le développement des plantes est totalement inhibé à condition de renouveler le traitement chaque année.

L'impact d'un tel traitement chimique régulier, à terme, sur la qualité des eaux et l'équilibre écologique du milieu n'est pas étudié. Ce traitement chimique n'est cependant pas incompatible avec les usages de loisirs (baignade, sports nautiques).

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

« Ce traitement chimique empêche l'envahissement par les plantes, mais ne les fait pas disparaître ».

Ces effets sont satisfaisants à condition de renouveler le traitement chaque année. La commune souhaite trouver une technique de traitement qui règle ce problème d'envahissement par les plantes de manière définitive (!)



Peu profond (<1m).  
Temps de renouvellement des eaux long.

Proliférations algales (algues filamenteuses fixées ou flottant en surface ; Characées), qui gênent les usages (pêche, loisirs).  
(Pour les proliférations algales planctoniques, cf fiche n°2)

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

Réduire la biomasse algale au moyen d'un agent chimique qui agit au niveau du métabolisme cellulaire (blocage ou destruction).

## MISE EN ŒUVRE

- Les algicides organiques sont peu utilisés au contraire des algicides minéraux, tels que le permanganate de potassium et surtout le **sulfate de cuivre**, qui inhibe la photosynthèse, la multiplication cellulaire et la fixation d'azote. Du fait de cette dernière propriété, les cyanobactéries fixatrices de N<sub>2</sub> sont particulièrement sensibles à ce produit.

### • Dosages :

Les algues filamenteuses, les Characées et certains oscillaires périphytiques étant plus résistants que les algues planctoniques en général, il est nécessaire de doubler les doses de produits liquides ou d'utiliser plutôt des produits sous forme de granulés ou de cristaux.

Les doses dépendent de l'alcalinité du milieu :

- si alcalinité du milieu < 40 mgCaCO<sub>3</sub>/l → 0,075 mgCu/l, soit 0,3 mg/l de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

- si alcalinité du milieu > 40 mgCaCO<sub>3</sub>/l → 0,250 mgCu/l, soit 1 mg/l de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

Ces doses peuvent être insuffisantes en cas de pH élevés (>9), et dans ce cas, il vaut mieux utiliser du cuivre chélaté (mêmes recommandations).

- Application** : dès les premiers symptômes de proliférations algales, par temps calme, ensoleillé et pour un T°C > 15°C, de préférence de la berge vers le centre (pour éviter de piéger le poisson dans des zones peu profondes).

En cas de risques de désoxygénation, appliquer le traitement en plusieurs fois et par secteur de plans d'eau.

Epannage à la main ou par déversement depuis un bateau. Utilisation possible de matériels issus de l'agriculture (pulvérisateurs...).

## EFFICACITÉ

Elle **dépend fortement des conditions environnementales et du bon respect des prescriptions** du fournisseur. Il faut en particulier :

- que le produit reste suffisamment **longtemps** en contact avec l'algue pour agir, c'est-à-dire qu'il faut prendre en compte le temps de séjour des eaux et le temps de précipitation des produits ;
- que le traitement ait lieu **avant** que les développements ne soient trop intenses (l'activité biologique modifie la composition de l'eau ce qui peut réduire l'efficacité des produits).

**Quelques espèces sont réfractaires** et nécessitent des traitements particuliers :

- *Pithotora* (filamenteuse vert foncé) : sensible à un mélange de cuivre chélaté et de Diquat (ou d'endothall)
- *Lynngbya* (cyanobactérie grisâtre formant des masses gélatineuses) : mélange de cuivre chélaté, de Diquat et d'un polymère de contact
- Diatomées coloniales (fonds bruns glissants) : résistantes aux traitements chimiques.

## AVANTAGES ...

- + **facilité** de mise en œuvre ;
- + **coût** limité.

## ... INCONVÉNIENTS

- **toxicité vis à vis des poissons** : le niveau de toxicité est variable selon les espèces, le stade de développement et les conditions de milieu ; une espèce comme la truite est particulièrement sensible ... ;
- **toxicité vis à vis des invertébrés** (notamment certaines espèces brouetteuses de phytoplancton comme la Daphnie : la disparition de ces organismes peut favoriser des poussées algales planctoniques) ;
- **risque de désoxygénation** des eaux par mortalité et dégradation des algues ;
- **accumulation** de cuivre dans les sédiments.

## RÉGLEMENTATION

Loi modifiée du 2 novembre 1943, relative aux procédures d'autorisation de mise sur le marché des substances actives ;

Loi 92-523 sur la distribution et l'application des produits phytosanitaires à usage agricole ;

Décret 94-359 du 5 mai 1994 relative aux autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (transposition de la Directive CE 91/144/CEE) ;

Règlement CE 933/94 du 27/4/94 (liste des substances actives) modifié par 2001/21/CE du 5 mars 2001.

## TECHNIQUE EFFICACE VIS À VIS DES ALGUES ... ... QUAND ELLE EST BIEN RAISONNÉE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.

## COÛT

- Variable selon les surfaces à traiter, la fréquence du traitement et du dosage.
- 5000 F/ha environ - Prévoir un coût pour le suivi analytique.

## PLAN D'EAU DE RATINTOUT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 30 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 1,1 ha  
**Profondeur :** 5 m (moy)      **Type :** Ancienne gravière  
**Usages :** Loisirs : promenade et essentiellement pêche.

**Commune :** Ostricourt (Pas-de-Calais, 62)  
**Propriétaire :** Commune  
**Gestionnaire :** Commune et société de pêche  
**Société ayant réalisé les travaux :** Vitalize Environnement - 48, rue Gustave Nadaud - 59000 Lille.

### Quelques informations sur le bassin versant :

Néant.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Taux élevés en fertilisants (P et N). Envahissement par les plantes (myriophylle, cresson de cheval) et les algues filamenteuses gênant l'activité pêche.

**Date et coût du traitement :** Août/septembre 1999 : épandage d'algicides, herbicides et bioadditifs (24 000 F TTC au total).

**Commentaires :** Ancienne gravière mais présence de sources naturelles.



C. Nilvan - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

### CONTEXTE

Datant de 1980, le plan d'eau de Ratintout est essentiellement **destiné à la pêche** (carpes, gardons...) et à la promenade. Il connaît une eutrophisation importante avec des concentrations élevées en nitrites (0,40 mg/l), nitrates (45 mg/l) et phosphates (0,7 mg/l). Cela se traduit par une **prolifération de plantes aquatiques et d'algues filamenteuses**. En 1999, une explosion particulièrement importante des herbiers et des algues a conduit la commune à réaliser un traitement.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Application séparée des produits :

23 Août 1999 : épandage de l'**algicide Desalg** : dose 2 ml/m<sup>3</sup> soit 45 l de produit nécessaires (dilués au 1/10<sup>e</sup> pour l'épandage à l'aide d'un pulvérisateur depuis une barque) pour toute la surface du plan d'eau.

30 Août 1999 : épandage de l'**herbicide Sonard P5 (8 g/m<sup>2</sup>)** (épandage des granulés par moulinette).

13 et 20 Septembre 1999 : épandage de **bioadditifs Bactapur N3000 (10 l/ha)** pour compléter le traitement chimique (pulvérisateur).

### RÉSULTATS À COURT TERME (Suivi visuel)

L'algicide a commencé son effet au bout de 2 jours et **au bout de 8 jours les algues filamenteuses ont été totalement éliminées**.

L'herbicide a également agi rapidement (1 mois pour éliminer 90 % des végétaux).

### RÉSULTATS À LONG TERME (Suivi visuel)

Un an après le traitement, **l'eau est devenue limpide**, et **aucune repousse** de plante ni d'algue n'a été visible ; les conditions de pêche se sont nettement améliorées. D'autre part, un léger suivi physico-chimique montre une nette diminution des fertilisants (tableau ci-dessous). Ce suivi est cependant insuffisant (à la fois en nombre de campagnes et en nombres de paramètres analysés), pour déterminer l'influence réelle des traitements sur cette amélioration (concentrations en mg/l) :

	Août 1999	Octobre 1999	Août 2000	
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) :	1	0,5	<0,1	mg/l
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) :	0,4	0,1	0,02	mg/l
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) :	45	15	<1	mg/l
Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) :	0,7	0,2	0,1	mg/l

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La commune et les pêcheurs sont **satisfaits**, la pêche a pu reprendre une activité normale.

### OBJECTIF ET PRINCIPE

Le but premier est de **limiter la vitesse d'ensablement des retenues** de manière à conserver leur potentiel vis à vis des usages.

Le principe est de favoriser la sédimentation des apports du bassin versant dans une zone de dimensions réduites, facilement accessible et pouvant être asséchée aisément, de manière à faciliter le curage et l'extraction des matériaux.

### MISE EN ŒUVRE

Une **variante** consiste à implanter un barrage souple en queue de retenue, isolant une zone de sédimentation et de stimulation des processus biologiques de consommation du phosphore (aucun exemple d'application n'a pu être recensé en France dans le cadre de ce guide).

Comme pour les barrages en dur, les processus biologiques sont " efficaces " sous réserve que :

- le temps de séjour des eaux dans la pré-retenue soit compris entre 3 et 10 jours environ, de manière à ce que le phytoplancton ait le temps de se développer mais pas le zooplancton herbivore ;
- la profondeur de la pré-retenue soit au maximum de 3 m, correspondant à la zone euphotique ;
- les teneurs en P entrantes soient inférieures à 0,5 mgP/l environ ;
- la gestion piscicole de cette pré-retenue favorise le maintien du phytoplancton en éliminant les poissons ichtyophages.

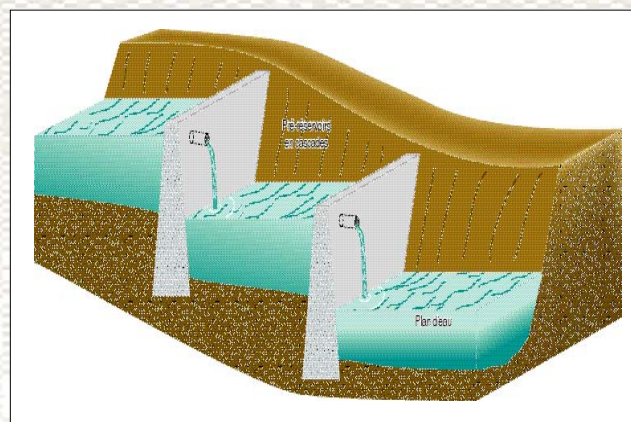
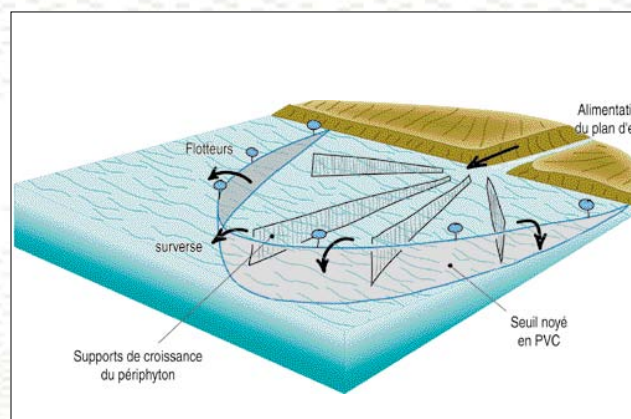


Schéma de pré-barrages en cascade (IRAP).



Représentation schématique d'un « Phosphore Elimination Basin » (d'après Lafforgue 1998).

### EFFICACITÉ

Le système est généralement **efficace vis à vis de la décantation des matériaux, à condition d'être entretenu** (curage régulier, dont la fréquence dépend de la vitesse de sédimentation).

Vis à vis de la réduction des apports en phosphore dans le plan d'eau, le système présente une **efficacité variable** fonction de la dimension de la pré-retenue, des conditions d'implantation et de gestion du pré-barrage.

Cette efficacité est notamment accrue quand le pré-barrage, en plus de l'abattement physico-chimique du phosphore lié à la sédimentation, permet un abattement biologique par consommation par le phytoplancton.

### AVANTAGES ...

+ efficacité .

### ... INCONVÉNIENTS

- **coût** de mise en œuvre ;
- **rigueur** nécessaire dans la gestion de l'ensemble des ouvrages et des sédiments sur le long terme.

### RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

### EFFICACITÉ DU SYSTÈME SOUS RÉSERVE D'UN ENTRETIEN RÉGULIER

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- LAFFORGUE M, Technique de réhabilitation des plans d'eau eutrophisés. Technique, Sciences, Méthodes, n°12, Décembre 1998.

### COÛT

Outre les coûts d'implantation des ouvrages et de leur gestion, prévoir également le coût du curage et de l'extraction des matériaux, avec leur destination finale.

## RETENUE DE LA SORME

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 10 Mm<sup>3</sup> **Surface :** 230 ha  
**Profondeur :** 4,3 m (11m max.) **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, régulation hydraulique de la Bourbince, loisirs (activités nautiques, pêche).

**Quelques informations sur le bassin versant :** effluents de 5 communes, riches en matières organiques et phosphore ainsi qu'une 60aine d'exploitations d'élevages bovins et ovins. Depuis 1974 création d'une STEP, raccordement des hameaux et périmètre de protection autour de la retenue. Depuis 1993, programme de maîtrise des pollutions agricoles.

**Problèmes identifiés sur le lac :** eutrophisation conduisant au développement de fleurs d'eau à cyanobactéries en période estivale depuis 1983. Difficultés de la filière AEP à traiter l'eau brute.

#### Date et coût du traitement :

1994 : mise en service du système de destratification (3 lignes de bullage), 1,7 MF.

1995 : mise en place d'un barrage expérimental sur une queue de la retenue, 450 KF.

**Commune :** Montceau-les-Mines (Saône et Loire, 71)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Compagnie Générale des Eaux

**Société ayant réalisé les travaux :** SADE ; ZA Les Bruyères - BP 60 - 71202 Le Creusot - Tél : 04.85.55.36.36

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## RETENUE DE LA BULTIÈRE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 5,2 Mm<sup>3</sup> **Surface :** 72 ha  
**Profondeur :** 7 m (max. 19m) **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, soutien d'étiage et écrêtage de crues.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture intensive provoquant une pollution diffuse (engrais) et rejets domestiques encore pas tous traités = apports importants en P (52% rejets domestiques, 48% agriculteurs).

La qualité des affluents est suivie et la plus grosse STEP a été mise aux normes.

**Problèmes identifiés sur le lac :** apports importants en nitrate, phosphate, ammoniac, conduisant à un développement important de phytoplancton en période estivale avec présence de cyanobactéries. Stratification entraînant une désoxygénation des eaux du fond.

**Date et coût du traitement :** Dès la construction du barrage : mise en place d'une digue en béton créant un prébarrage en amont de la retenue.

**Commune :** La Bruffière (Vendée, 85)

**Propriétaire :** Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable du Val de Sèvre.

**Gestionnaire :** Idem

**Société ayant réalisé les travaux :** -

**Etudes :** Cabinet SAUNIER



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

La retenue de la Bultière, mise en eau en 1994, est un **réser voir pour l'alimentation en eau potable**. Le plan d'eau est constitué de deux entités : **le pré-barrage**, à niveau constant, reçoit le principal affluent : la Grande Maine ; et **la retenue** proprement dite. En fin d'hiver et au début du printemps, le niveau de remplissage est supérieur à celui de la cote de la digue du pré-barrage et les eaux de surface du pré-barrage et de la retenue sont en communication directe. En été, au contraire, les eaux du pré-barrage alimente la retenue par surverse en fonction des débits de l'affluent.

Le pré-barrage a été mis en place dès la création de la retenue afin de retenir les matières en suspension de la rivière.

### RÉSULTATS

La synthèse des campagnes de mesures de 1995 à 1999 révèle que le pré-barrage :

- joue globalement bien son rôle de décanteur de particules mais la sédimentation est perturbée en hiver car les teneurs en MES sont importantes et le temps de résidence est faible en raison de débits entrants élevés ;
- stocke les nitrates en période estivale mais en exporte plus qu'il n'en reçoit pendant la période de remplissage. Les **relargages de nitrates et de nitrites du pré-barrage s'accroissent d'année en année** ;
- relargue de l'azote ammoniacal en permanence. Phénomène de diffusion à partir des sédiments en période de faible oxygénation estivale et remobilisation des couches supérieures de sédiment en période de remplissage ;
- stocke en permanence l'azote organique ;
- stocke aussi en permanence le phosphore (total, dissous et ortho-P) ce qui contribue pour le moment à limiter les apports en phosphore dans la retenue et donc à limiter le développement algal. Au total de 1995 à 1997, le pré-barrage stocke 24% de la charge entrante en P, avec un **abattement jusqu'à 40% du P en période estivale** mais en crue le pré-barrage laisse passer le phosphore de l'amont.

**Compte tenu de ces résultats, il est important de prévoir à brève échéance le curage du pré-barrage.**

Malgré la présence du pré-barrage, **la retenue possède des caractéristiques d'une nette eutrophie** : faible transparence de l'eau, stratification avec désoxygénation des eaux du fond et relargage de fer et de manganèse ; les concentrations en chlorophylle sont très élevées en été et les teneurs en phosphates (bien que très inférieures à celles du pré-barrage) sont significatives.

Néanmoins la retenue n'a encore **pas eu à déplorer de bloom de cyanobactéries, sans doute grâce à la présence du pré-barrage.**

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

L'eau prélevée a toujours été de qualité suffisante pour ne pas gêner la filière de traitement de l'eau potable. Mais il devient urgent de curer le pré-barrage qui risque de ne plus remplir sa fonction d'ici peu. Il est dommage que cela n'ait pas été prévu avant.

**Il est important de prévoir dès la mise en eau l'installation d'un pré-barrage et la gestion de ses sédiments.**

### CONTEXTE

Mise en eau en 1971, la retenue de la Sorme a pour principale vocation la production d'eau potable pour la commune de Montceau-les-Mines (55 000 hab). Elle permet aussi la régulation hydraulique de la Bourbince et fait office de base de loisirs en période estivale. Depuis le début des années 80, la retenue a fait l'objet d'une eutrophisation progressive jusqu'en 1983, date à partir de laquelle on a noté la présence de **relargages de fer, manganèse, ammoniac et phosphore** depuis les sédiments. L'eutrophisation se manifeste aussi par la désoxygénation des eaux du fond avec **relargages de fer, manganèse, ammoniac et phosphore** depuis les sédiments.

Outre la difficulté de traitement dans la filière de production d'eau potable, des mortalités de poissons sont observées de 1990 à 1992.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

En 1993 est mis en service un **système d'aération dif fuse** à l'aide de trois rampes d'aération de 800 m. Les effets sont rapidement visibles (homogénéisation des paramètres physico-chimiques et meilleure oxygénation des eaux de fond). Mais les **développements d'algues continuent de se produire**, en raison des flux de phosphore depuis les sédiments (4,4 T/an).

Pour compléter ce traitement avec une **méthode plus préventive, un pré-barrage expérimental** est installé en 1995 dans la « Queue des Carrés ». La retenue ne pouvant être vidangée pour retirer les sédiments (AEP), le pré-barrage a donc pour objectif de retenir les sédiments chargés en phosphore entrant dans la retenue et donc de limiter le développement des cyanobactéries. Ce pré-barrage (digue) est équipé d'une vanne.

### RÉSULTATS

L'aération permet d'améliorer la qualité physico-chimique de l'eau par une homogénéisation des paramètres (notamment la température, empêchant la destratification).

L'efficacité du pré-barrage est plus difficile à prouver : les analyses ont montré :

- **une accumulation effective des sédiments et du phosphore dans le pré-barrage les premières années ;**
- **un comblement rapide du pré-barrage entraînant des relargages de phosphore dans la retenue en période de hautes eaux ;**
- **une nécessité de curer rapidement le pré-barrage qui n'a pas pu l'être en 1996 à cause de problèmes d'étanchéité.**

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Si l'aération a bien permis de conserver une qualité d'eau correcte au lieu d'une dégradation prévue, l'efficacité du pré-barrage n'a pu être évaluée sur le long terme, du fait de son non entretien (curage régulier).

### OBJECTIF ET PRINCIPES

Le but premier est de **réduire les apports externes en nutriments**, notamment le phosphore, du bassin versant vers la retenue, de manière à limiter les processus d'eutrophisation.

Le principe est de favoriser la sédimentation des apports du bassin versant dans une zone aux dimensions réduites, plantée de végétaux, qui utilisent ces éléments nutritifs pour leur développement.

### MISE EN ŒUVRE

Etudes préalables pour déterminer :

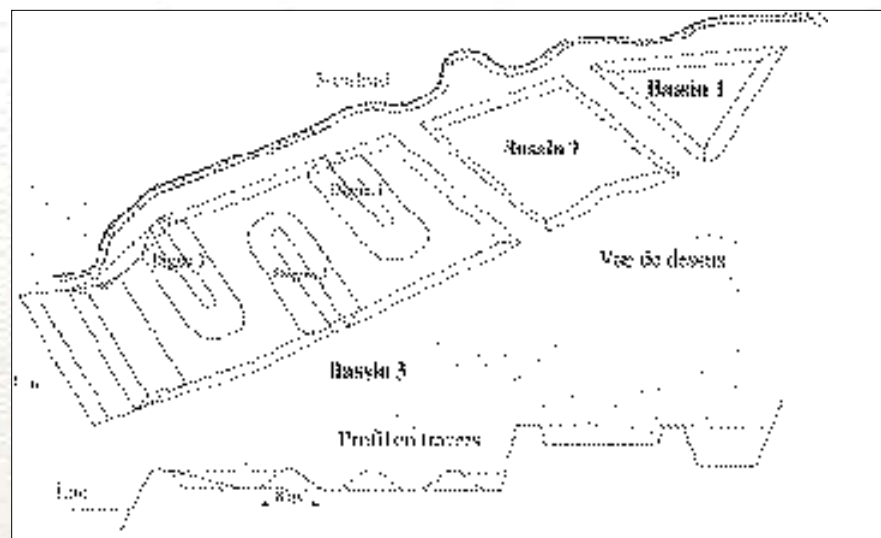
- les zones et profondeurs d'implantation ;
- la nature des sédiments supports de croissance des végétaux ;
- les espèces à planter ;
- la densité d'implantation ;
- les débits entrants et les temps de séjour de l'eau.

Prévoir plusieurs bassins successifs, destinés pour les uns au piégeage du phosphore particulaire (curage régulier), et pour les autres à la consommation du phosphore dissous par les plantes.

Prévoir l'entretien régulier par fauchage (avec exportation des biomasses végétales coupées) des bassins à macrophytes.



Aménagement d'une roselière en amont du lac des Sapins - Photo C. Nivon - IRAP



Plan du projet d'aménagement de la roselière en amont du lac des Sapins - Schéma Agence de l'eau RMC. 1995.

### EFFICACITÉ

L'efficacité est **peu probante et en tous les cas très variable** selon les types de zone humide et selon le paramètre considéré.

En effet, une zone humide ne piège pas véritablement les éléments dissous; elle les stocke provisoirement. L'incorporation est très significative pendant la phase végétative, soit du printemps à l'été; mais ensuite, le relargage prédomine... notamment pour ce qui concerne le phosphore. Celui-ci est alors disponible dans le plan d'eau pour la saison suivante.

L'élimination de la charge en phosphore incorporée dans les plantes n'est donc effective que si les végétaux sont **régulièrement éliminés** (fauchage avec exportation de la biomasse).

### AVANTAGES ...

- + La zone humide participe à l'élimination partielle du phosphore par voie physico-chimique en facilitant la sédimentation des matériaux apportés par le bassin versant.

### ... INCONVÉNIENTS

- fiabilité aléatoire ;
- nécessité d'un entretien régulier (mais peu coûteux).

### RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

### EFFICACITÉ VARIABLE ET TRÈS DÉPENDANTE DE L'ENTRETIEN DE LA ZONE

### PEU D'EXEMPLES

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- DIREN-SEMA, Etude du Lac des Sapins et de l'efficacité des moyens de piégeage du phosphore. Lyon.

### COÛT

## LAC DES SAPINS

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 2,5 Mm<sup>3</sup> Surface : 40 ha

Profondeur : 15 m Type : Retenue

Usages : Loisirs, baignade, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Apports importants de nutriments (phosphore notamment). Depuis 1986, 3 STEP ont été construites et les petites communes se sont dotées de systèmes d'épuration (lagunage...). La plus grosse STEP a été modifiée pour le traitement du phosphore.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Production phytoplanktonique élevée (cyanobactéries).

**Date et coût du traitement :** De 1992 à 1995 :

épandages annuels de sels de calcium (5 000 F/an),

2 aérateurs de surface (turbines - 60 KF d'investissement),

3 jets d'eau (>300 KF d'investissement),

2 pompes pour recirculer l'eau (5 000 F d'investissement),

mise en place d'une roselière (1992).

Le coût énergétique s'élève à 7 000 F/an pour l'ensemble des appareils.

**Commune :** Cublize (Rhône, 69)

**Propriétaire :** Syndicat mixte du lac des Sapins.

**Gestionnaire :** Syndicat mixte du lac des Sapins.

**Sociétés ayant réalisé les travaux :** Cabinet Charpentier-Gonard (1992) ; DIREN Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Lyon, 1995), avec la collaboration de divers experts et du CEMAGREF.



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DE LA ROCHE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 180 000 m<sup>3</sup> Surface : 9 ha

Profondeur : 2 m Type : Etang

Usages : Loisirs (promenade, camping...), pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** apports importants de fertilisants par l'agriculture (élevage hors sol) et le rejet de deux communes. Les agriculteurs ont été mis en demeure d'aménager correctement des fosses à lisier.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envahissement permanent par les élodées depuis les années 80. Apports alluvionnaires et accumulation de sédiments (25 à 30 cm) riches en phosphore et azote.

**Date et coût du traitement :**

1983 et 1984 : épandage de Nautex, 57 KF + 59 KF TTC.

1986 : Faucardage et dragage de l'étang + création d'une cressonnière en amont, 700 KF TTC.

**Remarque :** L'étang fait office de lagune d'épuration ... et il n'est pas vidangeable.

**Commune :** Marsac-sur-Don (Loire Atlantique, 44)

**Propriétaire :** Commune.

**Gestionnaire :** Commune.

**Société ayant réalisé les travaux :** Harris France - Travaux Publics et Particuliers - La Grigonnais - 44170 Nozay

**Etudes :** Service Régional d'Aménagement des Eaux des Pays de la Loire, Nantes & DDAF.



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Cet étang, vieux de 200 ans au moins, acquis par la commune de Marsac-sur-Don dans un but d'activités de loisirs, a été envahi dans les années 80 par des **élodées et des algues filamenteuses**, le rendant incompatible avec tout usage touristique. Les eaux de l'étang sont brunes ; aucune mortalité piscicole n'a été observée.

Deux traitements au Nautex ont été effectués, sans succès, au cours des années 1983 et 1984. Les études menées par le Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE) ont montré que le plan d'eau se comportait comme une **véritable lagune** (mauvaise qualité entrante :  $NH_4 = 122 \text{ mg/l}$  et  $PO_4 = 77 \text{ mg/l}$  ; bonne qualité d'eau sortante :  $NH_4 = 0,05 \text{ mg/l}$  et  $PO_4 = 0,03 \text{ mg/l}$ ).

Finalement, le plan d'eau n'étant pas vidangeable, la solution du **dragage par aspir odragueuse** a été décidée.

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

Les travaux se sont déroulés en deux phases :

- une **phase curative** consistait à **faucarder** et évacuer les végétaux (bateau faucardeur) puis réaliser un dragage sur l'ensemble de la surface de l'étang et sur une épaisseur de 25 à 30 cm. Le dragage s'est effectué à l'aide d'une **petite aspir odragueuse** pouvant aspirer les alluvions jusqu'à 4,5 m de profondeur. Les sédiments ont été refoulés et déposés, avec les végétaux issus du faucardage, sur le pré d'un particulier, où ils ont ensuite été étalés après un temps de séchage ;

- une **phase préventive** a été réalisée par la suite, sur la zone amont de l'étang avec l'installation d'un dispositif tranquillisateur de courant planté d'une cressonnière.

### RÉSULTATS À COURT TERME

- **Les élodées ont disparu suite au dragage** .

- **Pas d'amélioration de la qualité de l'eau** : l'étang est resté eutrophe sans modification des teneurs en phosphates et nitrates dans l'eau.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Aucune analyse n'a été faite après le curage, étant donné la disparition des élodées. Il est donc difficile d'interpréter les résultats à long terme et de savoir si les élodées ne sont pas ré-apparues du fait de l'approfondissement du plan d'eau ou du fait d'une consommation des nitrates dans la cressonnière. Les dernières analyses faites par la DDAF montrent en effet des **apports en nitrates toujours importants** (>30mg/l) en amont du plan d'eau et de la cressonnière (1986).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Satisfaction, le **tourisme a pu reprendre normalement** .

### CONTEXTE

Le lac des Sapins a été aménagé en 1979 en base de loisirs : baignade, pêche, sentier ... Depuis plus de 15 ans il est soumis à l'eutrophisation avec des développements d'algues importants, surtout lors des étés secs. Au début des années 90, plusieurs études démontrent l'état d'eutrophisation du plan d'eau suite aux apports importants de phosphore du bassin versant. De nombreuses techniques ont alors été mises en œuvre dans le but d'améliorer la qualité de l'eau.

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

- **Épandages de calcium** : 2 à 3 T/an sont épandues (1 ou 2 campagnes fin juillet/début août) sur la zone de baignade (1 ha).

- Deux **aérateurs** de type insufflateur d'air avec turbine sont installés en dehors de la zone autorisée de baignade pour augmenter le brassage de l'eau (ré-oxygénation) et limiter le développement des cyanobactéries. Ces aérateurs créent des courants sur 1 ha environ. Ils fonctionnent en permanence de juin à fin septembre. Trois **jets d'eau** ont été installés pour l'esthétique, et pour participer à la limitation des algues par le brassage et les courants créés. Ils fonctionnent dans la journée pendant toute la période estivale. Un **recirculateur d'eau**, constitué de deux pompes qui puisent l'eau de fond et la relâchent en amont de la zone de baignade (débit de 600 m<sup>3</sup>/h/2 pompes), est utilisé principalement pour garantir la qualité bactériologique de cette zone normalement stagnante. Il est mis en route dans la journée seulement lorsque la qualité se dégrade ou à la demande « pour amuser les enfants ».

- Une **roselière expérimentale** en 3 bassins successifs a été installée sur le deuxième affluent du plan d'eau afin de piéger par sédimentation le phosphore particulaire provenant du bassin versant tandis que les macrophytes et les microphytes consomment le phosphore dissous. Le volume total est de 2000 m<sup>3</sup> (profondeurs respectives des 3 bassins de 0,9 m, 0,5 m et 0,5 m) ; le débit entrant (régulé par un système de vannes) fixé à 5 l/s permet un temps de séjour de 4,5 j. Les macrophytes (*Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Juncus ephesus*, *Phalaris arundinacea*, *Scirpus lacustris* et *Zizania*) sont plantées à une densité de 4 /m<sup>2</sup> sur substrat sableux.

### RÉSULTATS

Après un développement estival correct, la plantation n'a pas repris au printemps suivant. Une seconde plantation (de 3 espèces seulement) n'a pas pris sans que les causes en aient été déterminées (pas de suivi). Après études complémentaires, il semble que les raisons de cet échec étaient une profondeur d'implantation trop grande (compte tenu du caractère désoxygéné et réducteur du sédiment) et une relative toxicité du sédiment (fer réduit). De nouvelles implantations ont donc été réalisées (1995) en réaménageant le bassin (banquettes d'implantation, lame d'eau maximale de 15 cm, ...), plantant de manière non aléatoire des espèces robustes (*Typha latifolia*, *Phragmites communis*, *Spartanium*, *Phalaris arundinacea*) et des plantes d'agrément. Le suivi réalisé a montré la réussite de cette nouvelle plantation, malgré la pression de « prédation » par les canards, des développements phytoplanktoniques intempestifs, etc. Le suivi de qualité des eaux montre une réduction significative des teneurs hivernales en phosphates et un décalage de la dégradation saisonnière de la qualité des eaux (plus tard dans la saison). Bien que le plan d'eau soit eutrophe, on note une réduction des algues et une augmentation de la transparence des eaux. Cependant cette évolution reste encore de faible amplitude.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le président de la communauté de communes du pays d'Amplepuis - Thizy considère que chaque technique prise à part a sans doute une faible action, mais qu'ensemble, elles contribuent à bien lutter contre le développement algal.

### PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments littoraux de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

### MISE EN ŒUVRE

Le curage se fait au moyen d'une pelle mécanique (= couramment utilisée) qui permet de travailler quels que soient les types de sédiments mais préférentiellement après l'assèchement du plan d'eau ou de la zone à curer.

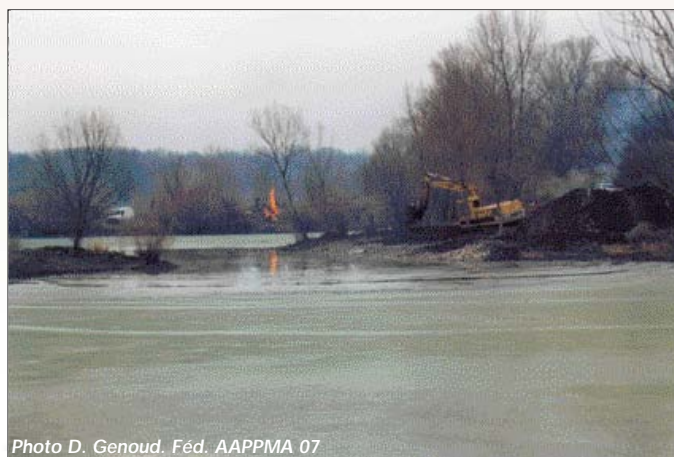


Photo D. Genoud, Fed. AAPPMA 07



Photo C. Nivon - IRAP

### EFFICACITÉ

Procédé efficace sur le moyen - long terme, dépendant des conditions naturelles d'envasement (hydrodynamique, conformation et taille de la retenue, occupation du bassin versant, ...).

### AVANTAGES ...

+ technique pouvant concerner de grandes superficies.

### ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients les plus significatifs de cette technique sont :

- le **coût** de mise en œuvre ;
- la nécessité de réaliser une **vidange** du plan d'eau, ou du moins un abaissement suffisant ;
- la détermination de la destination finale des sédiments, laquelle dépendra fortement de leur qualité, d'une part, et de la quantité extraite d'autre part. Le **site de dépôt doit être convenable** en fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval, ...) ; à noter que les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) ce qui permet le rejet partiel au milieu aval (sous réserve de certaines conditions de qualité) et leur valorisation ultérieure.

### RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## PERMET DE RETROUVER RAPIDEMENT ET POUR LONGTEMPS LA CAPACITÉ DU PLAN D'EAU ET SES USAGES

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais; Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

### COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## ÉTANGS DE LA DOMBES

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 100 000 m<sup>3</sup> moy. **Surface :** 10 ha en moyenne

**Profondeur :** 1m (moy). **Type :** Etangs

**Usages :** pisciculture, chasse, protection de l'environnement.

**Quelques informations sur le bassin versant :** néant si ce n'est une topographie qui facilite le transfert des éléments fins du sol vers les étangs.

**Problèmes identifiés sur le lac :** colmatage naturel mais rapide. Envahissement par la végétation flottante : potamot, renouée aquatique ... gênant la production piscicole.

**Date et coût du traitement :** programme ACNAT et LIFE de 1994 à 1997 : pour un curage en douceur avec reprofilage des berges, 40 à 120 KF par étang selon la taille.

Faucardage de la végétation flottante, coût non communiqué.

**Commentaires :** Vidange chaque année pour la pêche. Mise en assec pendant 1 an tous les 4 à 5 ans.

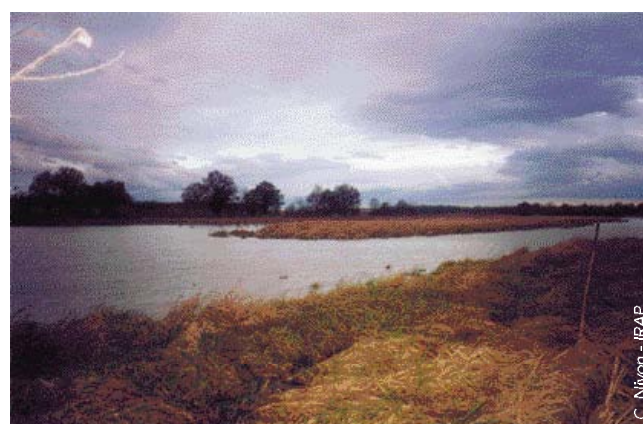
### Communes :

Nombreuses autour le Villard-les-Dombes (Ain, 01)

**Propriétaires :** Privés

**Gestionnaire :** Syndicat des exploitants d'étangs, aidé de l'Office national de la chasse (ONC).

**Société ayant réalisé les travaux :** -



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## GRAVIÈRE DE SAINT-JUST

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~10 000 m<sup>3</sup> **Surface :** ~1 ha (2 plans d'eau)

**Profondeur :** <1 m / 3m **Type :** Gravière

**Usages :** Ancienne gravière laissée à l'abandon - Zone refuge des poissons en période de crue de l'Ardèche - Pêche (faible).

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture intensive sur toute la plaine. Inondation régulière par l'Ardèche. Travaux de "décapage" en 1997 pour favoriser l'écoulement de l'eau.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Isolement des plans d'eau du processus dynamique de l'Ardèche. Comblement par des matériaux alluvionnaires. Eutrophisation du plan d'eau amont caractérisée par une désoxygénation estivale et la mortalité des poissons « piégés ».

**Date et coût du traitement :** Février 2 000, 71 800 F TTC.

**Commentaires :** Travaux de « décapage » en 1997 pour favoriser l'écoulement de l'eau de l'Ardèche sur la rive où se trouve la gravière. Puis le milieu est resté à l'état d'abandon.

**Commune :** St Paulet de Caisson (Ardèche, 07 ; Gard, 30)

**Propriétaire :** Domaine public

**Gestionnaire :** DDE Alès - Fédération de pêche Privas

**Société ayant réalisé les travaux :** DDE et équipe d'entretien de la fédération de pêche.



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Gravière scindée en deux plans d'eau : le plan d'eau aval est resté en légère **connexion avec l'Ardèche** ; il est assez profond (mouille de 2 à 3 m) pour permettre la survie du poisson, même en période estivale. Le plan d'eau amont est **totallement isolé**, sauf en période de crue où les poissons se retrouvent piégés, et il est en cours de comblement par les matériaux alluvionnaires apportés par les crues.

**L'objectif des travaux** était de stopper le processus d'atterrissement, de redonner de la profondeur et de remettre la gravière en connexion avec l'Ardèche, afin de re-diversifier le milieu et permettre la reproduction et la vie piscicole ainsi que l'accueil de nombreuses autres espèces : castor, aigrette, héron, butor.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- élargissement et surcreusement du chenal entre l'Ardèche et le plan d'eau aval : 15 m<sup>3</sup> ;
- décaissement du plan d'eau amont pour avoir 1,8 m de profondeur (840 m<sup>3</sup>) et remodelage de son fond pour le rendre irrégulier avec une berge abrupte et une berge en pente douce permettant le développement d'hélophytes pour le frai des brochets ;
- mise en connexion des deux plans d'eau par un très large chenal ;
- réhabilitation des berges et nettoyage de la végétation en aval de la gravière pour faciliter l'écoulement des eaux et des matériaux.

### RÉSULTATS À COURT TERME

- pas de recomblement des plans d'eau pendant les crues de l'automne 2000 ;
- début de développement d'un herbier sur la berge en pente douce ;
- **connexion permanente** des plans d'eau avec l'Ardèche permettant une **bonne réoxygénation du milieu, et le maintien du poisson** pendant la période estivale.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Travaux trop récents pour estimer l'impact à long terme. Néanmoins les résultats à court terme permettent d'envisager une **suite positive**. Retour de nombreuses espèces d'oiseaux : butor, aigrettes ... La famille de castors est restée sur place malgré les travaux et le milieu est devenu propice à la vie et la reproduction piscicole.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La fédération de pêche est **satisfaite** des travaux puisqu'aucune mortalité de poisson n'a été déplorée au cours de l'été 2000. De plus le milieu est maintenant caractérisé par une bonne diversité, et le plan d'eau ne s'est pas comblé lors des dernières crues.

### PRÉSENTATION DE L'ÉTANG DOMBISTE

Créé, géré et entretenu par l'homme, sa vocation première est la **pisciculture** (production moyenne : 250 kg/ha, carpes essentiellement). Intégré à un paysage ouvert, le profil plat permet à la végétation aquatique de se développer, l'accueil des populations d'oiseaux et l'exercice de la chasse. Le mode de gestion consiste à garder l'étang 4 ans en eau puis 1 an en assec afin de ralentir l'envasement et maîtriser les quantités de fertilisants accumulés.

Le comblement naturel des étangs **limite le volume d'eau nécessaire** à la production piscicole. Pendant longtemps le reprofilage des étangs s'est effectué de manière radicale, en creusant le fond et repoussant les matériaux sur le bord. La forme des étangs, à berge abrupte, mettait alors en péril toute la ceinture de végétation aquatique, source de diversité.

#### Mode de gestion équilibrée

**Le rapport entre surface d'eau libre et ceinture de végétation aquatique** peut varier selon les priorités du gestionnaire, mais en moyenne pour une physionomie équilibrée, il doit être de **deux tiers d'eau pour un tiers de végétation**. Les programmes européens pour l'environnement permettent de signer des conventions entre propriétaires et ONC. Une aide financière est apportée si le curage permet un développement de la ceinture de végétation.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE (en période d'assec ou au cours de la vidange hivernale)

- retrait des sédiments riches en matière organique puis décapage d'une couche d'argile ;
- réétalage d'une couche de substrat fertile sur toute la surface de l'étang, plus épaisse sur les bords pour permettre le développement de la ceinture de végétation et plus ou moins large selon le choix du propriétaire (10 - 15 m). Quelques îlots de végétation sont laissés en place pour favoriser la recolonisation ;
- le devenir des déblais est géré au cas par cas : épandage, consolidation de chaussée, stockage sur les berges, stockage éloigné, formation d'îlots dans les plus grands étangs.

### RÉSULTATS

**45 étangs** ont pu être reprofilés de cette manière en 3 ans (95 - 97) permettant un compromis entre les différents usagers, et un retour à l'équilibre entre surfaces d'eau libre et ceintures de végétation aquatique.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les propriétaires sont favorables car ils ont des aides de la part du programme européen pour pallier les pertes de productivité.

Le gestionnaire est satisfait car le programme permet de **concilier Pisciculture, Chasse et Protection de l'environnement**.



## PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments littoraux de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

## MISE EN ŒUVRE

Le curage se fait au moyen d'une pelle mécanique (= couramment utilisée) qui permet de travailler quels que soient les types de sédiments mais préférentiellement après l'assèchement du plan d'eau ou de la zone à curer.

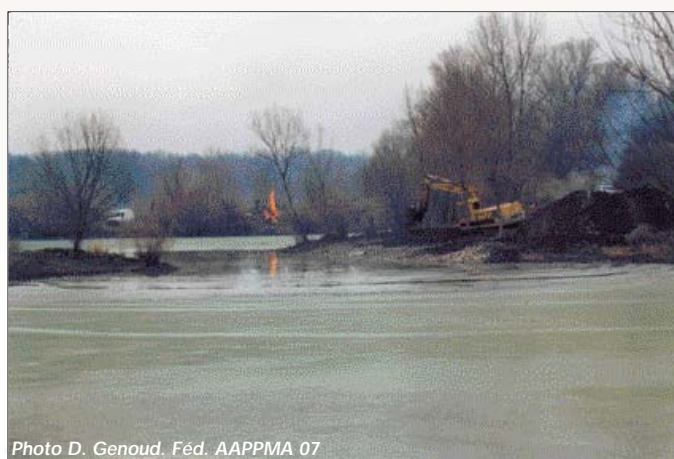


Photo D. Genoud, Fed. AAPPMA 07



Photo C. Nivon - IRAP

## EFFICACITÉ

Procédé efficace sur le moyen - long terme, dépendant des conditions naturelles d'envasement (hydrodynamique, conformation et taille de la retenue, occupation du bassin versant, ...).

## AVANTAGES ...

+ technique pouvant concerner de grandes superficies.

## ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients les plus significatifs de cette technique sont :

- le **coût** de mise en œuvre ;
- la nécessité de réaliser une **vidange** du plan d'eau, ou du moins un abaissement suffisant ;
- la détermination de la destination finale des sédiments, laquelle dépendra fortement de leur qualité, d'une part, et de la quantité extraite d'autre part. Le **site de dépôt doit être convenable** et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval, ...) ; à noter que les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) ce qui permet le rejet partiel au milieu aval (sous réserve de certaines conditions de qualité) et leur valorisation ultérieure.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## PERMET DE RETROUVER RAPIDEMENT ET POUR LONGTEMPS LA CAPACITÉ DU PLAN D'EAU ET SES USAGES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais; Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

## COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## LE LAC VERT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~130 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 6,5 ha  
**Profondeur :** 1m à 7m      **Type :** artificiel, eaux libres, 1967  
**Usages :** pêche (1<sup>ère</sup> catégorie), baignade, pédalos.

**Quelques informations sur le bassin versant :** important charriage depuis l'amont ; dépôt de matériaux, accentué par les pratiques anciennes de 2 grosses carrières amont.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Le lac joue le rôle de décan- teur de ces matériaux, d'où un envasement et un ensable- ment chronique nécessitant des curages réguliers pour garantir la pérennité du plan d'eau et de ses usages.

### Date et coût du traitement :

1984/1985 : 1<sup>ère</sup> assec et curage (commune de Catus)

1998/1999 : 2<sup>ème</sup> assec et curage (conduite des opérations DDE pour la Communauté de Communes, ~1,57 MF TTC)

**Commentaires :** le nom de Lac Vert vient de la couleur carac- téristique des eaux liée à la flore phytoplanctonique (Chlorophycées), sans engendrer de problème vis à vis de la baignade et de la productivité piscicole.

**Commune :** Catus (Lot, 46)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Communauté de Communes de Catus-St Denis

**Société ayant réalisé les travaux :** Entreprise de BTP, MBL (Puy l'Evêque).



M. Campagne - IRAP

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

L'objectif des travaux est de rétablir les profondeurs originelles du plan d'eau (0,5 m en moyenne d'épaisseur de vases sur toute la super- ficie du lac). Ces vases sont essentiellement de nature minérale. Les travaux se sont échelonnés entre novembre 1998 et mars 1999 :

- vidange et mise en **assec** (~10 j) ;
- **curage** de la totalité du plan d'eau (~3 mois), à l'aide de **pelles mécaniques à chenilles de type marais** ; enlèvement des matériaux de toute nature (obstacles, branchages, épaves) ;
- matériaux de curage réessuyés à proximité du site, sur une aire aménagée, puis stockés définitivement dans une ancienne carrière (com- mune de Crayssac) ;
- pêche de sauvetage (700 kg de gardons et ablettes récupérés, truites pêchées ou échappées vers l'aval).

### RÉSULTATS À COURT TERME

L'objectif du curage a été atteint : avec **35 000 m<sup>3</sup> extraits**, les levés bathymétriques effectués après curage sont similaires aux levés four- nis lors de la création du plan d'eau en 1967.

Mais, après la remise en eau (mars-avril 99), des **herbiers de l'Elodée du Canada** se sont développés, en relation avec l'amélioration de la transparence de l'eau et la moindre pression « alimentaire » de la faune piscicole en cours de reconstitution (alevinages). Dès l'été 1999, les actions menées sont les suivantes :

- déversement de 200 kg de **carpes chinoises** (carpes de un an + géniteurs) sous le contrôle de la Fédération de pêche (~6000 F),
- quelques **arrachages** et **ramassages** de l'élodée par l'AAPPMA pour dégager les zones les plus fréquentées.

En été 2000, devant l'envahissement d'une partie de la zone réservée à la baignade, le gestionnaire a loué un **bateau faucar deur** pendant environ une semaine (travaille la nuit ou le matin) pour un coût estimé de 6000 à 7000 F/j.

### RÉSULTATS À LONG TERME ET AVIS DU GESTIONNAIRE

Concernant le problème de comblement, la commune de Catus souhaite inscrire dans les projets éligibles au contrat de rivière Lamasse - le Vert (en cours), la **construction d'un bassin dessableur** à l'amont sur le Vert, qui permettrait de ralentir le processus.

Concernant l'envahissement par les plantes, le même problème avait été observé après le remplissage du plan d'eau en 1969, et le cura- ge de 1984-1985, problème rapidement réglé par l'hiver rigoureux de 1985-1986 (gel). Les actions ponctuelles entreprises ont permis de sauvegarder la saison touristique. **Les élus sont pour l'instant dans l'expectative, attendant de voir ce que la saison prochaine leur réserve.**

## PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments littoraux de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

## MISE EN ŒUVRE

Le curage se fait au moyen d'une pelle mécanique (= couramment utilisée) qui permet de travailler quels que soient les types de sédiments mais préférentiellement après l'assèchement du plan d'eau ou de la zone à curer.

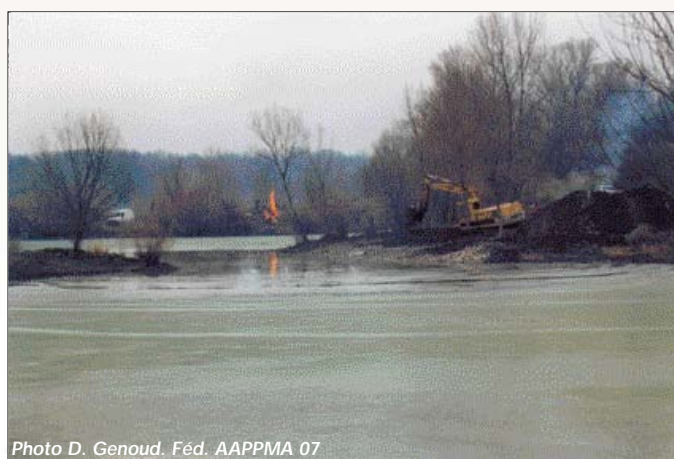


Photo D. Genoud, Fed. AAPPMA 07



Photo C. Nivon - IRAP

## EFFICACITÉ

Procédé efficace sur le moyen - long terme, dépendant des conditions naturelles d'envasement (hydrodynamique, conformation et taille de la retenue, occupation du bassin versant, ...).

## AVANTAGES ...

+ technique pouvant concerner de grandes superficies.

## ... INCONVÉNIENTS

Les inconvénients les plus significatifs de cette technique sont :

- le **coût** de mise en œuvre ;
- la nécessité de réaliser une **vidange** du plan d'eau, ou du moins un abaissement suffisant ;
- la détermination de la destination finale des sédiments, laquelle dépendra fortement de leur qualité, d'une part, et de la quantité extraite d'autre part. Le **site de dépôt doit être convenable** et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval, ...) ; à noter que les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) ce qui permet le rejet partiel au milieu aval (sous réserve de certaines conditions de qualité) et leur valorisation ultérieure.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## PERMET DE RETROUVER RAPIDEMENT ET POUR LONGTEMPS LA CAPACITÉ DU PLAN D'EAU ET SES USAGES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais; Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

## COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## ÉTANG DU CHEMIN

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 15 - 20 000 m<sup>3</sup> Surface : 2,5 ha

Profondeur : 1,6 m (max) Type : Etang

Usages : Production piscicole, chasse.

Communes : nombreuses dans la "Plaine du Forez"

Propriétaires : Privés

Gestionnaires : Propriétaires avec l'aide de la société AZOR.

Société ayant réalisé les travaux : Société AZOR,  
Curtieux, 42600 Champdieu. Tél : 04.77.58.93.98

### Quelques informations sur le bassin versant :

Néant.

### Problèmes identifiés sur le lac :

Etang très riche en matières fertilisantes et apport important en sédiments provoquant un atterrissement dans la partie amont du plan d'eau.

### Date et coût du traitement :

1997 : gestion des atterrissements et des roselières, 50 KF  
(+ 20 KF : ouvrage de vidange).



C. Nizon - IRAP

### CONTEXTE

Créés au **Moyen-Âge**, les étangs du Forez ont eu longtemps une vocation principalement piscicole, à laquelle s'est rajoutée une vocation de **chasse** ou de **protection de la nature** ... Ils ont en général une forme en U avec trois faces endiguées. L'ensemble des étangs couvre 1400 ha, distribués sur 3 « plaques » principales (Feurs, Bussy-Artin, Moman-St Paul). La majorité des petits étangs couvre une superficie d'environ 3 ha.

Avant les travaux, l'étang du Chemin ne gardait **plus que 1 ha en eau**, le reste étant totalement atterri depuis longtemps et envahi par les roselières et de vieux arbres. La **production piscicole était nettement limitée**.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Pour redonner de la profondeur et diversifier le milieu, 6 jours d'engins ont été nécessaires (bulldozer + pelle mécanique).

Volume terrassé : 3 000 m<sup>3</sup> sur environ un ha de surface en façonnant :

- un chenal principal au milieu de l'étang pour faciliter l'arrivée d'eau et la vidange ;
- des chenaux dans la roselière (15 m de large sur 40 cm de profondeur) pour diversifier le milieu en conservant la roselière et en redonnant de la profondeur ;
- des trouées dans la roselière pour créer des zones de repos pour les poissons.

Utilisation des sédiments : 2 300 m<sup>3</sup> ont été utilisés pour conforter les digues existantes et les façonner en pente douce ce qui diversifie le milieu et protège contre le battillage. Puis 700 m<sup>3</sup> ont été utilisés au milieu de l'étang pour créer des îlots : une fondation en matériau argileux permet la bonne tenue des îlots et une couverture de terre végétale assure la repousse des plantes.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Doublement de la production piscicole l'année suivant les travaux ; augmentation de la fréquentation du site par l'avifaune (sarcelles et canards).

### RÉSULTATS À LONG TERME

La technique des chenaux dans les roselières permet de freiner la recolonisation des roselières des étangs les plus riches (avec des techniques plus douces la roselière reprend sa place très rapidement). Jusqu'à présent la roselière de l'étang du Chemin est restée stable.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les propriétaires sont satisfaits puisque les travaux sont réalisés après concertation et selon la vocation qu'ils souhaitent pour l'étang. Les gestionnaires sont satisfaits puisque l'étang possède maintenant une **bonne diversité de milieu, de profondeur...**

## ÉTANG « PETIT GOURDIN »

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

Volume : 15 / 20 000 m<sup>3</sup> Surface : 3 ha

Profondeur : 1,5 m (max) Type : Etang

Usages : Production piscicole.

Communes : nombreuses dans la "Plaine du Forez"

Propriétaires : Privés

Gestionnaires : Propriétaires avec l'aide de la société AZOR.

Société ayant réalisé les travaux : Société AZOR,  
Curtieux, 42600 Champdieu. Tél : 04.77.58.93.98

### Quelques informations sur le bassin versant :

Néant.

### Problèmes identifiés sur le lac :

Etang très riche en matières fertilisantes et apport important en sédiments provoquant un atterrissement dans la partie amont du plan d'eau.

### Date et coût du traitement :

1997/1998 : gestion des atterrissements et des roselières,  
40 KF.



C. Nizon - IRAP

### CONTEXTE

Créés au **Moyen-Âge**, les étangs du Forez ont eu longtemps une vocation principalement piscicole, à laquelle s'est rajoutée une vocation de **chasse** ou de **protection de la nature** ... Ils ont en général une forme en U avec trois faces endiguées. L'ensemble des étangs couvre 1400 ha, distribués sur 3 « plaques » principales (Feurs, Bussy-Artin, Moman-St Paul). La majorité des petits étangs couvre une superficie d'environ 3 ha.

Avant travaux, l'étang Petit Gourdin ne gardait **plus que 1 ha en eau**, le reste étant totalement atterri depuis longtemps et envahi par les roselières et de vieux arbres. La **production piscicole était nettement limitée**.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Pour redonner de la profondeur à l'étang 5 jours d'engins ont été nécessaires (bulldozer + pelle mécanique).

Volume terrassé : 4 000 m<sup>3</sup> sur plus d'un ha de surface :

Le terrassement n'a pas été fait en redonnant un aspect diversifié au milieu : les sédiments ont été simplement retirés de la queue de l'étang pour redonner de la profondeur et limiter la colonisation par la roselière.

Utilisation des sédiments : La totalité des sédiments retirés a été utilisée pour conforter les digues, et aucun îlot n'a été créé.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Doublement de la production piscicole l'année suivant les travaux ; fréquentation limitée du site par les oiseaux (manque de végétation).

### RÉSULTATS À LONG TERME

La roselière n'a pas recolonisé l'étang.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les propriétaires sont satisfaits puisque les travaux sont réalisés après concertation et selon la vocation qu'ils souhaitent pour l'étang.

Les gestionnaires sont satisfaits puisque l'étang a retrouvé une **meilleure production piscicole** conforme au vœu du propriétaire mais il est **dommage qu'il n'y est pas une plus grande diversité de milieu** (cf exemple de l'étang du Chemin ci-après).

## PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

La destination finale des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

## MISE EN ŒUVRE

Différents types de dragues ont été développés.

### Drague suceuse à tête dilacératrice

= la plus couramment utilisée

L'engin progresse en prenant appui sur des pieux qu'il enfonce alternativement dans le sédiment ; la tête de succion décrit des arcs de cercles en avant de la barge (schéma ci-contre).

Les sédiments dilacérés, sont pompés et évacués jusqu'à la zone de dépôt. Les matériaux extraits sont à 10 - 20 % de solides.

Il est possible également de les diluer et de les rejeter en aval de la retenue (sous réserve de satisfaire un certain nombre de critères de qualité).

### par suceuse transportable (ex : Mud Cat)

Le principe est identique : la pièce dilacératrice (semblable à une fraise à neige) déloge le sédiment et le ramène au centre où il est aspiré et évacué. Les matériaux extraits sont à 30 - 40 % de solides. Le système permet d'opérer entre 3 et 18 m de profondeur et à des débits de 15 à 1875 m<sup>3</sup>/h.

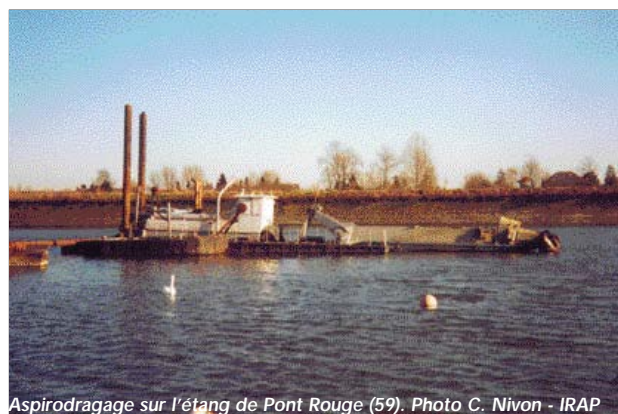
### la Clean Up System

Même principe mais adapté aux sédiments fluides (empêche la dispersion des sédiments dans l'eau)

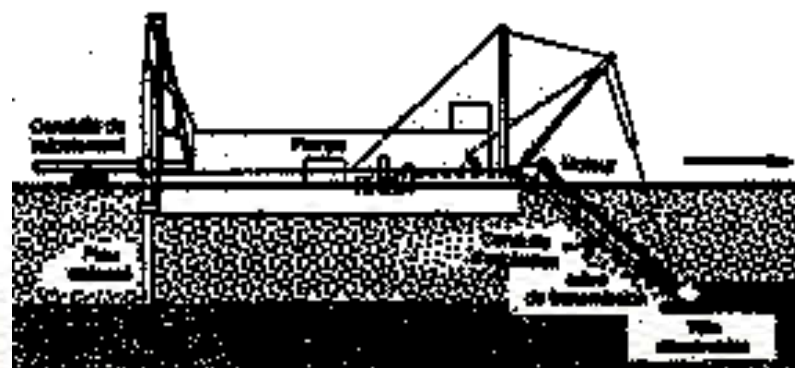
### Autres types

Les dragues pneumatiques (pas d'exemple d'application en France) : le sédiment est remobilisé par injection d'air comprimé, au lieu d'une dilacération mécanique.

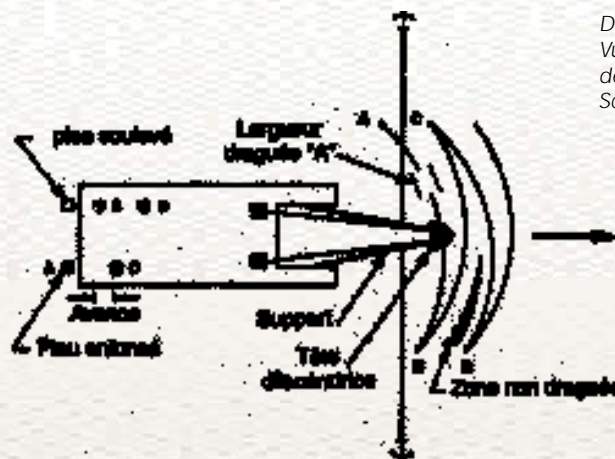
Les dragues mécaniques (dragues à bennes preneuses, à godets ...) sont inadaptées en raison de l'irrégularité du travail et de l'intense remise en suspension des sédiments qu'elles provoquent.



Aspirodragage sur l'étang de Pont Rouge (59). Photo C. Nivon - IRAP



Drague suceuse à tête dilacératrice. Vue d'ensemble (ci-dessus) et façon de progresser (ci-contre). Schémas extraits de Barroin 1999.



## EFFICACITÉ

La technique est très efficace à court et long terme.

Elle peut être limitée par la nature des sédiments (trop compact par exemple), ou par la diversité et l'importance des herbiers.

Le site de dépôt doit être convenable et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval). Dans certains cas, les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) avant leur valorisation ultérieure.

## AVANTAGES ...

- + Le dragage manuel a l'avantage de pouvoir être utilisé dans tous les cas « difficiles », mais a deux inconvénients : son coût et les faibles surfaces qu'il peut traiter ;
- + Le dragage mécanique présente l'avantage de pouvoir concerner de grandes superficies, à moindre coût ;
- + L'aspirodragage laisse la possibilité de trier et révaloriser les sédiments extraits (sables, matériaux organiques, limons), ce qui peut permettre une diminution globale du prix de revient du curage.

## ... INCONVÉNIENTS

- Les inconvénients de ces deux techniques ont trait à la période de travaux, avec la remise en suspension des sédiments ; le cas échéant, si ceux-ci sont riches en P, ils peuvent contribuer à stimuler la croissance du phytoplancton.
- le coût de mise en œuvre.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## EFFICACE SUR LE MOYEN - LONG TERME AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais; Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

## COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## PLAN D'EAU DU VAL D'AURON

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 1,7 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 83 ha  
**Profondeur :** 2m (moy).      **Type :** Retenue.  
**Usages :** Loisirs : aviron, voile, modélisme, pêche.

**Commune :** Bourges (Cher, 18)  
**Propriétaire :** Ville de Bourges  
**Gestionnaire :** Service environnement de la Ville de Bourges  
**Société ayant réalisé les travaux :** Entreprise « Tourneau » (Lyon).

**Quelques informations sur le bassin versant :** agriculture intensive de type céréalière principalement. Quelques communes possèdent un assainissement autonome peu efficace. Apports importants de sédiments par l'Auron.

**Problèmes identifiés sur l'étang :** envasement de l'ensemble du plan d'eau et envahissement par le Potamot.

#### Date et coût du traitement :

Chaque année entretien par faucardage.

1999 / 2000 : désenvasement par aspirodragage et travaux complémentaires, 18 MF HT.



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Mis en eau en 1977, le plan d'eau du Val d'Auron a une **vocation touristique** non négligeable dans la région de Bourges : par sa longueur (8 km) c'est un site apprécié pour la pratique de l'aviron. Le plan d'eau reçoit les eaux de deux rivières : l'Auron et la Rampenne, qui charrient une **quantité importante de sédiments en période de crue**. Le plan d'eau s'est donc naturellement **comblé petit à petit** et c'est depuis le début des années 90 que la ville de Bourges s'est posée le problème du désenvasement du lac : certains endroits très envasés devenaient en effet **danger eux pour les véliplanistes**. En moyenne l'épaisseur de vase accumulée s'élevait à 40 cm (1 m max).

Deux solutions ont été envisagées : l'aspirodragage et le curage après vidange et mise en assec.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

8 mois ont été nécessaires pour retirer 200 000 m<sup>3</sup> de vase.

- un **relevé bathymétrique** a été réalisé avant et après les travaux par la commune de Bourges.
- une **aspirodragueuse** spéciale a été utilisée : elle possède une **tête plate avec clapets** qui permet de pomper des vases sur une faible épaisseur (une aspirodragueuse à tête classique ne peut pomper des vases que pour une épaisseur minimale de 80 cm) avec un débit de 2000 m<sup>3</sup>/h. Les travaux ont été réalisés avec l'assistance d'un système de positionnement par satellite (GPS) afin de retirer les vases d'une manière très précise.
- création d'un **bassin de décantation à proximité du plan d'eau** dans une dépression naturelle. Après étude de la qualité des sédiments, et leur séchage, les matériaux ont été épanchés sur des terres agricoles. L'eau issue du bassin de décantation retournait directement au lac.
- en complément, création d'un **piège à sédiments** sur le plan d'eau dans le secteur amont : ce **pré-bar rage** constitué de paleplanches à 50 cm en dessous du niveau de l'eau et bétonnées sur le fond, pourra contenir 5 à 6000 m<sup>3</sup> de sédiments et ainsi retarder le prochain programme de désenvasement. Un curage régulier du piège à sédiment peut être fait sans autre accord juridique supplémentaire.

### RÉSULTATS A COURT TERME

Le **désenvasement a été très efficace** (vérification par un relevé bathymétrique).

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le service environnement de la ville de Bourges est conscient que les **résultats sont provisoires à moyen terme** ; c'est la raison de la réalisation du piège à sédiments.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La ville de Bourges est **très satisfaite des résultats obtenus** : elle ne regrette pas d'avoir choisi cette technique même si elle est un peu onéreuse et difficile à mettre en œuvre ; **il faut une superficie suffisante pour réaliser le bassin de décantation**.

## LAC KIR

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 1,3 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 37 ha  
**Profondeur :** 3,2 m (moy)      **Type :** Retenue.  
**Usages :** Loisirs ( baignade, canoë, voile, pêche, ...).

**Commune :** Dijon (Côte d'or, 21)  
**Propriétaires :** Commune.  
**Gestionnaire :** Service des espaces verts de la commune.  
**Société ayant réalisé les travaux :** Plusieurs entreprises dont la Société " Tourneau " (Lyon).

**Quelques informations sur le bassin versant :** Quelques communes encore mal assainies. Ces dernières années, de nouvelles STEP ont été créées dans la vallée de l'Ouche et actuellement des travaux d'assainissement permettront d'éviter les rejets de la STEP de Plombière dans l'Ouche.

**Problèmes identifiés sur l'étang :** Envasement naturel du plan d'eau par les apports de sédiments de l'Ouche.

**Date et coût du traitement :** Dragage total de l'étang effectué en plusieurs années : 1991, 1992, 1993, 1998 et 2000, (coûts non communiqués).

**Commentaires :** Pour des raisons économiques, la ville de Dijon a choisi de réaliser un dragage séquentiel, réalisé en plusieurs années.



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Créé en 1964, le lac Kir a une **vocation essentiellement touristique** (baignade, promenade, voile, canoë, pêche ...). Depuis sa création, le lac s'est **comblé naturellement** et au début des années 90, le curage s'est avéré nécessaire pour y maintenir toutes les activités.

Pour réduire cet envasement en maîtrisant les coûts, la commune a souhaité réaliser un **aspirodragage du lac en plusieurs étapes**. Au total, 5 opérations ont été nécessaires pour retirer 81 000 m<sup>3</sup> de vase. Le curage après une mise en assec de ce plan d'eau était d'emblée exclus, en raison de son caractère très touristique.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- construction d'un **bassin de décantation** juste en amont du plan d'eau, sur un terrain de la ville. Prévu pour être définitif, il a été intégré au paysage par des plantations sur les digues.
- une **aspirodragueuse sur l'étang** pompe les vases et les refoule dans le bassin de décantation. Le dragage s'effectue d'amont en aval du plan d'eau.
- un an après le pompage, les **boues**, suffisamment sèches, sont **reprises et réutilisées par les services des espaces verts** de la ville (étude préalable de la qualité des sédiments).
- l'**eau** du bassin de décantation **retourne à l'Ouche puis au plan d'eau**.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les sédiments sont retirés et même si les crues en apportent d'autres, il n'y a **pas de recomblement du secteur déjà curé l'année précédente**. Les résultats sont donc satisfaisants.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les services techniques sont conscients qu'il s'agit bien d'un **résultat efficace à court ou moyen terme**. Mais il s'agit d'une opération qu'il faudra reproduire d'ici quelques années, raison pour laquelle le **bassin de décantation est laissé sur place pour les prochains programmes**.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les services des espaces verts sont satisfaits car la **gestion n'a pas été trop difficile** malgré une réalisation des travaux sur plusieurs années. Les activités autour du plan d'eau ont pu continuer même pendant l'opération de dragage ; le bassin de décantation pourtant proche du plan d'eau est bien intégré au paysage et ne pose pas de problème esthétique.

## PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

La destination finale des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

## MISE EN ŒUVRE

Différents types de dragues ont été développés.

### Drague suceuse à tête dilacératrice

= la plus couramment utilisée

L'engin progresse en prenant appui sur des pieux qu'il enfonce alternativement dans le sédiment ; la tête de succion décrit des arcs de cercles en avant de la barge (schéma ci-contre).

Les sédiments dilacérés, sont pompés et évacués jusqu'à la zone de dépôt. Les matériaux extraits sont à 10 - 20 % de solides.

Il est possible également de les diluer et de les rejeter en aval de la retenue (sous réserve de satisfaire un certain nombre de critères de qualité).

### par suceuse transportable (ex : Mud Cat)

Le principe est identique : la pièce dilacératrice (semblable à une fraise à neige) déloge le sédiment et le ramène au centre où il est aspiré et évacué. Les matériaux extraits sont à 30 - 40 % de solides. Le système permet d'opérer entre 3 et 18 m de profondeur et à des débits de 15 à 1875 m<sup>3</sup>/h.

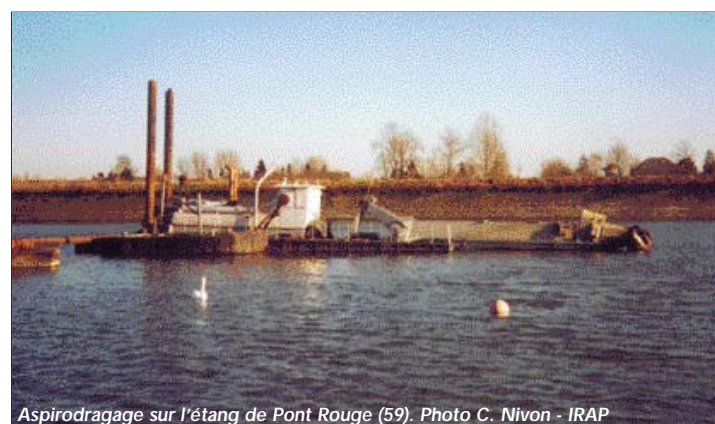
### la Clean Up System

Même principe mais adapté aux sédiments fluides (empêche la dispersion des sédiments dans l'eau)

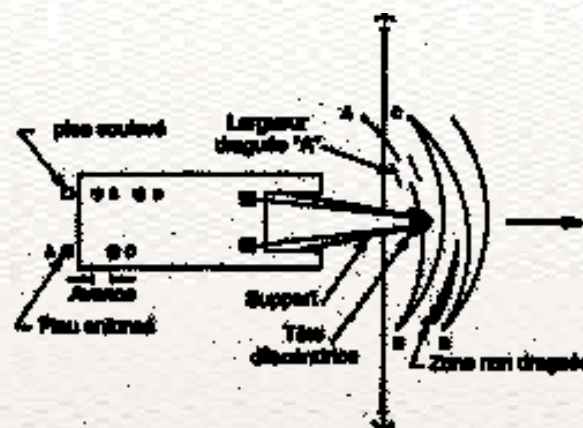
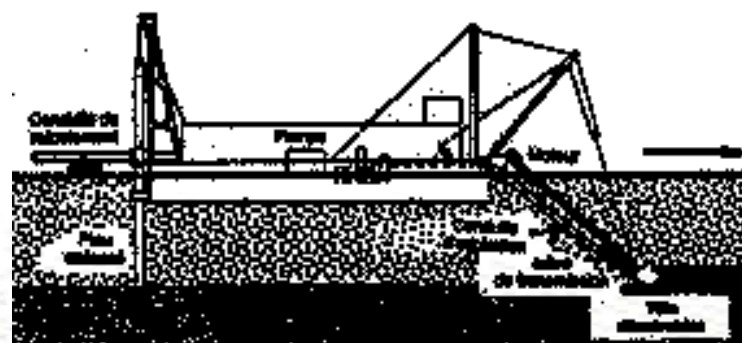
### Autres types

Les **dragues pneumatiques** (pas d'exemple d'application en France) : le sédiment est remobilisé par injection d'air comprimé, au lieu d'une dilacération mécanique.

Les **dragues mécaniques** (dragues à bennes preneuses, à godets ...) sont **inadaptées** en raison de l'irrégularité du travail et de l'intense remise en suspension des sédiments qu'elles provoquent.



Aspirodragage sur l'étang de Pont Rouge (59). Photo C. Nivon - IRAP



Drague suceuse à tête dilacératrice. Vue d'ensemble (ci-dessus) et façon de progresser (ci-contre). Schémas extraits de Barroin 1999.

## EFFICACITÉ

La technique est **très efficace à court et long terme**.

Elle peut être **limitée** par la nature des sédiments (trop compact par exemple), ou par la diversité et l'importance des herbiers.

Le **site de dépôt doit être convenable** et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval). Dans certains cas, les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) avant leur valorisation ultérieure.

## AVANTAGES ...

- + Le dragage manuel a l'avantage de pouvoir être utilisé dans tous les cas « difficiles », mais a deux inconvénients : son coût et les faibles surfaces qu'il peut traiter ;
- + Le dragage mécanique présente l'avantage de pouvoir concerner de grandes superficies, à moindre coût ;
- + L'aspirodragage laisse la **possibilité de trier et révaloriser** les sédiments extraits (sables, matériaux organiques, limons), ce qui peut permettre une diminution globale du prix de revient du curage.

## ... INCONVÉNIENTS

- Les inconvénients de ces deux techniques ont trait à la période de travaux, avec la remise en suspension des sédiments ; le cas échéant si ceux-ci sont riches en P, ils peuvent contribuer à stimuler la croissance du phytoplancton.
- le **coût** de mise en œuvre.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## EFFICACE SUR LE MOYEN - LONG TERME AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- Agence de l'eau Artois-Picardie et Pole de compétence sur les sites et sols pollués Nord-Pas de Calais; Guide méthodologique : faut-il curer ? Pour une aide à la prise de décision, 1998.

## COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## ÉTANG DE MOÏSAN

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 27 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 6 ha  
**Profondeur :** 15 cm (moy).      **Type :** étang littoral d'eau douce  
**Usages :** traditionnels (chasse, pêche); protection de l'environnement (site classé)

**Quelques informations sur le bassin versant :** lessivage important en éléments fins des terres agricoles (maïsiculture & sylviculture) lié à la pluviométrie, la nature sableuse des sols et la topographie.

**Problèmes identifiés sur l'étang :** plan d'eau en fin de vie (1m à 1,5 m de hauteur de sédiments), au stade ultime de vieillissement avant la disparition de la lame d'eau libre : plus d'alimentation en eau (tributaire principal également comblé).

**Date et coût du traitement :** 1990-1991, approfondissement de l'étang (6 ha) par dragage, 1,195 MF HT.

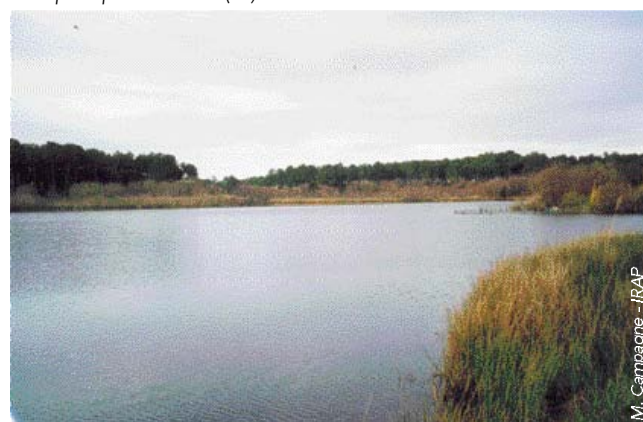
**Commentaires :** l'étang couvrait 35 ha au début du 19<sup>e</sup> s.

**Commune :** Messanges (Landes, 40)

**Propriétaire :** Commune.

**Gestionnaire :** Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landes.org/fr](http://www.landes.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux :** Harris France Travaux publics et particuliers - La Grigonnais - 44170 Nozay. *Etude d'impact par la DDAF (40) en 1987.*



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DE LÉON

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~2 380 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 340 ha  
**Profondeur :** 70 cm (moy)      **Type :** étang littoral d'eau douce

**Usages :** traditionnels (pêche, chasse) et touristiques (baignade et canotage), réserve naturelle en partie Ouest, site classé.

**Quelques informations sur le bassin versant :** lessivage important en éléments fins des terres agricoles (maïsiculture & sylviculture) lié à la pluviométrie, la nature sableuse des sols et la topographie.

**Problèmes identifiés sur l'étang :** envasement et ensablement entraînant une perte de superficie du plan d'eau préjudiciable aux principales activités touristiques (manque de profondeur en eaux libres).

**Date et coût du traitement :** fév. 1991-juin 1992, dragage par drague suceuse, traitement des vases : 11 MF TTC (la valorisation agricole des vases a permis à Géolandes de minorer légèrement et sur 10 ans le coût de l'opération).

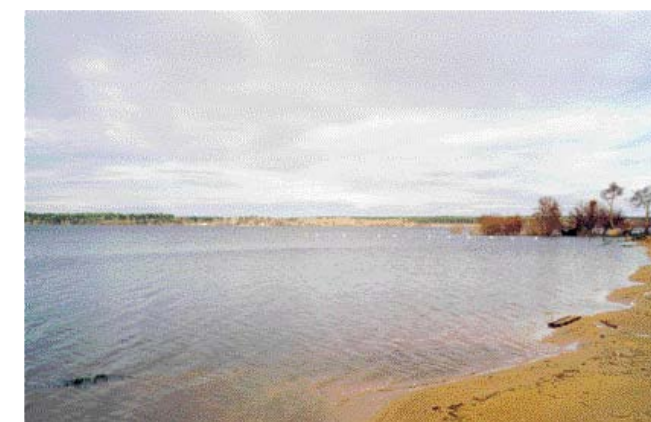
**Commentaires :** pas de possibilités de vidange, mais le niveau d'eau peut être régulé par un ouvrage mobile.

**Communes :** Léon, Vielle St Girons (Landes, 40)

**Propriétaires :** Communes

**Gestionnaire :** Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landes.org/fr](http://www.landes.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux :** Ballast Nedam Dredging (Pays Bas) - *Suivi Cemagref de la qualité des eaux en sortie de traitement (avec envoi dans le réseau d'eaux usées en cas de non-conformité)*



M. Campagne - IRAP

### CONTEXTE

En 1989, le Syndicat mixte (Géolandes) lance un appel d'offres international sur concours pour le dragage partiel (sur la partie Ouest envasée) de 3 étangs landais (Léon, Soustons et Aureilhan). Ces opérations de dragage prévoient l'extraction de 2,5 Mm<sup>3</sup> de sédiments essentiellement organiques, se distribuant comme suit : **1 Mm<sup>3</sup> sur Léon, 1 Mm<sup>3</sup> sur Soustons et 0,5 Mm<sup>3</sup> sur Aureilhan.**

**L'objectif des travaux** est de freiner le processus de comblement (inéductible...) et de redonner de la profondeur aux plans d'eau afin de limiter la gêne vis à vis des activités nautiques et de la baignade.

Le marché a été attribué à une société hollandaise, *Ballast Nedam Dredging*, pour un investissement de 76 MF TTC étalé sur 5 ans.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Le programme a débuté par le dragage de **45 ha** de l'étang de Léon, de février 1991 à juin 1992, avec une interruption pendant la saison estivale. Il a été réalisé à l'aide d'une **drague suceuse**, suivi d'un **traitement des sédiments extraits** : les vases, partiellement déshydratées par **floculation et pressage** (filtre-bande) (24% de siccité à l'origine, 35 à 40 % dix ans après) ont été revalorisées agronomiquement sur des filières à haute valeur ajoutée : espaces verts, golfs, fabrication de terreaux, et non en agriculture. Le produit fini a ainsi été commercialisé sous la dénomination « **Terre des étangs landais** » aux vertus agronomiques suivantes : richesse en éléments fins (meilleure rétention d'eau), développement des mycorhizes, éléments fertilisants, oligo-éléments, ...

Ce programme a permis l'**extraction de 213 000 m<sup>3</sup> de sédiments**, soit **133 600 tonnes de vases déshydratées** produites.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Le marché prévoyait (sur proposition de l'entreprise) une double obligation, à savoir : *un produit à 24 % de siccité minimum et une production de 5500 tonnes de vases partiellement déshydratées (24 % de siccité) par semaine.* Or, la société n'a jamais pu respecter ces deux conditions simultanément. A sa décharge, on retiendra les difficultés techniques liées à la forte hétérogénéité des vases rencontrées, nécessitant d'ajuster en permanence la nature des floculants. Devant le retard accumulé, Géolandes a préféré cesser le traitement, avant que des frais supplémentaires ne soient engagés. Pour l'instant, le **poursuite de ces opérations importantes de dragage est suspendue** sur les 2 autres plans d'eau (un programme de désensablement de l'étang d'Aureilhan est en cours d'instruction administrative).

### RÉSULTATS À LONG TERME

Simultanément aux travaux de dragage, des seuils et un **bassin dessableur** (capacité théorique max. de 9500 m<sup>3</sup>) ont été construits sur le tributaire principal de l'étang. Ce bassin est régulièrement curé : **4 790 m<sup>3</sup> de sables sont extraits en moyenne par an**.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le dragage des 45 ha a permis de retrouver une profondeur convenable pour les usagers sur cette zone. Le bassin dessableur montre son efficacité dans le ralentissement du processus de comblement.

### CONTEXTE

L'étang de Moïsan fait partie d'un ensemble hydrographique de 3 étangs landais littoraux d'eau douce ; on distingue de l'amont vers l'aval, l'étang de Moliets, l'étang de Laprade et celui de Moïsan. L'évolution de l'eutrophisation de ce dernier est suivi par le **Cemagref** de Bordeaux, aussi bien vis à vis de la qualité de l'eau (mesures ponctuelles), que de l'évolution des peuplements végétaux. Dès 1985, le Cemagref a alerté le Conseil Général sur l'état de vieillissement avancé du plan d'eau et une réflexion s'est engagée afin de décider de la nécessité d'intervenir sur un processus naturel, mais accéléré par les activités agricoles et sylvicoles, puis de mettre en place un plan de gestion destiné à le « rajeunir ».

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE (au cours de l'hiver 1990-1991 - 3 mois)

- **Dragage par pelle mécanique**, depuis les bordures, pour les parties Est comblées en majorité par des **sables**. Les sables ont été décantés dans des lagunes formées avec des merlons hydrauliques, puis réutilisés comme matériaux de terrassements (BTP). **37 500 m<sup>3</sup>** de sables ont ainsi été **enlevés**.
- **Dragage par drague suceuse** sur les parties envasées (à l'Ouest). Les **vases organiques** sont réessuyées (lagunage) puis épandues sur des parcelles agricoles (4 ha). Les eaux de réessuyage sont rejetées à l'aval du plan d'eau, par l'intermédiaire de fossés de drainage recadrés et réorientés pour l'occasion. **Envir on 20 000 m<sup>3</sup> de vases** ont été dragués.
- Les 6 ha encore en eau en 1990 ont été dragués, **en conservant les zones de marais (roselières, ...)** au Nord et au Sud de l'étang.

### RÉSULTATS A COURT TERME

**Après les travaux**, l'étang a retrouvé une **profondeur moyenne de 1,5 m**, permettant la reprise des activités traditionnelles de chasse et de pêche.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Depuis les travaux (notamment de la réalimentation de l'étang par son affluent principal), le Cemagref assure un suivi spécifique de la qualité des eaux de l'affluent, de l'étang et de l'exutoire, afin de mieux cerner les principaux apports susceptibles d'entraîner une eutrophisation et d'apprécier les impacts positifs de la réalimentation.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les dragages ont comme effet secondaire de limiter l'extension de la **végétation aquatique** (rajeunissement du milieu). La recolonisation des surfaces approfondies de l'étang fait l'objet d'un suivi et d'un entretien régulier depuis 1991 (arrachage manuel systématique de tout pied nouveau d'espèce exotique, myriophylle du Brésil notamment, par un employé communal).



## PRINCIPE ET OBJECTIF

Extraire les sédiments de manière à augmenter l'épaisseur d'eau.

La destination finale des sédiments extraits doit faire partie intégrante du projet de dragage.

## MISE EN ŒUVRE

Différents types de dragues ont été développés.

### Drague suceuse à tête dilacératrice

= la plus couramment utilisée

L'engin progresse en prenant appui sur des pieux qu'il enfonce alternativement dans le sédiment ; la tête de succion décrit des arcs de cercles en avant de la barge (schéma ci-contre).

Les sédiments dilacérés, sont pompés et évacués jusqu'à la zone de dépôt. Les matériaux extraits sont à 10 - 20 % de solides.

Il est possible également de les diluer et de les rejeter en aval de la retenue (sous réserve de satisfaire un certain nombre de critères de qualité).

### par suceuse transportable (ex : Mud Cat)

Le principe est identique : la pièce dilacératrice (semblable à une fraise à neige) déloge le sédiment et le ramène au centre où il est aspiré et évacué. Les matériaux extraits sont à 30 - 40 % de solides. Le système permet d'opérer entre 3 et 18 m de profondeur et à des débits de 15 à 1875 m<sup>3</sup>/h.

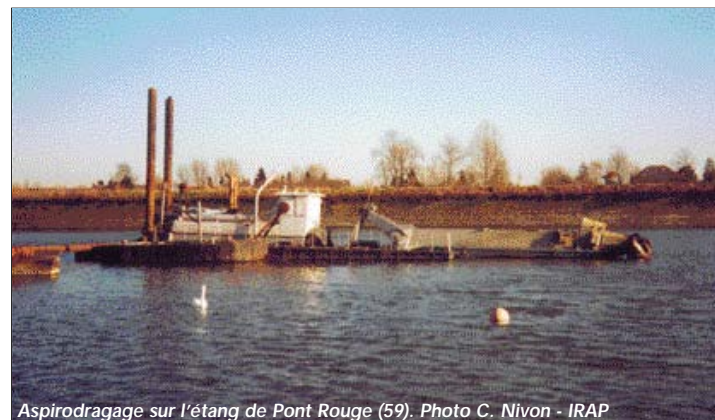
### la Clean Up System

Même principe mais adapté aux sédiments fluides (empêche la dispersion des sédiments dans l'eau)

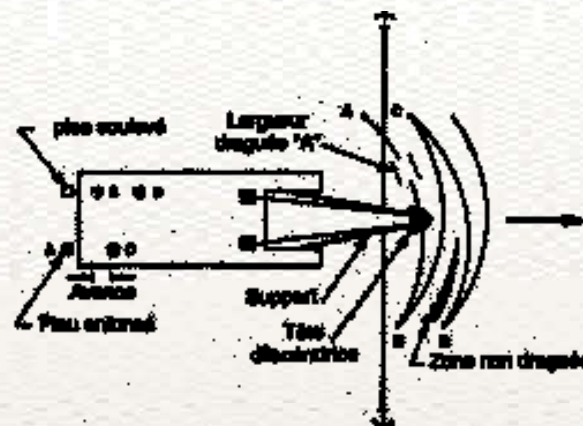
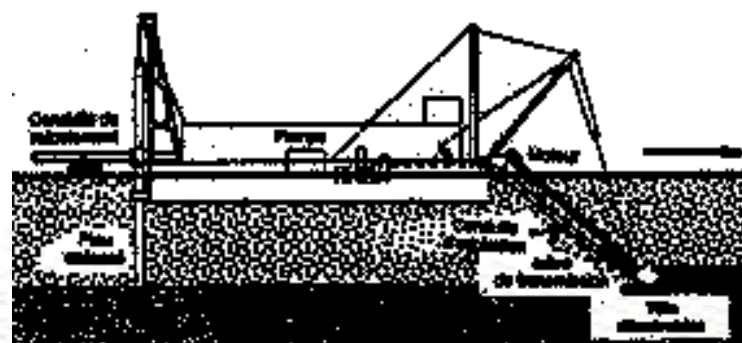
### Autres types

Les dragues pneumatiques (pas d'exemple d'application en France) : le sédiment est remobilisé par injection d'air comprimé, au lieu d'une dilacération mécanique.

Les dragues mécaniques (dragues à bennes preneuses, à godets ...) sont inadaptées en raison de l'irrégularité du travail et de l'intense remise en suspension des sédiments qu'elles provoquent.



Aspirodragage sur l'étang de Pont Rouge (59). Photo C. Nivon - IRAP



Drague suceuse à tête dilacératrice. Vue d'ensemble (ci-dessus) et façon de progresser (ci-contre). Schémas extraits de Barroin 1999.

## EFFICACITÉ

La technique est très efficace à court et long terme.

Elle peut être limitée par la nature des sédiments (trop compact par exemple), ou par la diversité et l'importance des herbiers.

Le site de dépôt doit être convenable et fonction de la qualité des sédiments, de la proximité du site d'extraction, etc. (décharge, régalage sur des terrains voisins, valorisation en agriculture, dilution et rejet dans le milieu aval). Dans certains cas, les sédiments peuvent être triés (en fonction de leur granulométrie et de leurs caractéristiques) avant leur valorisation ultérieure.

## AVANTAGES ...

- + Le dragage manuel a l'avantage de pouvoir être utilisé dans tous les cas « difficiles », mais a deux inconvénients : son coût et les faibles surfaces qu'il peut traiter ;
- + Le dragage mécanique présente l'avantage de pouvoir concerner de grandes superficies, à moindre coût ;
- + L'aspirodragage laisse la possibilité de trier et révaloriser les sédiments extraits (sables, matériaux organiques, limons), ce qui peut permettre une diminution globale du prix de revient du curage.

## ... INCONVÉNIENTS

- Les inconvénients de ces deux techniques ont trait à la période de travaux, avec la remise en suspension des sédiments ; le cas échéant si ceux-ci sont riches en P, ils peuvent contribuer à stimuler la croissance du phytoplancton.
- le coût de mise en œuvre.

## RÉGLEMENTATION

Loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976 et décret 93-245 du 25 février 1993.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996.

Loi relative au renforcement de la protection de l'environnement du 2 février 1995.

## EFFICACE SUR LE MOYEN - LONG TERME AVEC PEU D'INCONVÉNIENTS

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## COÛT

Coûts élevés mais à relativiser en fonction de l'efficacité sur le long terme de la technique.

## ÉTANG DE PINSOLLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~30 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 6 ha  
**Profondeur :** 50 cm (moy)      **Type :** étang littoral d'eau douce  
**Usages :** agrément du golf de Soustons (plan d'eau naturel mais artificialisé), miroir d'eau.

**Commune :** Soustons (Landes, 40)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Géolandes (Syndicat mixte pour la sauvegarde et la gestion des étangs landais regroupant le Conseil Général des Landes et 19 communes riveraines des plans d'eau du littoral). - cf site internet ([www.landes.org/fr](http://www.landes.org/fr)).

**Société ayant réalisé les travaux :** Société Européenne de Dragage (Versailles, filiale d'une société hollandaise). *Etude d'impact par Hydre Environnement (Biarritz).*

**Quelques informations sur le bassin versant :** lessivage important en éléments fins des terres agricoles (maïsiculture & sylviculture) lié à la pluviométrie, la nature sableuse des sols et la topographie ; étang de Soustons (380 ha) en amont).

**Problèmes identifiés sur l'étang :** envasement entraînant une perte de superficie du plan d'eau et à plus ou moins long terme son comblement

**Date et coût du traitement :** 1993, dragage par drague suceuse avec rejet en mer des vases, 1,370 MF HT

**Commentaires :** selon les courants marins, possibilités de circulation d'eaux salées dans le plan d'eau.



M. Campagne - IFAP

### CONTEXTE

L'étang de Pinsolle est à l'aval d'un ensemble hydrographique assez vaste (BV de 350 km<sup>2</sup> environ), reliant de l'amont vers l'aval, l'étang Noir, l'étang Blanc, l'étang Hardy, l'étang de Soustons et enfin l'étang de Pinsolle séparé de l'océan par la dune littorale. A l'aval immédiat de l'étang de Soustons, Pinsolle reçoit les matériaux de chasses de ce dernier (ouvrage hydraulique régulant les niveaux d'eau sur Soustons) et les décante, expliquant son taux d'envasement important.

La réussite du programme de désenvasement de l'étang de Pinsolle en 1993 a conduit le gestionnaire à imaginer le même procédé à une échelle plus grande, ce qui a conduit à la réalisation d'une étude de faisabilité du rejet des vases draguées des étangs dans le Golfe de Gascogne par la société Créocéan. Cette étude a montré que l'océan pouvait supporter une telle charge sans impact majeur, pendant la période des grandes marées s'étendant entre octobre et avril (dispersion forte par les courants).

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

- **Dragage par drague suceuse**, avec **refoulement des vases aspirées jusqu'à l'océan**, via une canalisation. Le rejet en mer se fait en limite des basses eaux et l'opération a nécessité de se caler sur le rythme des marées (rejet en mer descendante) afin d'entraîner les vases vers le large.
- Sur les 6 ha, environ **58 350 m<sup>3</sup> de vases essentiellement organiques** ont été **extraits**.

### RÉSULTATS

Après travaux, la profondeur moyenne du plan d'eau atteignait 1,5 m.

Différents bassins dessableurs installés plus à l'amont concourent à la limitation du comblement par les sables de l'étang de Soustons, mais sont sans effet s'agissant de Pinsolle qui souffre plus d'envasement. A ce jour, une ébauche de projet existe, qui consisterait à contourner l'étang de Pinsolle par un canal qui amènerait les eaux chargées de Soustons et les eaux saumâtres directement à la mer.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

A condition que le plan d'eau soit situé à proximité du rivage, cette méthode apparaît comme la moins onéreuse concernant le devenir des vases de curage.

A noter que dans le cas de Pinsolle, des contraintes topographiques (franchissement de la dune par la canalisation nécessitant l'installation d'une pompe de refoulement) ont alourdi le coût final du programme.

## OBJECTIFS ET PRINCIPES

a) **Réduire la hauteur de vases** en recouvrant les sédiments par des sels de calcium : ceux-ci provoquent une augmentation du pH, d'où une stimulation de la biodégradation des matières organiques contenues dans ces sédiments, qui provoque leur **compactage**.

b) **Inactiver les r elargages de composés indésirables par les sédiments** par constitution d'une barrière physique entre l'eau et les sédiments, en épanchant une couche suffisamment épaisse de sels de calcium (lutte contre l'eutrophisation).

c) Ce procédé est en fait plus généralement utilisé pour sa **capacité à éclaircir temporairement les eaux par précipitation et sédimentation des matières en suspension**.

## MISE EN ŒUVRE

Selon l'objectif recherché, l'épandage se fait à sec (objectifs a et b) ou en eau (objectif c).

### A sec :

- par des semoirs à disques tournants tractés par des engins forestiers.

### En eau :

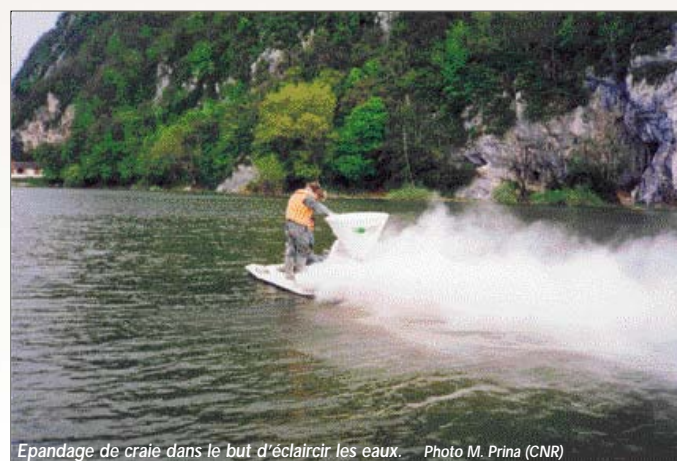
- par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
- par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
- sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
- par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

### Le produit utilisé est un sel de calcium :

- carbonates = craie ( $\text{CaCO}_3$ )
- hydroxydes = chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

La craie peut provenir de Champagne (craie de Champagne, réputée l'une des plus pures et efficaces) ou être prélevée dans d'autres dépôts marins.

Elles sont constituées de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)



Epandage de craie dans le but d'éclaircir les eaux. Photo M. Prina (CNR)



Assèchement du lac de St Martial. Photo : M. Chirossel - Commune St Martial

## EFFICACITÉ

a) Vis à vis de la réduction de l'épaisseur de sédiment, l'efficacité de l'épandage de craie ou de chaux est d'une part très peu significative (quelques centimètres) et d'autre part très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse. Elle dépend fortement de la teneur en matières organiques dans le sédiment, qui est le paramètre "éliminé" par ce procédé (= reminéralisation).

b) Vis à vis de l'eutrophisation de la retenue, l'efficacité est nulle (pas de réduction du phosphore extractible).

c) Vis à vis de l'éclaircissement des eaux, l'efficacité est réelle mais très temporaire.

## AVANTAGES ...

- + **coût** faible ;
- + **facilité** de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- **faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité** ;
- nécessité de réaliser une **vidange** (épandage à sec) ;
- augmentation du pH, d'où stimulation de la prolifération algale; avec risque de favoriser les cyanobactéries (épandage en eau) ;
- « bétonnage » du fond (inactivation des sédiments).

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique (hormis pour la mise en assec par vidange du plan d'eau, soumise à la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et ses décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996).

## ATTENTION AUX OBJECTIFS POURSUIVIS !

Faible.

## COÛT

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- JIGOREL A., Etude de la sédimentation dans les retenues de Vézins et de la Roche qui Boit, (période 1995 - 1998) EDF Energie Ouest, INSA de Rennes, mars 1999.
- DIREN-SEMA Rhône Alpes coord.; Tentative de réhabilitation du Lac de Saint Martial 1989-1995 (3 rapports).

## RETENUE DE VÉZINS

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 19 Mm<sup>3</sup> **Surface :** 200 ha  
**Profondeur :** 20 m (max. 30m) **Type :** Retenue  
**Usages :** Production hydroélectrique.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Néant

**Problèmes identifiés sur le lac :** eutrophisation importante avec accumulation de nutriments dans les sédiments (P et N) et relargage de phosphore en période estivale. Envasement important et rapide (5 à 10 cm/an).

**Date et coût du traitement :** 1993 : vidange, mise en assec et tests de chaulage des sédiments.

**Commentaires :** succession de barrages : Vézins en amont et « La Roche qui Boit » en aval, vidangés successivement la même année. La vidange de 1993 a subi quelques aléas climatiques (crues pendant la période d'assec).

**Commune :** Vézins (Manche, 50)  
**Propriétaire :** EDF Energie Ouest  
**Gestionnaire :** EDF Energie Ouest  
**Société ayant réalisé les travaux :** EDF, Ouest Aménagement.

**Etudes et suivis :** Ouest Aménagement, INSA de Rennes, DDAF, Station biologique de la Tour Valat (Arles), DPVE CEA de Cadarache (Saint Paul les Durance).



C. Niven - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## LAC DE SAINT-MARTIAL

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 650 000 m<sup>3</sup> **Surface :** 14 ha  
**Profondeur :** 11 m **Type :** Retenue  
**Usages :** Loisirs, voile, baignade, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** apports importants en éléments nutritifs et notamment en phosphates par les ruissellements latéraux : flux total 46 kg/an (dont 35% dus à la population saisonnière). En 1990, mise en place d'un fossé avec roselière ouverte autour du plan d'eau en amont.

**Problèmes identifiés sur le lac :** prolifération de phyto-plancton et de végétaux supérieurs ; désoxygénation en profondeur ; fortes teneurs en fertilisants et matières organiques dans les sédiments ; mortalité de poissons en période estivale (1988/1989).

**Date et coût du traitement :** vidange (1989) et chaulage (1990) du plan d'eau : 91,5 KF TTC (étude et travaux).

1991/92 : fossé piège à sédiments et mise en place d'une roselière : 266,3 KF TTC (étude et travaux).

Depuis 1995 : faucardage de la végétation (2 fois par an) : 60 KF/an.

**Commune :** Saint-Martial (Ardèche, 07)  
**Propriétaire :** Syndicat Départemental de l'Équipement de l'Ardèche (SDEA, Privas)  
**Gestionnaire :** Idem  
**Société ayant réalisé les travaux :** Services techniques de la commune (achat de chaux vive dans une coopérative agricole).  
**Conseillers :** DIREN SEMA (Lyon), CEMAGREF (Lyon), CAE (Dijon), Agence de l'eau RMC.



Photo : M. Chirossel - Commune St. Martial

### CONTEXTE

Le lac de Saint-Martial a été créé en 1975 sur les sources d'un ruisseau du bassin versant de l'Heyrieux à l'emplacement d'anciens jardins et peupleraies. Les effluents du village en amont sont collectés et traités à l'aval du lac. La **terre végétale n'a pas été décapée** avant la mise en eau (souches laissées sur place). Dès 1980, le lac présente un **développement de plantes très visibles** (macrophytes et/ou algues microscopiques). En 1988 et 89, la mortalité de poissons blancs inquiète la municipalité. Sur les conseils des services cités ci-avant, une vidange est décidée en 1989 suivie d'un chaulage des sédiments et de la création d'un chenal latéral (un seul côté du lac) avec plantations de végétaux interceptant les eaux de ruissellement.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Après la vidange (septembre à mi-novembre 1989), épandage de **chaux vive sur 11 ha** (dose 1T/ha) :

- 9 ha chaulés par un semoir à disque tournant tracté par un engin forestier (1T/ha)
- 2 ha non accessibles par les engins, chaulés à partir d'un bateau à la remise en eau (1T/ha)
- 1 parcelle (10 x 10 m) chaulée avec 5T/ha
- 1 parcelle témoin (10 x 10 m) non chaulée

La vanne de l'exutoire a été fermée immédiatement avant le chaulage afin d'éviter des arrivées massives de chaux dans le cours d'eau aval (début de la phase de remplissage).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les résultats de la mise en assec et du traitement à la chaux n'ont pas sensiblement modifié la qualité du sédiment : les teneurs en matière organique ont à peine faibli (le carbone organique passe de 8,3 % à 6,5 % du poids sec) et aucune variation des teneurs en fertilisants (phosphore notamment) n'est observée.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le suivi de l'état de santé du lac après son remplissage pendant trois saisons touristiques révèle cependant une **amélioration de l'état général** du lac et principalement de la **transparence**, fortement ressentie par les usagers. Les **sédiments** constituent toujours le compartiment le plus **préoccupant** du fait des teneurs élevées en matière organique (8 à 11 % du poids sec) et phosphore (P total de 0,15 à 0,3 % du poids sec), et des risques de relargages lors des anoxies estivales prolongées (juillet/août : anoxie à 5/6m) toujours présentes.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le gestionnaire est satisfait car la vidange a permis de réduire les effets de l'eutrophisation pendant 2 à 3 ans mais depuis quelques années des **développements d'algues se produisent de nouveau** lors des étés chauds.

### PROTOCOLE MIS EN PLACE

Trois **zones test** ont été définies : 2 en amont de Vézins, 1 en amont de "la Roche qui Boit". Dans chaque zone, **5 types de placettes** (10 x 10 m) ont été installées pour tester l'efficacité du chaulage :

- fauchage régulier de la végétation et exportation des végétaux coupés ;
- fauchage régulier de la végétation et exportation des végétaux coupés + hersage du sol et épandage de chaux à dose agronomique ;
- fauchage unique et exportation des végétaux coupés + épandage de chaux à dose agronomique ;
- fauchage régulier de la végétation (+ exportation) + hersage du sol et épandage de chaux à 10 fois la dose agronomique ;

*Dose agronomique = 3T/ha de chaux vive magnésienne (avec 54% de CaO et 12 % de MgO).*

*10 fois la Dose agronomique = 30T/ha de chaux éteinte en granulés avec 54% de CaO.*

### RÉSULTATS À COURT TERME

Les résultats ont été analysés par M. Golterman de la Station Biologique de la Tour Valat, par M. Fardeau de DPVE CEA de Cadarache ainsi que par M. Jigorel de l'INSA de Rennes. Tous aboutissent aux conclusions suivantes :

- les sédiments sont acides, à teneurs fortes en matière organique et P total (1,36 à 2,4%), moyennes en fer (1,15 à 4,75%) mais celui-ci est constitué essentiellement de fer extractible, facilement relargué ;
- les sédiments sont riches en **phosphates** dont la plus grande partie non liée au fer (60 %), est donc **disponible pour le phytoplancton** ;
- **l'assèchement a permis d'augmenter temporairement le phosphate absorbé sur le fer de 15 à 20% quelque soit le traitement effectué sur les placettes ;**
- **aucun traitement n'a eu d'effet sur la proportion de phosphates extractibles .**

### RÉSULTATS À LONG TERME

Il est impossible d'obtenir avec cette technique du chaulage, des résultats à long terme sur des retenues de cette taille où les apports de sédiments sont importants et rapides.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les tests du chaulage ont montré leur **inefficacité vis à vis de l'eutrophisation** de la retenue.

## OBJECTIFS ET PRINCIPES

a) **Réduire la hauteur de vases** en recouvrant les sédiments par des sels de calcium : ceux-ci provoquent une augmentation du pH, d'où une stimulation de la biodégradation des matières organiques contenues dans ces sédiments, qui provoque leur **compactage**.

b) **Inactiver les r elargages de composés indésirables par les sédiments** par constitution d'une barrière physique entre l'eau et les sédiments, en épanchant une couche suffisamment épaisse de sels de calcium (lutte contre l'eutrophisation).

c) Ce procédé est en fait plus généralement utilisé pour sa **capacité à éclaircir temporairement les eaux par précipitation et sédimentation des matières en suspension**.

## MISE EN ŒUVRE

Selon l'objectif recherché, l'épandage se fait à sec (objectifs a et b) ou en eau (objectif c).

### A sec :

- par des semoirs à disques tournants tractés par des engins forestiers.

### En eau :

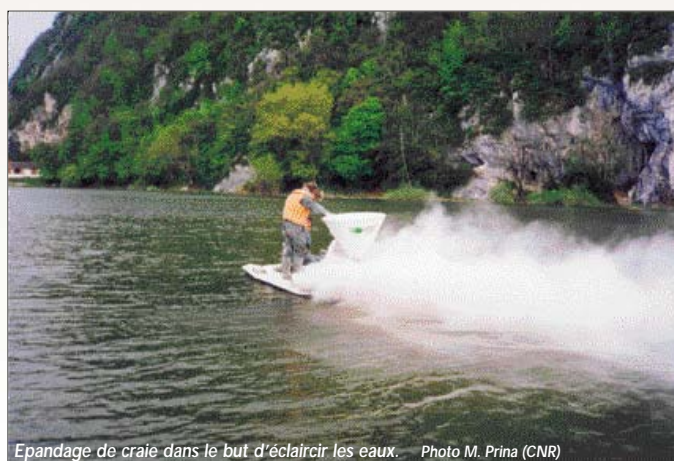
- par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
- par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
- sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
- par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

### Le produit utilisé est un sel de calcium :

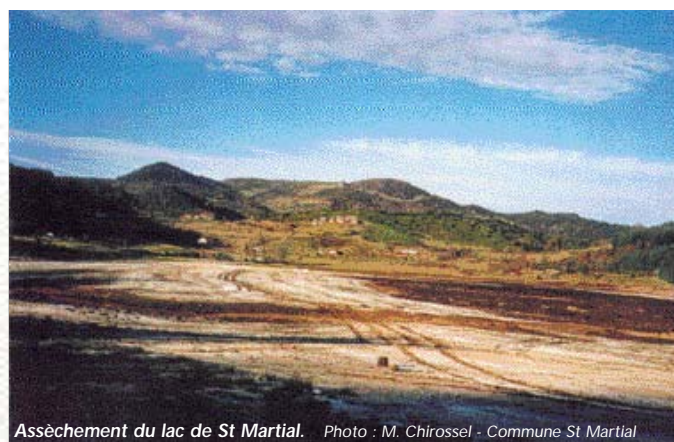
- carbonates = craie ( $\text{CaCO}_3$ )
- hydroxydes = chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

La craie peut provenir de Champagne (craie de Champagne, réputée l'une des plus pures et efficaces) ou être prélevée dans d'autres dépôts marins.

Elles sont constituées de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)



Epandage de craie dans le but d'éclaircir les eaux. Photo M. Prina (CNR)



Assèchement du lac de St Martial. Photo : M. Chirossel - Commune St Martial

## EFFICACITÉ

a) Vis à vis de la réduction de l'épaisseur de sédiment, l'efficacité de l'épandage de craie ou de chaux est d'une part très peu significative (quelques centimètres) et d'autre part très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse. Elle dépend fortement de la teneur en matières organiques dans le sédiment, qui est le paramètre "éliminé" par ce procédé (= reminéralisation).

b) Vis à vis de l'eutrophisation de la retenue, l'efficacité est nulle (pas de réduction du phosphore extractible).

c) Vis à vis de l'éclaircissement des eaux, l'efficacité est réelle mais très temporaire.

## AVANTAGES ...

- + **coût** faible ;
- + **facilité** de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- **faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité** ;
- nécessité de réaliser une **vidange** (épandage à sec) ;
- augmentation du pH, d'où stimulation de la prolifération algale; avec risque de favoriser les cyanobactéries (épandage en eau) ;
- « bétonnage » du fond (inactivation des sédiments).

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique (hormis pour la mise en assec par vidange du plan d'eau, soumise à la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et ses décrets d'application 93-742 et 93-743 de mars 1993 ; décret 96-626 du 9 juillet 1996).

## ATTENTION AUX OBJECTIFS POURSUIVIS !

Faible.

## COÛT

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- JIGOREL A., Etude de la sédimentation dans les retenues de Vézins et de la Roche qui Boit, (période 1995 - 1998) EDF Energie Ouest, INSA de Rennes, mars 1999.
- DIREN-SEMA Rhône Alpes coord.; Tentative de réhabilitation du Lac de Saint Martial 1989-1995 (3 rapports).

## PLAN D'EAU DU HAVRE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 10 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 1 ha  
**Profondeur :** 1 m      **Type :** Plan d'eau en dérivation  
**Usages :** Pêche (carpe, tanche, gardon ...).

**Commune :** Montcontour (Vienne, 86)  
**Propriétaire :** Société privée « Etang du Havre »  
**Gestionnaire :** AAPPMA de Montcontour  
**Société ayant réalisé les travaux :** Prestataire de service.

### Quelques informations sur le bassin versant :

Rejets de plusieurs petites communes et un camping.

### Problèmes identifiés sur le lac :

Envasement avec fond tourbeux.

### Date et coût du traitement :

1994 et 1997 : environ 3 500 F par traitement.

### CONTEXTE

Situé entre deux bras de rivière, l'étang du Havre a toujours eu une **vocation halieutique** et a même été classé enclos piscicole. Depuis quelques années, celui-ci se **comble par les sédiments** apportés par lessivage du bassin versant. L'épaisseur de vases atteint au moins 30 à 40 cm avec des fonds tourbeux.

Au départ, le choix du traitement se portait sur **un curage de l'étang**. Mais la technique du chaulage a finalement été retenue, en raison du **coût trop élevé** du curage.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

1994 et 1997 (même technique) :

**2 T d'Aquaplancton** ont été épandues manuellement depuis une barque sur toute la surface du plan d'eau.

Une demi-journée au printemps a été nécessaire.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Aucun suivi technique n'a été réalisé, par manque de moyen. Un suivi visuel semble montrer une **réduction de l'épaisseur des vases**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Depuis 1999, le plan d'eau subit un problème d'**envahissement par des herbiers** : un manque de suivi ne permet pas de mettre en relation le traitement par l'Aquaplancton et ce phénomène d'envahissement.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La technique de l'Aquaplancton n'était **sans aucun doute pas la plus efficace mais la plus économique (!)** Elle n'a pas permis de résoudre le problème d'envasement pour une durée à long terme.

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## ÉTANG DES BOUCHERIES

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~ 680 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 22 ha  
**Profondeur :** 3,2 m      **Type :** Etang  
**Usages :** Réserve ornithologique, accueil du public, pêche.

**Commune :** Les Landes Genusson (Vendée, 85)

**Propriétaire :** Conseil Général

**Gestionnaire :** Conseil Général

**Société ayant réalisé les travaux :** -

### Quelques informations sur le bassin versant :

Rejet d'une commune dont la STEP ne traite ni l'azote ni le phosphore et rejets de 2 grosses exploitations agricoles.

### Problèmes identifiés sur le lac :

Phénomène d'**atterrissement** dans la partie nord de l'étang avec des teneurs élevées en phosphore, nitrates et ammoniac ; eutrophisation estivale marquée par un **développement excessif du phytoplancton**. Mortalité de poissons en 1992 suite à l'anoxie de l'étang, teneurs élevées en NH<sub>4</sub>, matières en suspension et chlorophylle a.

### Date et coût du traitement :

1993, épandage de Nautex, 100 KF TTC.

### CONTEXTE

L'étang des Boucheries est constitué d'un complexe de trois étangs formant une réserve ornithologique où les oiseaux sont protégés et observés. L'accueil du public est assuré par la Maison de la Réserve se trouvant à proximité du grand étang.

C'est ce dernier qui a fait l'objet en 1993, d'un épandage de Nautex **dans le double objectif de diminuer la quantité de vase et de réduire le phénomène d'eutrophisation**.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Épandage de Nautex sur toute la surface de l'étang (2 jours) à l'aide d'un bateau équipé d'un ventilateur.

### RÉSULTATS À COURT TERME

L'impact effectif de l'épandage de Nautex est **difficilement appréciable** compte tenu des variations naturelles annuelles et interannuelles du phytoplancton. Le suivi analytique sur les sédiments et l'eau a en particulier montré une **variation très peu significative** de la minéralisation des boues.

Il est donc peu probable d'obtenir un dévasement significatif de l'étang par ce moyen et la seule amélioration perceptible de la qualité des eaux a été une **augmentation temporaire de la transparence**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Aucun résultat à long terme, ni sur l'envasement ni sur le niveau trophique, n'a pu être espéré par ce type de procédé. Les gestionnaires sont revenus à un mode de gestion classique qui consistait à réaliser un curage tous les 2 à 3 ans.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le Conseil Général considère ce traitement comme un **échec**. Le SATESE reste perplexe quant aux résultats que l'on peut espérer obtenir à l'aide de ce type de traitement.



C. Nivon - IRAP

Profondeur faible (de préférence < 1m).

Proliférations planctoniques gênant les usages.

Taux de renouvellement des eaux limité (de préférence) pour éviter un effet de dilution.

Charge externe de phosphore prépondérante par rapport à la charge interne (précipitation).

Charge externe de phosphore éliminée (inactivation).

**OBJECTIF ET PRINCIPE**

Réduire la concentration en phosphore dans la colonne d'eau :

- en le précipitant à l'aide d'une substance appropriée (= **précipitation**)
- en empêchant son relargage par les sédiments au moyen d'une barrière physico-chimique (= **inactivation**)

**MISE EN ŒUVRE**

• **Agents chimiques utilisés**

L'agent de précipitation du phosphore le plus efficace est le **fer**, qui a aussi l'avantage d'être non toxique ; ses principaux inconvénients tiennent à son **faible pouvoir d'inactivation** et au fait qu'en milieu anoxique (cas des sédiments), il a tendance à "relâcher" le phosphore.

On peut également utiliser des **sels de calcium** (craie, chaux), plus ou moins efficaces selon les conditions du milieu dans la précipitation et l'inactivation.

Le **sulfate d'alumine** est finalement le produit présentant la meilleure efficacité **précipitation / inactivation**.

• **Epandage**

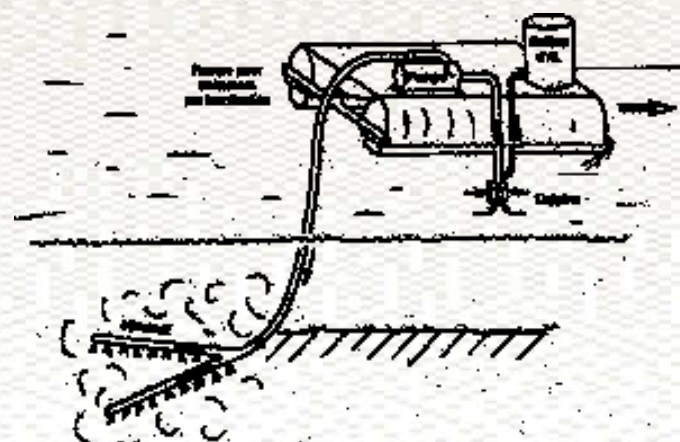
La précipitation se fait par épandage de surface. Il est nécessaire de traiter l'ensemble du lac (quadrillage) en dosant correctement chaque "quadrat" en fonction des hauteurs de la colonne d'eau et du pH. Cette injection de surface doit se faire préférentiellement à la fin de l'hiver, **avant le démarrage de la production phytoplanktonique**, sous peine de voir les algues précipiter et entraîner alors une désoxygénation drastique des eaux du fond.

L'inactivation peut se faire par épandage de surface mais il est préférable d'injecter le produit directement au niveau du sédiment, lorsque l'on veut traiter une zone bien délimitée (schéma ci-contre).

• **Matériel nécessaire**

Pour les petites surfaces : épandage depuis le bord ou un petit bateau (type hors bord) ; seaux et bacs en plastique servent à stocker et diluer les réactifs, qui sont épandus au moyen d'une pompe à main et d'un tuyau perforé.

Pour les grandes surfaces : Utilisation de solutions commerciales de  $AlSO_4$  ; stockée sur une barge, la solution "mère" est diluée au 1/2 avec de l'eau du lac avant d'alimenter une rampe d'injection perforée sur toute sa longueur, et dont la profondeur peut être réglée.



Dispositif d'injection de réactifs dans les sédiments (d'après Barroin, 1999).

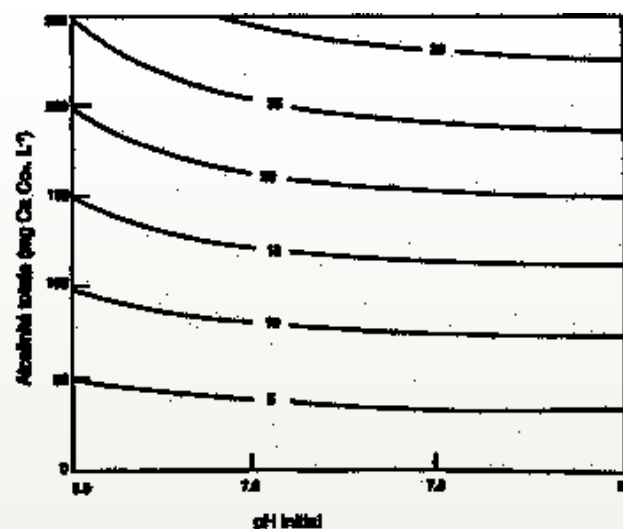
• **Dosages**

On injecte le maximum d'Al de manière à ce que la couche d'hydroxyde déposée sur le sédiment ait une valeur maximale, valeur qui dépend de la toxicité de  $Al^{3+}$ , du pH et de l'alcalinité. Pour  $5,5 < pH < 9$ ,  $Al^{3+}$  doit être < 50 µg/l.

Or l'ajout de réactif acidifie le milieu ; la détermination de la dose convenable de réactif pour avoir un pH > 6 peut se faire par 2 méthodes :

\* on teste les échantillons d'eau avec une solution de sulfate d'Al de concentration connue ;

\* on mesure le pH initial de l'échantillon d'eau et son alcalinité totale, et on se reporte au graphique ci-contre.



Concentrations en sulfate d'aluminium (mg Al/l) qui font chuter le pH à 6 pour diverses alcalinités totales et pH initiaux (d'après Cooke et al, 1993 In Barroin 1999).

**EFFICACITÉ**

Précipitation :

**Efficacité limitée** (en particulier pour le phosphore dissous) avec les sels de calcium ou les sels d'aluminium, meilleure avec les sels de fer. Dans tous les cas, elle n'est que **de courte durée**. La chaux est efficace à très court terme.

**Nota** : l'effet de compactage des sédiments avec les épandages de craie n'entraîne qu'une réduction limitée de la hauteur de vase, dépendante de la quantité de matières organiques qu'elles contiennent, et en aucun cas comparable à un dragage (cf fiche technique n°35).

Inactivation :

**Efficace à long terme** (si la charge externe a été éliminée).

**AVANTAGES ...**

- + facilité de mise en œuvre ;
- + rapport coût/efficacité très intéressant (pour l'inactivation) sur le long terme.

**... INCONVÉNIENTS**

Précipitation :

- risques de relargages du phosphore par les hydroxydes de fer, en milieu anoxique ;
- l'augmentation de la transparence (en particulier avec l'utilisation de sels de calcium) peut permettre un plus grand développement du phytoplankton ou des macrophytes, ce qui peut être considéré comme gênant dans certains cas.

Inactivation :

- difficultés de dosage (quel que soit le produit utilisé) liées :
  - à la maîtrise du pH et à la toxicité de  $Al^{3+}$ , quand on utilise des sels d'alumine ;
  - aux risques de favoriser le relargage de P quand on utilise les sels de calcium (= effet secondaire induit par l'augmentation du pH qui favorise l'activité microbienne de reminéralisation des matières organiques du sédiment).
- « bétonnage » du fond, dans le cas de l'inactivation par les sels de calcium.

**RÈGLEMENTATION**

- Pas de réglementation spécifique en France

**PRÉCIPITATION = POUR RÉPONDRE À UN PROBLÈME PONCTUEL**

**INACTIVATION = EFFICACE À LONG TERME SI LA CHARGE EXTERNE DE PHOSPHORE A ÉTÉ ÉLIMINÉE**

**COÛT**

- l'inactivation est plus coûteuse que la précipitation (plus de réactifs) ;
- le poste le plus important est celui de la main d'œuvre. Selon le matériel utilisé, 0,06 à 4,6 jours / ha sont nécessaires.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BARROIN G., Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau. Les Etudes des Agences de l'eau n°62. 214 p.
- COOKE GD, WELCH EB, PETERSON SA, NEWROTH PR, Restoration and management of lakes and reservoirs. Second Ed. Lewis Publishers, 548 p.

## ÉTANG DU PONT ROUGE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 300 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 12 ha

**Profondeur :** 2,5 m (moy.)      **Type :** Etang

**Usages :** Base de loisirs sans baignade, ancienne retenue d'eau pour l'inondation autour des fortifications de la ville.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Agriculture relativement intensive et surtout rejets directs depuis les déversoirs d'orages en cas de flux trop importants dans les réseaux d'assainissement. Agrandissement des réseaux d'assainissement et construction de STEP depuis les années 90.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Piégeage du phosphore conduisant à l'eutrophisation de l'étang. Depuis une dizaine d'années, phénomène de destratification, de désoxygénation et de développement des cyanobactéries + mortalité de poissons (1987 : 400 Kg ; 1990 : 20 T).

**Date et coût du traitement :** 1991, 1992 : Epandage de sulfate d'alumine (20 300 F et 23 500 F avec 50% de subvention de l'Agence de l'eau)

1993 à 1996 : Epandage de sulfate de cuivre (520 F/an)

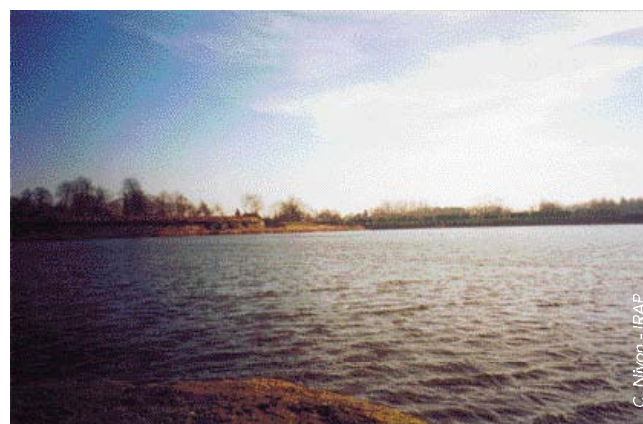
2000 : Aspirodragage de l'étang (4,5 MF TTC).

**Commune :** Le Quesnoy (Nord, 59)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Fédération de pêche du Nord

**Société ayant réalisé les travaux :** Epandage de sulfate d'alumine par l'association « La Gaule Quécitaine » sous contrôle de l'Agence de l'eau.



C. Nivon - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## RETENUE DE MOULIN NEUF

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 1,3 Mm<sup>3</sup>      **Surface :** 55 ha

**Profondeur :** 2 m (max. 5m)      **Type :** Retenue

**Usages :** Production d'eau potable, pêche.

**Quelques informations sur le bassin versant :** Apports importants de nutriments par les deux affluents : rejets de STEP, rejets diffus d'origine domestique et agricole + importants rejets phosphorés par la pisciculture de Moulin Callac.

Plusieurs programmes (Bretagne Eau Pure ; Maîtrise de Pollution Agricole) ont été mis en œuvre depuis 10 ans ainsi que le rachat et fermeture de la pisciculture en 1989.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Eutrophisation depuis sa mise en eau (1977) caractérisée par une prolifération phyto-planctonique excessive, notamment de cyanobactéries entraînant des gênes dans la filière de traitement de l'eau.

**Date et coût du traitement :** épandages de sulfate de cuivre depuis 1982 (non maîtrisés jusqu'en 1990), ~ 10 000 F par traitement. Aération diffuse depuis 1990, investissement 960 KF HT. Epandages de sulfate d'alumine de 1984 à 1989 en aval de la pisciculture de Moulin Callac.

**Commune :** Pont l'Abbé (Finistère, 29)

**Propriétaire :** Communauté de communes du pays Bigouden Sud

**Gestionnaire :** Communauté de communes du pays Bigouden Sud

**Société ayant réalisé les travaux :** SAUR (Exploitant et prestataire de service).



C. Nivon - IRAP

### CONTEXTE

Mise en eau en 1977, la retenue de Moulin Neuf a été créée pour **soutenir l'étiage de la rivière de Pont l'Abbé** sur laquelle se trouve la **prise d'eau potable** au fil de l'eau. La pisciculture de Moulin Callac, en amont de la retenue, a été orientée de 1986 à 1989 (date de sa fermeture) vers la production de saumons (120 T/an) et a eu un impact considérable sur les **flux de phosphore** de la rivière de Pont l'Abbé.

Depuis 1982 la retenue fait l'objet d'épandages de sulfate de cuivre afin de limiter la prolifération des cyanobactéries. Jusqu'en 1990, les épandages non raisonnés ont entraîné une accumulation excessive de cuivre dans les sédiments. Depuis 1990, un système d'aération diffuse permet de réoxygéner les eaux du fond de la retenue.

Pour réduire les apports de phosphore minéral (principaux responsables du développement de phytoplancton), une précipitation du phosphore par des **sels d'aluminium** a été mise en place en aval de la pisciculture de Moulin Callac en 1984.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

**Injection dans les eaux** en aval de la pisciculture du sulfate d'alumine en 3 points différents à l'aide d'une rampe pour une dilution rapide. Les doses de sulfate d'alumine sont calculées en fonction des débits de la rivière de Pont l'Abbé pour permettre un traitement de 25 à 30 g/m<sup>3</sup>. Cette injection provoquant une baisse de pH d'environ 1 à 1,5 unités, un lit de maërl a été rajouté pour remonter le pH.

Le traitement est mis en place **chaque année pendant la période de juin à octobre**. (Remarque : ce traitement est différent de l'inactivation de sédiments proprement dite puisqu'on n'injecte pas le produit directement au sein du sédiment ; l'exemple est cependant présenté car il permet de se rendre compte de l'efficacité de la fixation du phosphore par le produit).

### RÉSULTATS À COURT TERME

Dès la première année, les **abattements de phosphore sont d'environ 90%**.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Jusqu'en 1990, le traitement permet de respecter les objectifs fixés (**P-PO<sub>4</sub> < 50 µg/l en queue de retenue**). A partir de 1986, le changement de type de production de la pisciculture entraîne des apports croissants en phosphates d'où une augmentation des doses de sulfate d'alumine. Un suivi montre alors **l'accumulation d'aluminium dans les sédiments** (x 2 en 1988 par rapport à l'état initial) et dans les organismes vivants jusqu'en aval de la retenue. De plus, on n'observe aucune amélioration du niveau trophique de la retenue malgré la forte réduction de la charge externe en phosphore (les relargages par les sédiments en condition d'anoxie se poursuivent).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le traitement au sulfate d'alumine a permis de **limiter les apports externes en phosphore**, mais n'a eu aucun effet sur la charge interne de la retenue, toujours élevée, d'où la **poursuite des phénomènes d'eutrophisation**. En 1989, la pisciculture a été rachetée (et le traitement arrêté) afin de définitivement supprimer ces rejets.

### CONTEXTE

Le Quesnoy, fondée au XIIe siècle, est une **ville fortifiée dont la défense s'est faite par l'eau à partir du XVIIe siècle**. Un système d'inondation par creusement d'étangs est organisé en association avec les ouvrages de protection. La vocation de l'étang du Pont Rouge n'est plus aujourd'hui de protéger la ville mais de distraire la population : il sert de **base nautique** en période estivale (location de barques et pédalos, terrains de sports, restaurants, campings ... et pêche sont les activités principales autour du plan d'eau).

Vers la fin des années 80, le phytoplancton de l'étang du Pont Rouge a commencé à se développer fortement marquant **le début de l'eutrophisation**. En 1990 une **mortalité importante de poissons** est observée, liée au développement de cyanobactéries colorant entièrement de vert le plan d'eau. Les caractéristiques en période estivale sont : diminution du taux d'oxygène et relargages de phosphore.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Une étude et un suivi de l'Agence de l'eau ont été réalisés visant à réduire ces sources de phosphore pour les algues.

1991 et 1992 : **épandage de sulfate d'alumine** (1,1 T/ha) en deux fois : mars et avril (aspersion en surface du plan d'eau).

### RÉSULTATS À COURT TERME

- Le 1<sup>er</sup> épandage de sulfate d'alumine en mars 1991 a **immédiatement rendu sa transparence** à l'eau (> 1 mètre). La seconde pulvérisation a eu un effet visuel beaucoup moins net. En 1992, les résultats sont peu probants du fait d'une moindre efficacité de l'épandage, effectué un jour de vent (!).

- Le **phosphore reste bloqué dans les vases** : les concentrations en P total et orthophosphates restent inférieures à 1 mg/l après traitement (au lieu de plus de 1mg/l pour le P total et plus de 3 mg/l pour les orthophosphates avant le traitement).

- L'effet sur les algues est limité puisqu'un **surdéveloppement de cyanobactéries a tout de même lieu** pendant l'été, bien que le phosphore semble être fixé chimiquement dans les sédiments.

- La **concentration en oxygène dissous reste élevée** même pendant l'été, permettant la survie piscicole.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les traitements au sulfate d'alumine n'ont été réalisés que sur deux années consécutives : la fixation chimique du phosphore par le sulfate d'alumine n'a pas été démontrée à long terme, et le stock de phosphore reste de toute façon entier dans l'étang du Pont Rouge. D'autre part ce traitement a le désavantage d'augmenter la teneur en métaux (Al<sup>+++</sup>) des sédiments.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Les pêcheurs ainsi que la commune n'ont pas souhaité reconduire l'opération par risque d'accumulation d'aluminium dans les sédiments ; ils se sont par la suite réorientés vers un dragage des sédiments et un travail sur l'amont du plan d'eau " pour éliminer le problème à sa source".



Taille petite à moyenne.  
Accumulation de sédiments dont le taux de matière organique est supérieur à 20%.

Envasement (et phénomènes associés : anoxie, rétrogradation de composés indésirables,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ...).  
Faible transparence de l'eau.

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

Introduction dans les sédiments de bactéries capables de reminéraliser la matière organique qu'ils contiennent, afin de tasser les sédiments et réduire la désoxygénation des eaux du fond (par limitation des échanges eau-sédiment due à la fois à la barrière physique constituée par le produit et la diminution de matière organique dans le sédiment). La technique consiste à épandre dans le plan d'eau les bactéries fixées sur un substrat : sels de calcium (ex : craie, chaux) ou silicate d'alumine.

## MISE EN ŒUVRE

- Les produits peuvent être épandus en l'état ou après dilution pour réactiver le produit biologique et faciliter l'épandage : dans ce cas la dilution se fait du 1/3 au 1/10e avec de l'eau provenant du milieu à traiter - on laisse reposer 6 à 48h à température 18 à 35°C avant l'ensemencement.

- L'épandage peut se faire :
  - par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
  - par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
  - sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
  - par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

- Dosage : varie selon les produits de 15 à 500 g/m<sup>2</sup> (soit 0,15 à 5 t/ha et 10<sup>7</sup> à 10<sup>10</sup> bactéries/m<sup>2</sup>).

- Les traitements s'appliquent au printemps ou à l'automne, périodes où les conditions de température et d'oxygène dissous sont plus favorables aux micro-organismes.

- La durée de mise en œuvre est variable selon la taille du plan d'eau (environ 0,5j/ha).

## DÉTAIL DE MISE EN ŒUVRE

### MODE D'ACTION THÉORIQUE

#### Le substrat permet :

- d'absorber les matières organiques (éclaircissement de l'eau) ;
- de fixer les bactéries et donc d'éviter leur dispersion (niches écologiques) ;
- d'augmenter les vitesses de réaction.

#### Les additifs bactériens (selon le type) :

- hydrolysent les polymères organiques insolubles en composés plus simples ;
- décomposent la matière organique ;
- activent la dénitrification (élimination de l'N) ;
- catalysent la floculation ;
- rentrent en compétition avec des organismes nuisibles.

### PRINCIPAUX MICRO-ORGANISMES UTILISÉS

*Nitrobacter* : Oxyde les nitrites en nitrates ( Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100 ; Ecolyte MX 200)

*Nitrosomonas sp.* : Oxyde l'ammoniaque en nitrites (Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100)

*Pseudomonas sp.* : Oxyde les matières organiques dissoutes ( Fixaflor ; Ecolyte MX20 , CX70 ; Aquakalgon+ ; Biolen ; Aquaclear ; Bacta-Pur S ; ARM )

*Bacillus sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( SKND ; ARM ; Bacta-Pur S ; Aquakalgon+ ; Ecolyte MX20 )

*Serratia sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ )

*Enterobacter* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ Bactapur S )

### PRINCIPAUX SUBSTRATS UTILISÉS

*Craie à coccolithes* : constituée de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)

*Lithothamne* : constitué de carbonates (93,7%) dont CaO et MgO.

*Zéolithes* : constituées de matériaux volcaniques altérés (Chabazite ; Clinoptilolite ; Phillipsite).

*Argiles kaoliniques* : constitué de  $\text{SiO}_2$  (> 50%) ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22 à 45%) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$  (5 à 18 %) (ex : Bioprolog , Eparcyl ).

### COMPOSITION

Les bactéries proviennent d'une sélection effectuée en réalisant des cultures successives de souches bactériennes sur des milieux contenant des concentrations croissantes en substrat (le substrat étant le plus proche des produits à dégrader). Seules les souches les plus performantes sont conservées.

Elles sont maintenues sous une forme inactivée rapidement revivifiable grâce à des techniques de lyophilisation, de centrifugation ou de déshydratation lente et sont déposées sur un substrat.

Le substrat solide sur lequel sont fixés les microorganismes évite une dispersion de ceux-ci lors de l'épandage. La fixation des bactéries sur le support est une phase assez longue qui se déroule préférentiellement lors de leur phase exponentielle de croissance.

Des enzymes peuvent être ajoutées pour hydrolyser les molécules complexes en molécules plus simples assimilables par les bactéries.

Des nutriments et oligoéléments sont parfois ajoutés au bioadditif de manière à rééquilibrer le milieu.

D'autres produits tels que des agents tensioactifs, des biocides ou des agents de conservation peuvent être ajoutés.

## EFFICACITÉ

D'une manière générale, l'efficacité de ces produits est très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse.

⇒ efficacité immédiate mais temporaire vis à vis de l'éclaircissement des eaux (liée au support minéral et non à l'action bactérienne) ;

⇒ efficacité variable vis à vis de la diminution de l'envasement (à condition que les teneurs en matières organiques soient importantes, que les conditions de température et d'oxygénation soient respectées ...) et en tous les cas, limitée en intensité.

Cette efficacité dépend théoriquement d'une part de la formulation (bioadditif à large spectre d'action ou à action spécifique), de la concentration bactérienne dans les produits fixés (varie entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>7</sup> bactéries/g) mais surtout de la concentration en bactéries revivifiables qui en moyenne d'après des tests en laboratoire n'est que de 10<sup>2</sup> bactéries/g (alors qu'en surface d'un sédiment moyennement eutrophe, il y en a 10<sup>9</sup>). La qualité du produit dépend aussi beaucoup de l'état physiologique des micro-organismes avant conservation.

## AVANTAGES ...

- + coût réduit ;
- + facilité de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité ;
- réduction de l'efficacité par la dispersion du produit par les courants ; taux de survie des bactéries non connu après ensemencement ;
- les essais où le produit atteint effectivement le sédiment ont des doses 5 à 50 fois supérieures aux doses préconisées.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## TECHNIQUE CONTROVERSÉE NÉCESSITANT UNE DÉFINITION TRÈS PRÉCISE DES OBJECTIFS À ATTEINDRE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DUTARTRE A., GOUBAULT DE BRUGIERE O., 1996. Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques. CEMAGREF - Agence de l'eau, étude inter-agence n°47. 145 p.

## COÛT

- 15 000 à 35 000 FHT/ha pour les techniques les plus simples (ensemencement manuel, aspersion) ;
- 30 000 à 240 000 FHT/ha pour les techniques plus complexes (aspiration/refoulement, canon à poudre) ;

Comprenant les analyses de départ et la surveillance technique lors de l'épandage.

## PLAN D'EAU DE BARSAC

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** ~1715 m<sup>3</sup>      **Surface :** 4800 m<sup>2</sup>  
**Profondeur :** ~36 cm (moy)      **Type :** ancienne gravière (extraction d'argiles) au bord du Ciron

**Usages :** pêche (plan d'eau fédéral)

**Quelques informations sur le bassin versant :** Néant en l'absence d'étude spécifique sur le sujet ; plaine alluviale de la Garonne, partie basse du Ciron (1<sup>e</sup> catégorie piscicole) ; activité viticole (vins blancs liquoreux).

**Problèmes identifiés sur le lac :** bassin choisi pour son envasement (12-13 cm de vases en moy.) pour les besoins du test. La problématique du plan d'eau total est plutôt liée à un envasement par les macrophytes (cératophylle, potamot et jussie notamment).

**Date et coût du traitement :** application de 100 kg de Fixaflor (micro-organismes + support calcaire), en déc. 99 et mars 2000, par les techniciens de la Fédération, 8000 F TTC (réglé en cas de réussite selon un seuil de validation).

**Commentaires :** ce petit bassin rectangulaire fait partie d'un ensemble de 4 bassins en communication, qui composent la totalité du plan d'eau fédéral de Barsac (6 ha).

**Commune :** Barsac (Gironde, 33)

**Propriétaire :** Fédération des AAPPMA de Gironde

**Gestionnaire :** Fédération des AAPPMA de Gironde

**Société ayant réalisé les travaux :** Aquitaine-Biotest, revendeur local de la Société Lobial (produit Fixaflor).



M. Campagne - IRAP

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## PLAN D'EAU DE FRÉMINVILLE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 82 500 m<sup>3</sup>      **Surface :** 5,5 ha  
**Profondeur :** 1,5 m      **Type :** Ancien marais curé  
**Usages :** Naturalisme, agrément, promenade

**Quelques informations sur le bassin versant :** Néant

**Problèmes identifiés sur le lac :** Envahissement par les macrophytes et les peuplements arbustifs + épaisseur de vase importante (60% de matières organiques).

**Date et coût du traitement :** Fin Mai 1997

Analyses préalables + épandage de bioadditifs : 170 000 F HT

Analyses supplémentaires et faucardage par bateau faucardeur : 60 000 F HT

**Mise en œuvre :** Epandage manuel sur toute la surface de l'étang du BIO NO<sub>3</sub> SM (mélange de micro-organismes et de support constitué de 10% de CaO) en technique préventive (2) + faucardage des roselières de l'étang en technique curative.

**Commentaires :** forte tendance au comblement.

**Commune :** Charvieu-Chavagnieux (Rhône, 69)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** Batinet Département GEP Environnement - 5, rue Pierre Devaux - BP 24 - 69360 Sérézin-du-Rhône ; Tél 04 78 02 00 89

Produit fabriqué par ARM Biotechnologies



C. Nikon - IRAP

FICHE N° 38

FICHE N° 38

### DÉMARCHE, TRAITEMENT ET SUIVI MIS EN ŒUVRE

Devant le démarchage incessant des sociétés spécialisées dans les procédés de type bioadditifs auprès des présidents des AAPPMA du Département, la Fédération a décidé de **mettre au point une expérimentation grandeur nature de l'un de ces produits**. L'objectif est de tester et de valider un nouveau mode d'intervention sur les plans d'eau, procédé permettant une intervention sur le milieu plus douce par rapport aux techniques traditionnellement employées (herbicides, curage, dragage). Si ce type de traitement montre son efficacité, il pourra répondre à la problématique de comblement des milieux aquatiques et être appliqué à d'autres plans d'eau.

La partie traitée ne concerne qu'une petite surface de 1600 m<sup>2</sup> du plan d'eau choisi (témoin). Le diagnostic initial a permis de caractériser des vases putrides, noires, fluides et homogènes, composées en moyenne de 16 % de fraction organique et 84 % de fraction minérale.

Le traitement a consisté en deux applications du produit **Fixaflor Equilibre** (composition : squelette calcaire d'algues marines (Lithothamnium), bactéries non pathogènes, enzymes, matières azotées, substrats carbonés ; granulés gris), 80 kg mi-décembre 1999 (traitement curatif), puis 20 kg début avril 2000 (traitement d'entretien). Le traitement a été effectué par les techniciens de la Fédération, par épandage manuel depuis la berge.

La Fédération a mis au point et réalisé un **suivi technique** validé par la Société Lobial et qui consiste en 6 campagnes de mesures (réparties sur un an) des paramètres suivants : **hauteur et qualité des vases, descripteurs de la qualité du milieu (turbidité, t°C, O<sub>2</sub>, pH), état d'envahissement par les macrophytes**. L'évaluation de l'efficacité du procédé biologique a été conduite sur une période de **1 an** ; le seuil de validation fixé d'un commun accord entre les deux parties est basé sur une diminution de l'épaisseur des vases de plus de 30 %, et une diminution, voire une éradication des hydrophytes.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Après un an de traitement, on mesure une **diminution de la hauteur de vases de 4 cm en moyenne** par rapport à l'état initial (baisse de 44 %). Mais les analyses qualitatives des vases ne montrent aucune évolution significative dans la répartition entre fraction organique et fraction minérale. **La diminution de la hauteur d'envasement vient de l'effet « floculant » du support calcaire, qui provoque un tassement des vases.**

Au cours de la campagne de printemps, les premières observations font apparaître un début de **colonisation par la jussie, semblable à la situation avant traitement**. Ce constat a été confirmé lors des campagnes suivantes, malgré des conditions météorologiques défavorables au développement des plantes (pluies abondantes, températures fraîches, ensoleillement limité).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Ce type de traitement et de produit a montré **ses limites** : l'efficacité constatée ne dépasse pas celle d'un traitement à la craie (amélioration de la transparence par floculation des MES, tassement des vases). La fraction biologique du produit n'a pas supporté les conditions météorologiques particulièrement défavorables, cette année, sur les processus biologiques (mais la jussie, elle, était bien au rendez-vous !). L'efficacité des bioadditifs est reconnue dans les cas suivants : traitements des boues de STEP, milieu très pollué par des vases organiques, dopage initial du milieu (création d'un plan d'eau). **Mais les micro-organismes sont trop tributaires des conditions écologiques pour que ce type de procédé soit étendu aux milieux aquatiques naturels.**

### CONTEXTE

Il s'agit d'une ancienne tourbière marquée par des épisodes de remblaiement, l'exploitation de la tourbe n'ayant présenté qu'un caractère occasionnel. Le dernier curage en 1989 a permis de reformer un plan d'eau à vocation naturaliste avec la préservation de zones de tranquillité pour la faune, la limitation des empoisonnements et des emplacements de pêche, et la mise en œuvre d'un projet pédagogique avec les écoles.

**Problèmes observés :**

- sédiment compact et fortement chargé en matière organique (60 %) ;
- charge interne en phosphore due à la tourbe, prépondérante par rapport aux apports externes ;
- densification et extension des roselières sur les îlots laissés en place pour garantir le statut des oiseaux d'eau ;
- développement des formations à grandes laiches sur une rive (indicateur du processus d'atterrissement) ;
- extension lente des peuplements arbustifs en bordure des îlots (saule cendré).

### TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE

Traitement par voie **biotechnologique** dans un but **purement préventif** : piégeage des phosphates et tassement de la vase par le support minéral ; élimination des composés azotés par les micro-organismes.

Traitement curatif par faucardage léger des roselières de l'étang.

### RÉSULTATS À COURT TERME

La société n'a **pas réalisé d'analyses** (teneur en phosphore dans l'eau, épaisseur de vases ...) à la suite du traitement ce qui ne permet pas d'évaluer son efficacité. Il est probable qu'un seul traitement préventif ne permet pas de régler le problème du relargage en phosphore. Le seul résultat visible sur le plan d'eau (=réduction des roselières sur le pourtour des îlots) incombe au faucardage.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Les propositions de gestion du plan d'eau pour les années suivantes ne concernent que des techniques de faucardage à réaliser tous les 1 à 2 ans pour affaiblir la roselière. Aucune proposition de traitement par voie biotechnologique n'est reconduite. Cette technique ne semble **pas avoir été convaincante** pour lutter même de manière préventive contre l'eutrophisation du plan d'eau.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Aucun vis à vis des bioadditifs ; satisfaits par le résultat du faucardage (n'ont pas choisi le curage pour une raison économique).

Taille petite à moyenne.  
Accumulation de sédiments dont le taux de matière organique est supérieur à 20%.

Envasement (et phénomènes associés : anoxie, rétrogradation de composés indésirables,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ...).  
Faible transparence de l'eau.

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

Introduction dans les sédiments de bactéries capables de reminéraliser la matière organique qu'ils contiennent, afin de tasser les sédiments et réduire la désoxygénation des eaux du fond (par limitation des échanges eau-sédiment due à la fois à la barrière physique constituée par le produit et la diminution de matière organique dans le sédiment). La technique consiste à épandre dans le plan d'eau les bactéries fixées sur un substrat : sels de calcium (ex : craie, chaux) ou silicate d'alumine.

## MISE EN ŒUVRE

- Les produits peuvent être épandus en l'état ou après dilution pour réactiver le produit biologique et faciliter l'épandage : dans ce cas la dilution se fait du 1/3 au 1/10e avec de l'eau provenant du milieu à traiter - on laisse reposer 6 à 48h à température 18 à 35°C avant l'ensemencement.

- L'épandage peut se faire :
  - par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
  - par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
  - sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
  - par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

- Dosage : varie selon les produits de 15 à 500 g/m<sup>2</sup> (soit 0,15 à 5 t/ha et 10<sup>7</sup> à 10<sup>10</sup> bactéries/m<sup>2</sup>).

- Les traitements s'appliquent au printemps ou à l'automne, périodes où les conditions de température et d'oxygène dissous sont plus favorables aux micro-organismes.

- La durée de mise en œuvre est variable selon la taille du plan d'eau (environ 0,5j/ha).

## DÉTAIL DE MISE EN ŒUVRE

### MODE D'ACTION THÉORIQUE

#### Le substrat permet :

- d'absorber les matières organiques (éclaircissement de l'eau) ;
- de fixer les bactéries et donc d'éviter leur dispersion (niches écologiques) ;
- d'augmenter les vitesses de réaction.

#### Les additifs bactériens (selon le type) :

- hydrolysent les polymères organiques insolubles en composés plus simples ;
- décomposent la matière organique ;
- activent la dénitrification (élimination de l'N) ;
- catalysent la floculation ;
- rentrent en compétition avec des organismes nuisibles.

### PRINCIPAUX MICRO-ORGANISMES UTILISÉS

*Nitrobacter* : Oxyde les nitrites en nitrates ( Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100 ; Ecolyte MX 200 )

*Nitrosomonas sp.* : Oxyde l'ammoniaque en nitrites (Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100)

*Pseudomonas sp.* : Oxyde les matières organiques dissoutes ( Fixaflor ; Ecolyte MX20 , CX70 ; Aquakalgon+ ; Biolen ; Aquaclear ; Bacta-Pur S ; ARM )

*Bacillus sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( SKND ; ARM ; Bacta-Pur S ; Aquakalgon+ ; Ecolyte MX20 )

*Serratia sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ )

*Enterobacter* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ Bactapur S )

### PRINCIPAUX SUBSTRATS UTILISÉS

*Craie à coccolithes* : constituée de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)

*Lithothamne* : constitué de carbonates (93,7%) dont CaO et MgO.

*Zéolithes* : constituées de matériaux volcaniques altérés (Chabazite ; Clinoptilolite ; Phillipsite).

*Argiles kaoliniques* : constitué de  $\text{SiO}_2$  (> 50%) ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22 à 45%) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$  (5 à 18 %) (ex : Bioprogram , Eparcyl ).

### COMPOSITION

Les bactéries proviennent d'une sélection effectuée en réalisant des cultures successives de souches bactériennes sur des milieux contenant des concentrations croissantes en substrat (le substrat étant le plus proche des produits à dégrader). Seules les souches les plus performantes sont conservées.

Elles sont maintenues sous une forme inactivée rapidement revivifiable grâce à des techniques de lyophilisation, de centrifugation ou de déshydratation lente et sont déposées sur un substrat.

Le substrat solide sur lequel sont fixés les microorganismes évite une dispersion de ceux-ci lors de l'épandage. La fixation des bactéries sur le support est une phase assez longue qui se déroule préférentiellement lors de leur phase exponentielle de croissance.

Des enzymes peuvent être ajoutées pour hydrolyser les molécules complexes en molécules plus simples assimilables par les bactéries.

Des nutriments et oligoéléments sont parfois ajoutés au bioadditif de manière à rééquilibrer le milieu.

D'autres produits tels que des agents tensioactifs, des biocides ou des agents de conservation peuvent être ajoutés.

## EFFICACITÉ

D'une manière générale, l'efficacité de ces produits est très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse.

⇒ efficacité immédiate mais temporaire vis à vis de l'éclaircissement des eaux (liée au support minéral et non à l'action bactérienne) ;

⇒ efficacité variable vis à vis de la diminution de l'envasement (à condition que les teneurs en matières organiques soient importantes, que les conditions de température et d'oxygénation soient respectées ...) et en tous les cas, limitée en intensité.

Cette efficacité dépend théoriquement d'une part de la formulation (bioadditif à large spectre d'action ou à action spécifique), de la concentration bactérienne dans les produits fixés (varie entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>7</sup> bactéries/g) mais surtout de la concentration en bactéries revivifiables qui en moyenne d'après des tests en laboratoire n'est que de 10<sup>2</sup> bactéries/g (alors qu'en surface d'un sédiment moyennement eutrophe, il y en a 10<sup>9</sup>). La qualité du produit dépend aussi beaucoup de l'état physiologique des micro-organismes avant conservation.

## AVANTAGES ...

- + coût réduit ;
- + facilité de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité ;
- réduction de l'efficacité par la dispersion du produit par les courants ; taux de survie des bactéries non connu après ensemencement ;
- les essais où le produit atteint effectivement le sédiment ont des doses 5 à 50 fois supérieures aux doses préconisées.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## TECHNIQUE CONTROVERSÉE NÉCESSITANT UNE DÉFINITION TRÈS PRÉCISE DES OBJECTIFS À ATTEINDRE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DUTARTRE A., GOUBAULT DE BRUGIERE O., 1996. Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques. CEMAGREF - Agence de l'eau, étude inter-agence n°47. 145 p.

## COÛT

- 15 000 à 35 000 FHT/ha pour les techniques les plus simples (ensemencement manuel, aspersion) ;
- 30 000 à 240 000 FHT/ha pour les techniques plus complexes (aspiration/refoulement, canon à poudre) ;

Comprenant les analyses de départ et la surveillance technique lors de l'épandage.

## ÉTANG DE L'ABBAYE AUX BOIS

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 40 000m<sup>3</sup>      **Surface :** 2 ha

**Profondeur :** 2 m (moy)      **Type :** artificiel

**Usages :** écrêtage des crues, pêche (alevinage arrêté depuis 1998)

**Quelques informations sur le bassin versant :** surverses de réseaux unitaires d'eaux usées (en temps sec et temps de pluie). Eaux de ruissellement non traitées au carrefour de voies rapides.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envasement important, eaux vertes, mauvaises odeurs (été), mauvaise qualité générale des eaux (excès d'ammonium, pollution bactérienne) ; à l'origine d'une très faible productivité piscicole.

**Date et coût du traitement :** 1999, 4,5 T poudre polybio "lac" (micro-organismes fixés sur supports minéraux : CaCO<sub>3</sub> marin + pierres volcaniques poreuses). 165 000 F HT (analyses comprises).

**Mise en œuvre :** épandage par bateau, à la pelle, en 2 fois (juin et septembre), sur toute la surface du plan d'eau.

**Commune :** Bièvres (Essonne, 91)

**Propriétaire et gestionnaire :** Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de la Vallée de la Bièvre (SIAVB)

**Société ayant réalisé les travaux :** Label Systèmes, 1 pl. Ch. de Gaulle, 78 000 Saint Quentin en Yvelines.

Etat initial et contre-expertise (3 mois et 1 an après) par Eco Environnement Ingénierie.

## L'ÉTANG BLEU

## CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 26 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 1,2 ha

**Profondeur :** 2 m      **Type :** Gravière (bord du Rhône)

**Usages :** Loisirs, baignade, pêche

**Quelques informations sur le bassin versant :** Travaux de réhaussement du niveau du Rhône augmentant les infiltrations des eaux du Rhône vers le lac.

**Problèmes identifiés sur le lac :** Trouble de l'eau et développement de phytoplancton en période estivale dégradant la qualité des eaux de baignade et dégradant son aspect esthétique (disparition de la couleur bleue).

**Date et coût du traitement :** juin et août 1991 puis avril 1992 : bioadditifs. Trois traitements : 124 000 F HT (analyses comprises).

1992 : réhaussement du niveau ; aspirodragage des sédiments ; introduction de carpes chinoises.

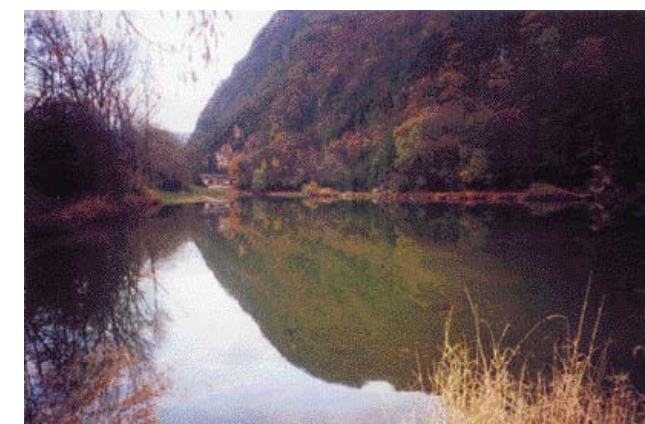
**Mise en œuvre :** aspersion en 2 fois de 2 T d'Aquakalgon (bioadditif fixé sur un substrat calcaire et silicate d'alumine) en 1991, puis 1,5 T en 1992.

**Commune :** Vions (Savoie, 73)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Compagnie Nationale du Rhône (Belley)

**Société ayant réalisé les travaux :** Codabio CD4 ZI Estressin - 38 220 Vienne.



C. Nivon - IRAP

## CONTEXTE

Ce plan d'eau en tête de bassin versant de la Bièvre est traversé par un affluent, la Sygrie, qui apporte eaux usées et ruissellements routiers non traités ; les vases du fond sont riches en hydrocarbures et métaux lourds. La situation est celle d'un plan d'eau très eutrophe, voire dystrophe, se traduisant par des phénomènes d'**anoxie du fond**, de **fermentation** et de **relargage de phosphore, d'ammoniaque et de métaux lourds**.

Tout curage ne peut être envisagé sur ce plan d'eau en raison de la présence de nombreuses sources, de sols sablonneux rendant non négligeable le risque de glissement de terrains. De plus, un différent foncier compromet le stockage (et la décantation) des boues dans l'environnement du plan d'eau.

## RÉSULTATS À COURT TERME

Au cours du traitement, des observations visuelles ont révélé un **éclaircissement des eaux** et une **élimination des mauvaises odeurs**. Des analyses intermédiaires des boues montrent une **très bonne dégradation des hydrocarbures** (84 à 91%), une **baisse significative de la hauteur de boues** (40 %), liée à leur tassement (50 % d'eau libérée) et à la dégradation de la fraction organique (rendement variant entre 13 et 60 %). Les variations de rendement observées viennent de l'hétérogénéité de la couche de boues, de l'épandage aléatoire à la pelle et de l'activité des micro-organismes limitée par le taux d'oxygénation du fond.

## RÉSULTATS À LONG TERME

Suite aux ensemencements bactériens, l'**oxygénation globale du milieu** s'est nettement **améliorée** entre les campagnes d'analyses de juin 1999 et de juin 2000. Le volume de vase a également nettement diminué en bordure. La vase restante apparaît **moins putride**. Globalement, la qualité des eaux et la qualité du fond de l'étang se sont améliorées. Toutefois, les apports polluants non traités continuent à perturber le milieu et minimisent l'action positive des ensemencements bactériens de 1999. **Tant que ces apports ne seront pas maîtrisés, la qualité de l'étang se dégradera à nouveau**.

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

**Le traitement par les bioadditifs a permis d'améliorer immédiatement la transparence de l'eau et de réduire l'épaisseur des vases**. Il ne permet pas par contre d'éliminer la totalité des vases, la fraction organique étant seule visée par cette technique (contrairement à un curage). Son effet est malheureusement temporaire, l'action des micro-organismes étant contrecarrée par l'arrivée de toute nouvelle pollution et nécessitant de renouveler régulièrement l'ensemencement. Seule la limitation des apports polluants du bassin versant permettra d'améliorer durablement la situation de ce plan d'eau (amélioration des réseaux d'assainissement en cours dans le cadre d'un Contrat de Bassin).

## CONTEXTE

Etang créé lors de la construction d'une digue de protection pour la voie ferrée Culoz-Chambéry. Son niveau suivait avec un petit décalage celui du Rhône. Au début des années 80, la CNR est intervenue pour **relever le niveau du Rhône** (production hydroélectrique). Les infiltrations du Rhône vers l'étang Bleu se sont accrues, ainsi que les **apports en éléments nutritifs**, provoquant une **eutrophisation** du plan d'eau.

**Problèmes observés :**

- baisse de la **transparence** de l'eau due au développement de phytoplancton (diatomées et chlorophycées) ;
- **perte** de la **couleur bleue** (avis des riverains) ;
- teneurs faibles en **oxygène** dans le fond du plan d'eau et élevées en surface.

## TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Traitement par voie **biotechnologique** par épandage de 2 000 kg d'Aquakalgon (1991) puis de 1 500 kg (1992) sur toute la surface de l'étang. Dosage : ~ 0,15 kg / m<sup>2</sup>.

## RÉSULTATS À COURT TERME

**Amélioration temporaire** de la transparence de l'eau due au substrat calcaire qui, par floculation, fait sédimenter les matières en suspension et le phytoplancton. Mais dès août 1991 le développement du 2<sup>e</sup> pic saisonnier de phytoplancton entraîne le trouble de l'eau.

## RÉSULTATS À LONG TERME

**Nul**. Depuis 1992 la CNR a mis en œuvre de nombreux autres traitements dont un dragage complet du plan d'eau et un colmatage des infiltrations par les eaux du Rhône, qui ont eu des effets plus significatifs (retour à une autonomie physico-chimique et amélioration de la transparence des eaux).

## AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La CNR considère que le traitement aux bioadditifs n'a eu qu'un **effet temporaire**. Les usagers ont continué à se plaindre après les traitements ce qui a poussé la CNR à mettre en place de **nouveaux traitements**, plus efficaces.

Une analyse faite par l'INRA de Thonon en 1994 indique que le plan d'eau est passé du **stade** original de **gravier** à celui d'**étang** de manière normale même si le phénomène a été accéléré par des perturbations externes. Aujourd'hui, il n'est plus possible de retrouver naturellement la couleur bleue de l'étang.

Taille petite à moyenne.  
Accumulation de sédiments dont le taux de matière organique est supérieur à 20%.

Envasement (et phénomènes associés : anoxie, rétrogradation de composés indésirables,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ...).  
Faible transparence de l'eau.

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

Introduction dans les sédiments de bactéries capables de reminéraliser la matière organique qu'ils contiennent, afin de tasser les sédiments et réduire la désoxygénation des eaux du fond (par limitation des échanges eau-sédiment due à la fois à la barrière physique constituée par le produit et la diminution de matière organique dans le sédiment). La technique consiste à épandre dans le plan d'eau les bactéries fixées sur un substrat : sels de calcium (ex : craie, chaux) ou silicate d'alumine.

## MISE EN ŒUVRE

- Les produits peuvent être épandus en l'état ou après dilution pour réactiver le produit biologique et faciliter l'épandage : dans ce cas la dilution se fait du 1/3 au 1/10e avec de l'eau provenant du milieu à traiter - on laisse reposer 6 à 48h à température 18 à 35°C avant l'ensemencement.

- L'épandage peut se faire :
  - par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
  - par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
  - sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
  - par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

- Dosage : varie selon les produits de 15 à 500 g/m<sup>2</sup> (soit 0,15 à 5 t/ha et 10<sup>7</sup> à 10<sup>10</sup> bactéries/m<sup>2</sup>).

- Les traitements s'appliquent au printemps ou à l'automne, périodes où les conditions de température et d'oxygène dissous sont plus favorables aux micro-organismes.

- La durée de mise en œuvre est variable selon la taille du plan d'eau (environ 0,5j/ha).

## DÉTAIL DE MISE EN ŒUVRE

### MODE D'ACTION THÉORIQUE

#### Le substrat permet :

- d'absorber les matières organiques (éclaircissement de l'eau) ;
- de fixer les bactéries et donc d'éviter leur dispersion (niches écologiques) ;
- d'augmenter les vitesses de réaction.

#### Les additifs bactériens (selon le type) :

- hydrolysent les polymères organiques insolubles en composés plus simples ;
- décomposent la matière organique ;
- activent la dénitrification (élimination de l'N) ;
- catalysent la floculation ;
- rentrent en compétition avec des organismes nuisibles.

### PRINCIPAUX MICRO-ORGANISMES UTILISÉS

*Nitrobacter* : Oxyde les nitrites en nitrates ( Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100 ; Ecolyte MX 200 )

*Nitrosomonas sp.* : Oxyde l'ammoniaque en nitrites (Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100)

*Pseudomonas sp.* : Oxyde les matières organiques dissoutes ( Fixaflor ; Ecolyte MX20 , CX70 ; Aquakalgon+ ; Biolen ; Aquaclear ; Bacta-Pur S ; ARM )

*Bacillus sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( SKND ; ARM ; Bacta-Pur S ; Aquakalgon+ ; Ecolyte MX20 )

*Serratia sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ )

*Enterobacter* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ Bactapur S )

### PRINCIPAUX SUBSTRATS UTILISÉS

*Craie à coccolithes* : constituée de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)

*Lithothamne* : constitué de carbonates (93,7%) dont CaO et MgO.

*Zéolithes* : constituées de matériaux volcaniques altérés (Chabazite ; Clinoptilolite ; Phillipsite).

*Argiles kaoliniques* : constitué de  $\text{SiO}_2$  (> 50%) ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22 à 45%) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$  (5 à 18 %) (ex : Bioprolog , Eparcyl ).

### COMPOSITION

Les bactéries proviennent d'une sélection effectuée en réalisant des cultures successives de souches bactériennes sur des milieux contenant des concentrations croissantes en substrat (le substrat étant le plus proche des produits à dégrader). Seules les souches les plus performantes sont conservées.

Elles sont maintenues sous une forme inactivée rapidement revivifiable grâce à des techniques de lyophilisation, de centrifugation ou de déshydratation lente et sont déposées sur un substrat.

Le substrat solide sur lequel sont fixés les microorganismes évite une dispersion de ceux-ci lors de l'épandage. La fixation des bactéries sur le support est une phase assez longue qui se déroule préférentiellement lors de leur phase exponentielle de croissance.

Des enzymes peuvent être ajoutées pour hydrolyser les molécules complexes en molécules plus simples assimilables par les bactéries.

Des nutriments et oligoéléments sont parfois ajoutés au bioadditif de manière à rééquilibrer le milieu.

D'autres produits tels que des agents tensioactifs, des biocides ou des agents de conservation peuvent être ajoutés.

## EFFICACITÉ

D'une manière générale, l'efficacité de ces produits est très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse.

⇒ efficacité immédiate mais temporaire vis à vis de l'éclaircissement des eaux (liée au support minéral et non à l'action bactérienne) ;

⇒ efficacité variable vis à vis de la diminution de l'envasement (à condition que les teneurs en matières organiques soient importantes, que les conditions de température et d'oxygénation soient respectées ...) et en tous les cas, limitée en intensité.

Cette efficacité dépend théoriquement d'une part de la formulation (bioadditif à large spectre d'action ou à action spécifique), de la concentration bactérienne dans les produits fixés (varie entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>7</sup> bactéries/g) mais surtout de la concentration en bactéries revivifiables qui en moyenne d'après des tests en laboratoire n'est que de 10<sup>2</sup> bactéries/g (alors qu'en surface d'un sédiment moyennement eutrophe, il y en a 10<sup>9</sup>). La qualité du produit dépend aussi beaucoup de l'état physiologique des micro-organismes avant conservation.

## AVANTAGES ...

- + coût réduit ;
- + facilité de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité ;
- réduction de l'efficacité par la dispersion du produit par les courants ; taux de survie des bactéries non connu après ensemencement ;
- les essais où le produit atteint effectivement le sédiment ont des doses 5 à 50 fois supérieures aux doses préconisées.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## TECHNIQUE CONTROVERSÉE NÉCESSITANT UNE DÉFINITION TRÈS PRÉCISE DES OBJECTIFS À ATTEINDRE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DUTARTRE A., GOUBAULT DE BRUGIERE O., 1996. Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques. CEMAGREF - Agence de l'eau, étude inter-agence n°47. 145 p.

## COÛT

- 15 000 à 35 000 FHT/ha pour les techniques les plus simples (ensemencement manuel, aspersion) ;
- 30 000 à 240 000 FHT/ha pour les techniques plus complexes (aspiration/refoulement, canon à poudre) ;

Comprenant les analyses de départ et la surveillance technique lors de l'épandage.

## PLAN D'EAU DE LA BALLASTIÈRE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 250 000 m<sup>3</sup>      **Surface :** 8,74 ha  
**Profondeur :** 2 à 3,6 m      **Type :** ancienne sablière (1905)  
**Usages :** base de loisirs (canoë, aviron planche à voile), pêche, esthétique et agrément (jet d'eau de 21 m haut)

**Quelques informations sur le bassin versant :** Néant en absence d'étude spécifique ; BV très urbanisé (9000 hab.) et à vocation industrielle passée (sidérurgie, cockerie). Le plan d'eau environné de 14 ha d'espaces verts est le « poumon vert » de la ville.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envasement important (0,8 à 1,6 m), eaux turbides (MES + phytoplancton), gênant considérablement les activités de loisirs (plongée notamment).

**Date et coût du traitement :** juillet 1997 à juillet 1999, 2 applications par an (avril et juin) de solution Aquaclean (4000 l) + suivi analytique de l'eau et des boues (hauteur et taux de minéralisation sur 20 points de sondage), 500 KF TTC.

**Mise en œuvre :** épandage au plus proche du fond du produit liquide à l'aide d'une rampe perforée et plombée. conditions optimales = eau à au moins 17 °C.

**Commune :** Hagondange (Moselle, 57)

**Propriétaire :** Commune

**Gestionnaire :** Commune

**Société ayant réalisé les travaux :** Tec Bio, les Grands Moulins, Aubry, BP 75, 54 203 Toul Cedex. (+ suivi)

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

ÉTUDES SUR L'EAU EN FRANCE N° 83 - AIDE À LA DÉCISION POUR LE TRAITEMENT DES PLANS D'EAU

## BRAS MORT DE L'ORGE

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume :** 360 m<sup>3</sup>      **Surface :** 300 m<sup>2</sup>  
**Profondeur :** 1,2 m (moy)      **Type :** bras mort  
**Usages :** rôle écologique et hydraulique vis à vis de la rivière principale

**Quelques informations sur le bassin versant :** milieux aquatiques très envasés en relation avec leur eutrophisation très avancée (BV aval très urbanisé, lessivage des surfaces agricoles amont, berges instables) ; proliférations végétales.

**Problèmes identifiés sur le lac :** envasement au centre de 40-60 cm, odeurs prononcées en été ; bras essentiellement alimenté par les eaux pluviales.

**Date et coût du traitement :** 1997, 3 applications (mai, juin et juillet) de 60 l de solution d'Aquaclean S (souches bactériennes) ; traitement réalisé à titre gracieux.

**Commentaires :** organisation d'un suivi par le SIVOA (3 campagnes) portant sur l'évolution de la hauteur de vases et les caractéristiques chimiques de l'eau et des sédiments :

- 1 campagne avant traitement (fin avril 1997),
- 2 campagnes après traitement (fin juin et début octobre 1997).

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Concernant les paramètres de la qualité de l'eau** (pH, conductivité, phosphore (Pt), NH<sub>4</sub>, NTK, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, DCO), il n'y a **pas d'évolution significative** de ces paramètres, hormis les fluctuations classiquement observées sur un cycle annuel et liées aux conditions météorologiques des campagnes : périodes pluvieuses lors des deux premières campagnes et période très sèche pour la dernière campagne.

#### Concernant les caractéristiques des sédiments :

- **aspect qualitatif :** on note une baisse de la teneur en eau de 15 %, et une baisse de la teneur en matières organiques de 45 % ;
- **aspect quantitatif :** on note une réduction de l'épaisseur moyenne de sédiments de 1,7 cm (soit - 5 %), liée à la diminution significative des sédiments les plus fermes de la sous-couche (-3,8 cm, -23 %).

Les plaintes des riverains témoignent de problèmes d'odeurs inchangés. Au cours de chaque campagne, des dégagements d'H<sub>2</sub>S ont été observés.

### RÉSULTATS À LONG TERME

Le SIVOA avait envisagé de refaire une campagne de mesures en avril 1998, pour voir l'évolution des paramètres du milieu un an après le traitement ; mais cette campagne n'a pas été effectuée.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

**Concernant l'approche scientifique de l'efficacité du traitement**, certains éléments pourraient être attribués au traitement comme le **gonflement de la couche superficielle (augmentation de l'activité bactérienne) ou la réduction des teneurs en eau et en matières organiques (minéralisation accélérée)**. Toutefois, ces évolutions peuvent être **également attribuables aux évolutions naturelles du milieu au cours du cycle saisonnier** : léger tassement et réduction des teneurs en matière organique des sédiments engendrés par les réactions de décomposition et de minéralisation qui se produisent en été ; augmentation des épaisseurs et de la matière organique suite aux apports saisonniers de l'automne et de l'hiver. **Ainsi, il aurait été préférable d'avoir un milieu de référence non traité, ce qui n'a pas pu être le cas ici.**

**Concernant l'approche de gestion sur l'utilisation potentielle de ce type de traitement** aux milieux, les modifications mesurées, si elles sont attribuables aux bioadditifs, sont trop peu marquées pour être adoptées par un gestionnaire, comme technique alternative au curage, par exemple : -1,7 cm sur 36 cm d'épaisseur de sédiments et pas de modification concernant les dégagements d'odeurs.

### CONTEXTE

Depuis sa création (après 1905), le plan d'eau de la Ballastière n'avait jamais été curé, expliquant son taux d'envasement important. Une **mortalité piscicole conséquente (2500 kg)** suite à un orage, en **août 1996**, survenant après une longue période de sécheresse (étiage sévère) a entraîné une réflexion quant à cette situation.

Dans l'objectif de **réduire, voire éliminer les vases**, « sources de tous ces maux », les gestionnaires municipaux ont envisagé 3 possibilités de traitement : dragage à la pelle mécanique, aspiroragage et traitement biologique (accélération du processus de minéralisation). Les deux premières propositions soulevant trop d'interrogations concernant le devenir des boues de curage, la troisième technique a été **retenue essentiellement pour son coût moindre, sa discrétion et sa facilité d'exécution**.

### RÉSULTATS À COURT TERME

Le suivi réalisé par Tec Bio depuis 1997 montre :

- une **réduction significative de la hauteur de vases**, de 1,6 - 0,8 m en 1997 à 0,8 - 0,2 m en 1999 ;
- une **amélioration de la transparence** : de 0,45 m à 1,90 m entre 1997 et 1999 ;
- pas de dommages apparents sur la macrofaune ; la vie piscicole semble avoir profité du traitement (augmentation du frai naturel).

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le gestionnaire est **totalelement convaincu par cette technique** puisqu'elle a répondu aux exigences : diminution de l'épaisseur de vases et augmentation de la transparence (eaux conformes aux normes de baignade) avec une mise en œuvre simple et discrète.

Il reçoit désormais de nombreux maires d'autres communes, à la recherche de conseils pour des problèmes similaires sur leur plan d'eau. D'après le gestionnaire, le plan d'eau de la Ballastière n'est **pas sujet à l'eutrophisation ou à la dystrophisation** (qui se traduit par des proliférations de la biomasse, une stratification thermique et une désoxygénation estivale de l'hypolimnion). Son comblement est un processus naturel (âge, absence de tout curage depuis sa création) et ne traduit aucun dysfonctionnement. La situation catastrophique de 1996 est la résultante d'une accumulation de facteurs défavorables, à caractère exceptionnel.

Taille petite à moyenne.

Accumulation de sédiments dont le taux de matière organique est supérieur à 20%.

Envasement (et phénomènes associés : anoxie, rétrogradation de composés indésirables,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ...).

Faible transparence de l'eau.

## PRINCIPE ET OBJECTIFS

Introduction dans les sédiments de bactéries capables de reminéraliser la matière organique qu'ils contiennent, afin de tasser les sédiments et réduire la désoxygénation des eaux du fond (par limitation des échanges eau-sédiment due à la fois à la barrière physique constituée par le produit et la diminution de matière organique dans le sédiment). La technique consiste à épandre dans le plan d'eau les bactéries fixées sur un substrat : sels de calcium (ex : craie, chaux) ou silicate d'alumine.

## MISE EN ŒUVRE

- Les produits peuvent être épandus en l'état ou après dilution pour réactiver le produit biologique et faciliter l'épandage : dans ce cas la dilution se fait du 1/3 au 1/10e avec de l'eau provenant du milieu à traiter - on laisse reposer 6 à 48h à température 18 à 35°C avant l'ensemencement.

- L'épandage peut se faire :
  - par déversement régulier de sacs de produits depuis la surface au dessus du plan d'eau ou au fond des affluents du plan d'eau ;
  - par dispersion avec un canon à poudre depuis un camion-citerne sur la berge ou une barge flottante ;
  - sous forme de lait par déversement ou aspersion ;
  - par pompage des produits dilués ou non à partir d'une citerne directement sous la surface.

- Dosage : varie selon les produits de 15 à 500 g/m<sup>2</sup> (soit 0,15 à 5 t/ha et 10<sup>7</sup> à 10<sup>10</sup> bactéries/m<sup>2</sup>).

- Les traitements s'appliquent au printemps ou à l'automne, périodes où les conditions de température et d'oxygène dissous sont plus favorables aux micro-organismes.

- La durée de mise en œuvre est variable selon la taille du plan d'eau (environ 0,5j/ha).

## DÉTAIL DE MISE EN ŒUVRE

### MODE D'ACTION THÉORIQUE

**Le substrat permet :**

- d'absorber les matières organiques (éclaircissement de l'eau) ;
- de fixer les bactéries et donc d'éviter leur dispersion (niches écologiques) ;
- d'augmenter les vitesses de réaction.

**Les additifs bactériens (selon le type) :**

- hydrolysent les polymères organiques insolubles en composés plus simples ;
- décomposent la matière organique ;
- activent la dénitrification (élimination de l'N) ;
- catalysent la floculation ;
- rentrent en compétition avec des organismes nuisibles.

### PRINCIPAUX MICRO-ORGANISMES UTILISÉS

*Nitrobacter* : Oxyde les nitrites en nitrates ( Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100 ; Ecolyte MX 200 )

*Nitrosomonas sp.* : Oxyde l'ammoniaque en nitrites (Bacta-Pur ; ARM ; Biolen IN100)

*Pseudomonas sp.* : Oxyde les matières organiques dissoutes ( Fixaflor ; Ecolyte MX20 , CX70 ; Aquakalgon+ ; Biolen ; Aquaclear ; Bacta-Pur S ; ARM )

*Bacillus sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( SKND ; ARM ; Bacta-Pur S ; Aquakalgon+ ; Ecolyte MX20 )

*Serratia sp.* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ )

*Enterobacter* : Réduit les nitrates en nitrites ( Aquakalgon+ Bactapur S )

### PRINCIPAUX SUBSTRATS UTILISÉS

*Craie à coccolithes* : constituée de  $\text{CaCO}_3$  (99,5%) et  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (< 0,5%) (ex: Nautex)

*Lithothamne* : constitué de carbonates (93,7%) dont CaO et MgO.

*Zéolithes* : constituées de matériaux volcaniques altérés (Chabazite ; Clinoptilolite ; Phillipsite).

*Argiles kaoliniques* : constitué de  $\text{SiO}_2$  (> 50%) ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22 à 45%) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$  (5 à 18 %) (ex : Bioprolog , Eparcyl ).

### COMPOSITION

**Les bactéries** proviennent d'une **sélection** effectuée en réalisant des cultures successives de souches bactériennes sur des milieux contenant des concentrations croissantes en substrat (le substrat étant le plus proche des **produits à dégrader**). Seules les souches les plus performantes sont conservées.

Elles sont maintenues sous une forme inactivée rapidement revivifiable grâce à des techniques de lyophilisation, de centrifugation ou de déshydratation lente et sont déposées sur un substrat.

**Le substrat** solide sur lequel sont fixés les microorganismes évite une dispersion de ceux-ci lors de l'épandage. La fixation des bactéries sur le support est une phase assez longue qui se déroule préférentiellement lors de leur phase exponentielle de croissance.

**Des enzymes** peuvent être ajoutées pour hydrolyser les molécules complexes en molécules plus simples assimilables par les bactéries.

**Des nutriments et oligoéléments** sont parfois ajoutés au bioadditif de manière à rééquilibrer le milieu.

**D'autres produits** tels que des agents tensioactifs, des biocides ou des agents de conservation peuvent être ajoutés.

## EFFICACITÉ

D'une manière générale, l'efficacité de ces produits est très variable, généralement peu mise en évidence et toujours sujette à controverse.

⇒ efficacité immédiate mais temporaire vis à vis de l'éclaircissement des eaux (liée au support minéral et non à l'action bactérienne) ;

⇒ efficacité variable vis à vis de la diminution de l'envasement (à condition que les teneurs en matières organiques soient importantes, que les conditions de température et d'oxygénation soient respectées ...) et en tous les cas, limitée en intensité.

Cette efficacité dépend théoriquement d'une part de la **formulation** (*bioadditifs à large spectre d'action ou à action spécifique*), de la **concentration bactérienne** dans les produits fixés (*varie entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>7</sup> bactéries/g*) mais surtout de la **concentration en bactéries revivifiables** qui en moyenne d'après des tests en laboratoire n'est que de 10<sup>2</sup> bactéries/g (alors qu'en surface d'un sédiment moyennement eutrophe, il y en a 10<sup>9</sup>). La qualité du produit dépend aussi beaucoup de l'état physiologique des micro-organismes avant conservation.

## AVANTAGES ...

- + coût réduit ;
- + facilité de mise en œuvre.

## ... INCONVÉNIENTS

- faible fiabilité et forte variabilité de l'efficacité ;
- réduction de l'efficacité par la dispersion du produit par les courants ; taux de survie des bactéries non connu après ensemencement ;
- les essais où le produit atteint effectivement le sédiment ont des doses 5 à 50 fois supérieures aux doses préconisées.

## RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

## TECHNIQUE CONTROVERSÉE NÉCESSITANT UNE DÉFINITION TRÈS PRÉCISE DES OBJECTIFS À ATTEINDRE

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DUTARTRE A., GOUBAULT DE BRUGIERE O., 1996. Référentiel de l'utilisation des bioadditifs dans les milieux aquatiques. CEMAGREF - Agence de l'eau, étude inter-agence n°47. 145 p.

## COÛT

- 15 000 à 35 000 FHT/ha pour les techniques les plus simples (ensemencement manuel, aspersion) ;
- 30 000 à 240 000 FHT/ha pour les techniques plus complexes (aspiration/refoulement, canon à poudre) ;

Comprenant les analyses de départ et la surveillance technique lors de l'épandage.

## PLAN D'EAU DE RATINTOUT

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 30 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 1,1 ha  
**Profondeur** : 5 m (moy)      **Type** : Ancienne gravière  
**Usages** : Loisirs : promenade et essentiellement pêche.

### Quelques informations sur le bassin versant :

Néant.

**Problèmes identifiés sur le lac** : taux élevés en fertilisants (P et N). Envahissement par les plantes (myriophylles, Cresson de cheval) et les algues filamenteuses gênant l'activité pêche.

**Date et coût du traitement** : Août/septembre 1999 : épannage d'algicides, herbicides et bioadditifs (24 000 F TTC au total).

**Commentaires** : Ancienne gravière mais présence de sources naturelles.

**Commune** : Ostricourt (Pas-de-Calais, 62)  
**Propriétaire** : Commune  
**Gestionnaire** : Commune et société de pêche.  
**Société ayant réalisé les travaux** : Vitalize Environnement - 48, rue Gustave Nadaud - 59 000 Lille.



C. Nixen - IRAP

## ÉTANG DU MOULIN NEUF

### CARACTÉRISTIQUES DU PLAN D'EAU

**Volume** : 15 000 m<sup>3</sup>      **Surface** : 1 ha  
**Profondeur** : 1,5 m (moy)      **Type** : ancien bief (fin 19e s.)  
**Usages** : pêche (plan d'eau fédéral), pisciculture (à l'amont)

**Quelques informations sur le bassin versant** : Néant en l'absence d'étude spécifique sur le sujet. A noter à l'amont immédiat du plan d'eau, la présence d'une pisciculture fédérale (Salmonidés) connectée au plan d'eau par un canal central (rôle de "bassin" de transit).

**Problèmes identifiés sur le plan d'eau** : développement estival d'algues vertes filamenteuses (sur toute la surface) et de macrophytes (potamots, myriophylles) à l'aval, empêchant la pratique de la pêche ; épaisseur de vase importante.

**Date et coût du traitement** : oct. 95 à juin 99, application régulière de CORAL 2000 (amendement calcique) + Enzymac (souches bactériennes), 25 à 30 KF TTC (achat des produits) pour toute la période.

**Commentaires** : l'objectif est d'optimiser la pratique de la pêche, en éliminant les algues, par un traitement biologique « plus respectueux de l'environnement (rivière Crusnes, prairies inondables) qu'un traitement chimique ».

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

L'administrateur de la pisciculture a été démarché par une filiale de la société « System Bio International », spécialisée dans les biotechnologies et fabricant des produits trouvant des applications dans des domaines aussi variés que le traitement des milieux aquatiques naturels, la pisciculture, l'aquariophilie, le lagunage, le recyclage du lisier de porc, ...

Aucune étude ou analyse préalable n'a été faite avant la mise en œuvre du traitement.

**Octobre 1995, traitement d'attaque** : 1 t/ha de CORAL 2000 + 3300 ml d'Enzymac, sur toute la superficie du plan d'eau :

- le support calcaire est épandu à la pelle (poudre) depuis un bateau ;
- les bactéries en poudre lyophilisées sont mélangées à 10 fois leur volume en eau, puis le produit liquide est épandu à l'aide de rampes descendant jusqu'au fond du plan d'eau.

Le **traitement d'entretien** consiste à rajouter environ 1 l de solution de souches bactériennes environ tous les deux mois.

### RÉSULTATS À COURT TERME

**Une réduction nette de l'envahissement par les algues est visible dès le printemps 1996** et se poursuit durant les trois ans et demi d'application du traitement. L'exemple du plan d'eau fédéral de Boismont sert même de référence dans un article du « Pêcheur français ». Par contre, le traitement ne semble avoir aucun effet sur les herbiers de macrophytes, mais qui ne gênent qu'une gêne mineure, comparativement aux algues.

### RÉSULTATS À LONG TERME

**En absence d'analyses préalables, il est impossible de juger de l'effet du traitement sur une éventuelle réduction de l'épaisseur des vases.** Au cours de l'hiver 1999-2000, l'étang a été vidangé avant curage (pelle mécanique) et remodelage de son fond et de quelques berges (coût estimé à 60 000 F TTC, intervention d'une société de BTP locale). La quantité de vases retirées n'a pu être chiffrée, car elles étaient mélangées aux sédiments du fond. La remise en eau, en mars-avril 2000, a été suivie d'un traitement « préventif » aux bioadditifs (250 kg CORAL 2000 + 2200 ml Enzymac). **Résultat : les algues sont revenues au cours de l'été 2000**.

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

Le traitement est efficace, seulement en présence de vases organiques (limites). Le développement des algues est essentiellement liée à l'apport de nutriments (phosphore notamment) par les eaux de la pisciculture amont (nourrissage, déjections des poissons). Le gestionnaire de l'étang (et également de la pisciculture !) ne sait pas quel traitement mettre en œuvre en 2001.

### CONTEXTE

Datant de 1980, le plan d'eau de Ratintout est essentiellement **destiné à la pêche** (carpes, gardons ...) et à la promenade. Il connaît une eutrophisation importante avec des concentrations élevées en nitrites (0,40 mg/l), nitrates (45 mg/l) et phosphates (0,7 mg/l). Cela se traduit par un **envahissement de plantes aquatiques et de nombreuses algues filamenteuses** qui prolifèrent à certains endroits du plan d'eau et tout au long des berges. En 1999, une explosion importante des végétaux et algues a conduit la commune à réaliser un traitement.

### TECHNIQUE MISE EN ŒUVRE

Application séparée des produits :

- 23 août 1999 : épannage de l'**algicide Desalg : dose 2 ml/m<sup>3</sup>** soit 45 l de produit nécessaires (dilués au 1/10<sup>e</sup> pour l'épannage à l'aide d'un pulvérisateur depuis une barque) pour tout le plan d'eau ;
- 30 août 1999 : épannage de l'**herbicide Sonnard P5 (8 g/m<sup>2</sup>)** (épannage des granulés par moulinette) ;
- 13 et 20 septembre : épannage de **bioadditifs Bactapur N3000 (10 l/ha)** pour compléter le traitement chimique (pulvérisateur).

### RÉSULTATS À COURT TERME (Suivi visuel)

L'algicide a commencé son effet au bout de 2 jours et **au bout de 8 jours les algues filamenteuses ont été totalement éliminées.**

L'herbicide a également agi rapidement (1 mois pour éliminer 90 % des végétaux).

### RÉSULTATS À LONG TERME (Suivi visuel)

Un an après le traitement, **l'eau est devenue limpide**, et **aucune repousse** de plante ni d'algue n'a été visible ; les conditions de pêche se sont nettement améliorées. D'autre part, un léger suivi physico-chimique montre une nette diminution des fertilisants (tableau ci-dessous). Ce suivi est cependant insuffisant (à la fois en nombre de campagnes et en nombre de paramètres analysés), pour déterminer l'influence réelle des traitements sur cette amélioration (concentrations en mg/l) :

	Août 1999	Octobre 1999	Août 2000	
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) :	1	0,5	<0,1	mg/l
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) :	0,4	0,1	0,02	mg/l
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) :	45	15	<1	mg/l
Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) :	0,7	0,2	0,1	mg/l

### AVIS DU GESTIONNAIRE ET DES USAGERS

La commune et les pêcheurs sont **satisfaits**, la pêche a pu reprendre une activité normale.