

# **Suivi des plans d'eau des bassins Rhône- Méditerranée et Corse en application de la Directive Cadre sur l'Eau**

(Sites de Référence, Réseau de Contrôle de Surveillance et Contrôle  
Opérationnel)

**Note synthétique d'interprétation des résultats**

## **L'Entonnoir-Bouverans**

*(25 : Doubs)*

Campagnes 2011

*VI – Décembre 2012*



# Méthodologie

## Contenu des suivis

Le tableau suivant résume les différents éléments suivis par année et les fréquences d'intervention associées. Il s'agit du suivi qualitatif type mis en place sur les plans d'eau du programme de surveillance. Les différents paramètres physico-chimiques analysés sur l'eau sont suivis lors de quatre campagnes calées aux différentes phases du cycle annuel de fonctionnement du plan d'eau, soit entre le mois de février et le mois d'octobre.

|                                   |                                                          | Paramètres                                                                                                                                                                | Type de prélèvements/<br>Mesures                    | HIVER                                                   | PRINTEMPS | ETE | AUTOMNE |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-----|---------|
| Sur EAU                           | Mesures in situ                                          | O2 dis. (mg/l, %sat.), pH, COND (25°C), T°C, transparence secchi                                                                                                          | Profils verticaux                                   | X                                                       | X         | X   | X       |
|                                   | Physico-chimie classique                                 | DBO5, PO4, Ptot, NH4, NKJ, NO3, NO2, COT, COD, MEST, Turbidité, Si dissoute                                                                                               | Prélèvement intégré et prélèvement ponctuel de fond | X                                                       | X         | X   | X       |
|                                   | Substances prioritaires, autres substances et pesticides | Micropolluants*                                                                                                                                                           | Prélèvement intégré et prélèvement ponctuel de fond | X                                                       | X         | X   | X       |
|                                   | Pigments chlorophylliens                                 | Chlorophylle a + phéopigments                                                                                                                                             | Prélèvement intégré                                 | X                                                       | X         | X   | X       |
|                                   | Minéralisation                                           | Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , dureté, TA, TAC, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Prélèvement intégré                                 | X                                                       |           |     |         |
| Sur SEDIMENTS                     | Eau interstitielle : Physico-chimie                      |                                                                                                                                                                           | PO4, Ptot, NH4                                      |                                                         |           |     |         |
|                                   | Phase solide (<2mm)                                      | Physico-chimie                                                                                                                                                            | Corg., Ptot, NKJ, Granulométrie, perte au feu       | Prélèvement ponctuel au point de plus grande profondeur |           |     | X       |
|                                   |                                                          | Substances prioritaires, autres substances et pesticides                                                                                                                  | Micropolluants*                                     |                                                         |           |     |         |
| HYDROBIOLOGIE et HYDROMORPHOLOGIE |                                                          | Phytoplancton                                                                                                                                                             | Prélèvement intégré (Cemagref/Utermöhl)             | X                                                       | X         | X   | X       |
|                                   |                                                          | Oligochètes                                                                                                                                                               | IOBL                                                |                                                         |           |     | X       |
|                                   |                                                          | Mollusques                                                                                                                                                                | IMOL                                                |                                                         |           |     | X       |
|                                   |                                                          | Macrophytes                                                                                                                                                               | Protocole Cemagref (nov.2007)                       |                                                         |           | X   |         |
|                                   |                                                          | Hydromorphologie                                                                                                                                                          | A partir du Lake Habitat Survey (LHS)               |                                                         |           | X   |         |
|                                   |                                                          | Suivi piscicole                                                                                                                                                           | Protocole CEN (en charge de l'ONEMA)                |                                                         |           | X   |         |

\* : se référer à l'annexe 5 de la circulaire DCE 2006/16, analyses à réaliser sur les paramètres pertinents à suivre sur le support concerné

## Outils d'interprétation (détails en annexe 2)

L'interprétation des résultats a été réalisée selon deux approches complémentaires s'appuyant, d'une part sur une méthode largement utilisée pour évaluer le niveau trophique des plans d'eau (Diagnose rapide) et d'autre part, sur l'Arrêté du 25 janvier 2010 permettant de qualifier les masses d'eau en termes d'état selon la DCE.

### Diagnose rapide

Cette méthode a été mise au point par le Cemagref (protocole actualisé de 2003) et renseigne sur la qualité générale du plan d'eau en rapport avec son niveau trophique. Ce n'est pas une interprétation en termes d'état au sens de la DCE.

### Etat écologique et état chimique au sens de la DCE

La présente note synthétique définit également un état écologique et un état chimique liés à un niveau de confiance. Cette évaluation est réalisée suivant les préconisations de l'« Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ».

## Caractéristiques du plan d'eau

Nom : L'Entonnoir-Bouverans

Code lac : U2035043

Masse d'eau : FRDL8

Département : 25 (Doubs)

Région : Franche-Comté

Origine : Naturel

Typologie : N3 = lac naturel de moyenne montagne calcaire, peu profond

Altitude (NGF) : 825

Superficie (ha) : 72

Volume (hm<sup>3</sup>) : 2,4

Profondeur maximum (m) : 10

Temps de séjour (j) : non défini

Tributaire(s) : Réseaux karstiques, Apports de surface (ruisselets, cascades), Drugeon en période de crue

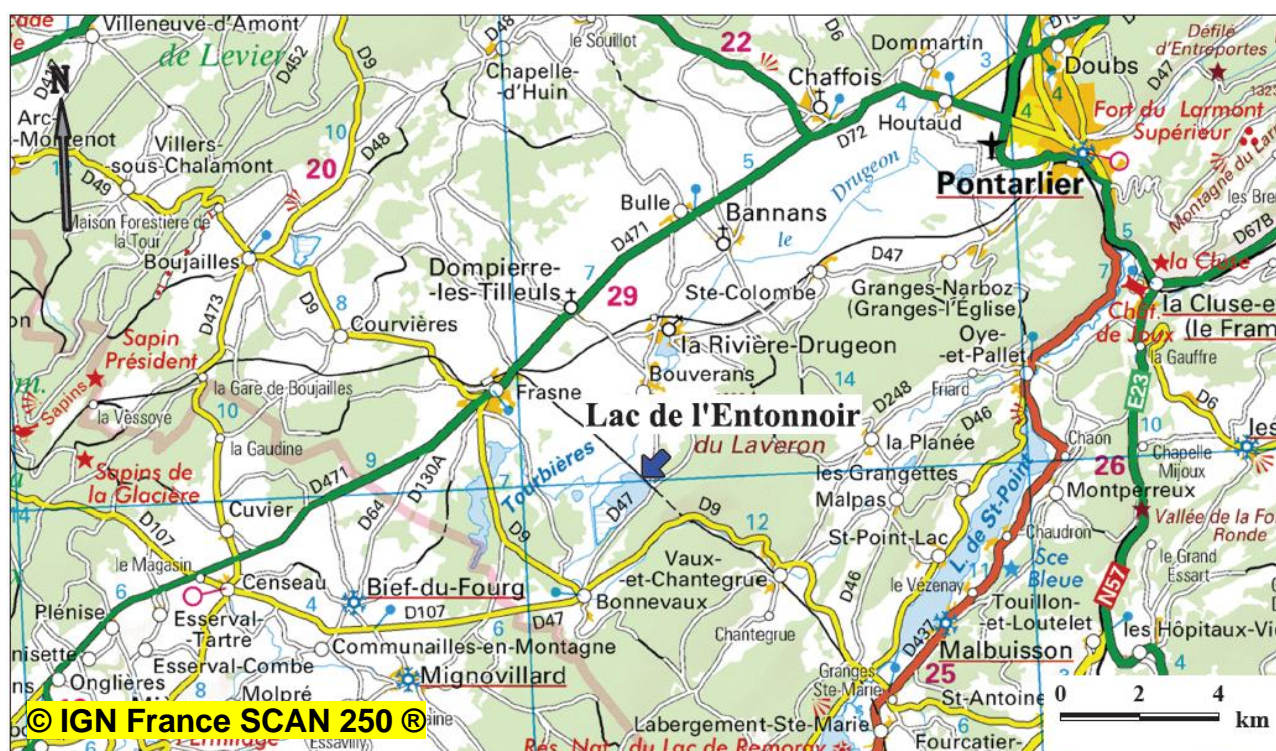
Exutoire(s) : -

Réseau de suivi DCE : Réseau de Contrôle de Surveillance / Contrôle Opérationnel (Cf. Annexe 1)

Période/Année de suivi : 2008, 2011

Objectif de bon état : 2021

Des informations complémentaires sur le contexte général du plan d'eau, sur les enjeux et le programme de mesure sont disponibles via l'atlas internet de bassin.



Carte de localisation du lac de l'Entonnoir

## Résultats - Interprétation

---

Le lac de l'Entonnoir se situe dans le Doubs (25) dans la vallée du Drugeon, sur la commune de Bouverans. Il s'agit d'un lac d'origine naturelle qui possède une cuvette en forme d'« entonnoir ». Une digue a été aménagée à l'ouest pour maintenir la cote du plan d'eau.

La superficie du lac est de 126 ha dont 54 ha peuvent être considérés comme un marais, avec un ancien lit méandrique. En définitif, la surface assimilable en lac atteint 72 ha (partie Est). Le plan d'eau présente une profondeur maximale mesurée en 2011 de 10 m au droit de l'entonnoir, et la profondeur moyenne observable est de l'ordre de 3 m. Ce lac présente un fonctionnement très particulier, qui est d'ailleurs peu connu. Il semble y avoir une double circulation des eaux au droit de l'entonnoir, suivant le niveau de la nappe. Les échanges se font dans le karst avec un réseau qui est, à ce jour, inconnu (mais qui n'est pas celui du Drugeon). Les apports de surface se font par une cascade à l'extrême Est du lac ainsi que quelques ruisselets qui proviennent du bassin versant forestier au Sud. Le lac est gelé pendant la période hivernale : il présente donc un fonctionnement de lac dimictique avec deux périodes de brassage (au printemps et à l'automne) et une phase de stratification en période estivale.

### Diagnose rapide

Sur la base des résultats acquis en 2011, le lac de l'Entonnoir présente une qualité générale le classant dans la catégorie des plans d'eau **mésotrophes**. Le tracé est dissymétrique, avec des indices nutrition et relargage faibles (oligotrophes) tandis que les indices production, dégradation, matière organique du sédiment et phosphore total du sédiment sont moyens à élevés (eutrophes). L'indice planctonique révèle un peuplement assez équilibré qui ne traduit pas un niveau trophique élevé (mésotrophe). Les indices biologiques du sédiment mettent en avant un potentiel métabolique moyen lié à la désoxygénation des eaux profondes et/ou une pollution des sédiments.

Les résultats détaillés de la diagnose rapide sont présentés en annexe 3.

### Etat écologique et chimique au sens de la DCE

Sur la base des éléments actuellement pris en compte pour l'évaluation DCE, le lac de l'Entonnoir est classé en **état écologique moyen** d'après les résultats obtenus en 2011 (Cf. annexe 4). Il convient cependant de noter que les valeurs obtenues pour les deux paramètres responsables de cet état moyen sont très proches des seuils faisant basculer du bon état à l'état moyen.

Le lac de l'Entonnoir est classé en **bon état chimique** (Cf. Annexe 5) puisque aucune des substances prises en compte pour évaluer l'état chimique ne dépasse les normes de qualité environnementales.

Même si le compartiment sédiment n'est pour l'instant pas pris en compte en terme d'évaluation de l'état chimique, il convient cependant de noter que de nombreux HAP ont été quantifiés dans les sédiments dont certains en concentrations non négligeables.

L'étude de la végétation aquatique a montré un recouvrement global de macrophytes assez important, supérieur à 25% de la surface du lac. Les formations végétales présentes au niveau du lac de l'Entonnoir sont bien diversifiées. Les herbiers de characées sont globalement indicateurs d'un niveau trophique des eaux oligo-mésotrophe à mésotrophe. Une prédominance d'espèces mésotrophes est cependant constatée. En effet, les herbiers à plantes enracinées, les roselières et les magnocariçaies recensés indiquent globalement un niveau trophique des eaux mésotrophe à eutrophe. En conclusion, l'étude de la population de macrophytes qualifie le milieu de mésotrophe.

L'étude hydromorphologique n'a pas été renouvelée en 2011, cet élément ayant déjà été suivi en 2008.

Des informations complémentaires sur les différents éléments suivis sont présentées en annexe 6.

**S'agissant de la deuxième année de suivi dans le cadre du programme de surveillance, une comparaison interannuelle des résultats est présentée en annexe 7.**

### Suivi piscicole

Le suivi piscicole a été réalisé en 2008 par l'ONEMA.

L'interprétation piscicole figure dans la note synthétique d'interprétation de l'année 2008.

### Annexe 1 : Programme de surveillance

---

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE), un programme de surveillance doit être établi pour suivre l'état écologique (ou le potentiel écologique) et l'état chimique des eaux douces de surface.

Différents réseaux constituent le programme de surveillance. Parmi ceux-ci, deux réseaux sont actuellement mis en œuvre sur les plans d'eau :

- Le réseau de contrôle de surveillance (RCS) vise à donner une image globale de la qualité des eaux. Tous les plans d'eau naturels supérieurs à 50 ha ont été pris en compte sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Pour les plans d'eau d'origine anthropique, une sélection a été opérée parmi les plans d'eau supérieurs à 50 ha, afin de couvrir au mieux les différents types présents (grandes retenues, plans d'eau de digue, plans d'eau de creusement).
- Le contrôle opérationnel (CO) vise à suivre spécifiquement les masses d'eau (naturelles ou anthropiques) supérieures à 50 ha, à risque de non atteinte du bon état (ou du bon potentiel) des eaux en 2015.

Au total, 80 plans d'eau sont suivis sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse dans le cadre des deux réseaux RCS et CO.

Le contenu du programme de suivi sur les plans d'eau est identique pour le RCS et le CO. Un plan d'eau concerné par le CO sera cependant suivi à une fréquence plus soutenue (tous les 3 ans) comparativement à un plan d'eau strictement visé par le RCS (tous les 6 ans).

Un suivi « allégé » a été mené sur quatorze plans d'eau identifiés en tant que masses d'eaux DCE mais non intégrés aux réseaux RCS et CO. Ce suivi s'inscrit dans le cadre de la préparation du nouvel état des lieux du bassin Rhône-Méditerranée afin de préciser l'état de ces plans d'eau en l'absence de données milieux disponibles. Neuf plans d'eau ont ainsi été suivis en 2011 et cinq en 2012.

Le contenu du programme de suivi de ces plans d'eau est dit « allégé » puisqu'ils ne font pas l'objet de prélèvements d'eau de fond et seule l'étude du peuplement phytoplanctonique est réalisée concernant l'hydrobiologie. Le contenu du suivi est ainsi restreint aux seuls éléments permettant à ce jour de définir l'état écologique et chimique des plans d'eau selon l'arrêté "Surveillance" du 25 janvier 2010.

## Annexe 2 : Les outils d'interprétation

### La Diagnose rapide

(d'après le Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau, Jacques Barbe, Michel Lafont, Jacques Mouthon, Michel Philippe, Cemagref, Agence de l'Eau RMC, juillet 2003).

L'interprétation de la diagnose rapide s'appuie sur plusieurs types d'indices : les indices spécifiques basés sur un paramètre particulier, les indices fonctionnels élaborés à partir d'un ou de plusieurs paramètres regroupés pour refléter un aspect fonctionnel du plan d'eau. Ils sont de nature physico-chimique ou biologique.

Ils sont tous construits pour s'échelonner en fonction de la dégradation de la qualité du milieu suivant une échelle de 0 à 100 (de l'ultra oligotrophie à l'hyper eutrophie).

Leur confrontation directe doit permettre ainsi de discerner facilement les concordances ou les discordances existant entre les principaux éléments fonctionnels du milieu.

### Les indices physico-chimiques

#### Indice Pigments chlorophylliens<sup>1</sup>

$I_C = 16 + 41,89 \times \log_{10}(X+0,5)$  où X est la somme de la chlorophylle\_a et de la phéophytine\_a exprimée en µg/l. X représente la moyenne des résultats obtenus sur l'échantillon intégré en dehors du brassage hivernal (campagnes 2, 3 et 4).

#### Indice Transparence

$I_T = 82 - 66,44 \times \log_{10}(X)$  où X est la moyenne des profondeurs de Secchi (en m) mesurées pendant la même période que précédemment.

La moyenne de ces deux indices constitue le premier indice fonctionnel : Indice **Production**.

#### Indice P total hiver

$I_{PTH} = 115 + 39,6 \times \log_{10}(X)$  où X est la valeur du phosphore total (mg/l), mesurée lors de la campagne de fin d'hiver et obtenue à partir de l'échantillon intégré.

#### Indice N total hiver

$I_{NTH} = 47 + 65 \times \log_{10}(X)$  où X est la valeur de l'azote total (mg/l), mesurée lors de la campagne de fin d'hiver et obtenue à partir de l'échantillon intégré<sup>2</sup>.

La moyenne de ces deux indices constitue l'indice fonctionnel **Nutrition**.

#### Indice Consommation journalière en O<sub>2</sub> dissous

$I_{O_2j} = -50 + 62 \times \log_{10}(X+10)$  où X est la valeur de la consommation journalière en oxygène dissous en mg/m<sup>3</sup>/j.

Cet indice constitue l'indice fonctionnel **Dégradation**.

#### Indice P total du sédiment

$I_{PTS} = 109 + 55 \times \log_{10}(X)$  où X est la valeur du phosphore total du sédiment (en % de MS), obtenue lors de la campagne de prélèvement des sédiments ayant lieu normalement en fin de période de production biologique.

Cet indice constitue l'indice fonctionnel **Stockage des minéraux du sédiment**.

<sup>1</sup> Quand les teneurs des paramètres constitutifs de l'Indice pigments chlorophylliens (Ic) sont en dessous du seuil de quantification (SQ=1), la valeur retenue pour les "pc" est donnée par une fourchette de valeurs (par exemple, si [chl a] <1 et [phéopigments] <1, alors 0 <[chl a + pheo] < 2), l'Ic résultant est également donné par une fourchette de valeurs. Pour le calcul de l'indice production, on prend l'indice moyen de Ic.

<sup>2</sup> Les teneurs en nitrates, nitrites et azote kjeldahl sont prises en compte. Quand l'un des éléments est sous le seuil de quantification (SQ), sa valeur est donnée par une fourchette de valeurs : 0 <N <SQ, la concentration en azote total et l'indice Ntot hiver seront également exprimées sous la forme d'une fourchette de valeurs. Pour le calcul de l'indice nutrition, on prend l'indice moyen Ntot hiver.

### Indice Perte au feu du sédiment

$I_{PF} = 53 \times \log_{10}(X)$  où X est la valeur de la Perte au feu du sédiment (en % de MS), obtenue lors de la même campagne que précédemment.

Cet indice constitue l'indice fonctionnel **Stockage de la matière organique du sédiment**.

### Indice P total de l'eau interstitielle

$I_{PTI} = 63 + 33 \times \log_{10}(X)$  où X est la valeur du phosphore total de l'eau interstitielle (mg/l), obtenue lors de la campagne de sédiment.

### Indice Ammonium de l'eau interstitielle

$I_{NH4I} = 18 + 45 \times \log_{10}(X+0,4)$  où X est la valeur de l'ammonium de l'eau interstitielle (mg/l de N), obtenue lors de la campagne de sédiment.

La moyenne de ces deux indices constitue l'indice fonctionnel **Relargage**.

Quatre campagnes de prélèvements sont réalisées dans le cadre du protocole de la Diagnose rapide.

A partir de ces six indices fonctionnels, deux indices physico-chimiques moyens peuvent être calculés pour synthétiser les résultats :

- Un indice physico-chimique moyen de pleine eau = moyenne des indices fonctionnels nutrition, production et dégradation ;
- Un indice physico-chimique moyen du sédiment = moyenne des indices fonctionnels stockage des minéraux du sédiment, stockage de la matière organique du sédiment et relargage.

### **Les indices biologiques sont au nombre de trois :**

L'Indice Planctonique est calculé à partir des listes floristiques obtenues lors des différentes campagnes de la période de production biologique.

L'indice s'appuie sur des coefficients de qualité (Qi) attribués à chaque groupe algal (*les coefficients les plus élevés étant attribués aux groupes les plus liés à l'eutrophisation*) et sur des classes d'abondances relatives (Aj).

IP = moyenne de  $\sum Qi \times Aj$  sur la base des résultats obtenus lors des trois campagnes estivales.

Avec les valeurs suivantes pour Qi et Aj :

| Groupes algaux                  | Qi |
|---------------------------------|----|
| Desmidiées                      | 1  |
| Diatomées                       | 3  |
| Chrysophycées                   | 5  |
| Dinophycées et Cryptophycées    | 9  |
| Chlorophycées (sauf Desmidiées) | 12 |
| Cyanophycées                    | 16 |
| Eugléniens                      | 20 |

### **Coefficients attribués aux groupes algaux repères**

| Abondance relative | Aj |
|--------------------|----|
| 0 à ≤ 10           | 0  |
| 10 à ≤ 30          | 1  |
| 30 à ≤ 50          | 2  |
| 50 à ≤ 70          | 3  |
| 70 à ≤ 90          | 4  |
| 90 à ≤ 100         | 5  |

### **Classes d'abondance relative du phytoplancton**

L'indice planctonique tel que décrit dans la diagnose rapide est issu de prélèvements réalisés au filet à plancton. Les prélèvements réalisés dans le cadre de la DCE sont des prélèvements d'eau brute intégrés sur la zone euphotique (2,5 fois la transparence mesurée à l'aide du disque de Secchi). **Les abondances relatives des différents groupes ont été évaluées à partir des biovolumes algaux.**



L'Indice Oligochètes :  $IO = 126 - 74 \times \log_{10}(X+2,246)$  où X est la moyenne entre l'IOBL de la plus grande profondeur et la valeur moyenne des IOBL de profondeur intermédiaire.

L'indice IOBL par point de prélèvement (= 3 « coups » de bennes à une profondeur donnée) =  $S + 3\log_{10}(D+1)$  où S = nombre de taxons parmi les oligochètes comptés et D = densité en oligochètes pour 0,1 m<sup>2</sup>.

L'Indice Mollusques :  $IM = 122 - 92 \times \log_{10}(X+1,734)$  où X correspond à la valeur de l'IMOL.  
L'IMOL n'est appliqué que sur les plans d'eau naturels (pas applicable sur les plans d'eau marnants).

Le tableau ci-dessous présente le mode de détermination de l'indice IMOL.

Bull. Fr. Pêche Piscic. (1993) 331 :397-406 — 403 —

Tableau III : Tableau standard de détermination de l'indice IMOL.

Table III : Procédure of the determination of index IMOL.

| Niveau d'échantillonnage                       | Repères malacologiques                                        | Indices | Exemples (dates de prospection)                                                                                                                |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Z_1 = 9/10 Z_{max}$                           | - Gastéropodes et Bivalves présents                           | 8       | <b>Léman (1963)</b>                                                                                                                            |
|                                                | - Gastéropodes absents, Bivalves seuls présents               | 7       | <b>Bourget (1940), Longemer (1977), Grand Maclu (1983), Chalain (1984),</b>                                                                    |
| Absence de mollusques en $Z_1$                 |                                                               |         |                                                                                                                                                |
| $Z_2 = -10 \text{ m}$<br>(20 m) <sup>(2)</sup> | - Deux genres ou plus de deux genres de Gastéropodes présents | 6       | <b>Lac Léman (1987), Saint-Point (1978) Grand Clairvaux (1982), Laffrey (1989).</b>                                                            |
|                                                | - Un seul genre de Gastéropode présent                        | 5       | <b>Le Bourget (1988), Rémoray (1978 et 1989), Les Rousses (1980).</b>                                                                          |
|                                                | - Gastéropodes absents, pisdies présentes <sup>(1)</sup>      | 4       | Gérardmer (1977), l'Abbaye (1980), Petit Clairvaux (1982), Val (1986).                                                                         |
| Absence de mollusques en $Z_2$                 |                                                               |         |                                                                                                                                                |
| $Z_3 = -3 \text{ m}$<br>(5-6 m) <sup>(2)</sup> | - Deux genres ou plus de deux genres de Gastéropodes présents | 3       | <i>Petit Maclu (1983), Antre (1984), Petit Etival (1985).</i>                                                                                  |
|                                                | - Un seul genre de Gastéropode présent                        | 2       | <i>Grand Etival (1985)</i>                                                                                                                     |
|                                                | - Gastéropodes absents, pisdies présentes <sup>(1)</sup>      | 1       | Illy (1984), Narlay (1984), Aydat (1985), Bonlieu (1985), Nantua (1988), Sylans (1988), Petitchet (1989), Lamoura (1988), Pierre-Chatel (1989) |
|                                                | - Absence de mollusques                                       | 0       | Lac des Corbeaux (1984), Lac Vert (1985), Lispach (1984),                                                                                      |

(1) avec plus d'un individu par échantillon de 3 bennes.

(2) proposition pour les lacs profonds de grandes dimensions.



## Les critères de l'état écologique et de l'état chimique

Les critères à prendre en compte et les modalités de calcul et d'agrégation des différents éléments de qualité permettant l'évaluation de l'état écologique et de l'état chimique des plans d'eau sont détaillés dans l'« Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ».

Les critères pris en compte actuellement sont résumés ci-dessous (pour plus de précisions, se référer à l'arrêté).

### *Evaluation de l'état (/du potentiel) écologique :*

- Eléments de qualité biologiques

| Elément de qualité | Métriques/Paramètres                                  | PLANS D'EAU NATURELS       |     |       |          |         | PLANS D'EAU D'ORIGINE ANTHROPIQUE |
|--------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|-----|-------|----------|---------|-----------------------------------|
|                    |                                                       | Limites des classes d'état |     |       |          |         |                                   |
|                    |                                                       | Très bon                   | Bon | Moyen | Médiocre | Mauvais |                                   |
| Phytoplancton      | [Chl-a] moyenne estivale (µg/l)                       | Cf. Arrêté <sup>1</sup>    |     |       |          |         |                                   |
|                    | IPL (Indice Planctonique)                             | 25                         | 40  | 60    | 80       |         |                                   |
| Invertébrés        | IMOL (Indice Mollusque)*                              | 8                          | 7   | 4     | 1        |         |                                   |
|                    | IOBL (Indice Oligochètes de Bioindication Lacustres)* | 15                         | 10  | 6     | 3        |         |                                   |
|                    |                                                       |                            |     |       |          |         |                                   |

\* : paramètres complémentaire pour conforter le diagnostic

<sup>1</sup> ces limites sont calculées par plan d'eau selon une formule dépendante de la profondeur moyenne du plan d'eau

**L'IPL a été calculé en prenant en compte les biovolumes algaux pour l'évaluation des abondances relatives.**

Les travaux réalisés jusqu'à présent n'ont pas permis de produire des valeurs seuils pour les éléments de qualité macrophytes et poissons.

- Eléments physico-chimiques généraux

| Paramètres par élément de qualité                                                                                                                                    | Limites des classes d'état |      |       |          |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|-------|----------|---------|
|                                                                                                                                                                      | Très bon                   | Bon  | Moyen | Médiocre | Mauvais |
| <b>Nutriments</b>                                                                                                                                                    |                            |      |       |          |         |
| N minéral maximal (NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> )(mg N/l)                                                                                                       | 0,2                        | 0,4  | 1     | 2        |         |
| PO <sub>4</sub> maximal (mg P/l)                                                                                                                                     | 0,01                       | 0,02 | 0,03  | 0,05     |         |
| Phosphore total maximal (mg P/l)                                                                                                                                     | 0,015                      | 0,03 | 0,06  | 0,1      |         |
| <b>Transparence</b>                                                                                                                                                  |                            |      |       |          |         |
| Transparence moyenne estivale (m)                                                                                                                                    | 5                          | 3,5  | 2     | 0,8      |         |
| <b>Bilan de l'oxygène</b>                                                                                                                                            |                            |      |       |          |         |
| Présence ou absence d'une désoxygénation de l'hypolimnion en % du déficit observé entre la surface et le fond pendant la période estivale (pour les lacs stratifiés) | *                          | 50   | *     | *        |         |
| <b>Salinité</b>                                                                                                                                                      |                            |      |       |          |         |
| Acidification                                                                                                                                                        |                            |      | *     |          |         |
| Température                                                                                                                                                          |                            |      |       |          |         |

\* : pas de valeurs établies à ce stade des connaissances

**N minéral maximal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** : azote minéral maximal annuel dans la zone euphotique, c'est-à-dire :

- l'azote minéral « d'hiver », en période de mélange total des eaux, sur échantillon intégré de la zone euphotique, si le temps de séjour est supérieur à 2 mois.
- l'azote minéral maximal observé sur au minimum 3 campagnes « estivales » dans un échantillon intégré de la zone euphotique, si le temps de séjour est inférieur à 2 mois.

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> maximal** : dans les lacs de temps de séjour supérieur à 2 mois, il s'agit de la valeur « hivernale » en période de mélange total des eaux, sur échantillon intégré de la zone euphotique. Dans les plans d'eau de temps de séjour inférieur à 2 mois, c'est le maximum des valeurs de 3 campagnes estivales.

**Phosphore total maximal** : dans les lacs de temps de séjour supérieur à 2 mois, il s'agit indifféremment de la moyenne annuelle dans la zone euphotique ou de la valeur hivernale en période de mélange complet des eaux, sur échantillon intégré de la zone euphotique. Dans les plans d'eau de temps de séjour inférieur à 2 mois, c'est le maximum des valeurs de 3 campagnes estivales.

**Bilan de l'oxygène** : paramètre et limites de classes donnés à titre indicatif (ce paramètre est ici considéré en tant que paramètre complémentaire à l'évaluation de l'état).

*Il s'agit de la présentation des résultats bruts, un travail ultérieur d'expertise pouvant amener à une évaluation légèrement différente (ex. : pour un plan d'eau naturellement peu transparent, ce paramètre s'avérera non pertinent et ne sera alors pas pris en compte dans l'évaluation de l'état).*

*Les règles d'assouplissement décrites par l'arrêté du 25 janvier 2010 pour définir la classe d'état des éléments de qualité physico-chimiques généraux ont été appliquées.*

- Polluants spécifiques de l'état écologique

| <b>Polluants spécifiques non synthétiques (analysés sur eau filtrée)</b> |                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Substances</b>                                                        | <b>NQE_MA (µg/l)</b>                              |
| Arsenic dissous                                                          | Fond géochimique + 4,2                            |
| Chrome dissous                                                           | Fond géochimique + 3,4                            |
| Cuivre dissous                                                           | Fond géochimique + 1,4                            |
| Zinc dissous                                                             | Fond géochimique + 3,1 (si dureté ≤24 mg CaCO3/l) |
|                                                                          | Fond géochimique + 7,8 (si dureté >24 mg CaCO3/l) |
| <b>Polluants spécifiques synthétiques (analysés sur eau brute)</b>       |                                                   |
| <b>Substances</b>                                                        | <b>NQE_MA (µg/l)</b>                              |
| Chlortoluron                                                             | 5                                                 |
| Oxadiazon                                                                | 0,75                                              |
| Linuron                                                                  | 1                                                 |
| 2,4 D                                                                    | 1,5                                               |
| 2,4 MCPA                                                                 | 0,1                                               |

*NQE\_MA : Normes de Qualité Environnementales en Moyenne Annuelle*

Au sein des éléments de qualité (EQ), c'est la règle du paramètre le plus déclassant qui est retenue. L'état écologique (plans d'eau naturels) est donné par l'EQ le plus déclassant (dans la limite de l'état « moyen » pour la physico-chimie et les polluants spécifiques). Les éléments hydromorphologiques n'interviennent que pour le classement en très bon état d'une masse d'eau (indicateur des éléments hydromorphologiques en cours de construction).

Le potentiel écologique (plans d'eau anthropiques) est évalué à partir du paramètre chlorophylle a et des éléments physico-chimiques. Pour pallier l'absence de tous les indicateurs biologiques adaptés pour évaluer le bon potentiel, on considère que les pressions hydromorphologiques hors contraintes techniques obligatoires (CTO) se traduisent par un effet négatif sur les potentialités biologiques des masses d'eau (Cf. arrêté du 25 janvier 2010 : tableau permettant d'attribuer une classe de potentiel écologique en prenant en compte les pressions hydromorphologiques non imposées par les CTO).

Dans le cadre de cette note d'interprétation, il a été considéré que les pressions hydromorphologiques non imposées par les CTO étaient nulles à faibles ce qui induit que le potentiel écologique de la masse d'eau est alors défini par les seuls indicateurs biologiques et physico-chimiques.

Un niveau de confiance est attribué à l'état écologique (selon la qualité de la donnée prise en compte, si l'ensemble des EQ ont été déterminés...). Trois niveaux de confiance sont distingués : 3 (élevé), 2 (moyen), 1 (faible).

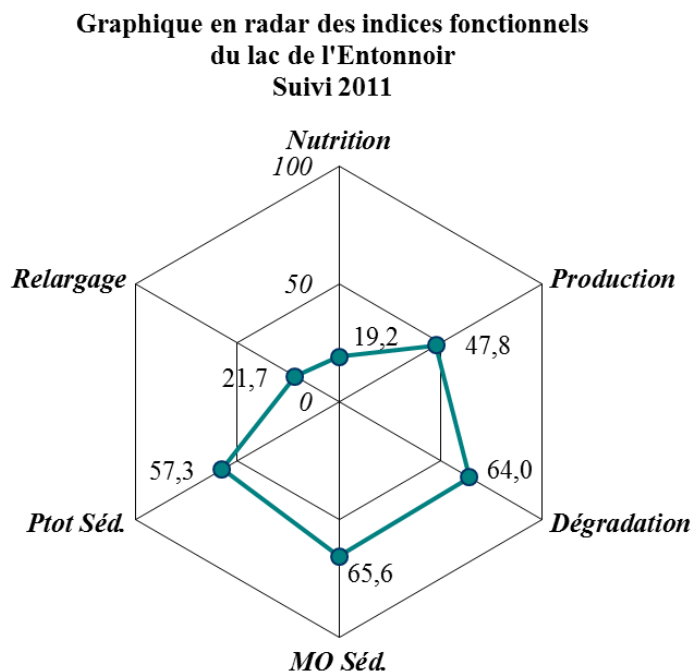
#### ***Evaluation de l'état chimique (2 classes d'état) :***

La liste des 41 substances prises en compte dans l'état chimique figure dans l'annexe 8 de l'arrêté du 25 janvier 2010, avec les NQE à respecter en valeur moyenne et en concentration maximale admissible.

## Annexe 3 : Résultats de la diagnose rapide

### Les indices fonctionnels physico-chimiques

Le calcul des indices avec la valeur des paramètres utilisés est résumé page suivante.



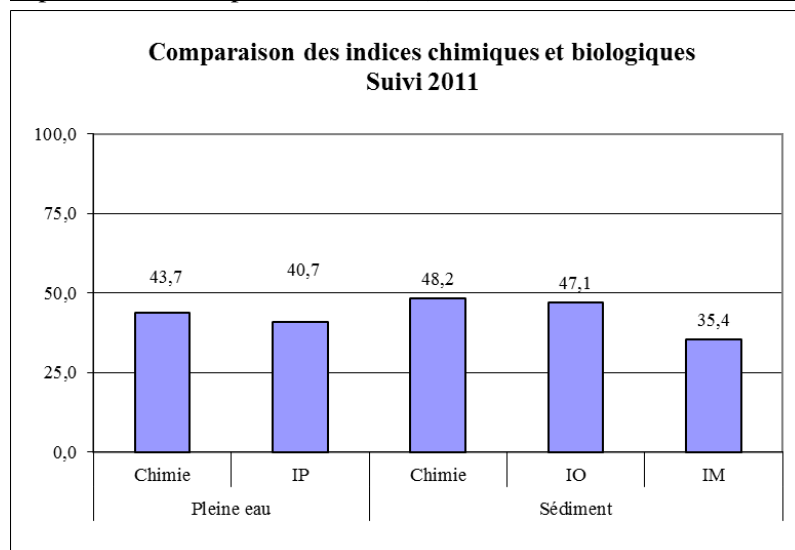
Le tracé de la figure est très particulier. Les indices nutrition et relargage sont faibles alors que la production primaire est non négligeable et que les sédiments sont riches en matière organique et en éléments nutritifs pouvant potentiellement être remis à disposition compte tenu de la désoxygénation de l'hypolimnion.

L'indice nutrition, qui correspond à une valeur moyenne puisque les paramètres mesurés sont inférieurs à la limite de quantification, est potentiellement sous-estimé (compris entre 0 et 38,4).

Les indices dégradation et stockage de la matière organique du sédiment élevés peuvent être expliqués d'une part par les conditions régionales rudes (lac dimictique) limitant le processus de dégradation et d'autre part par le recouvrement important en macrophytes (biomasse végétale non prise en compte dans l'indice production mais contribuant à l'apport d'une charge organique).

L'alimentation particulière de cette masse d'eau (réseau karstique) et son imbrication dans une vaste zone humide ont tendance à complexifier son fonctionnement.

**Les indices synthétiques :** un indice physico-chimique moyen pour chaque compartiment (un pour la pleine eau et un pour le sédiment) est affiché à côté des indices biologiques



*IP : Indice Planctonique*

*IO : Indice Oligochètes*

*IM : Indice Mollusques*

*Indice chimie pleine eau = moyenne des indices Nutrition, Production et Dégradation*

*Indice chimie du sédiment = moyenne des indices Relargage, Ptot Séd. et MO Séd.*

Les disparités observées au niveau des indices fonctionnels sont atténuées lorsque l'on traite des indices synthétiques. L'ensemble des indices physico-chimiques et biologiques se situe alors dans la fourchette 35-50 correspondant à un milieu mésotrophe.

L'indice planctonique (40,7) est en accord avec l'indice chimique de pleine eau (43,7) : le peuplement est assez équilibré et les groupes phytoplanctoniques présents durant la période estivale ne traduisent pas un niveau trophique élevé. L'indice oligochètes (47,1) est quant à lui similaire à l'indice chimique du sédiment (48,2), il révèle un potentiel métabolique moyen des sédiments. L'indice mollusques est légèrement plus favorable (35,4 - limite de classes oligotrophe/mésotrophe). La désoxygénation des eaux profondes et la présence de micropolluants peuvent être à l'origine de cette altération de la capacité métabolique du sédiment.

## Lac de l'Entonnoir

Suivi 2011

### Les indices de la diagnose rapide

Valeurs brutes et calcul des indices

#### Les indices physico-chimiques

|      | Ptot éch intégré hiver (mg/l) | <i>indice Ptot hiver</i> | Ntot éch intégré hiver (mg/l) | <i>indice Ntot hiver</i> | <b>INDICE NUTRITION moyen</b> |
|------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 2011 | < 0,005                       | 0 < x < 23,9             | 0 < x < 1,2                   | 0 < x < 52,9             | 19,2                          |

|      | Secchi moyen (m) (3 campagnes estivales) | <i>indice Transparence</i> | Chlorophylle a + Phéopigments (moy 3 camp. estivales en µg/l) | <i>indice Pigments chlorophylliens</i> | <b>INDICE PRODUCTION</b> |
|------|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| 2011 | 3,4                                      | 46,7                       | 5,3 < x < 6,0                                                 | 48,0 < x < 50,0                        | 47,8                     |

|      | Conso journalière en O <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> /j) | <b>INDICE DEGRADATION</b> |
|------|------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 2011 | 59,1                                                       | 64,0                      |

entre campagnes C1 et C4

|      | Perte au feu (% MS) | <i>indice Perte au feu séd = INDICE stockage MO du séd</i> |
|------|---------------------|------------------------------------------------------------|
| 2011 | 17,3                | 65,6                                                       |

#### Correspondance entre indices de la diagnose rapide et niveau trophique

*Indice*      *Niveau trophique*

0-15      Ultra oligotrophe

15-35      Oligotrophe

35-50      Mésotrophe

50-75      Eutrophe

75-100      Hyper eutrophe



|      | Ptot séd (mg/kg MS) | <i>indice Ptot séd = INDICE stockage des minéraux du séd</i> |
|------|---------------------|--------------------------------------------------------------|
| 2011 | 1148                | 57,3                                                         |

|      | Ptot eau interst séd (mg/l) | <i>indice Ptot eau intersticielle</i> | NH <sub>4</sub> eau interst séd (mg/l) | <i>indice NH<sub>4</sub> eau intersticielle</i> | <b>INDICE RELARGAGE</b> |
|------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 2011 | < 0,1                       | < 30,0                                | < 0,50                                 | < 13,3                                          | < 21,7                  |

#### Les indices biologiques

|      | <i>Indice planctonique IPL</i> | Oligochètes IOBL global | <i>Indice Oligochètes IO</i> | Mollusques IMOL | <i>Indice Mollusques IM</i> |
|------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 2011 | 40,7                           | 9,4 : PM* moyen         | 47,1                         | 7               | 35,4                        |

\* : Potentiel Métabolique      IPL : calculé à partir du biovolume

NB : les valeurs obtenues sur eau interstitielle sont à prendre avec précaution étant donné que la technique de prélèvement employée ne permet pas de maintenir l'échantillon dans les conditions physico-chimiques régnant en profondeur, ce qui peut alors biaiser les résultats obtenus.

## Annexe 4 : Etat écologique au sens de la DCE

| Classes d'état |                | Niveau de confiance |        |
|----------------|----------------|---------------------|--------|
|                | Très bon (TB)  | 3                   | Elevé  |
|                | Bon (B)        | 2                   | Moyen  |
|                | Moyen (MOY)    | 1                   | Faible |
|                | Médiocre (MED) |                     |        |
|                | Mauvais (MAUV) |                     |        |

L'état écologique est défini par agrégation de l'état de chacun des éléments de qualité selon les règles décrites dans l'« Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ».

Le lac de l'Entonnoir présente un temps de séjour long, les paramètres pris en compte sont donc ceux des plans d'eau au temps de séjour > 2 mois.

| Nom ME    | Code  | Type | Ensembles agrégés des éléments de qualité |                            | Polluants spécifiques de l'état écologique | Altérations hydromorphologiques | Etat écologique | Niveau de confiance |
|-----------|-------|------|-------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|
|           |       |      | Biologiques                               | Physico-chimiques généraux |                                            |                                 |                 |                     |
| Entonnoir | FRDL8 | MEN* | MOY                                       | MOY                        | B                                          | Non déterminé                   | MOY             | 2/3                 |

\* MEN : masse d'eau naturelle.

Les ensembles agrégés des éléments de qualité biologiques et physico-chimiques généraux sont tous deux classés en état moyen.

Concernant les polluants spécifiques de l'état écologique, les quatre métaux figurant à la liste des polluants spécifiques ont été quantifiés durant le suivi, sans toutefois dépasser les normes de qualités environnementales (NQE) définies pour ces paramètres. Il s'agit des paramètres arsenic et cuivre, presque systématiquement quantifiés sur chacun des échantillons, et chrome et zinc, plus ponctuellement quantifiés.

Le tableau suivant détaille la classe d'état de chaque paramètre pris en compte dans les éléments de qualité biologiques et physico-chimiques généraux.

| Nom ME    | Code ME | Type | Paramètres biologiques |      | Paramètres physico-chimiques généraux |                                   |                   |         |
|-----------|---------|------|------------------------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------|
|           |         |      | Chlo-a                 | IPL  | N <sub>min</sub> max                  | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> max | Ptot. max         | Transp. |
| Entonnoir | FRDL8   | MEN* | 3,9 < x < 4,2          | 40,7 | < 0,26                                | < 0,005                           | 0,014 < x < 0,016 | 3,4     |

Selon les règles de l'arrêté du 25 janvier 2010, les paramètres biologiques et les paramètres physico-chimiques sont classés en état moyen (IPL et transparence moyenne) à très bon (concentration moyenne estivale en chlorophylle *a* et la concentration maximale en phosphate). Le lac de l'Entonnoir est donc classé en **état écologique moyen**. Il convient cependant de noter que pour les 2 paramètres responsables de cet état moyen, les résultats obtenus sont très proches de la limite séparant les états bon et moyen (limite fixée à 40 en IPL et 3,5 en transparence).

**Chlo-a** : concentration moyenne estivale en chlorophylle-a dans la zone euphotique (µg/L).

**IPL** : Indice Planctonique, repris de la diagnose rapide.

**N<sub>min</sub> max** : concentration maximale en azote minéral (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (mg/L).

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> max** : concentration maximale en phosphate dans la zone euphotique (mg P /L).

**Ptot. Max** : concentration maximale en phosphore dans la zone euphotique (mg/L). Pour les lacs dont le temps de séjour moyen annuel est supérieur à 2 mois, Ptot. max est la valeur la plus défavorable entre la moyenne annuelle dans la zone euphotique et la valeur hivernale en période de mélange complet des eaux.

**Transp.** : transparence (m), moyenne estivale

Des paramètres complémentaires peuvent être intégrés au titre de l'expertise de l'état écologique :

|           |         |      | Paramètres complémentaires |      |                            |
|-----------|---------|------|----------------------------|------|----------------------------|
|           |         |      | biologiques                |      | physico-chimiques généraux |
| Nom ME    | Code ME | Type | IMOL                       | IOBL | Déficit O <sub>2</sub>     |
| Entonnoir | FRDL8   | MEN* | 7                          | 9,4  | 52,5                       |

Les résultats des paramètres complémentaires confirment globalement l'état écologique moyen observé puisqu'ils expriment également un état moyen pour l'IOBL et l'oxygénation de l'hypolimnion. Ces résultats se situent également en limite de classe faisant basculer du bon état à l'état moyen (IOBL : seuil à 10 ; Déficit O<sub>2</sub> : seuil à 50%).

**IMOL** : Indice Mollusques

**IOBL** : Indice Oligochètes de Bioindication Lacustre

**Déficit O<sub>2</sub>** : déficit en oxygène entre la surface et le fond du lac (%). Pour chacune des campagnes C2, C3 et C4, on calcule le déficit :  $D = (O_2(s) - O_2(f)) / O_2(s)$ , avec  $O_2(s)$  la valeur moyenne en oxygène dissous dans les 3-4 premiers mètres et le fond  $O_2(f)$  la valeur moyenne en oxygène dissous dans les 3-4 derniers mètres. La valeur finale est obtenue en faisant la moyenne des 3 déficits calculés.

## Annexe 5 : Etat chimique au sens de la DCE

### Classes d'état chimique

|  |         |
|--|---------|
|  | Bon     |
|  | Mauvais |

|           |               |
|-----------|---------------|
|           | Etat chimique |
| Entonnoir | Bon           |

Le lac de l'Entonnoir est classé en **bon état chimique**.

Parmi les 41 substances de l'état chimique, 2 substances ont été quantifiées (sans toutefois dépasser les NQE) :

- Un composé métallique : le nickel, quantifié sur toutes les campagnes en faibles concentrations (< 0,4 µg/l).
- Un phtalate, utilisé pour assouplir les matières plastiques : le DEHP. Il a été quantifié uniquement sur l'échantillon intégré de la campagne de mars à une concentration de 1,5 µg/l.

La liste des 41 substances de l'état chimique ainsi que leur Norme de Qualité Environnementale sont précisées dans l'arrêté du 25 janvier 2010.

### Les micropolluants quantifiés dans l'eau (sur toutes les substances recherchées : molécules DCE et autres molécules analysées)

#### Les pesticides quantifiés :

Une centaine de molécules a été recherchée à chaque campagne sur l'échantillon intégré de la zone euphotique et sur l'échantillon de fond (dont seule une quinzaine figure dans la liste des 41 substances de l'état chimique).

Une seule substance a été quantifiée, il s'agit d'un fongicide : le formaldéhyde. Il a été mesuré à cinq reprises sur les campagnes de mars, mai et août à des concentrations comprises entre 1 et 2 µg/l.

Concernant le formaldéhyde, plusieurs pistes peuvent être avancées pour expliquer les fréquentes quantifications de cette substance sur une grande partie des plans d'eau des bassins Rhône-

Méditerranée et Corse : pollution diffuse liée à son utilisation en tant que pesticide (désinfection des locaux et du matériel agricole, utilisation dans l'industrie du bois), difficulté des laboratoires d'analyses à quantifier précisément cette substance du fait de ses multiples sources d'émission dans l'air des espaces clos : matériaux de construction, d'ameublement et de décoration (panneaux de particules), produits domestiques (peintures, colles, cosmétiques) et combustions (tabagisme, chaudières...). Sa présence dans les eaux de plans d'eau, et particulièrement sur l'échantillon de fond des milieux aux eaux profondes dépourvues d'oxygène, peut également trouver une origine en dehors de toute contamination anthropique, ce composé pouvant être produit naturellement lors de la dégradation de la matière organique en condition anoxique.

*Les micropolluants quantifiés (hors pesticides) :*

En complément des substances quantifiées déjà citées, 7 autres paramètres ont été quantifiés :

- 6 métaux : uranium ; vanadium (systématiquement quantifiés à chacune des campagnes sur l'échantillon intégré et/ou le fond), aluminium, antimoine, fer et manganèse (plus ponctuellement quantifiés).
- Un dérivé du benzène (BTEX) : le toluène, quantifié sur un seul échantillon en faible concentration (0,3 µg/l sur l'échantillon de fond du mois de mars).

### **Les micropolluants quantifiés dans les sédiments :**

Sur les 170 substances recherchées sur sédiments, 36 ont été quantifiées. Il s'agit principalement de métaux (22 substances) et de HAP (12 substances). Un plastifiant, le DEHP, a également été quantifié à une faible concentration (174 µg/kg de Matière Sèche – MS). Un diphényléther bromé (BDE 100) a aussi été quantifié à une concentration de 80 µg/kg MS.

Les concentrations observées en métaux ne reflètent pas de pollution particulière de certains composés métalliques.

Le lac de l'Entonnoir présente de **nombreuses quantifications de HAP**. Comparativement aux valeurs obtenues dans le cadre du programme de surveillance des plans d'eau des bassins Rhône-Méditerranée et Corse sur la période 2007-2011, les concentrations observées ne sont pas extrêmes mais elles sont tout de même non négligeables pour un certain nombre de paramètres : fluoranthène (599 µg/kg MS), benzo(g,h,i)pérylène (242 µg/kg), benzo(a)pyrène (286 µg/kg MS), benzo(a)anthracène (182 µg/kg MS), benzo(b)fluoranthène (435 µg/kg MS).

28 PCB ont été recherchés sur le prélèvement de sédiment effectué le 8 septembre 2011. Aucune de ces substances n'a été quantifiée (résultat d'analyse < 1 µg/kg MS pour chacune de ces substances).



## **Annexe 6 : Eléments complémentaires d'interprétation**

---

### **Spécificités du plan d'eau et de l'année de suivi**

Le lac de l'Entonnoir se situe dans le Doubs (25) dans la vallée du Drugeon, sur la commune de Bouverans. Il s'agit d'un lac d'origine naturelle qui est équipé d'une cuvette en forme d'« entonnoir ». Une digue a été aménagée à l'ouest pour maintenir la cote du plan d'eau.

La superficie du lac est de 126 ha dont 54 ha peuvent être considérés comme un marais, avec un ancien lit méandrique. En définitif, la surface assimilable en lac atteint 72 ha (partie Est). Le plan d'eau présente une profondeur maximale mesurée en 2011 de 10 m au droit de l'entonnoir, et la profondeur moyenne observable est de l'ordre de 3 m. Ce lac présente un fonctionnement très particulier, qui est d'ailleurs peu connu. Il semble y avoir une double circulation des eaux au droit de l'entonnoir, suivant le niveau de la nappe. Les échanges se font dans le karst avec un réseau qui est, à ce jour, inconnu (mais qui n'est pas celui du Drugeon). Les apports de surface se font par une cascade à l'extrême Est du lac ainsi que quelques ruisselets qui proviennent du bassin versant forestier au Sud. Le lac est gelé pendant la période hivernale : il présente donc un fonctionnement de lac dimictique avec deux périodes de brassage (au printemps et à l'automne) et une phase de stratification en période estivale.

Le lac de l'Entonnoir est entouré de prairies au Nord et de forêts de conifères exploitées au Sud. La voie ferrée en activité longe le plan d'eau sur sa partie Est, une route et un talus séparent ces deux entités. La partie Ouest du lac forme un marais avec une végétation assez dense.

Le lac de l'Entonnoir est privé, il appartient à plusieurs propriétaires. Sa gestion est faite par le groupement de propriétaire, en collaboration avec la communauté de communes. Les usages se limitent à une activité de pêche. Les tourbières au Nord sont classées en Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope.

Dans le département du Doubs, l'année 2011 a été marquée par :

- ✓ un hiver frais à la pluviométrie sensiblement déficitaire ;
- ✓ un printemps exceptionnellement chaud et sec ;
- ✓ un été frais et pluvieux, particulièrement le mois de juillet ;
- ✓ un automne remarquablement chaud et ensoleillé, notamment fin septembre/début octobre.

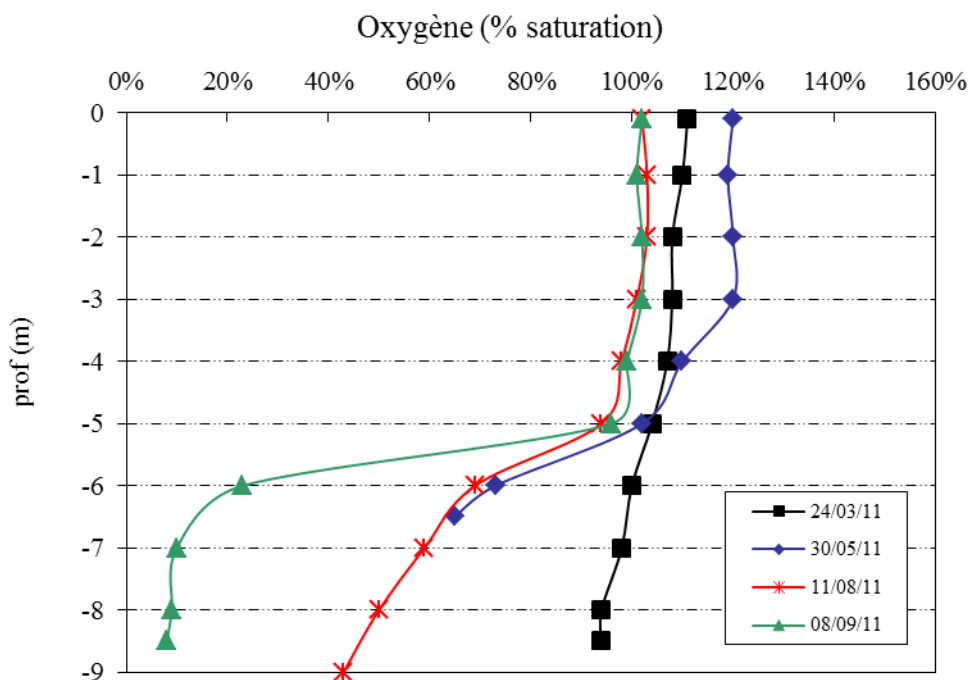
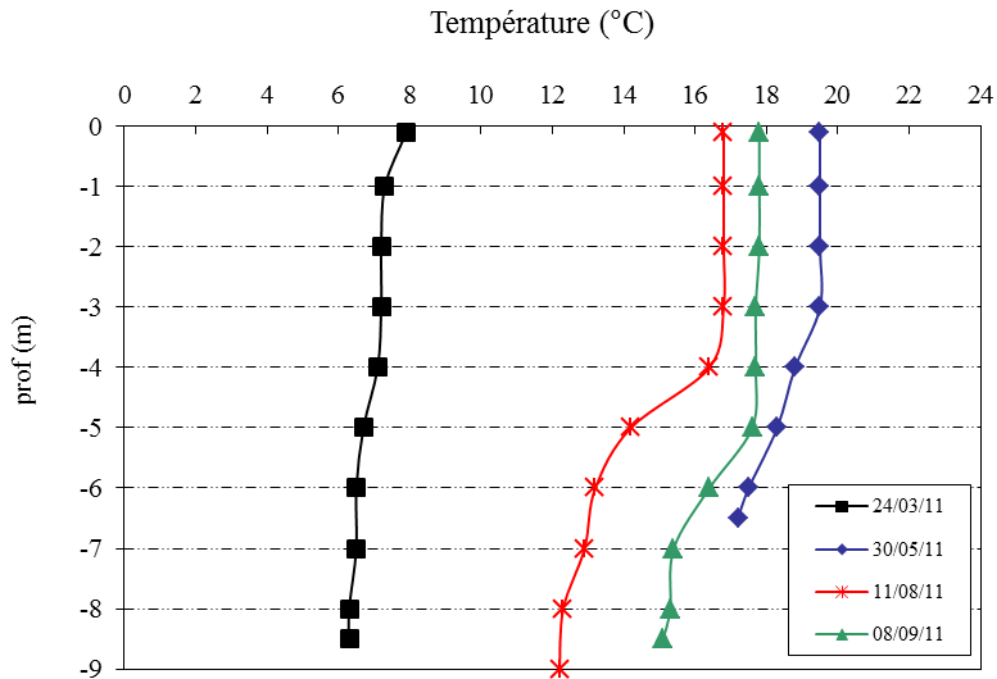
Les périodes d'intervention des différentes campagnes de prélèvements réalisées en 2011 correspondent aux préconisations de la méthodologie malgré le léger démarrage de l'activité biologique constaté en campagne 1.

La suite du document expose des compléments d'informations concernant les profils de températures et d'oxygène, le peuplement phytoplanctonique, les oligochètes et les mollusques.

Le suivi a également porté sur le peuplement macrophytique (application du protocole Cemagref). La synthèse des données acquises est fournie dans la suite de ce document. A noter que les indices DCE pour le suivi de ce compartiment sont en cours de construction.

### Profils de température et d'oxygène :

Des profils verticaux ont été réalisés lors des quatre campagnes. Les profils de température (°C) et de saturation en oxygène dissous (%) sont fournis sur les graphiques suivants :



Lors de la 1<sup>ère</sup> campagne, la température est relativement homogène sur la colonne d'eau (6,3 à 7,9°C). Un léger réchauffement de la couche la plus superficielle est cependant déjà constaté. Un brassage complet de la masse d'eau a donc eu lieu suite au dégel. Concernant l'oxygène dissous, le lac n'est pas stratifié mais on observe tout de même une légère sursaturation en surface (environ 110 %). Le démarrage de l'activité biologique a donc été très rapide après le dégel du lac en raison des conditions météorologiques exceptionnellement ensoleillées.

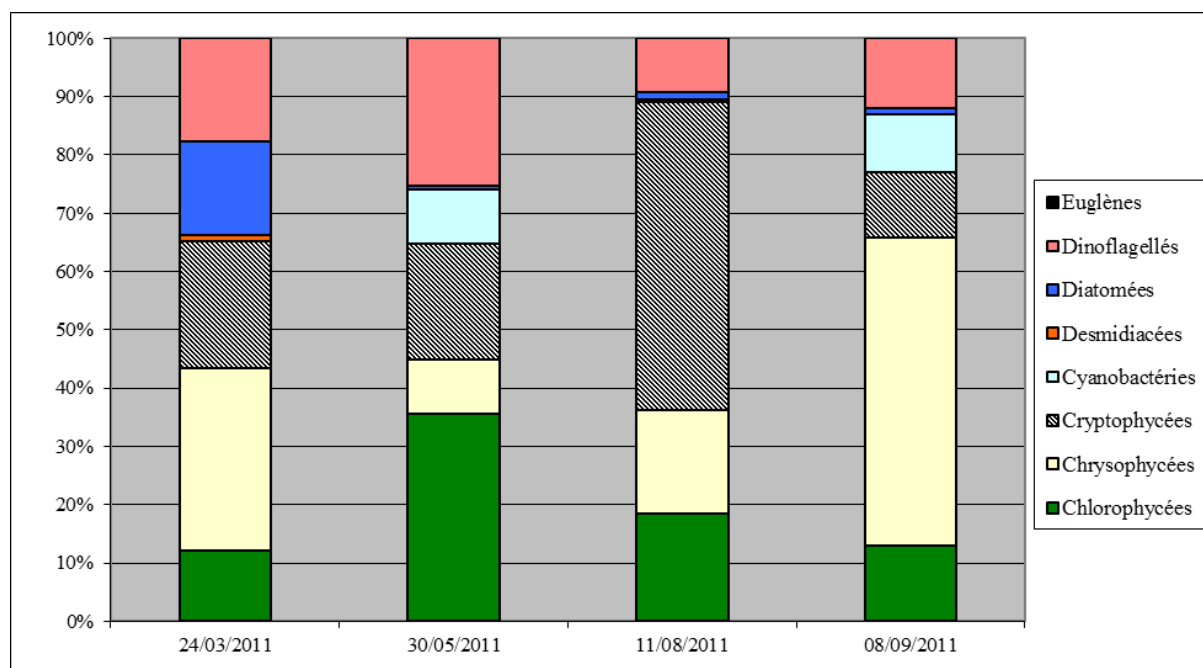
Au printemps, le réchauffement des eaux de surface est marqué (19,5°C jusqu'à -4 m). Il est consécutif au printemps exceptionnellement chaud de cette année 2011. La sursaturation en oxygène dans les couches superficielles atteint 120%, reflet de l'activité photosynthétique dans l'épilimnion.

Elle décroît régulièrement à partir de 3 m de profondeur pour atteindre 60 % de saturation en profondeur.

Au cœur de l'été, la température globale du plan d'eau diminue de quelques degrés pour atteindre 16,8°C en surface et 12,2°C au fond. La stratification thermique est bien installée : la thermocline est établie entre 4,0 et 6,0 m de profondeur. En fin d'été, la stratification est encore visible mais le différentiel thermique est nettement moins important (17,8°C en surface et 15,1°C au fond). Au cours de cette période estivale, la consommation d'oxygène s'intensifie dans les couches profondes : la concentration en O<sub>2</sub> dissous diminue régulièrement sur les 3 derniers mètres (43% de saturation le 11/08/2011 et 8% de saturation le 08/09/2011). L'hypolimnion est donc quasiment anoxique en fin d'été, réduisant ainsi le potentiel de minéralisation à l'interface eau/sédiment.

### Le peuplement phytoplanctonique :

Les échantillons destinés à la détermination du phytoplancton sont constitués d'un prélèvement intégré sur la zone euphotique (équivalent à 2.5 fois la transparence lors de la campagne). Le graphique suivant présente la répartition du phytoplancton par groupe algal (relatif à la diagnose rapide) à partir des résultats exprimés en biovolumes (mm<sup>3</sup>/l) lors des quatre campagnes.



**Répartition du phytoplancton sur le lac de l'Entonnoir à partir des biovolumes (mm<sup>3</sup>/ml)**

Le tableau ci-dessous donne les abondances phytoplanctoniques à chaque campagne en nombre de cellules par millilitre.

| Entonnoir                         | 24/03/2011  | 30/05/2011  | 11/08/2011  | 08/09/2011  |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Total (nombre cellules/ml)</b> | <b>4688</b> | <b>5788</b> | <b>3040</b> | <b>8468</b> |

Globalement, le peuplement phytoplanctonique présente une abondance faible à moyenne sur le lac de l'Entonnoir (3040 à 8468 cellules/ml). La diversité taxonomique est modérée, comprise entre 25 et 35 taxons.

En fin d'hiver, le peuplement phytoplanctonique est dominé en abondance par les diatomées (36%) et les chrysophycées (32% avec notamment le taxon *Dinobryon sociale var. stipitatum*). En termes de biovolume, les dinoflagellés sont bien représentés malgré un faible effectif (22 individus pour environ 18% du biovolume total). Notons également la présence de chlorophycées tant en termes d'abondance que de biovolume.

En campagne 2, les cyanobactéries *Aphanocapsa holsatica* et *Microcystis aeruginosa* et la chlorophycée commune *Chlorella vulgaris* colonisent le milieu au détriment des diatomées. Les cyanobactéries et les chlorophycées représentent alors respectivement 29% et 45% de l'effectif global. Lors des campagnes suivantes, les cyanobactéries continuent de se développer (47% puis 61% de l'effectif global en campagnes 3 et 4) alors que l'effectif des chlorophycées décline progressivement.

Cependant, en termes de biovolume, les algues bleues ne représentent que 0,5 à 10% du peuplement phytoplanctonique dominé par les cryptophycées (*Cryptomonas sp.*) en campagne 3 (53% du peuplement) et les chrysophycées (*Dinobryon divergens*) en campagne 4 (53% du peuplement).

Globalement, le peuplement phytoplanctonique est assez équilibré, les groupes algaux présents durant la période estivale ne traduisent pas un niveau trophique élevé. L'indice phytoplanctonique (IPL) est de 40,7, qualifiant le milieu de mésotrophe. L'indice calculé à partir de l'abondance cellulaire est moins favorable (55,0), qualifiant le milieu d'eutrophe. Ce dernier indice tient compte des effectifs des différents groupes phytoplanctoniques présents et donc de l'abondance de cyanobactéries qui affectionnent les milieux eutrophes. Les teneurs en chlorophylle mesurées sont faibles à moyennes et donc en concordance avec l'IPL.

En 2008, le suivi phytoplanctonique mettait déjà en évidence une prolifération de cyanobactéries mais lors de la première campagne.

### **Les oligochètes :**

L'indice oligochètes global révèle un potentiel métabolique moyen sur le lac de l'Entonnoir avec une note de 9,4. Le pourcentage d'espèces sensibles est nul, ce qui traduit une mauvaise qualité des sédiments dans la zone profonde (hauteur d'eau > 50% de la profondeur maximale). Le potentiel métabolique est plus élevé au centre que sur les points latéraux.

En 2008, l'indice oligochètes révélait un potentiel métabolique plus élevé (12,3) et la présence d'une espèce sensible à la pollution non recensée en 2011 (*Stylaria lacustris*).

### **Les mollusques :**

L'indice est supérieur de 2 points à celui de 2008 du fait de la présence de bivalves *Sphaeridae* au point 9/10<sup>ème</sup> de la profondeur maximale (en 2008 : aucun mollusque n'avait été observé à cette profondeur). *Pisidium spp.* est toujours dominant mais il y a un taxon en moins pour l'accompagner (*Gyraulus* remplace *Bithynia* et *Valvata* rencontrés en 2008).

### **Les Macrophytes :**

Les paysages qui bordent le lac sont très diversifiés : des prairies au Nord-Ouest, la tourbière du Varot au Sud-Ouest, une forêt au Sud-Est et un secteur davantage artificialisé au Nord-Est (voie SNCF).

Le recouvrement global de macrophytes sur le lac est assez important et est estimé à au moins 25% de sa surface. Seule la partie Est du plan d'eau est assez pauvre en macrophytes. Le taux de recouvrement est élevé dans les zones Sud, Ouest et Nord.

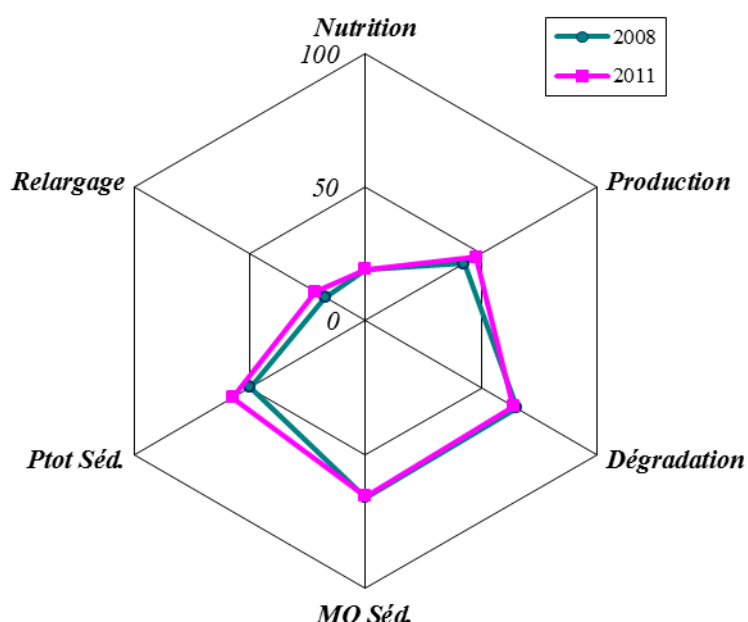
Les formations végétales présentes au niveau du lac de l'Entonnoir sont bien diversifiées : nupharaies à Nénuphar jaune (*Nuphar lutea*), herbiers de plantes enracinées (*Potamogeton crispus*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton berchtoldii*), roselières à Baldingère (*Phalaris arundinacea*), à Jonc des tonneliers (*Scirpus lacustris*) et à Prêle des borbiers (*Equisetum fluviatile*) et herbiers de characées (avec *Chara contraria* et *Chara hispida* notamment). Les herbiers de characées sont globalement indicateurs d'un niveau trophique des eaux oligo-mésotrophe à mésotrophe. Une prédominance d'espèces mésotrophes est cependant constatée. En effet, les herbiers à plantes enracinées, les roselières et les magnocariçaies recensés indiquent globalement un niveau trophique des eaux mésotrophe à eutrophe. En conclusion, l'étude de la population de macrophytes qualifie le milieu de mésotrophe.

Aucune espèce exotique envahissante n'a été recensée lors de la réalisation de ces unités d'observation. L'Elodée du Canada (*Elodea canadensis*), espèce exotique anciennement reconnue comme envahissante et considérée aujourd'hui comme bien intégrée dans les écosystèmes aquatiques, a été observée dans le passé mais n'a pas été inventoriée en 2011.

## Annexe 7 : Comparaison interannuelle des résultats

### Les indices de la diagnose rapide

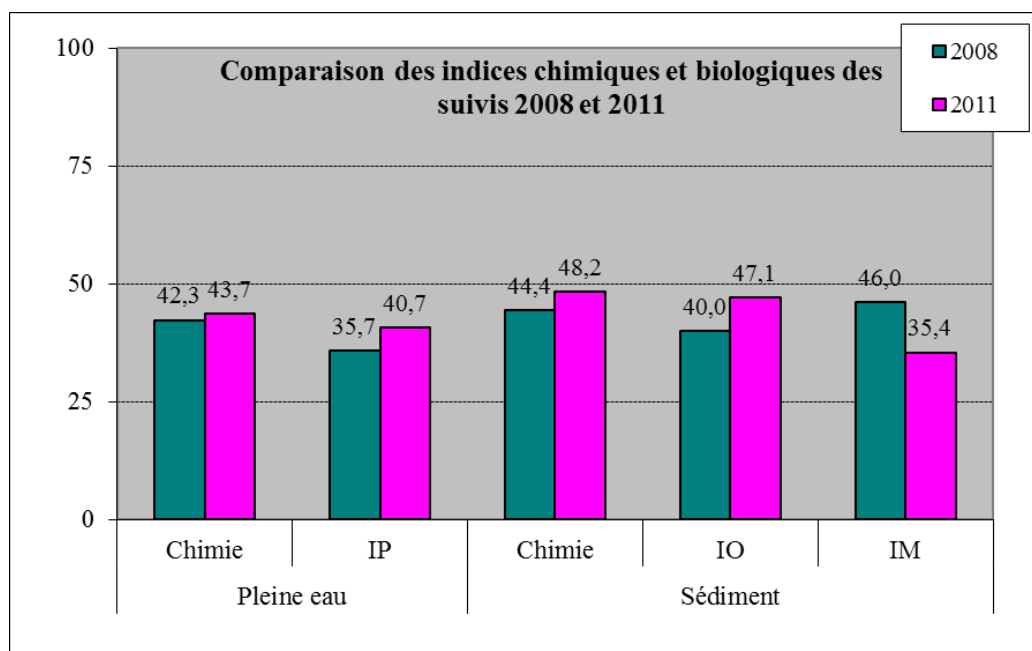
Graphique en radar des indices fonctionnels du lac de l'Entonnoir Suivis 2008 et 2011



Les indices fonctionnels établis lors des deux suivis 2008 et 2011 sont proches : la qualité physico-chimique du lac de l'Entonnoir ne semble pas avoir évolué en 3 ans.

On peut souligner le caractère peu ordinaire du tracé de la figure qui reflète la complexité du fonctionnement de cette masse d'eau à l'hydrologie particulière (réseau karstique et imbrication dans une vaste zone humide).

Les indices synthétiques : un indice physico-chimique moyen pour chaque compartiment (un pour la pleine eau et un pour le sédiment) est affiché à côté des indices biologiques



IP : Indice Planctonique /  
IO : Indice Oligochètes /  
IM : Indice Mollusques

Les indices physico-chimiques sur l'eau et sur les sédiments sont similaires lors des deux suivis. Ils placent le lac de l'Entonnoir en classe mésotrophe. Les indices biologiques sont légèrement plus variables dans le temps. Ainsi, les indices planctonique et oligochètes sont plus élevés respectivement de 5 et 7 points en 2011 par rapport à 2008. Au contraire, l'indice mollusques est meilleur en 2011 (-10 points). L'ensemble de ces indices demeure cependant en classe mésotrophe.

## Evaluation en termes de classe d'état DCE

### 1 - Etat écologique

Classes d'état

|  |                |
|--|----------------|
|  | Très bon (TB)  |
|  | Bon (B)        |
|  | Moyen (MOY)    |
|  | Médiocre (MED) |
|  | Mauvais (MAUV) |

| Année de suivi | Ensembles agrégés des éléments de qualité |                            | Polluants spécifiques de l'état écologique | Altérations hydromorphologiques | Etat écologique | Niveau de confiance |
|----------------|-------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|
|                | Biologiques                               | Physico-chimiques généraux |                                            |                                 |                 |                     |
| 2008           | B                                         | B                          | B                                          | Non déterminé                   | B               | 2/3                 |
| 2011           | MOY                                       | MOY                        | B                                          | Non déterminé                   | MOY             | 2/3                 |

Le tableau suivant détaille par année de suivi la classe d'état de chaque paramètre pris en compte dans les éléments de qualité biologiques et physico-chimique généraux.

| Année de suivi | Paramètres biologiques |      | Paramètres Physico-chimiques généraux |                                   |               |         |
|----------------|------------------------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------|
|                | Chlo-a                 | IPL  | Nmin max                              | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> max | Ptot. Max     | Transp. |
| 2008           | 3,4                    | 35,7 | <0,26                                 | <0,005                            | <0,011        | 4,0     |
| 2011           | 3,9<x<4,2              | 40,7 | <0,26                                 | <0,005                            | 0,014<x<0,016 | 3,4     |

Des paramètres "complémentaires" peuvent être intégrés au titre de l'expertise de l'état écologique :

| Année de suivi | Paramètres complémentaires |      |                            |
|----------------|----------------------------|------|----------------------------|
|                | Biologiques                |      | Physico-chimiques généraux |
|                | IMOL                       | IOBL | Déficit O2                 |
| 2008           | 5                          | 12,3 | 53,0                       |
| 2011           | 7                          | 9,4  | 52,5                       |

Le lac de l'Entonnoir est classé en état écologique moyen (en 2011) à bon (en 2008). Ce sont l'indice planctonique et la transparence moyenne qui déclassent le plan d'eau en 2011. Cependant, les résultats obtenus pour ces 2 paramètres sont très proches de la limite séparant les états bon et moyen (limite fixée à 40 en IPL et 3,5 en transparence) mais également proches des résultats obtenus en 2008. Ainsi, on peut considérer que les paramètres physicochimiques généraux et les paramètres biologiques sont relativement stables dans le temps. De même, les paramètres complémentaires sont similaires.

### 2 - Etat chimique

|  |         |
|--|---------|
|  | Bon     |
|  | Mauvais |

| Année de suivi | Etat chimique |
|----------------|---------------|
| 2008           | Bon           |
| 2011           | Bon           |

Le plan d'eau est classé en bon état chimique lors des deux années de suivi.