



Conseil Général de la
Martinique
Direction Générale des
Services Techniques et
Economiques – DIE



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



Etude diagnostic

Retenue de barrage de La Manzo

ETUDE DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DE L'EAU DU BARRAGE DE LA MANZO

RAPPORT ANNUEL

Campagnes de suivi 2007



ASCONIT CONSULTANTS
Agence Caraïbes

5, RESIDENCE LES HORIZONS
QUARTIER LOURDES
97224 DUCOS
(Martinique)

Tél./Fax 05.96.63.55.78
Mobile : 06.96.25.54.10



CONSEIL GÉNÉRAL
DE LA MARTINIQUE



Principaux Contacts :

CONSEIL GENERAL DE LA MARTINIQUE :

Valérie VEILLEUR

Tél. : 05.96.59.85.32

ASCONIT CONSULTANTS :

Nicolas BARGIER

nicolas.bargier@asconit.com

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs de l'étude.....	7
2. Méthodologie du diagnostic 2007.....	8
2.1. Calendrier des interventions 2007.....	8
2.2. Interprétation des données.....	10
3. Diagnose du plan d'eau.....	11
3.1. Evolution des pressions sur la retenue.....	11
3.1.1. Occupation des sols sur le bassin versant.....	11
3.1.2. Régime hydrologique.....	12
3.1.3. Régime sédimentaire.....	15
3.1.4. Berges.....	15
3.1.5. Autres critères.....	15
3.1.6. Synthèse.....	15
3.2. Caractérisation physico-chimique des eaux du plan d'eau.....	17
3.2.1. Conditions physico-chimiques in situ.....	17
3.2.2. Paramètres chimiques analysés en laboratoire.....	23
3.2.3. Composés azotés et phosphorés.....	26
3.2.4. Alcalinité.....	28
3.2.5. Micropolluants minéraux.....	29
3.2.6. Micropolluants organiques.....	32
3.2.7. Bactériologie.....	32
3.3. Caractérisation physico-chimique des sédiments du plan d'eau.....	33
3.3.1. Granulométrie.....	33
3.3.2. Physico-chimie des sédiments bruts.....	34
3.3.3. Physico-chimie de l'eau interstitielle.....	37
3.4. Caractérisation biologique du plan d'eau.....	38
3.4.1. Invertébrés Oligochètes.....	38
3.4.2. Phytoplancton.....	38
3.4.2.1. Méthodologie.....	39
3.4.2.2. Résultats.....	40
3.5. Degré de trophie du plan d'eau.....	47
3.5.1. Les descripteurs.....	47
3.5.2. Approche fonctionnelle.....	50
4. Evaluation globale -SEQ Plan d'eau.....	52
5. Conclusion de la diagnose.....	58
6. Plan de gestion.....	60
6.1. Rappels sur les caractéristiques des ouvrages, hiérarchisation des dysfonctionnements	60
6.1.1. La retenue de Saint-Pierre de la Manzo : géométrie et règles de gestion.....	60
6.1.2. Les problèmes relevés par l'exploitant, le constat mis en évidence par les mesures.....	61
6.2. Aménagements possibles.....	63
6.2.1. Oxygénation des eaux in situ.....	63
6.2.2. Traitement en sortie de la retenue.....	65
6.2.3. Déstratification des eaux de la retenue.....	66
6.2.4. Déplacement du niveau de prise.....	68
6.2.5. Modification des règles de gestion.....	71
6.2.6. Synoptique des aménagements possibles.....	73
6.3. Lutte contre l'eutrophisation occasionnelle.....	74
6.3.1. Assèchement par vidange du fond.....	74
6.3.2. Biomanipulation : consommation par le zooplancton.....	74
6.3.3. Contrôle des nutriments.....	75

6.4. Mesures immédiates et adaptations du programme de surveillance	76
7. Les Annexes	77

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. RECAPITULATIF DES MESURES REALISEES EN 2007	9
TABLEAU 2. TEMPS DE SEJOUR DE L'EAU ESTIME DANS LA RETENUE DE LA MANZO SUR SIX ANNEES (2002 A 2007).....	14
TABLEAU 3. MESURES DE TRANSPARENCE <i>IN SITU</i> REALISEES EN 2007 ET 2006.....	18
TABLEAU 4. RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX DE LA RETENUE DE LA MANZO (CAMPAGNE 2007).....	24
TABLEAU 5. RAPPEL DES RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX DE LA RETENUE DE LA MANZO (CAMPAGNES 2005 ET 2006)	25
TABLEAU 6. CONCENTRATIONS EN FER ET EN MANGANESE ($\mu\text{G/L}$) RELEVees EN SURFACE ET AU FOND DE LA RETENUE DEPUIS 1981 (Cf.FIGURE 10).....	30
TABLEAU 7 : EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX DU BARRAGE DE MANZO (PARAMETRES FER/MANGANESE) SELON LE SEQ PLAN D'EAU	31
TABLEAU 8. RESULTATS D'ANALYSES DES MICROPOLLUANTS ORGANIQUES RELEVees EN MARS 2007.....	32
TABLEAU 9. RESULTATS D'ANALYSES BACTERIOLOGIQUES RELEVees EN MARS 2007	32
TABLEAU 10. RESULTATS D'ANALYSES DES SEDIMENTS DE LA RETENUE DE LA MANZO EN SEPTEMBRE 2007 ET JUIN 2006	34
TABLEAU 11. CONCENTRATIONS PHYSICO-CHIMIQUES RELEVees EN SEPTEMBRE 2007 SUR LES EAUX (SURFACE ET FOND) ET SUR LES SEDIMENTS DE LA RETENUE DE LA MANZO	37
TABLEAU 12. CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LE BARRAGE DE LA MANZO.	40
TABLEAU 13. COEFFICIENTS ATTRIBUES AUX GROUPES REPERES (Q_i), ABONDANCE RELATIVE (%), CLASSES D'ABONDANCE RELATIVE (A_j) DU PHYTOPLANCTON ET I_{pL} CALCULE.....	45
TABLEAU 14. LIMITES DE CLASSES ET CLASSE DE QUALITE ASSOCIEE A L' I_{TP} (APPLICABLE A L' I_{pL} -SEQ-PLAN D'EAU) ...	45
TABLEAU 15. ETAT TROPHIQUE DE LA RETENUE DE LA MANZO EN 2007 SELON LE SYSTEME « FIXE » DE CLASSIFICATION DE L'ETAT TROPHIQUE DE L'OCDE (OCDE, 1982).....	49
TABLEAU 16. ETAT TROPHIQUE DE LA RETENUE DE LA MANZO ENTRE 2001 ET 2006 SELON LE SYSTEME « FIXE » DE CLASSIFICATION DE L'ETAT TROPHIQUE DE L'OCDE (OCDE, 1982).	49
TABLEAU 17. TABLEAU SYNOPTIQUE DES PISTES DE GESTION ENVISAGEES POUR LA RETENUE DE LA MANZO.....	73

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DE LOCALISATION DES PRELEVEMENTS EN 2007	8
FIGURE 2. VOLUMES ANNUELS MOYENS STOCKES DANS LA RETENUE DE LA MANZO DEPUIS 2001	13
FIGURE 3. VOLUMES HEBDOMADAIRES STOCKES DANS LA RETENUE DE LA MANZO DEPUIS 2001	13
FIGURE 4. VOLUMES CIRCULANT DANS LA RETENUE DE LA MANZO. PART DES VOLUMES ENTRANT ET SORTANT PAR RAPPORT AU VOLUME PRESENT DANS LE RESERVOIR 2002 A 2007	14
FIGURE 5 : ÉVOLUTION DE LA TRANSPARENCE DES EAUX <i>IN SITU</i> DU BARRAGE DE LA MANZO EN 2007 (DISQUE DE SECCHI EN M).....	18
FIGURE 6 : PROFILS PHYSICO-CHIMIQUES ET LIMITE DE STRATIFICATION DES COUCHES D'EAU - ANNEE 2007	20
FIGURE 7 : ÉVOLUTION DES TENEURS EN ELEMENTS NUTRITIFS – NO3 ET PTOTAL- (2005-2007)	27
FIGURE 8 : ÉVOLUTION DE L'ALCALINITE – HCO3 ET TAC- (2005-2007)	29
FIGURE 9 : ÉVOLUTION DES TENEURS EN FER ET MANGANESE DEPUIS 1981.....	31
FIGURE 10 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES PARTICULES	33
FIGURE 11. RICHESSE TAXONOMIQUE DU PHYTOPLANCTON DANS LE BARRAGE DE LA MANZO EN 2007	41
FIGURE 12. ABONDANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES D'ALGUES -2007	41
FIGURE 13. DENSITE CELLULAIRE EN NOMBRE D'ALGUES PAR MILLILITRE ET EN NOMBRE DE CELLULES PAR MILLILITRE DANS LA ZONE EUPHOTIQUE - MARS 2007.....	43
FIGURE 14. VALEUR DE L'INDICE PLANCTONIQUE (I_{PL}) ET DEGRE DE TROPHIE ASSOCIEE	46
FIGURE 15. ETAT TROPHIQUE PROBABLE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE POUR LA RETENUE DE LA MANZO, SELON LA DISTRIBUTION DES ETATS TROPHIQUES DE L'OCDE (OCDE, 1982). DONNEES 2006 ET 2007	47
FIGURE 16. ETAT TROPHIQUE PROBABLE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE TOTAL POUR LA RETENUE DE LA MANZO, SELON LA DISTRIBUTION DES ETATS TROPHIQUES DE L'OCDE (OCDE, 1982). DONNEES 2007	48
FIGURE 17. ETAT TROPHIQUE PROBABLE EN FONCTION DE LA TRANSPARENCE POUR LA RETENUE DE LA MANZO, SELON LA DISTRIBUTION DES ETATS TROPHIQUES DE L'OCDE (OCDE, 1982). DONNEES 2006 - 2007	48
FIGURE 18. APPROCHE FONCTIONNELLE DES PHENOMENES DE TROPHIE SUR LA MANZO EN 2007	50
FIGURE 19 : SYNTHESE DE LA DIAGNOSE 2007.....	59
FIGURE 20. COURBE VOLUMETRIQUE DE LA RETENUE DE LA MANZO	61
FIGURE 21. DISPOSITIF DE BULLAGE POUR OXYGENATION DES EAUX POUR UN BARRAGE DE RETENUE AU MAROC.	64
FIGURE 22. SCHEMA DE PRINCIPE DU PROCEDE DES BRASSEURS SUNGO.	66
FIGURE 23. EXEMPLE D'APPAREILS DE TYPE SUNGO EN SITUATION NATURELLE.	67
FIGURE 24. MAT OSCILLANT EN PHASE DE MISE EN PLACE AU BEC D'AMBES EN GIRONDE	69
FIGURE 25. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA PRISE D'EAU DE SURFACE	70
FIGURE 26. HISTORIQUE DES REMPLISSAGES DE LA RETENUE (1998 A 2004).....	71
FIGURE 27. VOLUMES MOBILISABLES EN FONCTION DU NIVEAU D'EAU EN SEMAINE 23	72

1. Contexte et objectifs de l'étude

Le présent rapport d'étude s'inscrit dans le cadre du suivi de la qualité des eaux et de la définition des pistes de gestion de la retenue de barrage de Saint-Pierre la Manzo, en cohérence avec la mise en œuvre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil, du 23 octobre 2000. La maîtrise d'ouvrage de cette étude est assurée par le Conseil Général de la Martinique.

Ces dernières années, la retenue de la Manzo est affectée, de manière récurrente, avec plus ou moins d'intensité, par une prolifération de microalgues donnant une coloration verte à l'eau. La présence de ces algues est le **signe d'une eutrophisation de l'eau** de la Manzo.

C'est dans ce contexte que le Département s'est engagé à mener des investigations visant à répondre à un certain nombre d'interrogations portant sur :

- **l'origine du phénomène d'eutrophisation** des eaux de la Manzo ;
- les raisons du **caractère aléatoire** de l'apparition des algues ;
- les **conséquences sur l'écosystème** de la Manzo et pour les utilisateurs ;
- les **mesures pour prévenir l'eutrophisation** et pour limiter les nuisances occasionnées.

La démarche suivie par le Département sera dans un premier temps de **mieux comprendre le phénomène d'eutrophisation** des eaux de la Manzo et dans un deuxième temps de **mettre en œuvre un programme d'amélioration** de la qualité de l'eau.

La diagnose menée sur la retenue de la Manzo en 2006 a été fortement influencée par la vidange décennale effectuée en milieu d'année. Ce protocole de surveillance et d'entretien de la retenue n'a pas permis le déroulement des 3 à 4 campagnes nécessaires à la fiabilité de certains descripteurs au cours d'une année calendaire.

Afin d'affiner la diagnose, dans des conditions normalisées sur un cycle annuel complet, le Conseil Général a poursuivi l'étude du fonctionnement du plan d'eau sur 4 campagnes, respectivement en mars, juin, septembre et décembre 2007

Le présent rapport synthétise les **résultats des quatre campagnes d'interventions de terrain réalisées en 2007**.

2. Méthodologie du diagnostic 2007

2.1. Calendrier des interventions 2007

Dans le cadre du suivi de plan d'eau de La Manzo, des mesures et prélèvements ont été prévues sur 3 points de la retenue selon le calendrier suivant :

- 2 campagnes en période de carême (début et fin de saison) ;
- 2 campagnes en période d'hivernage (début et fin de saison) ;
- Des campagnes supplémentaires optionnelles en cas de bloom algal.

Les mesures *in situ*, les prélèvements d'eau et de sédiments ont été réalisés à partir d'une embarcation. Les mesures *in situ* se sont opérées sur les trois points de mesures et les différents prélèvements à proximité du barrage (point n°3).

Les échantillons ont été acheminés le jour même au laboratoire (LDA 972).

Positionnement des trois points de mesures (cf. carte suivante) :

- Anse n°1
(GPS : 14,596,86°N ; - 60,936,16°N)
- Anse n°2
(GPS : 14,590,96°N ; - 60,929,19°O)
- Barrage n°3
(GPS : 14,588,73°N ; -60,934,34°O)

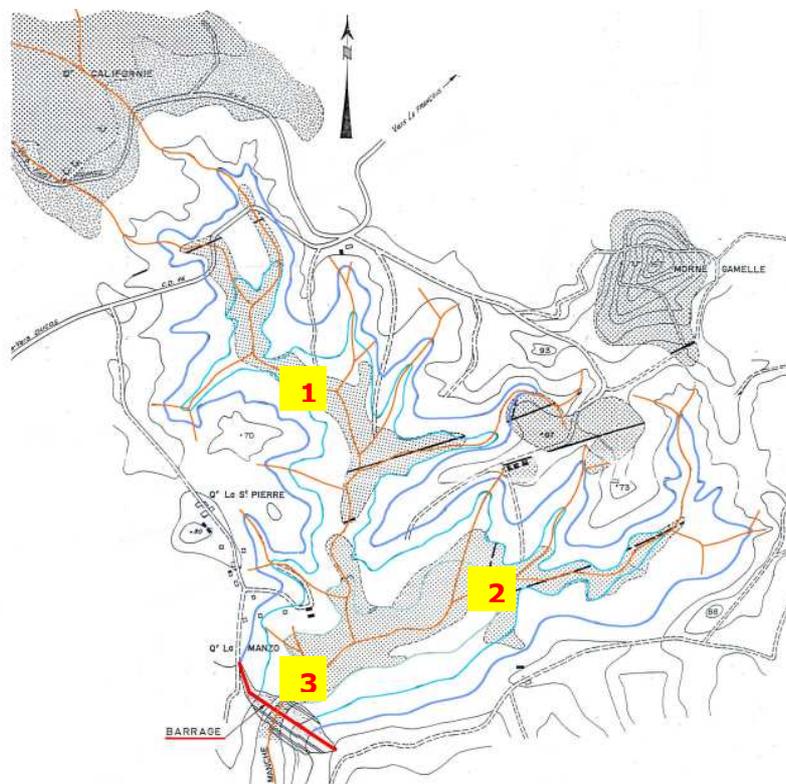


Figure 1 : Carte de localisation des prélèvements en 2007

Les investigations réalisées à nos jours sont résumées ci-après.

Tableau 1. Récapitulatif des mesures réalisées en 2007

1^{ère} Campagne

RETENUE DE LA MANZO – Mars 2007	Thématiques générales		
	HYDROMORPHOLOGIE	PHYSICO-CHIMIE	BIOLOGIE
Groupes de mesures			
Groupe 1 – Mesures physico-chimiques <i>in situ</i>		3 Profils verticaux	
Groupe 2 – Analyses physico-chimiques eaux		3 prélèvements	
Groupe 3 – Analyses physico-chimiques eaux		2 prélèvements	
Groupe 4 – Analyses physico-chimiques eaux		2 prélèvements	
Groupe 5 et 6 – Analyses physico-chimiques sédiments		1 pool de prélèvements	
Groupe 7 – Analyses biologiques – Phytoplancton			1 prélèvement
Groupe 8 – Analyses biologiques – Macrophytes			Observations <i>in situ</i>
Groupe 8 – Analyses biologiques – Invertébrés			
Analyses bactériologiques		1 prélèvement	
Hydromorphologie	Site		

2^{ème} Campagne

RETENUE DE LA MANZO – Juin 2007	Thématiques générales		
	HYDROMORPHOLOGIE	PHYSICO-CHIMIE	BIOLOGIE
Groupes de mesures			
Groupe 1 - Mesures physico-chimiques <i>in situ</i>		3 Profils verticaux	
Groupe 2 - Analyses physico-chimiques eaux		3 prélèvements	
Groupe 7 - Analyses biologiques - Phytoplancton,			1 prélèvement
Hydromorphologie	Site		

3^{ème} Campagne et 4^{ème} Campagne

RETENUE DE LA MANZO – Septembre/Décembre 2007	Thématiques générales		
	HYDROMORPHOLOGIE	PHYSICO-CHIMIE	BIOLOGIE
Groupes de mesures			
Groupe 1 - Mesures physico-chimiques <i>in situ</i>		3 Profils verticaux	
Groupe 2 - Analyses physico-chimiques eaux		3 prélèvements	
Groupe 5 et 6 – Analyses physico-chimiques sédiments		1 pool de prélèvements	
Groupe 7 - Analyses biologiques - Phytoplancton,			1 prélèvement
Hydromorphologie	Site		

Les oligochètes (Groupe 8), n'ayant pas été trouvés lors des trois dernières interventions (juin 2006, novembre 2006, mars 2007), cette analyse n'a pas réitérée dans les campagnes suivants.

La nature des interventions réalisées sur le terrain est présentée en Annexe 1.

2.2. Interprétation des données

▪ Diagnostic global du plan d'eau :

A partir des résultats obtenus suite aux différentes campagnes d'échantillonnages et d'analyses, la qualité chimique et écologique de l'eau du barrage sera estimée, l'origine et le fonctionnement de l'écosystème de la Manzo sont abordés.

- La caractérisation de la **qualité physico-chimique de l'eau** : fournit les informations sur la qualité de l'eau, son évolution et sa compatibilité avec les usages. C'est un paramètre prépondérant de la répartition des espèces (flore et faune) et un indicateur du fonctionnement de l'écosystème ;
- La caractérisation de la **qualité physico-chimique des sédiments** : intégrateurs spatio-temporels de l'activité de l'écosystème, ils fournissent une information physico-chimique sur une plus longue période ;
- L'étude du **niveau de trophie** des lacs : associée aux paramètres physico-chimiques, l'analyse de la composition et de la structure du peuplement des algues macroscopiques phytoplanctoniques permet d'aborder des conditions trophiques sur le plan d'eau ;
- La **qualité écologique** du plan d'eau : sur la base de l'interprétation (indices) des résultats biologiques.

Les grilles du Système d'Evaluation de la Qualité « **SEQ-Plan d'Eau** » permettront d'évaluer le niveau trophique et l'état écologique du plan d'eau. Cet outil d'évaluation tient compte des états requis de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) et de leur aptitude à satisfaire les usages en fonction de leur état d'altération.

Néanmoins, cet outil n'est pas totalement adapté aux plans d'eau de la zone inter tropicale. Il apparaît que les résultats obtenus pour certains paramètres péjorent systématiquement l'évaluation de la qualité, bien qu'ils semblent ne pas altérer le fonctionnement des écosystèmes (température, biodisponibilité de certains éléments en raison de la faible variabilité saisonnière...).

L'absence d'autres plans d'eau, en Martinique, ne permet pas d'adapter les valeurs d'état de référence. De surcroît, les autres expériences en cours dans la zone inter tropicale n'ont pas abouti à ce jour sur des valeurs de référence. C'est pourquoi, il pourrait s'avérer judicieux de soumettre aux autorités compétentes une version « adaptée aux conditions locales » du SEQ Plan d'eau. Cette approche est développée dans la partie 4.

3. Diagnose du plan d'eau

3.1. Evolution des pressions sur la retenue

3.1.1. Occupation des sols sur le bassin versant

L'objectif, au niveau du bassin versant, est ici de s'assurer que les cycles bio-géochimiques et les apports de sédiments fins ne sont pas significativement perturbés par les apports de nutriments et l'érosion des sols agricoles, et que les apports polluants et les divers impacts physiques liés aux zones bâties sont très faibles.

Au niveau du plan d'eau, il s'agit d'écarter les plans d'eau recevant des rejets industriels ou urbains domestiques directement (même après passage en STEP). De même, sont écartés les plans d'eau recevant des tributaires déclassés par un rejet (même du bleu au vert selon le SEQ-Eau), et ceux dont l'altération matières phosphorées n'est pas bleu.

Le **bassin versant de la retenue La Manzo** n'a pas subi de modifications significatives au cours de ce suivi 2007 et a par conséquent conservé ces principales caractéristiques résumées ci-dessous :

- Superficie : 237 hectares
- Faible activité agricole de production : quelques parcelles de banane export, canne à sucre ou maraîchage autour de la retenue
- Présence d'une agriculture traditionnelle orientée vers l'auto-consommation
- Présence de zones en friche ou boisées et très peu de sols nus, excepté sur les parcelles de maraîchage
- Couverture végétale homogène ce qui limite l'érosion et le transport de matières
- Densité moyenne d'habitats inégalement répartis
- Zones d'habitations de densité moyenne à forte dans le secteur au Nord-Est
- Pas d'activité industrielle
- Principales sources de pollution : l'agriculture et l'assainissement

Une **première évaluation des principales sources exogènes** potentielles de composés phosphorés et azotés a été réalisée en 2005 (Conseil Général, Asconit C., 2005). Ces sources sont essentiellement constituées par :

- Les apports ponctuels de la rivière Lézarde,
 - apports annuels en azote entre 0,8 et 4,7 tonnes/an
 - apports annuels en phosphore entre 0 et 60 kg/an
- Les apports diffus d'origine agricole et domestique.

- apports annuels de l'agriculture (culture de banane) :
 - entre 132 à 296 kg d'azote
 - 43 et 98 kg de phosphore
- apports annuels de l'assainissement :
 - entre 3 215 et 5 788 kg/an en azote
 - entre 857 et 1 543 kg/an en phosphore
- **Charge externe globale estimée entre 2002 et 2006 :**
 - **en azote entre 4,2 et 10,8 tonnes/an**
 - **en phosphore entre 0,9 et 1,7 tonne/an**

Ces charges externes apportées à la retenue de La Manzo ne semblent pas excessives et se seraient vraisemblablement maintenues en 2007.

Il est toutefois rappelé que les apports estimés pour la retenue de La Manzo sont à prendre avec beaucoup de précautions compte tenu des conditions d'évaluation de cette charge.

La retenue de Saint-Pierre La Manzo est essentiellement alimentée par les eaux de la station de pompage de la rivière Lézarde. En dehors de l'apport des eaux captées sur la rivière, elle est alimentée par des eaux qui ruissellent sur le bassin versant et les pluies directes. Il n'y a pas de cours d'eau pérenne identifié qui alimente la retenue.

Les apports des tributaires ne constituent donc pas une source d'altération pour le plan d'eau.

3.1.2. Régime hydrologique

L'objectif, au niveau du bassin versant, est ici d'écarter les plans d'eau pour lesquels le module d'un des tributaires a été modifié (dérivation, pompage, ...).

Au niveau du plan d'eau, les modifications du régime hydrologique concernent l'existence ou non d'un marnage artificiel (ou artificialisé, s'il en existait un naturellement auparavant), la modification de la circulation interne de la masse d'eau (systèmes d'agitation, pompage, ...), les prélèvements (moins de 2% des apports entrants annuellement).

Aucun cours d'eau pérenne identifié n'alimente la retenue de La Manzo. Les volumes d'eau proviennent majoritairement du captage de la rivière Lézarde.

Les **volumes d'eau circulant dans la retenue de La Manzo** sont variables en fonction des années (Figure 2) et de la saison. Les côtes hebdomadaires relevées par le BGPISSE, entre 2001 et 2007 (Figure 3), montrent une forte diminution du volume stocké dans la retenue en période de carême, lorsque la rivière Lézarde présente un débit insuffisant pour couvrir les besoins du PISE. Elle est ensuite réalimentée par les eaux de la Lézarde dès que le débit de la rivière devient suffisant pour couvrir les besoins pour l'AEP et pour le PISE (en hivernage).

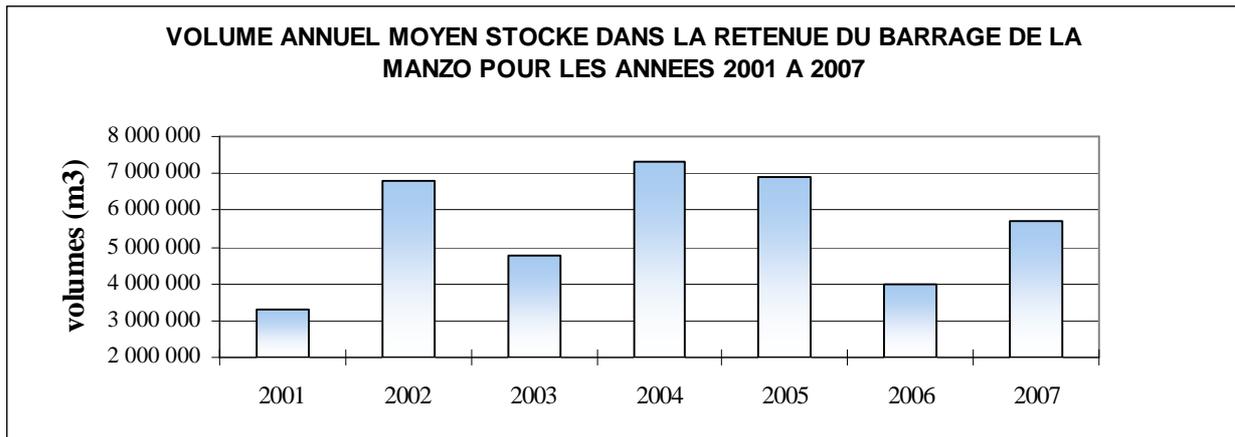


Figure 2. Volumes annuels moyens stockés dans la retenue de La Manzo depuis 2001

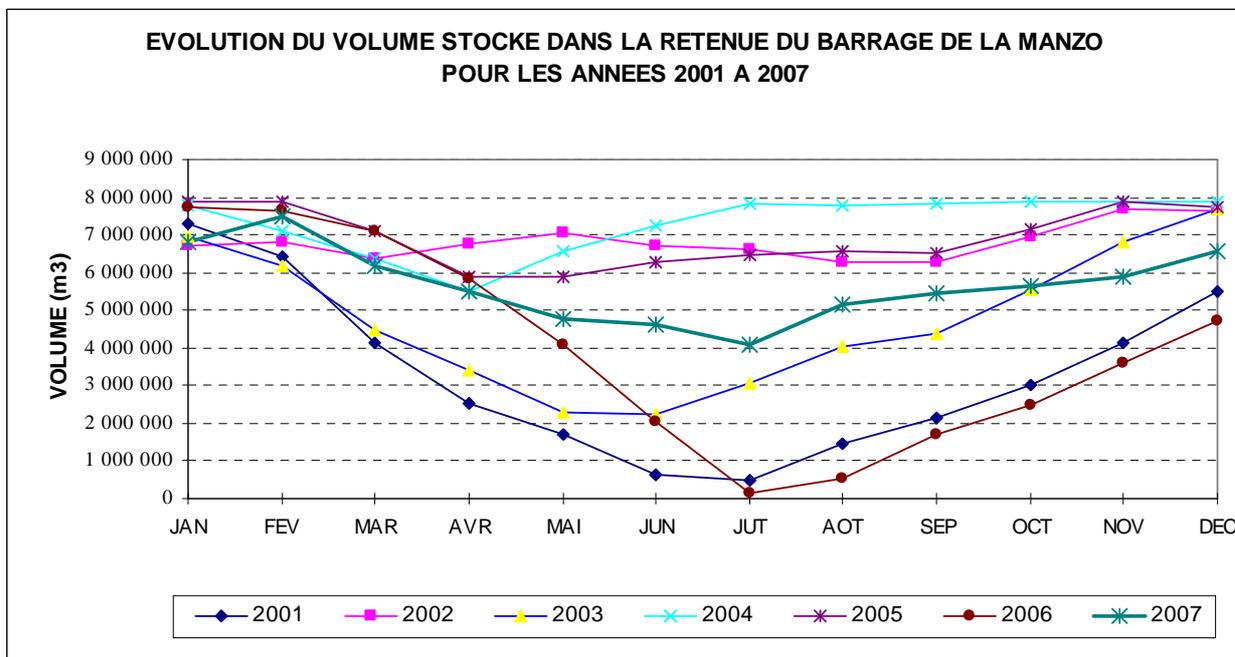


Figure 3. Volumes hebdomadaires stockés dans la retenue de La Manzo depuis 2001

La Figure 4 présente la part des volumes hebdomadaires stockés, entrant et sortant de la retenue de barrage. On note les plus fortes variations des volumes en année sèche (2003), ce qui traduit un renouvellement rapide de l'eau dans le réservoir par rapport à une année pluvieuse où les volumes d'eau entrant et sortant de la retenue sont moins importants.

VOLUMES CIRCULANT DANS LA RETENUE

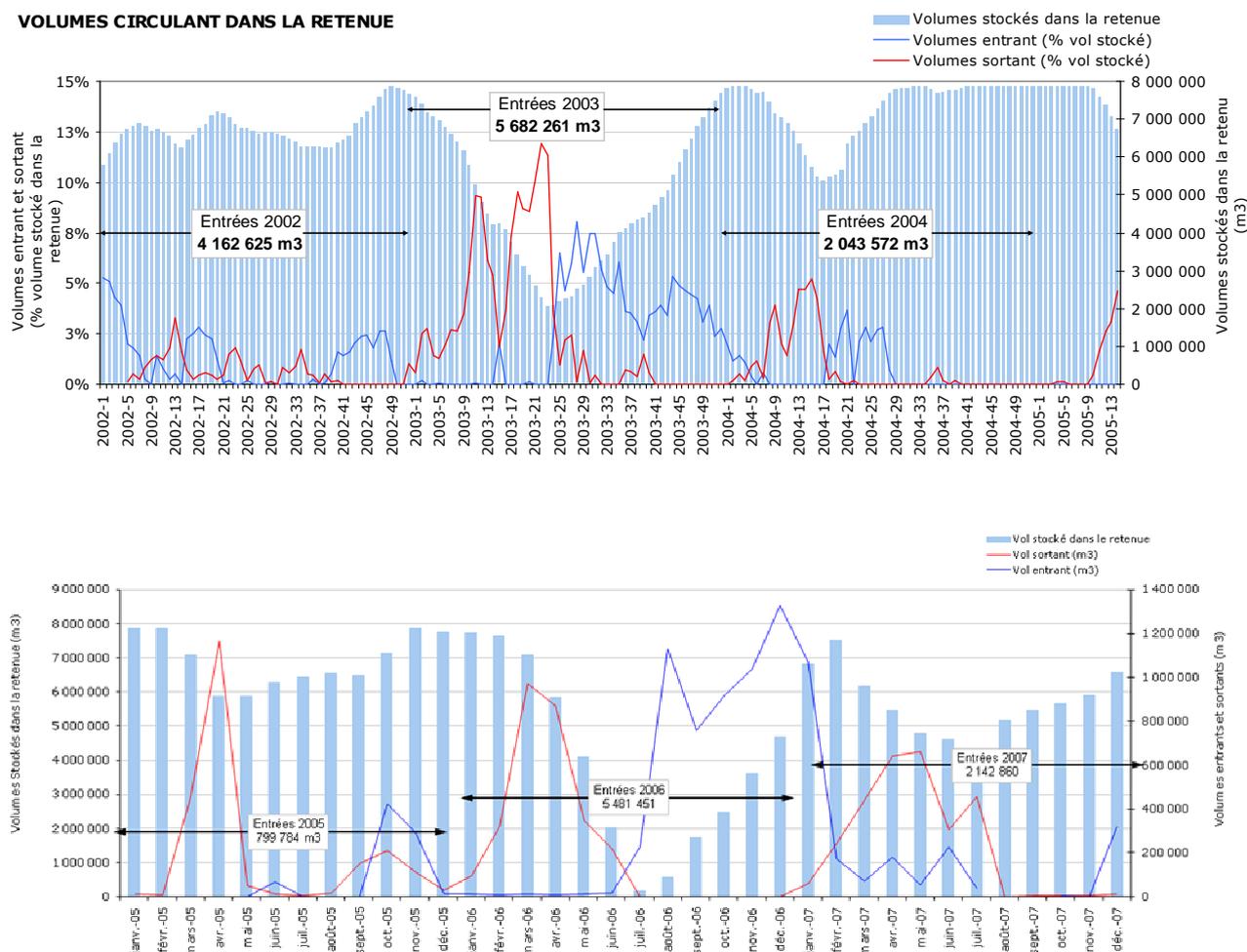


Figure 4. Volumes circulant dans la retenue de La Manzo. Part des volumes entrant et sortant par rapport au volume présent dans le réservoir 2002 à 2007

Le **temps de séjour de l'eau estimé** dans le réservoir est alors 2 à 6 fois plus long en année humide, lorsque les volumes circulant dans le plan d'eau sont faibles (Tableau 2). En 2003, l'importance des volumes sortant du premier semestre et des volumes entrant du second semestre a permis de renouveler le stock d'eau de la retenue en quelques mois. En revanche, les faibles variations des volumes circulant notées en 2004 et 2005 (années particulièrement pluvieuses) ne permettent pas un renouvellement des eaux du réservoir dans l'année. En maintenant ces conditions de faible circulation des eaux, compte tenu des volumes entrant dans la retenue et du volume stocké, il faudrait plusieurs années pour renouveler entièrement les eaux du bassin. Sur **2007**, ce temps est estimé à **1,9 année**. Ceci donne un **temps de séjour moyen estimé à 2,6 années**.

Tableau 2. Temps de séjour de l'eau estimé dans la retenue de La Manzo sur six années (2002 à 2007)

Année	Volume moyen mensuel stocké (m3)	Temps de séjour (an)
2007	5 683 542	1,9
2006	3 972 562	1,0
2005	6 922 542	5,8
2004	7 302 458	4,2
2003	4 762 417	0,8
2002	6 817 333	1,7

Suite à l'étude précise des suivis géologiques de la retenue, il apparaît qu'aucune **connexion aux masses d'eau souterraine** n'a été détectée. La mise en place à partir d'un noyau d'argile ne permet en effet aucune connexion à toute masse d'eau souterraine.

3.1.3. Régime sédimentaire

A l'échelle du bassin versant, la modification des flux particuliers sur les tributaires peut avoir un impact notable sur le plan d'eau lui-même.

Aucune modification vis-à-vis ce paramètre en 2007

Les apports en MES provenant de La Lézarde et du bassin versant sont considérés comme faibles. Il n'existe pas de relevés permettant une estimation fiable de la quantité de sédiments apportés par la rivière Lézarde (pas de suivi de crue), ni ceux présents au fond de la retenue depuis sa mise en eau.

3.1.4. Berges

Au niveau du plan d'eau, Les modifications de la rive impliquent les artificialisations en tant que telles (endiguement, zones portuaires, constructions,...) mais aussi les zones de plage.

Aucune modification vis-à-vis ce paramètre en 2007

A l'exception de la structure du barrage, les berges ne montrent pas de marques d'artificialisation.

3.1.5. Autres critères

Il s'agit d'écarter les plans d'eau pour lesquels :

- *Des étangs toujours en exploitation sont présents sur le bassin versant ;*
- *Une zone humide associée a été détruite (drainage, comblement, aménagement,...) ;*
- *Ceux qui ont perdu la connectivité naturelle pour le poisson, tant avec l'amont qu'avec l'aval ;*
- *Sont observés des espèces proliférantes (macrophytes, avifaune, phytoplancton, macroinvertébrés, poissons), même non exotiques ;*
- *Une activité de pisciculture est installée ;*
- *Le poisson était absent et a été introduit. Sont potentiellement retenus ceux qui ont été dans ce cas mais n'ont pas fait l'objet d'un empoissonnement depuis 5 ans.*

Aucune modification vis-à-vis ces paramètres en 2007

La retenue de La Manzo représente la seule zone humide du bassin versant. Elle n'abrite pas d'activité de pisciculture. Aucune introduction d'espèces n'a été officiellement réalisée. Cependant, on note la présence du tilapia, espèces exotique, qui se reproduit dans le plan d'eau. Il semble qu'aucun empoissonnement n'ait été réalisé au cours des deux dernières années. Aucune espèce proliférante n'a été répertoriée. (faune, flore).

3.1.6. Synthèse

La grille de critères de référence utilisée par la DCE, renseignée initialement, n'a pas évolué au vu des données de l'actualisation issue du suivi 2007.

EVALUATION DU STATUT DE SITE DE REFERENCE

BASSIN VERSANT

◇ **Occupation du sol dominante sur le BV du plan d'eau :**

Forêt naturelle, friches, landes, prairies, paturages, ...
Culture intensive (labours)
Vergers
Urbanisation et zones périurbaines
Rejets via tributaires

Réf. Possible	Doute	Déclassant
> 90%	> 80%	Déclassant
Absence	< 10% SAU	Déclassant
Absence	< 1% SAU	Déclassant
Absence	< 8%	Déclassant
Absence	Non signif.	Déclassant

◇ **Régime hydrologique :**

Modification du module des tributaires

Absence	Non signif.	Déclassant
---------	-------------	------------

◇ **Régime sédimentaire :**

Blocage du flux sédimentaire
Erosion généralisée des sols

Absence	Non signif.	Déclassant
Absence	Non signif.	Déclassant

PLAN D'EAU

◇ **Rejets polluants :**

Industriels (et urbains avec industries)
Urbains domestiques
Rejets diffus (et dispersés)

Absence	Non signif.	Déclassant
Absence	Non signif.	Déclassant
Absence	Non signif.	Déclassant

◇ **Modifications du régime hydrologique :**

Marnage artificiel ou artificialisé
Modification de la circulation interne de la masse d'eau
Prélèvements

Absence		Déclassant
Absence		Déclassant
Absence	< 2%	Déclassant

◇ **Modifications "lourdes" des rives :**

(digues, plages, artificialisation, ..., en % du linéaire du tronçon)

≤ 10%	≤ 20%	Déclassant
-------	-------	------------

◇ **Perte de connectivité naturelle**

◇ **Prolifération d'espèces**

◇ **Dégradation zone humide associée**

◇ **Pisciculture**

◇ **Création d'un peuplement de poisson**

Absence		Déclassant
Absence	> 5 ans	Déclassant

APPRECIATION GLOBALE DU PLAN D'EAU PAR L'EXPERT

Référence

Perturbée

De nombreux critères demeurent déclassants pour une candidature au statut de référence « plans d'eau ». **La retenue de La Manzo ne doit cependant pas atteindre le très bon état écologique. Les futurs critères de bon potentiel écologique, dès qu'ils seront disponibles au niveau national, devront permettre de préciser l'état du plan d'eau compte tenu des altérations physiques inévitables.**

Il semble néanmoins que les perturbations anthropiques émanant du bassin versant soient évaluées comme faibles et non significatives. Il apparaît nettement que les critères déclassants s'illustrent par le caractère artificiel de la retenue et par son fonctionnement inhérent à son usage exclusif c'est-à-dire l'irrigation. On peut dès lors se demander si l'état actuel du plan d'eau du point de vue hydromorphologique ne correspond pas au meilleur état qui puisse être attendu.

3.2. Caractérisation physico-chimique des eaux du plan d'eau

Aucune perturbation majeure pouvant influencer le barrage de la Manzo n'est à signaler en 2007. Les investigations de terrain se sont déroulées dans de bonnes conditions, favorisées par un climat propice lors des trois premières campagnes. Les prélèvements de décembre ont eu lieu sous un temps pluvieux.

Nous rappelons que les campagnes de mesures pour le suivi 2006 ont été réalisées dans des conditions particulières (juin 2006 : vidange optimale de la retenue, novembre 2006 : remplissage de la retenue). Les caractéristiques physico-chimiques ont par conséquent été perturbées et la retenue apparaissait comme un plan d'eau non stratifié, hyper-eutrophe et avec des concentrations de fer et de manganèse très élevées en juin 2006. En novembre 2006, le plan d'eau était stratifié, plutôt eutrophe, avec un relargage de fer et de manganèse de moindre ampleur.

3.2.1. Conditions physico-chimiques *in situ*

Des mesures physico-chimiques *in situ* ont été effectuées au moyen d'une sonde multiparamètre (modèle 340i – WTW).

La campagne de septembre (et en partie décembre) ont été marquées par un dysfonctionnement de la sonde d'oxygénation ce qui a entravé la mesure de ce paramètre.

Sur chaque paramètre étudié *in situ*, des profils verticaux ont été réalisés : quatre en 2007 (comparé au deux de 2006).

Le suivi des paramètres physico-chimiques *in situ*, au cours des **quatre campagnes de mesures de 2007**, a permis de récolter des informations pour une meilleure compréhension du fonctionnement de la masse d'eau.

L'évolution des mesures de **transparence** est répertoriée dans le tableau ci-dessous. Ce paramètre montre une certaine variabilité qui traduit bien l'hétérogénéité temporelle du fonctionnement du plan d'eau. Elle oscille globalement entre 1 à 2 m en période de fonctionnement normal (année 2007). La zone trophogène dite euphotique s'étend par conséquent entre 2,5 à 5 m. De plus, la transparence des eaux semble croître en période d'hivernage.

En juin 2006, Les profils verticaux, établis en fin de vidange (basses eaux), avaient mis en évidence une homogénéité des conditions physico-chimiques *in situ* dans la colonne d'eau. Aucune stratification des couches d'eau n'avait été observée.

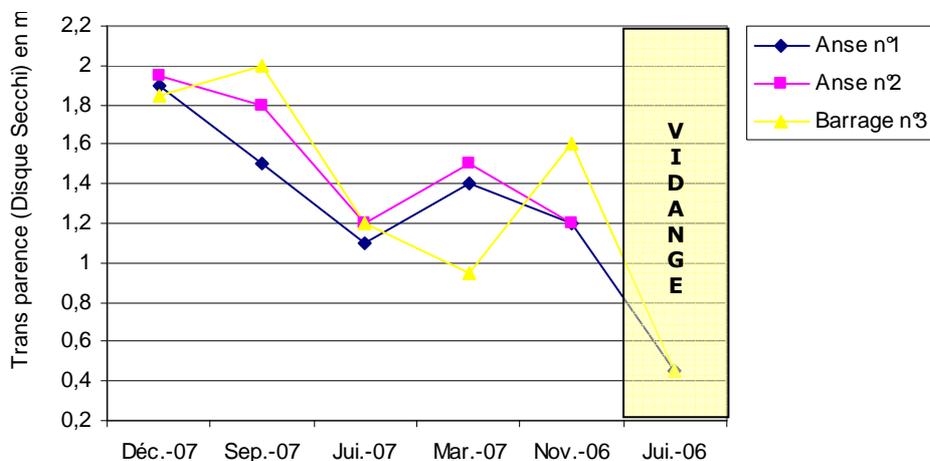
En novembre 2006, on retrouvait des conditions de stratification comparables à celles notées en avril 2005, en hautes eaux. Ces conditions étaient établies alors que la retenue est en phase de remontée des eaux et n'est remplie qu'au $\frac{3}{4}$ de sa capacité.

La transparence moyenne annuelle, qui permet la caractérisation du développement algal du plan d'eau, aurait tendance à déclasser les eaux (classe de qualité orange : transparence entre 1 et 2,5 m) au regard des limites du SEQ Plan d'eau. Nous rappelons cependant que ce paramètre nécessite des mesures toute l'année (au minimum 6 mesures). D'autre part, la productivité primaire des lacs tropicaux est 2 à 3 fois plus soutenue (en raison de l'absence de période d'interruption, Thornton, 1985 ; 1987) que les lacs tempérés entraînant une transparence naturellement moins élevée.

Tableau 3. Mesures de transparence *in situ* réalisées en 2007 et 2006.

TRANSPARENCE RETENUE DE LA MANZO			Point de mesures n°1 (anse n°1)	Point de mesures n°2 (anse n°2)	Point de mesures n°3 (proche barrage)
Moyenne 2007	Disque de Secchi	(m)	1,5	1,6	1,5
	Zone euphotique	(m)	3,7	4,1	3,8
Décembre 2007	Disque de Secchi	(m)	1,9	1,95	1,85
	Zone euphotique	(m)	4,8	4,9	4,6
Septembre 2007	Disque de Secchi	(m)	1,5	1,8	2
	Zone euphotique	(m)	3,75	4,5	5
Juin 2007	Disque de Secchi	(m)	1,1	1,2	1,2
	Zone euphotique	(m)	2,75	3	3
Mars 2007	Disque de Secchi	(m)	1,4	1,5	0,95
	Zone euphotique	(m)	3,5	3,8	2,4
Nov. 2006	Disque de Secchi	(m)	1,2	1,2	1,6
	Zone euphotique	(m)	3	3	4
Juin 2006	Disque de Secchi	(m)	0,45	-	0,45
	Zone euphotique	(m)	1,1	-	1,1

Figure 5 : Evolution de la Transparence des eaux *in situ* du barrage de la Manzo en 2007 (Disque de Secchi en m)



L'étude des profils obtenus lors des campagnes de 2007 pour les autres paramètres (température, pH, conductivité, oxygène dissous) nous permet de distinguer nettement trois couches d'eau :

- Une couche superficielle ou épilimnion, jusqu'à 4 – 5 m présentant :
 - les températures les plus élevées entre 27 à 31°C
 - une saturation ou sursaturation pour l'oxygène dissous
 - une conductivité proche ou supérieure à 100 µS/cm
 - un pH neutre à faiblement basique
- Une couche intermédiaire ou métalimnion, entre 4 et 6 m en novembre 2006 et plutôt entre 5 et 8 m en 2007 où on observe :
 - une variation significative des paramètres mesurés
 - une chute de l'oxygénation des eaux
 - une légère acidification
 - une augmentation de la minéralisation mise en évidence particulièrement en juin 2007
- Une couche profonde (hypolimnion), au-delà de 6 m de profondeur et 8 m en 2007 où :
 - les valeurs de pH, de température et d'oxygène sont les plus faibles
 - pH légèrement acide entre 6 à 6,5.
 - Une très faible oxygénation, proche de l'anoxie entre 1 à 2 mg/l et 20 à 30% de saturation.
 - Une eau plus minéralisée avec une conductivité entre 120 à 180 µS/cm
 - Une température inférieure à 26°C

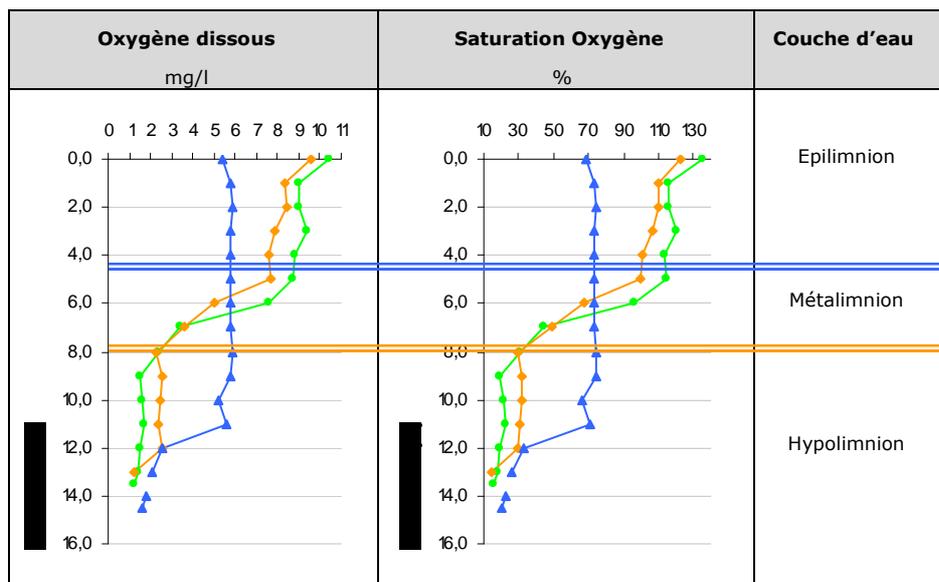
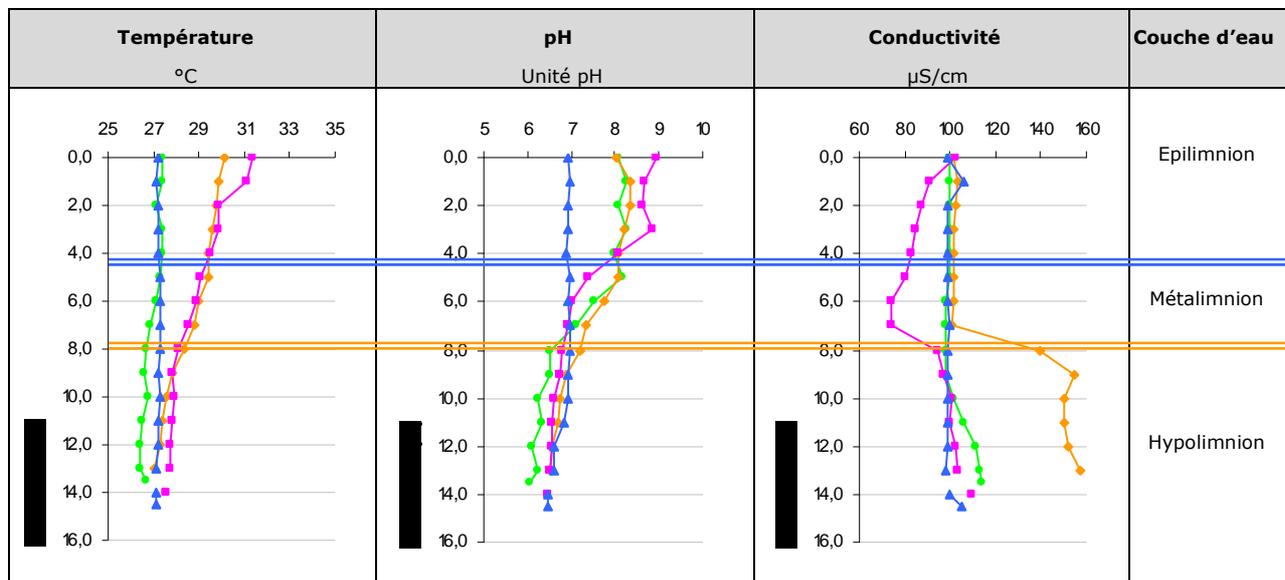
Les profils verticaux des paramètres physico-chimiques *in situ* établis sur les trois points de mesure ont mis en évidence une **stratification des couches d'eau** de la retenue de La Manzo. Cette stratification perdure toute l'année et est induite principalement par le paramètre oxygène et conductivité. Contrairement au plan d'eau métropolitain, le paramètre température ne montre pas de grande variation en fonction de la profondeur (variation maximale de 4° comparée aux 18° des lacs tempérés). De plus, les profils établis sont relativement similaires sur tous les points de mesures ce qui atteste de la régularité du fonctionnement écologique du plan d'eau. Toutefois, une **conductivité** en septembre 2007 beaucoup plus importante à l'anse n°1 entre 156 et 194 µS/cm mérite d'être signalée.

Il n'existerait donc pas d'un véritable phénomène de brassage saisonnier sur le plan d'eau de la Manzo. Ainsi, il ne se retrouverait pas dans un état de mélange complet (homogénéité du plan d'eau de la surface au fond pour l'oxygène) à une période de l'année. Cependant, au mois de décembre, la stratification apparaît néanmoins moins nette et bien plus profonde (vers 11 m au niveau du barrage). C'est la première fois qu'un tel phénomène de brassage est observé sur la Manzo. Il n'est toutefois pas complet.

Afin de mieux illustrer la stratification des eaux, les couches d'eau sont replacées sur les profils établis aux différents points de mesure (Figure 6).

Figure 6 : Profils physico-chimiques et limite de stratification des couches d'eau - Année 2007

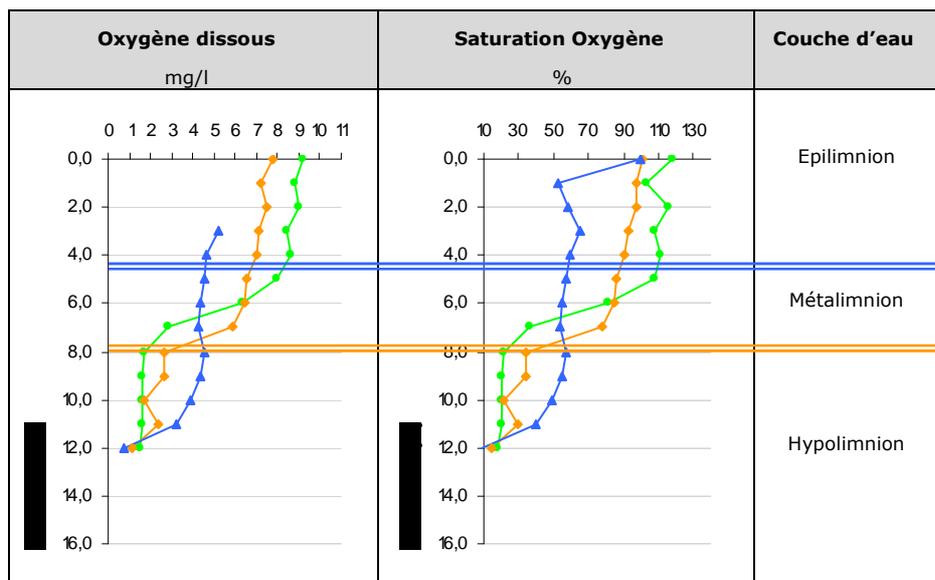
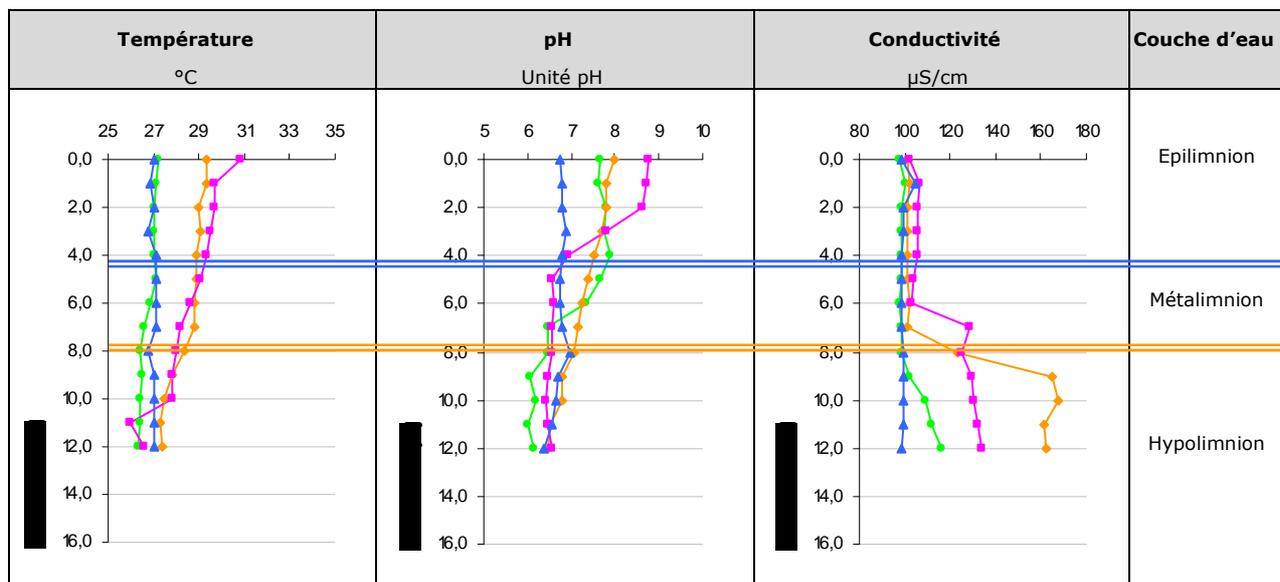
Point n°3 : Barrage



Légende :

- mars-07
- juin-07
- sept-07
- ▲— déc-07

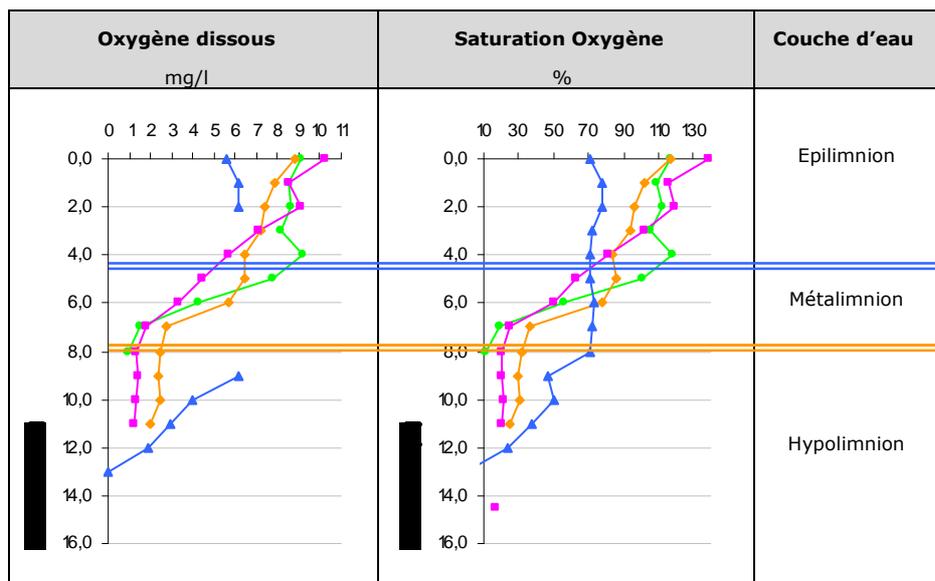
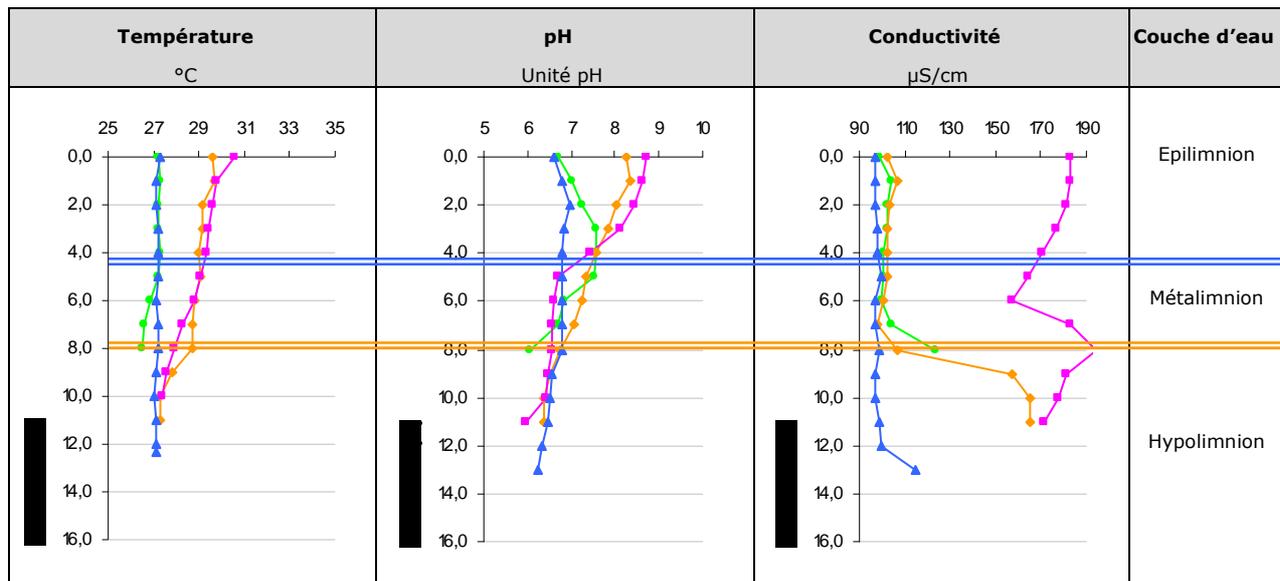
Point n°2 : Anse n°2



Légende :

- mars-07
- ◆ juin-07
- sept.-07
- ▲ déc.-07

Point n°1 : Anse n°1



Légende :

- mars-07
- ◆ juin-07
- sept.-07
- ▲ déc.-07

3.2.2. Paramètres chimiques analysés en laboratoire

Sur chaque point de mesure, des prélèvements d'eau ont été réalisés à différentes profondeurs afin de caractériser certains paramètres chimiques des eaux. Les résultats des analyses, réalisées en laboratoire agréé, sont présentés dans le tableau ci-après.

Une estimation de la qualité des eaux de la retenue a été menée en s'appuyant sur les systèmes d'évaluation de la qualité des eaux (**SEQ-Eau et SEQ-Plan d'eau**). Ces outils et plus particulièrement le SEQ-Plan d'eau ont été établis pour des systèmes aquatiques métropolitains ce qui limite pour partie leur application aux systèmes tropicaux et par conséquent leur utilisation. Néanmoins, l'évaluation d'une qualité globale des eaux est retranscrite dans le tableau en considérant les remarques qui suivent :

- L'évaluation considère la moyenne annuelle de chaque paramètre (quatre campagnes pour l'année 2007 et deux campagnes pour 2006). Dans le SEQ-Plan d'eau, les limites de classes et grilles de seuils sont indiquées bien souvent pour des valeurs saisonnières ou en fonction de l'état de fonctionnement du plan d'eau (stratification ou mélange intégral), par conséquent l'utilisation de certains seuils introduit de facto des risques d'erreur.

Exemple :

- *La transparence (cité plus haut) : productivité élevée du fait de l'absence d'interruption hivernale, ce qui péjore la transparence ramenée sur une année,*
- *La saturation en oxygène : quel que soit le degré de trophie, l'hypolimnion présente parfois des signes de désoxygénation, ce qui n'indique pas forcément un problème d'eutrophisation.*
- La qualité attribuée à certains paramètres ne traduit pas véritablement la situation réelle du fait d'un seuil de quantification des analyses pas assez sensible (Valeurs de paillasse non disponibles) ce qui peut entraîner une dégradation systématique de la qualité.

Exemple :

- *Le phosphore et les orthophosphates.*

Tableau 4. Résultats d'analyses des eaux de la retenue de La Manzo (Campagne 2007)

Paramètres	Unités	déc-07	déc-07	déc-07	sept-07	sept-07	sept-07	juin-07	juin-07	juin-07	mars-07	mars-07	mars-07	Moyenne 2007			Source
		Intégré	Inter.	Fond	Intégré	Inter.	Fond	Intégré	Inter.	Fond	Intégré	Inter.	Fond	Intégré	Inter.	Fond	
Transparence	(m)	1,85			2			1,2			0,95			1,50			Seq-Plan d'eau
Matières organiques et oxydables																	
Saturation en O2	(%)	73,2	73,4	20,7	Non disponible (problème de mesure)			106,5	48,8	15	120,8	44,5	15,4	100,2	55,6	17,0	Seq-Plan d'eau
DBO5	mg/l O2	2	2	3	3	1	1	6	5	4	10	7	6	5,25	3,75	3,5	Seq-Eau
DCO	mg/l O2	< 30 (15,8)*	< 30 (14,7)*	< 30 (16,9)*	Non disponible (problème laboratoire)			41	34	5,5	50	42	16	35,60	30,23	12,80	Seq-Eau
COD	mg/l C	2,32	2,49	2,19	2,64	2,39	2,44	3,1	2,6	2,7	3,2	3,5	3,2	2,82	2,75	2,44	Seq-Plan d'eau
COT	mg/l C	2,51	2,56	2,3	3,75	3,11	2,86	3,2	2,7	3,1	3,7	4,3	3,4	3,29	3,17	2,75	
NH4	mg/l NH4	0,05	< 0,05 (0,04)*	0,21	0	0	0,255	0	0,002	1,021	0	0	0,314	0,01	0,01	0,45	Seq-Eau
NTK	mg/l N	0,4	0,4	0,7	0,5	0,4	0,6	0,753	0,624	1,389	0,53	0,56	0,65	0,55	0,50	0,83	Seq-Eau
Azote, Phosphore																	
NO3	mg/l NO3	< 0,3 (0)*	< 0,3 (0)*	< 0,3 (0)*	0	0	0,041	0,081	0,023	0,021	0,059	0,058	0,053	0,04	0,04	0,03	Seq-Eau
NO2	mg/l NO2	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	Seq-Plan d'eau
Phosphore total	mg/l P	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,017	0,014	0,014	0,065	0,065	0,067	0,011	<0,005	0,006	< 0,02	< 0,02	< 0,02	Seq-Plan d'eau
Phosphore total	mg/l P2O5	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,039	0,032	0,032	0,15	0,15	0,15	0,02	<0,01	<0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Orthophosphates	mg/l PO4	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	<0,05 (0)*	0	0	0	Seq-Plan d'eau
Particules en suspension																	
MES	mg/l	4	5	13	12	5	4	20	8	10,8	19	18	10	13,75	9,00	9,45	Seq-Eau
Turbidité	NTU	3,8	3,6	4,5	11	2,5	3,8	14,4	6,65	8,93	14,6	11,9	10,2	10,95	6,16	6,86	Seq-Eau
Acidification																	
pH	unité pH	6,94	6,98	6,46	8,93	6,92	6,46	8,21	7,36	6,51	8,08	7,12	6,07	8,04	7,10	6,38	Seq-Plan d'eau
Minéralisation																	
Conductivité	µS/cm	99,1	99,6	105	102,2	74,1	109,6	101,9	100,6	157,2	100	98	114	100,80	93,08	121,45	Seq-Plan d'eau
Silice	mg/l	17,1	15,8	17,3	18	18,4	18	18	18	19	20	20	20	18,28	18,05	18,58	
Chlorures	mg/l										11,357		11,104	11,36		11,10	Seq-Eau
Sulfates	mg/l										3,406		2,727	3,41		2,73	Seq-Eau
Calcium	mg/l										6,554		6,86	6,55		6,86	Seq-Eau
Fluorures	µg/l	41	30	< 30 (27)*	19	14	14	15	19	18	21	19	19	24,00	20,50	19,50	
Magnésium	mg/l										3,083		1,919	3,08		1,92	Seq-Eau
Sodium	mg/l										8,633		8,231	8,63		8,23	Seq-Eau
Potassium	mg/l										1,882		1,894	1,88		1,89	
TAC	(d°F)	2,9	2,9	2,8	< 2	< 2	< 2	2,65	2,65	5,17	2,395	2,591	3,3	2,49	2,54	3,32	Seq-Eau
TH	(d°F)	3,14	2,81	2,82	2,59	2,56	2,77	3,86	3,494	4,209	1,797	1,814	2,08	2,85	2,67	2,97	Seq-Eau
Carbonates	mg/l CO3	0	0	0	6,4	0	0	2,4	0	0	0	0	0	2,20	0,00	0,00	
Hydrogénocarbonates	mg/l	35	35,2	34,7	17,5	29,3	33,7	27,4	32,4	63	29,219	31,62	40,26	27,28	32,13	42,92	
Micropolluants minéraux sur eau brute																	
Arsenic	µg/l	< 5 (0,5)*	< 5 (0,5)*	< 5 (0,5)*	<5	<5	<5	0,6	0,9	1,1	< 5	< 5	< 5	2,78	2,85	2,90	Seq-Plan d'eau
Aluminium	µg/l	5	14	< 5	6	< 5	12	8	11	12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,78	7,53	7,28	Seq-Plan d'eau
Bore	µg/l	21	18	17	16	15	14	19	21	17	0,06	0,06	0,05	14,02	13,52	12,01	Seq-Eau (aptitude AEP)
Cyanures totaux	µg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 10	< 10	< 10	< 6,25	< 6,25	< 6,25	Seq-Eau (aptitude AEP)
Fer total	µg/l	141	151	558	128	131	1008	113,9	124,5	4711	117	137	1465	124,98	135,88	1935,50	Seq-Plan d'eau
Manganèse total	µg/l	95	104	571	31	71	417	51,5	78,7	1487,5	0	30	1231	44,38	70,93	926,63	
Micropolluants organiques sur eau brute																	
OHV (44 subst)														Aucune substance mise en évidence			Seq-Plan d'eau
Glyphosate, AMPA, Glufosinate														Aucune substance mise en évidence			Seq-Plan d'eau
Herbicides (16 subst)														Aucune substance mise en évidence			Seq-Plan d'eau
Pesticides (349 subst)														Aucune substance mise en évidence			Seq-Plan d'eau
Effets des proliférations végétales																	
Chlorophylle a	µg/l	9,1	-	-	8	-	-	63	-	-	100	-	-	45,03			Seq-Plan d'eau
Phéopigments	µg/l	5,6	-	-	14	-	-	0	-	-	19	-	-	9,65			Seq-Plan d'eau
Bactério																	
Coliformes totaux	n/100 ml										36			36,00			Seq-Eau
Escherichia Coli	n/100 ml										0			0,00			Seq-Eau
Entérocoques	n/100 ml										0			0,00			Seq-Eau
Salmonelles sp	n/5l										0			0,00			

(n)* : données paillasse
Les moyennes annuelles ont été calculées préférentiellement en considérant les valeurs de paillasse quand elles étaient disponibles.

Tableau 5. Rappel des résultats d'analyses des eaux de la retenue de La Manzo (Campagnes 2005 et 2006)

Paramètres	Unités	Nov. 06	Nov. 06	Nov. 06	juin-06	juin-06	juin-06	Avr. 05	Avr. 05	Moyenne 2006			Source					
		Intégré	Inter.	Fond	Intégré	Inter.	Fond	Surface	Fond	Intégré	Inter.	Fond						
Transparence	(m)	1,6			0,45						1,03			Seq-Plan d'eau				
Matières organiques et oxydables																		
Saturation en O2	(%)	78,7	19,2	23,5	80,1	76,2	72,6	102,5	24,8	79,40	47,70	48,05	Seq-Plan d'eau					
DBO5	mg/l O2	3	2	2	0	0	0			1,50	1,00	1,00	Seq-Eau					
DCO	mg/l O2	< 30	60	< 30	31	< 30	37			< 30,50	< 45,00	< 33,50	Seq-Eau					
COD	mg/l C	2,3	3,7	2,4	Non disponible (problème laboratoire)					2,30	3,70	2,40	Seq-Plan d'eau					
COT	mg/l C	2,5	4,5	2,6						2,50	4,50	2,60						
NH4	mg/l NH4	< 0,1 (0,008)*	0,19	0,72	0,33	0,48	0,4	0	0,2	0,17	0,34	0,56	Seq-Eau					
NTK	mg/l N	0,7	0,6	1,1	0,6	1	0,7	0,69	1,3	0,65	0,80	0,90	Seq-Eau					
Azote, Phosphore																		
NO3	mg/l NO3	< 0,1 (0)*	< 0,1 (0,073)*	< 0,1 (0)*	0,15	0,19	0,16	0,03	0	0,08	0,13	0,08	Seq-Eau					
NO2	mg/l NO2	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025	Seq-Plan d'eau					
Phosphore total	mg/l P	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	< 0,05 (0)*	Non disponible (problème laboratoire)			< 0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	Seq-Plan d'eau					
Phosphore total	mg/l P2O5	< 0,1 (0)*	< 0,1 (0)*	< 0,1 (0)*				< 0,1	0,23	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10				
Orthophosphates	mg/l PO4	< 0,1 (0)*	< 0,1 (0)*	< 0,1 (0)*	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0	0	< 0,05 ?	< 0,05	< 0,05	Seq-Plan d'eau					
Particules en suspension																		
MES	mg/l	14	17	26	30	35	25	18,5	25	22,00	26,00	25,50	Seq-Eau					
Turbidité	NTU	4,8	4,2	7,6	19	26	> 40	3,2	5,1	11,90	15,10	> 23,80	Seq-Eau					
Acidification																		
pH	unité pH	6,5	6,2	6,1	7,2	7,2	7,2	7,6	6,7	6,85	6,70	6,65	Seq-Plan d'eau					
Minéralisation																		
Conductivité	µS/cm	99,8	101,1	101,9	134,6	135,7	134,4	102	118	117,20	118,40	118,15	Seq-Plan d'eau					
Silice	mg/l	20	19	19	Non disponible (problème laboratoire)			16	16	20,00	19,00	19,00						
Chlorures	mg/l						16,3					16,30	Seq-Eau					
Sulfates	mg/l				4,87		5,66	2	0,5	4,87		5,66	Seq-Eau					
Calcium	mg/l				6,2		5,7	5,6	6,2	6,20		5,70	Seq-Eau					
Fluorures	µg/l	23	14	23	42	54	43	0	0	32,50	34,00	33,00						
Magnésium	mg/l				3,2		3	2,1	2,2	3,20		3,00	Seq-Eau					
Sodium	mg/l				9		9	7,7	10,8	9,00		9,00	Seq-Eau					
Potassium	mg/l				1,8		1,8	1,5	1,8	1,80		1,80						
TAC	(d°F)	2,7	2,6	2,6	3,4	3,4	3,4	3	3,7	3,05	3,00	3,00	Seq-Eau					
TH	(d°F)	1,7	1,4	1,4	2,5	2,6	2,5			2,10	2,00	1,95	Seq-Eau					
Carbonates	mg/l CO3	0	0	0	0	0	0			0,00	0,00	0,00						
Hydrogénocarbonates	mg/l	32,6	31,1	32,2	41,6	41,2	41,3	37	45,5	37,10	36,15	36,75						
Micropolluants minéraux sur eau brute																		
Arsenic	µg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5			< 5	< 5	< 5	Seq-Plan d'eau					
Aluminium	µg/l	16	13	120	Non disponible (problème laboratoire)					16,00	13,00	120,00	Seq-Plan d'eau					
Bore	µg/l	25	25	32						25,00	25,00	32,00	Seq-Eau (aptitude AEP)					
Cyanures totaux	µg/l	< 10	< 10	< 10						< 10	< 10	< 10	Seq-Eau (aptitude AEP)					
Fer total	µg/l	18	< 10	489	660	880	4 739	375	5 966	339,00	< 445,00	2614,00	Seq-Plan d'eau					
Manganèse total	µg/l	< 10	< 10	34	447	403	614	89	2 681	< 288,50	< 206,50	324,00						
Micropolluants organiques sur eau brute																		
OHV (44 subst)					Aucune substance mise en évidence					Aucune substance mise en évidence			Seq-Plan d'eau					
Glyphosate, AMPA, Glufosinate																		Seq-Plan d'eau
Herbicides (16 subst)																		Seq-Plan d'eau
Pesticides (349 subst)																		Seq-Plan d'eau
Effets des proliférations végétales																		
Chlorophylle a	µg/l	5,91	-	-	32,02	-	-	4	-	18,97			Seq-Plan d'eau					
Phéopigments	µg/l	2,2			10,09					6,15			Seq-Plan d'eau					
Bactério																		
Coliformes totaux	n/100 ml				150					150,00			Seq-Eau					
Escherichia Coli	n/100 ml				46					46,00			Seq-Eau					
Entérocoques	n/100 ml				< 15					< 15			Seq-Eau					
Salmonelles sp	n/5l				0					0,00								

(n)* : données paillasses
Les moyennes annuelles ont été calculées préférentiellement en considérant les valeurs de paillasses quand elles étaient disponibles.

N minéral (intégré)	
Moy. 2007	Moy. 2006
0,05	0,25

Classes de qualité SEQ-Plan d'Eau :

- Très bonne (TB)
- Bonne (B)
- Moyenne (Mo)
- Médiocre (Mé)
- Mauvaise (Ma)

3.2.3. Composés azotés et phosphorés

Ces composés sont recherchés dans les eaux car ils sont les éléments nutritifs essentiels au développement des végétaux : algues et macrophytes aquatiques, source primaire de la vie aquatique.

Quatre types de composés, caractérisant le cycle de l'azote (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), sont recherchés dans les eaux car leurs concentrations respectives permettent d'apprécier l'état de la masse d'eau. Le NH_4^+ est la forme la plus réduite de l'azote minéral. Sa présence traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. La nitrification (transformation de NH_4^+ en NO_3^- , via le NO_2^-) dépend principalement de la teneur en oxygène, du pH, de la température et des teneurs en NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- . Les eaux riches en matière organique, ou en condition anaérobie, peuvent présenter des concentrations en NO_2^- et NH_4^+ importantes, alors qu'elles sont naturellement présentes sous forme de traces (zone de transition « eau-sédiment », rejets de type domestique, eaux eutrophes, ...).

Les concentrations naturelles en nitrates (NO_3^-) varient entre 1 et 15 mg/l NO_3^- , avec une valeur optimale de 2 à 3 mg/l. Une forte teneur en nitrates (NO_3^-) peut résulter d'une pollution agricole ou domestique. Cet élément n'est pas toxique mais reste responsable de la dégradation des eaux naturelles en favorisant l'eutrophisation du milieu. Les nitrates sont facilement utilisés par les végétaux aquatiques.

Pour les composés phosphorés, les ions orthophosphates sont la forme la plus importante pour les algues. Certaines espèces de chlorophycées absorbent toutefois les phosphates inorganiques. Leurs présences dans les eaux permettent de révéler un potentiel à l'eutrophisation de la masse d'eau.

Les concentrations en éléments azotés observées en 2005 étaient faibles à nulles (Tableau 4). Les teneurs en phosphore dans l'essentiel de la colonne d'eau (< 40 $\mu\text{g/l}$ P, selon les valeurs de paillasse) étaient moyennes pour un plan d'eau tropical ; elles étaient élevées au fond du plan d'eau (100 $\mu\text{g/l}$).

En juin 2006, les données de phosphore n'ont pu être fournies par le laboratoire. Les composés azotés NO_3^- ont été identifiés dans l'eau alors qu'ils étaient absents en 2005. Les NH_4^+ ont également été retrouvés dans des concentrations plus importantes, dans l'ensemble de la colonne d'eau alors qu'ils avaient été uniquement détectés au fond du plan d'eau en 2005. Cette évolution est à rapprocher de l'état du barrage à cette période : homogénéisation de la masse d'eau liée à la vidange et mouvement des eaux pouvant mobiliser en partie les couches profondes (plus riches en NH_4^+). Les valeurs de l'azote minéral (NH_4^+ NO_3^-) situent la masse d'eau (du fond à la surface) comme une eau de bonne qualité (selon le SEQ : 0,2 mgN/l <N min. < 0,4 mgN/l).

En novembre 2006, les concentrations de la plupart des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, phosphore, orthophosphates) sont très faibles à nulle (en dessous des limites de quantification). La présence d'ammonium confirme la présence de conditions réductrices dans les zones profondes de la retenue, plus marquée au fond que dans la zone moyenne du plan d'eau. Les teneurs en phosphore ne définissent pas une masse d'eau de mauvaise qualité (selon le SEQ : P total maximal < 0,06 mgP/l), elles sont toutes au moins passables au fond de la retenue du fait de la présence d'ions ammonium (selon le SEQ Plan d'eau : 0,4 mgN/l <N minéral < 1 mgN/l).

En **mars 2007**, la faible teneur des eaux de la retenue de la Manzo en éléments nutritifs observés novembre 2006 se confirme. Ainsi, les valeurs de l'azote minéral indiquent une qualité des eaux bonne à très bonne de la masse d'eau. La couche profonde des eaux conserve un caractère réducteur avec une concentration en ammonium de 0,314 mg/l alors que ce composé n'est pas détecté en surface, ni dans la couche intermédiaire. Les concentrations en nitrate sont très faibles sur toute la colonne d'eau (<0,053 mg/l). Les composés phosphorés avec une absence d'orthophosphates et une concentration maximale de phosphore total enregistrée en surface à 0,011 mg P/l ne déclassent pas la qualité des eaux du barrage.

En mars 2007, les faibles teneurs en éléments nutritifs (composés azotés et phosphorés), déjà mesurées en 2005 et en novembre 2006 indiquent une qualité des eaux jugée bonne à très bonne selon le SEQ Plan d'eau.

En **juin 2007**, les teneurs en phosphate sont plus fortes (0,065 mgP/l) par rapport aux précédentes campagnes (2006 et 2007). Cette teneur reste stable sur toute la colonne d'eau et décline les eaux en qualité médiocre (selon SEQ Pland'eau : 0,06 mgP/l < Ptotal maximal < 0,1 mgP/l)). Néanmoins, l'orthophosphate demeure à des concentrations très faibles voire nulles.

L'azote minéral confère une qualité moyenne à la couche superficielle et médiocre à la couche profonde de la retenue (selon SEQ Pland'eau : qualité médiocre, 1 mgN/l < Nminéral maximal < 2 mgN/l)).

On observe globalement en juin 2007 un enrichissement en éléments nutritifs qui se traduit par une dégradation de la qualité des eaux. Les teneurs mesurées caractérisent un plan d'eau mésotrophe à méso-eutrophe.

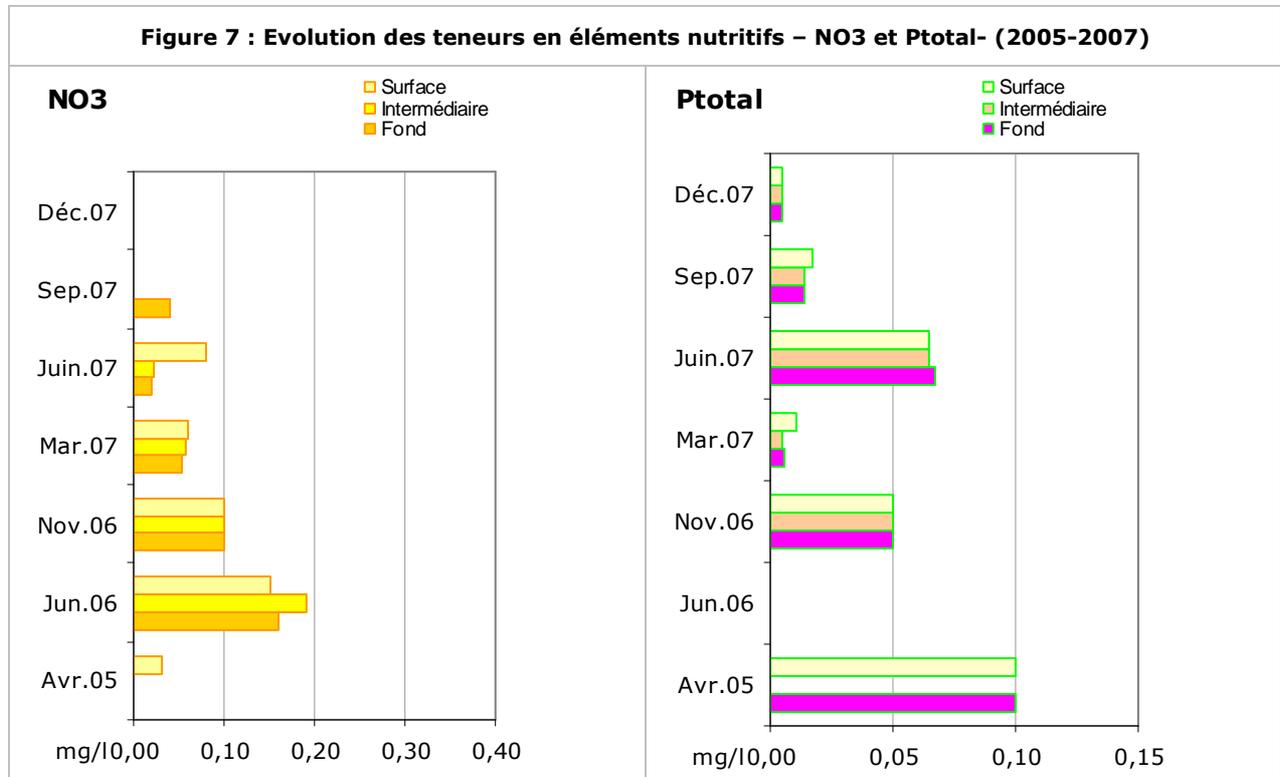
Il faut noter que l'absence de nutriments dans les eaux d'un lac ne permet pas de définir l'eutrophisation de celui-ci, mais simplement d'en apprécier une partie (consommation des nutriments par la biomasse algale). Le rapprochement avec les composantes du phytoplancton permettra d'affiner cette perception.

Les analyses de **septembre 2007** indiquent de faibles teneurs en composés azotés dans toute la colonne d'eau. Comme lors des précédentes campagnes de 2007, la forme toxique de l'azote « azote nitreux » est absente de la surface au fond du plan d'eau. L'azote nitrique et ammoniacal n'a été mesuré qu'au fond de la retenue à des concentrations faibles. Ces concentrations en azote minéral (NH_4^+ NO_3^-) confèrent à la couche profonde une bonne qualité (selon le SEQ : 0,2 mgN/l < N min. < 0,4 mgN/l). Les nutriments phosphatés demeurent également à des concentrations faibles et ne constituent pas un facteur de dégradation des eaux du barrage, les orthophosphates n'ont d'ailleurs pas été détectés.

Les analyses de **décembre 2007** confirment une qualité des eaux relativement bonne du barrage de la Manzo.

Au regard des résultats d'analyses menés au cours de l'année 2007, les eaux du plan d'eau présentent un faible enrichissement en composés azotés et phosphorés, paramètres importants dans l'eutrophisation des milieux aquatiques. La qualité des eaux s'est révélée bonne à très bonne hormis en juin 2007 qui a été marquée par une légère dégradation dues aux plus fortes teneurs mesurées.

Figure 7 : Evolution des teneurs en éléments nutritifs – NO3 et Ptotal- (2005-2007)



Les paramètres calculés adaptés à la trophie (Diagnose rapide des plans d'eau, Cemagref 2003) :

Afin d'affiner le diagnostic, le calcul des paramètres adaptés à la trophie fournit les enseignements précisés ci-dessous. Certaines difficultés qui ont limitées l'exploitation de ces paramètres lors des campagnes de 2006 se répercutent sur le suivi 2007 : taux bas ou nul de certains éléments chimiques.

Ces rapports permettent de discerner quel est l'élément limitant la croissance algale et ainsi, les types d'algues qui s'installeront préférentiellement.

- Le **rapport N/P (N minéral/P-PO₄³⁻)** dans l'eau :

En 2007, cet indicateur ne peut pas être calculé par absence de PO₄³⁻ lors des quatre campagnes avec cependant des concentrations en azote minéral de 0,059 mg/l (mars), 0,081 mg/l (juin), 0 mg/l (septembre) et 0,05 mg/l (décembre). Ces conditions défavorisent les cyanophycées.

En juin 2006, la valeur n'avait pu être déterminée déjà en raison de l'absence des orthophosphates. Cet état permettait de signifier que le risque de développement des cyanophycées devrait être limité sur ce plan d'eau du fait de la présence d'azote et l'absence de phosphore. Toutefois, en novembre 2006, la concentration trouvée pour l'azote minéral montrait une totale consommation des éléments produits donc un risque de développement des espèces autotrophes vis-à-vis de l'azote.

- Le **rapport Si/P** dans l'eau :

Lors des quatre campagnes de 2007, le rapport s'établit respectivement selon les campagnes à 1818, 277, 1059 et 3420. Ces valeurs élevées traduisent les bonnes conditions dont bénéficient les diatomées planctoniques vis-à-vis de la disponibilité de la silice.

L'absence de phosphore et la présence de silice en novembre 2006 mettaient en avant la biodisponibilité de la silice, qui n'est de ce fait pas un facteur limitant.

- Le **rapport N/SiO₂** dans l'eau :

En 2007, ce rapport est respectivement de 0,00295, 0,0045, 0 et 0,00292 et transcrit toujours la même information écologique à savoir que le rapport N/SiO₂ est très faible. Ceci montre donc que la silice n'est pas un facteur limitant pour les diatomées mais que l'azote l'est et peut dans ce cas là favoriser les cyanophycées si l'équilibre azote/phosphore est rompu.

En novembre 2006, ce rapport s'élevait à 0,0004.

Ces rapports de ressources en éléments nutritifs signalent bien les conditions favorables au développement des algues diatomées et des chlorophycées. Ces conditions traduisent également le caractère moins propice aux cyanobactéries des eaux de la retenue de la Manzo.

3.2.4. Alcalinité

Dans les eaux, le carbone est présent sous formes inorganiques (CO₂, HCO₃⁻ ou CO₃²⁻—selon le pH) ou organiques (cellulaire). Les eaux stagnantes sont généralement riches en carbone autochtone.

L'alcalinité de l'eau de la retenue de La Manzo, déterminée par les titres alcalimétriques TA et TAC, indique que les concentrations en ions carbonates sont très faibles à nul (TA = 0). En revanche, le titre alcalimétrique complet (TAC) indique la présence d'ions hydrogencarbonates en 2005 et 2006.

Conformément au diagramme de prédominance des trois espèces de carbone, en fonction du pH, les ions HCO₃⁻ sont prédominants (pH entre 6,35 et 10,3). Leur concentration augmente en profondeur, parallèlement à la diminution du pH.

La concentration en HCO₃ diminuera en profondeur au profit de la forme dissoute du CO₂. On a une acidification de l'eau : vers 6,3, il existe un équilibre entre la forme HCO₃⁻ et CO₂ dissous. En dessous, c'est le CO₂ qui s'accroît au dessus c'est le HCO₃⁻.

En **mars 2007**, la concentration des ions carbonates n'évolue pas (TA = 0). La présence d'hydrogénocarbonates se traduit par un TAC variant de 2,39°F en surface à 3,3°F en profondeur. Contrairement aux campagnes précédentes, la variation du pH est plus nette en mars 2007 avec une acidification des eaux en profondeur (pH = 6,07 dans la couche profonde). Cette acidification s'accompagne d'une augmentation de la teneur en HCO₃ au fond de la retenue.

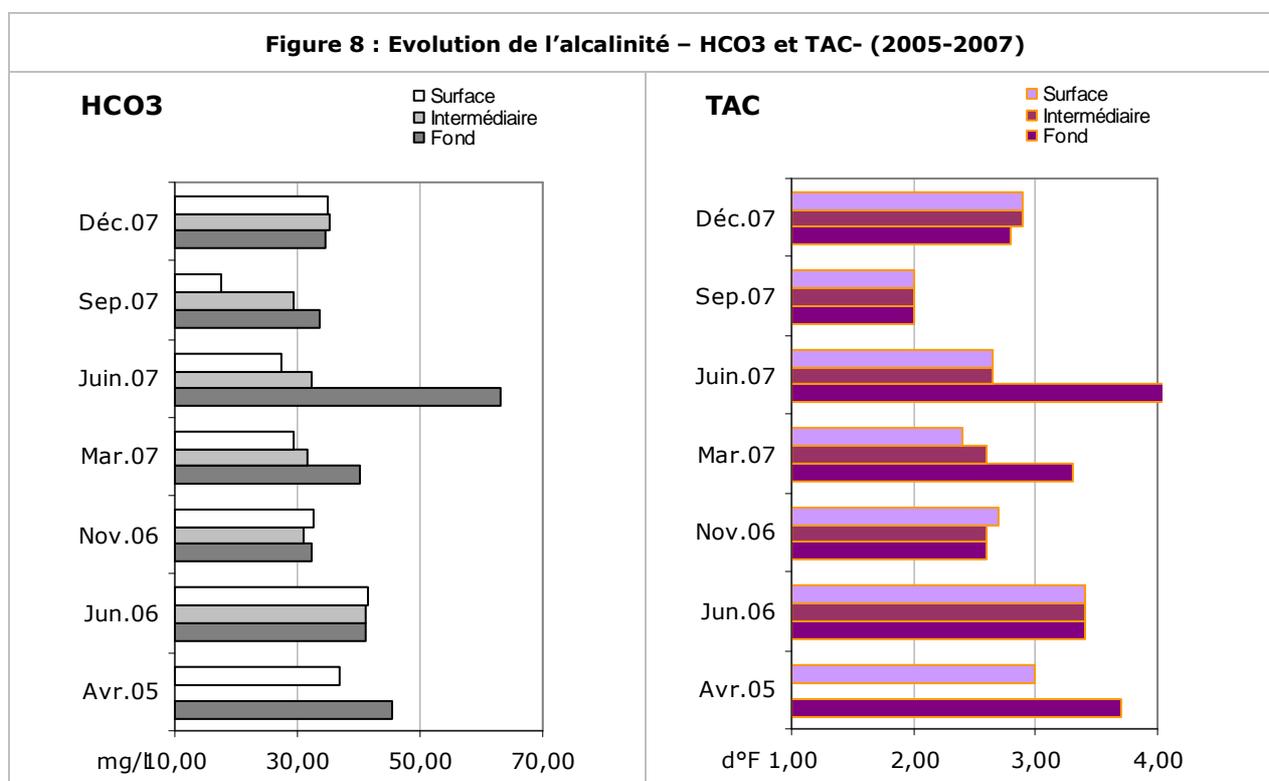
En **juin 2007**, les fortes concentrations de HCO₃ en profondeur (40,26 mg/l en mars et 63 mg/l en juin 2007) se traduisent par une augmentation du TAC (3,3°F en mars et 5,17°F en juin 2007). Contrairement aux eaux de la zone euphotique et de la couche intermédiaire, le bicarbonate tend à se concentrer dans les eaux profondes en juin 2007, en relation avec l'acidité des eaux.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) de **septembre 2007** s'établit sur toute la colonne d'eau à des degrés <2. Ces valeurs sont dues uniquement aux bicarbonates au niveau de la couche d'eau intermédiaire et de la couche profonde. En surface, où le pH est plus fort (>8,6 jusqu'à 3 m de profondeur), les ions carbonates sont mesurés à une concentration de 6,4 mg/l.

En **décembre 2007**, l'alcalinité de l'eau demeure faible et régulière sur toute la colonne d'eau (2,8 < TAC < 2,9 et 34,7 mg/l < HCO₃ < 35,2 mg/l).

L'alcalinité des eaux du plan d'eau ne varie guère et ne pénalise en rien la qualité du milieu.

Figure 8 : Evolution de l'alcalinité – HCO₃ et TAC- (2005-2007)



3.2.5. Micropolluants minéraux

Les micropolluants relevés dans les eaux en concentration importante sont le fer et le manganèse.

En juin 2006 les valeurs mesurées dans les eaux de surface étaient supérieures à celles rencontrées en avril 2005. Dans la zone profonde, c'était l'inverse et on notait une diminution des concentrations. L'abaissement du plan d'eau semblait remettre en suspension les éléments disponibles au niveau de la zone de transition « eau-sédiment ».

En novembre 2006, les teneurs pour ces deux métaux étaient très largement plus faibles que celles mesurées auparavant. L'assèchement partiel des sédiments durant la vidange semblait avoir fixé ces

éléments (adsorption) et limitait leur remise en solution lors de la remontée des eaux. Nous étions très proches des valeurs rencontrées en novembre 1981.

En mars 2007, les analyses mettent à nouveau en évidence des valeurs élevées de ces deux métaux. La concentration en Fer croît de la surface au fond d'un facteur 12 pour atteindre 1455 µg/l. Les teneurs en manganèse restent très importantes dans la couche profonde (1231 µg/l). Cependant, elles chutent fortement en s'éloignant du fond, en surface les résultats indiquent une absence de ce métal.

En juin 2007, on retrouve les teneurs très élevées déjà obtenues en 2005 et juin 2006. On enregistre ainsi une concentration en fer de 4711 µg/l en profondeur. Le critère saisonnalité et lien avec le pic de production algal est donc évident.

Les dosages de septembre 2007 traduisent une légère amélioration de la qualité des eaux de la couche profonde par rapport aux précédentes campagnes 2007 avec des teneurs en fer de 1008 µg/l et en manganèse de 417 µg/l. Les teneurs de la couche intermédiaire et intégrée restent relativement similaires à celles de juin 2007.

En **décembre 2007**, la concentration en fer de la couche profonde du plan d'eau diminue fortement en comparaison des précédentes campagnes pour s'établir à 558 µg/l, concentration minimale de 2007. Quant au manganèse, la concentration demeure à des niveaux proches de septembre (571 µg/l), beaucoup plus faible qu'en mars et juin 2007. Les concentrations des eaux de surface n'évoluent guère pour le fer alors que pour le manganèse elle atteint sa valeur annuelle maximale avec 95 µg/l. Cette relative dégradation semble être causée par le brassage bien plus important de la masse d'eau. Néanmoins ce phénomène modère aussi largement les taux en profondeur ouvrant la voie à une potentielle déstratification de la colonne d'eau comme piste de gestion.

Les concentrations en fer et en manganèse montrent, comme antérieurement, une augmentation très significative entre la surface et le fond. La qualité globale des eaux du barrage en 2007 illustre bien cette dégradation qualitative en fonction de la profondeur.

Ces composés ne présentent pas de danger pour la santé publique. Ils provoquent néanmoins des désagréments d'ordre esthétique et organoleptique. Le fer donne une coloration rouge et un goût métallique à l'eau, et peut causer des tâches rouilles sur différents supports. De plus, sa précipitation dans les canalisations est responsable de la corrosion et l'obstruction de ces dernières.

Tableau 6. Concentrations en fer et en manganèse (µg/l) relevées en surface et au fond de la retenue depuis 1981 (Cf.Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

		Hivernage															
		Nov. 1981		Jun. 1985		Sept. 1985		Oct. 2000		Oct. 2003		Nov. 2006		Sept. 2007		Déc. 2007	
		S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
Fe		0	400	500	1450	50	250	224	1363	110	2200	18	489	128	1008	141	558
Mn				-	1070	0	210	2007	1576	<20	67	<10	34	31	417	95	571

		Carême															
		Mai. 1989		Avr. 1994		Mai. 2000		Avr. 2004		Avr. 2005		Juin 2006		Mars 2007		Juin 2007	
		S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
Fe		75	100	100	400	<20	1495	192	2364	375	5966	660	4739	117	1465	113,9	4711
Mn		0	620			114	1515	41	666	89	2681	447	614	0	1231	51,5	1487,5

S : surface F : fond

Grisé : valeurs inférieures aux valeurs guides prescrites par l'OMS : Fer = 300 µg/l ; Manganèse = 100 µg/l.

«Information supplémentaire : Références de qualité des eaux pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Décret no 2001-1220 du 20 décembre 2001) : concentration en **fer total de 0,2 mg/l** et en **manganèse de 0,05 mg/l** »

En 2007, les eaux profondes se classent en qualité mauvaise alors qu'en surface ce paramètre ne décline pas la qualité des eaux lors des deux premières campagnes de mars et de juin. En septembre et en décembre 2007, la qualité des eaux superficielles est jugée moyenne.

Dans le bilan 2006, on signalait que les plus faibles concentrations de fer dans les eaux lors de la remontée semblent souligner une origine très locale de ce métal : substratum du fond de la retenue. En effet une source exogène aurait automatiquement réalimenté les eaux en fer. Cette hypothèse reste donc valable.

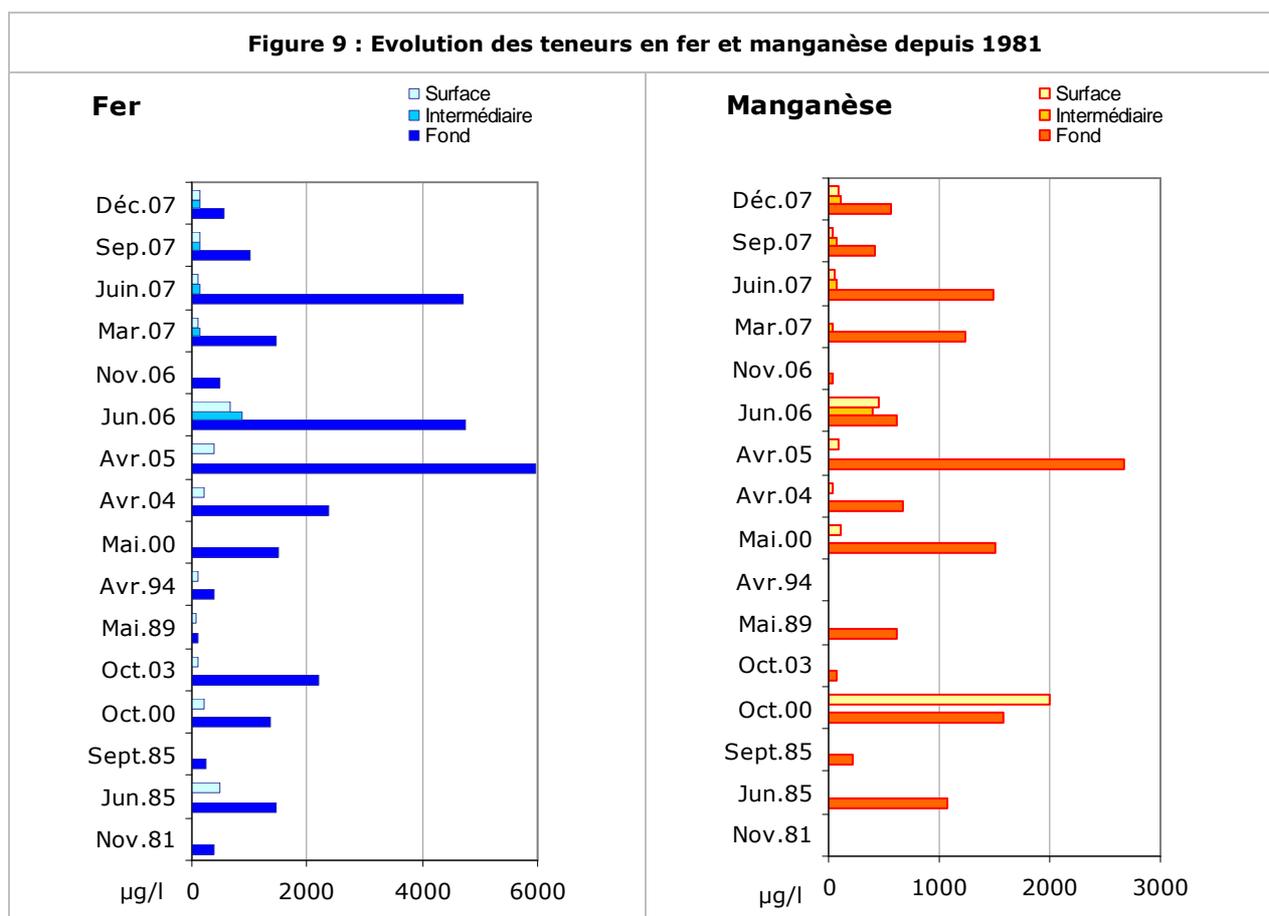
Tableau 7 : Evolution de la qualité des eaux du barrage de Manzo (paramètres Fer/Manganèse) selon le SEQ Plan d'eau

Campagne		11/81	06/85	09/85	05/89	04/94	05/00	10/00	10/03	04/04	04/05	06/06	11/06	03/07	06/07	09/07	12/07
Fer	S	TB	Mé	TB	B	B	TB	Mo	B	Mo	Mé	Ma	TB	B	B	Mo	Mo
	F	Mé	Ma	Mo	B	Mé	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma	Mé	Ma	Ma	Ma	Ma
Mn	S																
	F																

Classes de qualité SEQ-Plan d'Eau :



Figure 9 : Evolution des teneurs en fer et manganèse depuis 1981



Au regard du SEQ-Eau version 2 (limites reprises dans le SEQ-Plan d'eau), le bore ne décline pas la qualité de l'eau (< 1000 µg/l). L'aluminium ne constitue pas un élément déclassant de la qualité de l'eau de surface (< 200 µg/l et pH>6,5).

Comme lors des précédentes campagnes de 2007, les autres micropolluants minéraux de septembre sont présents à des concentrations faibles à très faibles, ils ne constituent donc pas des facteurs de dégradation de la qualité des eaux de la retenue.

3.2.6. Micropolluants organiques

Les dosages de micropolluants organiques ont été effectués en juin 2006 et en mars 2007. En mars 2007, parmi plus de 300 molécules analysées sur les eaux de surface et de fond, les analyses n'ont mis en évidence aucun micropolluant organique. En juin 2006, seul l'Hexazinone (herbicide) a été identifié mais non quantifié (en dessous des limites de quantification du laboratoire). Aucune trace de Chlordécone n'a été détectée.

Tableau 8. Résultats d'analyses des micropolluants organiques relevés en mars 2007.

Paramètres	Unités	Mars 2007 Intégré	Juin 2006 Intégré
Hexazinone (Herbicides Triazinones)	µg/l	Non détecté	< 0.050 détecté
Chlordécone (Pesticides)	µg/l	Non détecté	< 0.010 non détecté
Organohalogénés volatils OHV (44 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés
Glyphosate, AMPA Glufosinate (3 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés
Herbicides formes ester (16 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés
Pesticides (347 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés
- dont Chlordécone	µg/l	Non détecté	Non détecté
- dont Hexazinone	µg/l	Non détecté	Détecté

Lors de la recherche de micropolluants organiques, aucune molécule n'a été détectée pouvant révéler une pollution issue de pratiques agricoles (pesticides, herbicides).

3.2.7. Bactériologie

Une seule campagne d'analyse bactériologique a été réalisée en mars 2007. Les résultats n'ont pas mis en évidence de contamination bactériologique des eaux de la retenue de La Manzo. La qualité bactériologique des eaux est très bonne en mars 2007 et bonne en juin 2006.

Tableau 9. Résultats d'analyses bactériologiques relevés en mars 2007

Paramètres	Unités	Mars 2007 Intégré	Juin 2006 Intégré	Valeurs limites de « Bonne » aptitude du SEQ-Eau ^A
Coliformes totaux	n/100 ml	36	150]50-500] ^a
Escherichia Coli	n/100 ml	0	46	< 20 000 ^a
Entérocoques	n/100 ml	0	< 15	< 10 000 ^a
Salmonelles sp	n/5l	0	0.0	

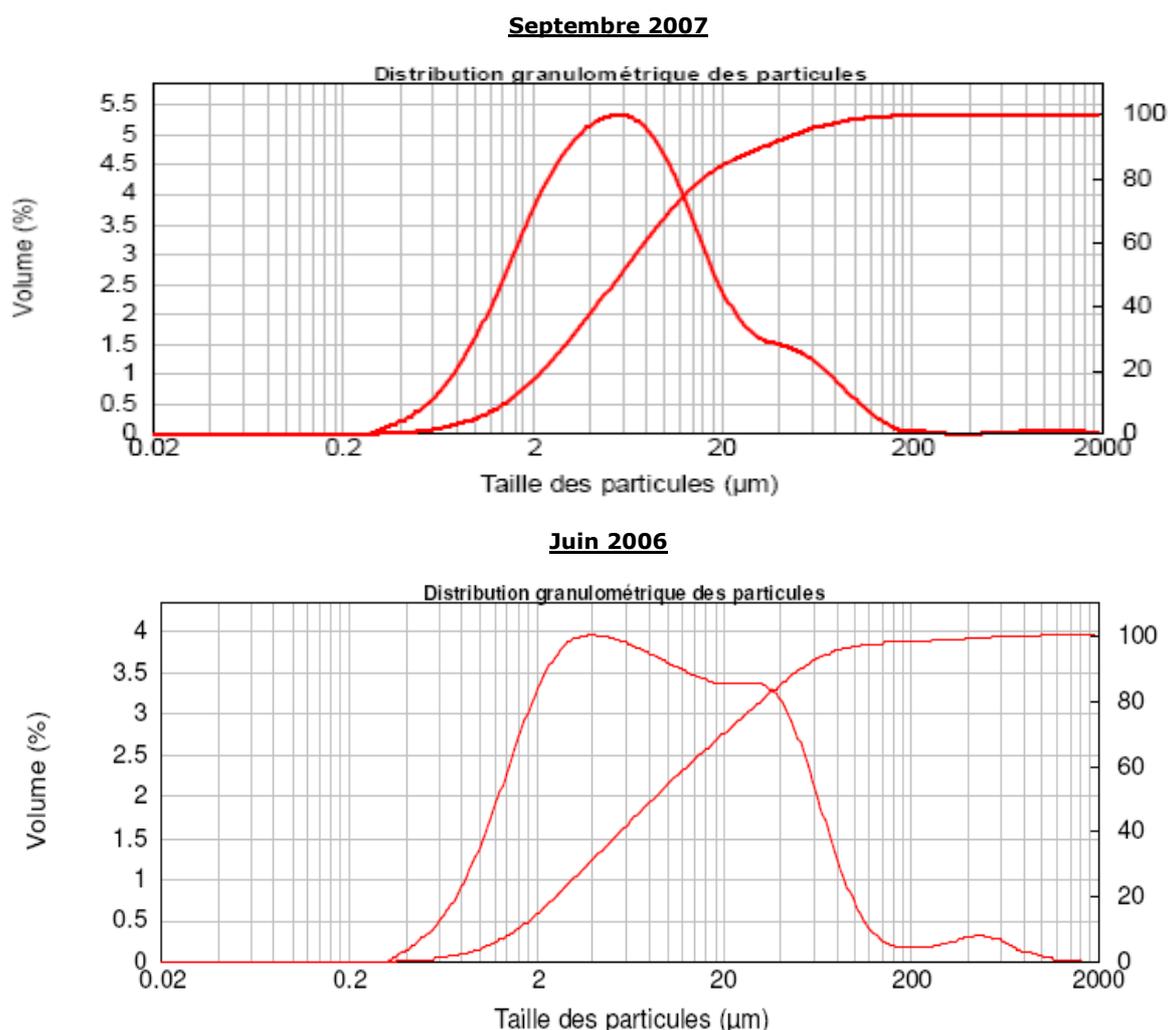
3.3. Caractérisation physico-chimique des sédiments du plan d'eau

La qualité physico-chimique des sédiments a été établie à partir d'un échantillon moyen constitué à partir de plusieurs prélèvements de sédiments effectués. Les résultats de la campagne de septembre 2007 sont présentés dans les tableaux ci-après et comparés aux données de juin 2006.

3.3.1. Granulométrie

Comme en juin 2006, les sédiments de la retenue de La Manzo se caractérisent par une très faible granulométrie en septembre 2007. Le refus de tamisage à 2 mm a retenu que 10% du sédiment brut alors qu'en 2006 il n'a pas permis d'isoler de particules supérieures à 2 mm. L'analyse granulométrique laser présentée ci-après montre la prédominance d'éléments très fins de 2 à 35 µm en juin 2006 et en septembre 2007 de 2 à 12 µm avec une moyenne en volume de 16,288 µm.

Figure 10 : Distribution granulométrique des particules



3.3.2. Physico-chimie des sédiments bruts

Les concentrations en éléments minéraux et la charge organique du sédiment se sont lors des deux analyses sédimentaires de juin 2006 et septembre 2007 (

Tableau 10).

Les concentrations de certains métaux tels que l'aluminium, le fer, et dans une moindre mesure le manganèse demeurent très élevées lors des deux campagnes. En septembre 2007 : 50 371 mg/kg MS d'aluminium total, 68 386,7 mg/kg MS de fer total et 1816,8 mg/kg MS de manganèse total. Ces teneurs sédimentaires expliqueraient par un phénomène de relargage les fortes concentrations de ces paramètres dans les eaux brutes. La classification SEQ-Plan d'eau pour les autres composés métalliques indique une qualité bonne à très bonne pour la majorité des paramètres à l'exception du cuivre qui induit une dégradation en qualité moyenne.

Une forte augmentation de la concentration en azote kjeldahl (azote organique + azote ammoniacal) est observée entre juin 2006 et septembre 2007 (1,1 mg/kg MS en juin 2006 à 108 mg/kg MS en septembre 2007). Ce phénomène pourrait être dû à :

1. Une dégradation de la biomasse végétale aérienne (herbacées, buissons...) qui s'était implantée sur une grande partie du fond et des berges du plan d'eau. Ce phénomène semble être la principale cause d'une telle augmentation (facteur 100). Lors de la remise en eau, le défaut d'export de cette biomasse a occasionné une très forte dégradation qui a généré un enrichissement en composés azotés du sédiment. Les années 2006 et 2007 sont une période de recolonisation du plan d'eau par la masse algale qui va peu à peu mener à une minéralisation de ce stock.
2. Un ralentissement saisonnier de la productivité algale ce qui traduit ainsi une mortalité des cellules ayant contribué au bloom mis en évidence lors des campagnes du carême. Ce cortège de cellules algales, après sédimentation dans la colonne d'eau, entre dans un cycle de dégradation et minéralisation ce qui contribue par conséquent à l'enrichissement et au stockage sédimentaire en composés azotés. Ce phénomène semble néanmoins secondaire.

Parmi les autres micropolluants recherchés, les sédiments présentent une très bonne qualité du fait de l'absence de ces composés. Néanmoins, trois composés ont été détectés à de faibles teneurs. Il s'agit du composé organique volatil toluène à 3,1 µg/kg MS et des composés de diphényléthérbromés. Le toluène a la caractéristique de s'adsorber surtout sur des matières organiques et des particules argileuses. La capacité d'adsorption augmente à mesure que le pH baisse.

Le rapport C/N dans les sédiments en juin 2006 s'élève à 8,18 ce qui détermine un rapport faible caractéristique de la matière algale récemment déposée dont une fraction sera recyclé en tant qu'azote minéral.

En septembre 2007, le rapport chute à 0,04 et témoigne à nouveau du jeune âge de la matière organique d'origine algale.

Tableau 10. Résultats d'analyses des sédiments de la retenue de La Manzo en septembre 2007 et juin 2006

Paramètres	Unités	juin-06	sept-07	Source
Siccité				
Refus de tamisage 2 mm	% brut	0.0	10	
Matières sèches	% MB	45.57	26.13	
Humidité	% MB	54.43	73.87	
Matières volatiles	% MS	11.14	16.38	
Matières minérales	% MS	88.86	83.62	
Matières volatiles	% MB	5.08	4.28	
Matières minérales	% MB	40.49	21.85	
Valeur agronomique				

Azote total (N)	% MS	0.13	0.31	
Azote organique (N)	% MS	0.13	0.31	
Phosphore total (P205)	% MS	< 0.06	< 0.06	
Azote total (N)	% MB	0.06	0.08	
Azote organique (N)	% MB	0.06	0.08	
Phosphore total (P205)	% MB	< 0.03	< 0.02	
Analyses physico-chimiques de base				
Carbonates	g/kg	9.0	4.2	
Carbone organique	% MS	2.04	5.43	
Cyanures totaux (CN) sur extrait aqueux	mg/kg MB	< 0.5	< 0.5	
Azote Kjeldahl	mg/kg MS	1.1	108	
Anions				
Azote nitreux	mg/kg MS	-	<0,1	
Nitrates lixiviables	mg/kg MS	-	10	
Métaux				
Aluminium total	mg/kg MS	77 274	50 371	
Aluminium total	mg/kg MB	35 214	13 162	
Arsenic total	mg/kg MS	< 5.15	< 5.10	Seq-Plan d'eau
Arsenic total	mg/kg MB	< 2.35	< 1.33	Seq-Plan d'eau
Cadmium total	mg/kg MS	< 0.5	< 0.5	Seq-Plan d'eau
Cadmium total	mg/kg MB	< 0.2	< 0.13	Seq-Plan d'eau
Chrome total	mg/kg MS	12.4	2	Seq-Plan d'eau
Chrome total	mg/kg MB	6	6.6	Seq-Plan d'eau
Cuivre total	mg/kg MS	113.3	137.3	Seq-Plan d'eau
Cuivre total	mg/kg MB	52	36	Seq-Plan d'eau
Fer total	mg/kg MS	58 212.8	68386.7	
Fer total	mg/kg MB	26 527.6	17869.4	
Manganèse total	mg/kg MS	1 452.7	1816.8	
Manganèse total	mg/kg MB	662.0	474.7	
Mercuré total	mg/kg MS	0.041	0.097	Seq-Plan d'eau
Mercuré total	mg/kg MB	0.019	0.025	Seq-Plan d'eau
Nickel total	mg/kg MS	< 2.6	5.1	Seq-Plan d'eau
Nickel total	mg/kg MB	< 1	1	Seq-Plan d'eau
Plomb total	mg/kg MS	< 5	12	Seq-Plan d'eau
Plomb total	mg/kg MB	< 2.3	3.1	Seq-Plan d'eau
Sélénium total	mg/kg MS	< 10.3	< 10.2	
Sélénium total	mg/kg MB	< 4.7	< 2.7	
Zinc total	mg/kg MS	76.2	102.1	Seq-Plan d'eau
Zinc total	mg/kg MB	35	27	Seq-Plan d'eau
Aluminium lixiviable	mg/kg MS	-	13.7	Seq-Plan d'eau
Fer lixiviable	mg/kg MS	-	57.3	Seq-Plan d'eau
Manganèse lixiviable	mg/kg MS	-	18.6	Seq-Plan d'eau
COV : composés organiques volatiles				
BTEX : hydrocarbures aromatiques et MTBE	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Toluène	µg/kg MS	Non détectés	3.1	Seq-Plan d'eau
Solvants organohalogénés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques				
HAP	mg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Pesticides				
Pesticides azotés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Atrazine	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Simazine	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Pesticides organochlorés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlordécone	µg/kg MS	Non détecté	Non détecté	Seq-Plan d'eau
Pesticides organophosphorés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlorfenvinphos	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlorpyrifos	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Endosulfan	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Lindane (HCH gamma)	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Carbamates	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Amides	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Alachlore	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Anilines	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau

- dont Trifluraline	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Urées substituées	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Diuron	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Isoproturon	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
PCB : Polychlorobiphényles				
PCB par congénères	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
PBDE : Diphénylétherbromés				
Diphénylétherbromés				
Somme 13 PBDE	µg/kg MS	0.121	0.318	
Diphénylétherbromés				
Somme des penta BDE99 et 100	µg/kg MS	0.028	0.072	
Dérivés du benzène				
Chlorobenzènes	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	
Dérivés du phénol				
Chlorophénols	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	
Alkylphénols	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	
Phtalates				
Phtalates	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	
Organométalliques				
Organostanneux	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	
Eau interstitielle				
Azote N	mg/l	< 1.7	4.6	Seq-Plan d'eau
Nitrites NO2	mg/l	0.01	0.3	
Nitrates NO3	mg/l	< 0.1	< 0.1	
Ammoniaque NH4	mg/l	1.8	3.58	Seq-Plan d'eau
Phosphates PO4	mg/l	0.005	0.005	Seq-Plan d'eau
Phosphore P	mg/l	0.03	<0.5	Seq-Plan d'eau
Aluminium Al	mg/l	0.062	0.062	
Fer Fe	mg/l	4.18	16	Seq-Plan d'eau
Manganèse Mn	mg/l	4.13	5.8	Seq-Plan d'eau

SEQ-Plan d'Eau	Classe
Très bonne	bleu
Bonne	vert
Moyenne	jaune
Médiocre	Orange
Mauvaise	rouge

3.3.3. Physico-chimie de l'eau interstitielle

Les analyses de septembre 2007 mettent en évidence une augmentation de la concentration des eaux interstitielles en azote N et en ammoniac, ce qui corrobore les teneurs élevées en azote kjeldahl de la matière sèche.

Les résultats de 2006 montraient une forte charge en fer et en manganèse et une diffusion différente de ces deux métaux à la masse d'eau (diffusion plus active pour le fer). En 2007, l'eau interstitielle apparaît beaucoup plus riche en fer (16mg/l) alors que la concentration de juin 2006 s'établissait à 4,18 mg/l. Une légère augmentation était également observée pour le manganèse. Par contre, les résultats de 2007 n'indiquent pas de différence dans la diffusion de ces composés.

L'évaluation de la qualité des eaux interstitielles par le SEQ-Plan d'eau traduit une qualité mauvaise à médiocre pour les deux paramètres fer et manganèse. Les autres paramètres sont classés en bonne ou très bonne qualité.

Tableau 11. Concentrations physico-chimiques relevées en septembre 2007 sur les eaux (surface et fond) et sur les sédiments de la retenue de La Manzo

Septembre 2007									
	Azote N	Nitrites NO2	Nitrates NO3	Ammoniaque NH4	Phosphates PO4	Phosphore P	Aluminium Al	Fer Fe	Manganèse Mn
Eau-surface	0.5 mg/l N	0 mg/l NO2	0 mg/l NO3	0 mg/l NH4	< 0.05 mg/l PO4	0.017 mg/l P	6 µg/l	128 µg/l	31 µg/l
Eau-fond	0.6 mg/l N	0 mg/l NO2	0.041 mg/l NO3	0.255 mg/l NH4	< 0.05 mg/l PO4	0.014 mg/l P	12 µg/l	1 008 µg/l	417 µg/l
Sédiments-eau interstitielle	4,6 mg/l	0,3 mg/l	< 0,1 mg/l	3,58 mg/l	0,005 mg/l	<0,5 mg/l	0,062 mg/l	16 000 µg/l	5 800 µg/l
SEQ-Plan d'eau – Bleu vert	5-10 mg/l N			3-8 mg/l N	0,1-0,4 mg/l P	0,2-0,8 mg/l		0,5-1,2 mg/l	0,1-0,2 mg/l

Juin 2006									
	Azote N	Nitrites NO2	Nitrates NO3	Ammoniaque NH4	Phosphates PO4	Phosphore P	Aluminium Al	Fer Fe	Manganèse Mn
Eau-surface	0.6 mg/l N	< 0.05 mg/l NO2	0.15 mg/l NO3	0.33 mg/l NH4	< 0.1 mg/l PO4	Non dispo	Non dispo	660 µg/l	447 µg/l
Eau-fond	0.7 mg/l N	< 0.05 mg/l NO2	0.16 mg/l NO3	0.4 mg/l NH4	< 0.1 mg/l PO4	Non dispo	Non dispo	4 739 µg/l	614 µg/l
Sédiments-eau interstitielle	< 1.7 mg/l	0.01 mg/l	< 0.1 mg/l	1.8 mg/l	0.005 mg/l	0.03 mg/l	0.062 mg/l	4 180 µg/l	4 130 µg/l
SEQ-Plan d'eau – Bleu vert	5-10 mg/l N			3-8 mg/l N	0,1-0,4 mg/l P	0,2-0,8 mg/l		0,5-1,2 mg/l	0,1-0,2 mg/l

3.4. Caractérisation biologique du plan d'eau

3.4.1. Invertébrés Oligochètes

Des prélèvements de sédiments analysés en juin n'ont pas révélé de présence de vers Oligochètes, employés fréquemment en zone tempérée comme indicateur biologique (E.O.S.2¹) de la qualité des plans d'eau.

Le second prélèvement réalisé en septembre a validé ce résultat. Aucun indice n'a pu être calculé.

3.4.2. Phytoplancton

Les prélèvements biologiques de phytoplancton ont eu lieu simultanément aux prélèvements d'eau et aux mesures in situ. Un échantillon d'eau a été destiné à l'analyse taxonomique du peuplement phytoplanctonique et un autre au dosage de la chlorophylle a et des phéopigments.

Un examen qualitatif de la communauté algale a été réalisé sur un échantillon représentatif de l'ensemble de la masse d'eau (traits de filet verticaux et horizontaux) à chaque campagne d'échantillonnage. Ceci a permis de considérer le phytoplancton en termes d'abondance relative.

En mars 2007, l'examen quantitatif a porté sur un échantillon intégré de la zone euphotique.

Un examen quantitatif a également été réalisé sur deux échantillons prélevés à la bouteille en novembre 2006:

- le premier représentatif de la colonne d'eau totale ;
- le second provenant de la profondeur à laquelle la concentration maximale en oxygène a été enregistrée.

L'étude des communautés phytoplanctoniques apporte des précisions sur le niveau de trophie de ce plan d'eau et sur les risques d'un développement éventuel des cyanobactéries.

Le diagnostic écologique du barrage de la Manzo est élaboré sur le principe d'une adaptation du protocole de « diagnose rapide des plans d'eau » issu de la note méthodologique du CEMAGREF (« Actualisation de la méthode de la diagnose rapide des plans d'eau », CEMAGREF 2003).

Bien que le barrage de la Manzo ne rentre pas dans le champ d'application théorique de cette diagnose rapide (absence de stratification thermique stable), notre expérience et les résultats obtenus sur d'autres milieux non stratifiés thermiquement nous permettent de proposer ce type d'analyse au regard des objectifs de l'étude.

Afin d'évaluer le niveau trophique et l'état écologique de ce barrage, nous nous sommes basés sur les grilles du Système d'Evaluation de la qualité « SEQ-plan d'eau » (en cours d'élaboration). Signalons à nouveau que ces grilles ont été créées pour des eaux continentales métropolitaines ; l'exploitation de celles-ci est donc à prendre avec précaution.

¹ L'E.O.S. 2 : L'indice oligochète varie de 0 à 20 et plus. Il est considéré comme décrivant les potentialités du milieu à assimiler et à recycler les substances nutritives du sédiment (potentiel métabolique). Il est corrélé positivement avec les carbonates du sédiment et la minéralisation des eaux et négativement avec les teneurs en matières organiques (C, N, P) de l'eau et des sédiments.

3.4.2.1. Méthodologie

3.4.2.1.1. Analyse qualitative du phytoplancton

Les prélèvements ont été réalisés au filet à plancton de vide de maille 30 µm. Les échantillons ont été fixés au formol (5% conc. finale) et transférés au laboratoire de Toulouges (66) pour analyses.

L'examen qualitatif du phytoplancton est effectué entre lame et lamelle au microscope droit (Leica DMLB équipé du contraste de phase et d'un micromètre oculaire) au grossissement x40 ou x100, si nécessaire. Afin de pallier une hétérogénéité de répartition des algues, plusieurs pipetages sont réalisés. Les algues (400 individus) sont comptées et déterminées au genre ou à l'espèce dans la mesure du possible.

Les résultats sont exprimés en abondance relative (tableau en annexe 2).

Ces déterminations sont utilisées pour le calcul du nouvel Indice Trophique Planctonique : Indice Planctonique (ou I_{pL}) selon la Méthode Actualisée de Diagnose Rapide des Plans d'Eau (CEMAGREF, 2003). L'unité de dénombrement est l'individu (1 colonie = 1).

3.4.2.1.2. Analyse quantitative du phytoplancton

Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'une bouteille de type van Dorn.

Les cellules algales sont dénombrées au moyen d'un microscope inversé (Leica, type DMI 3000B) selon la méthode d'Utermöhl (1958)², méthode habituellement utilisée pour le dénombrement du phytoplancton (Norme AFNOR NF EN 15204/T 90-379 de décembre 2006).

Après homogénéisation de l'échantillon, un volume réduit d'eau brute est préalablement mis à sédimenter pendant 24 heures dans une chambre de sédimentation Hydro-Bios. Les dénombrements sont effectués sous un objectif de grossissement 63x à immersion. Selon la densité phytoplanctonique, un nombre variable de champs est compté. Conformément à la norme NF EN 15204/T 90-379, une fidélité de comptage de 5% est respectée en comptant (au moins) 400 objets algaux. Les recommandations de Orlík et al. (1998)³, sont également prises en considération, notamment la nécessité de compter au moins 100 individus du taxon le plus abondant. Notons que les cellules vides (dépourvues de plastes) ne sont pas comptées.

La densité (N) des différents groupes algaux rencontrés est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$N = nxS / sxv$$

n : le nombre de cellules comptées,
S : la surface de la cuve à sédimenter,
s : la surface observée,
v : le volume sédimenté.

Un filament est considéré comme un individu et le nombre de cellules est obtenu en rapportant à la longueur du filament la longueur d'une cellule, dimensions mesurées à l'aide d'un micromètre oculaire. De la même façon, le nombre de cellules des algues coloniales est estimé par la mesure des dimensions de la colonie (forme rapportée à la géométrie la plus proche). Pour les formes simples (*Scenedesmus sp*, *Pediastrum sp...*), le nombre de cellules est déterminé au moment du comptage. Les diatomées sont comptées globalement au cours de cette étape.

Les résultats sont fournis en annexe 2 sous forme de tableau avec la densité de chaque taxon, exprimée en nombre d'algues et de cellules par millilitre.

² UTERMÖHL H., (1958). "Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik". Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38.

³ OLRÍK, K., P. BLOMQUIVST, et al. (1998). "Methods for quantitative assesment of phytolankton in freshwater". Stockholm.

3.4.2.2. Résultats

On désigne sous le terme de phytoplancton l'ensemble des algues qui vivent en suspension dans l'eau. Le développement de ces algues est contrôlé par l'action et l'interaction de différents facteurs biotiques et abiotiques. De nombreuses études de laboratoire et de terrain ont montré le rôle essentiel de la lumière et des nutriments, en particulier le phosphore et l'azote, sur la croissance algale. La silice revêt une importance capitale dans le développement des diatomées, algues brunes unicellulaires constituées d'un frustule siliceux. Outre ces facteurs physico-chimiques, la croissance des algues est également sous l'influence de facteurs biologiques difficilement quantifiables, tels que le broutage par le zooplancton herbivore, la compétition inter ou intra-spécifique ou encore le parasitisme. Au cours d'une année, les éléments qui limitent la croissance des algues (notion d'élément limitant) varient, ce qui induit une dynamique saisonnière en relation avec les caractéristiques écologiques propre à chaque espèce.

3.4.2.2.1. Biomasse algale

Bien que le dosage de la chlorophylle *a* ne permette pas *sensu stricto* de donner une valeur de la biomasse phytoplanctonique, il permet cependant d'appréhender son évolution au cours du temps. Les résultats, obtenus au cours de ce suivi sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 12. Concentrations en chlorophylle *a* dans le barrage de la Manzo.

	Mars 2007	Juin 2007	Septembre 2007	Décembre 2007	Moyenne annuelle
Chl <i>a</i> (µg/l)	100	63	8	9,1	45,03

Les concentrations en chlorophylle *a* sont relativement élevées. Elles diminuent nettement au cours des campagnes d'échantillonnage d'hivernage (septembre et décembre). La valeur maximale de 100 µg/l est enregistrée en mars (début de période de Carême) et la minimale de 8 µg/l en septembre. Avec une valeur moyenne annuelle de **45,03 µg/l**, le barrage de la Manzo s'avère de « mauvaise » qualité si l'on se réfère aux valeurs seuils des classes de qualité du SEQ-Plan d'eau pour le paramètre chlorophylle *a* (moyenne estivale intégrée).

En 2006, la valeur moyenne de 18,96 µg/l traduisait déjà une forte biomasse.

3.4.2.2.2. Composition du peuplement

La distinction entre les grands groupes algaux est basée, entre autre, sur la nature des chlorophylles (*a*, *b*, ou *c*), des autres pigments (caroténoïdes, xanthophylles) et des réserves cytoplasmiques, ainsi que sur la structure cellulaire.

Les différents taxons identifiés dans le barrage de la Manzo se répartissent principalement dans l'embranchement des Chlorophytes (algues vertes), des Cyanophytes (ou Cyanobactéries : algues bleues), et dans une moindre mesure des Euglénophytes et des Pyrrophytes.

Les différents taxons identifiés sont répertoriés dans le tableau situé en annexe 2.

La Figure 11 illustre la richesse taxonomique de chaque grand groupe considéré aux différentes dates de prélèvement.

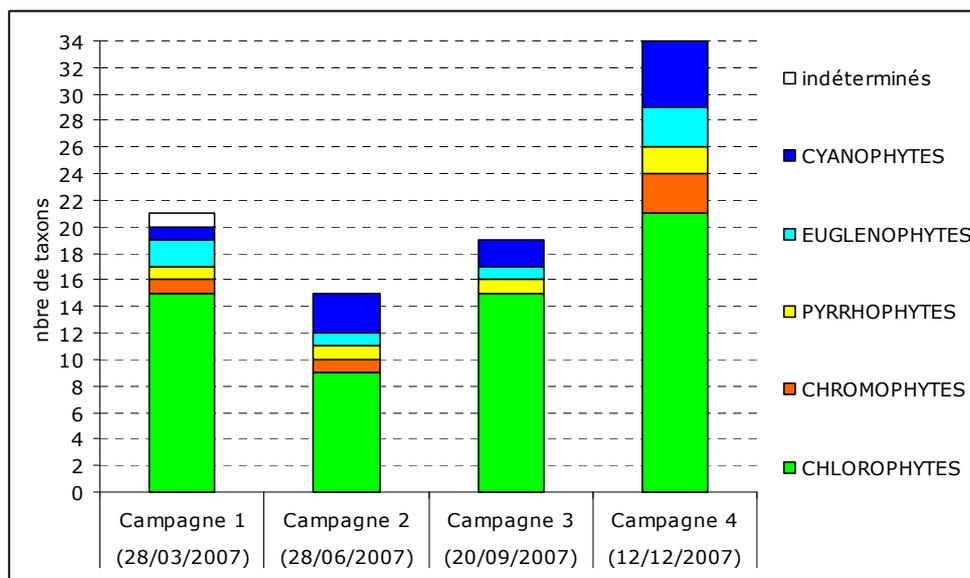


Figure 11. Richesse taxonomique du phytoplancton dans le barrage de la Manzo en 2007

Avec une trentaine de taxons seulement répertoriés au cours de l'année 2007, la richesse taxonomique (nombre de taxons présents) du phytoplancton du plan d'eau de la Manzo est relativement faible (Fig. 12). Si l'on se réfère aux inventaires phytoplanctoniques réalisés sur les plans d'eau de l'hexagone, de tels résultats sont le reflet d'un milieu modérément riche en matières organiques.

Globalement, la richesse taxonomique oscille entre 15 et 34 taxons. Les Chlorophycées montrent la plus forte diversité taxonomique (≥ 20 taxons). Les Cyanophycées sont représentées par 1 à 7 taxons. Enfin, les Chromophytes, Euglénophytes et Pyrrophytes sont accessoires, avec 1 à 3 taxons observés pour chaque groupe.

C'est au cours de la dernière campagne (Décembre), que la plus grande richesse a été enregistrée (34 taxons) ; les différents groupes algaux sont présents.

La Figure 12 montre la composition du peuplement phytoplanctonique au cours des quatre campagnes de prélèvements.

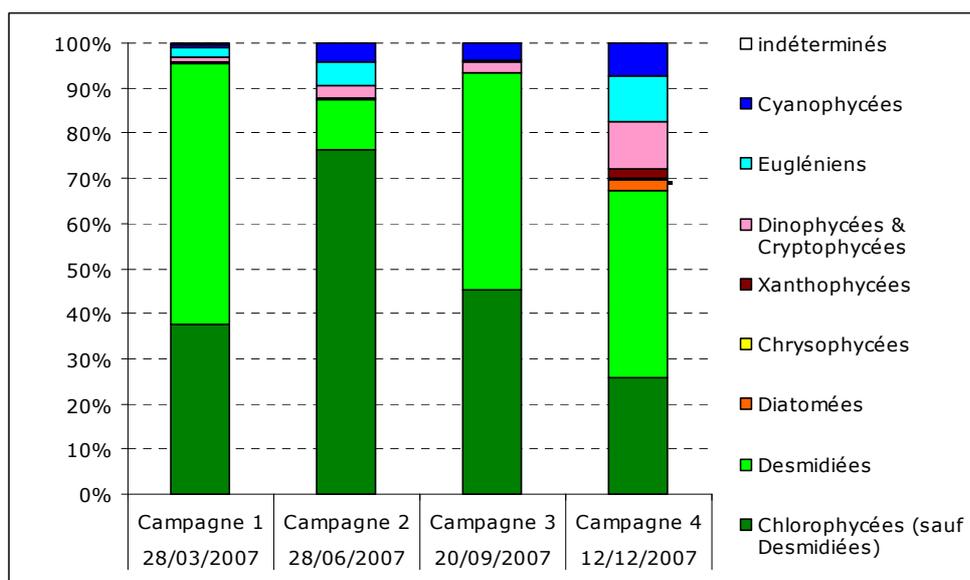


Figure 12. Abondance relative des différents groupes d'algues -2007

Entre le mois de mars et le mois de décembre 2007, la communauté phytoplanctonique est très largement dominée par les Chlorophycées. Au cours des quatre campagnes, ces dernières représentent, en moyenne, 86% de l'abondance totale. Leur proportion décroît cependant lors de la dernière campagne. Le cortège d'algues vertes est relativement courant. Il s'agit d'espèces habituellement inféodées aux eaux peu chargées en matière organique. Parmi ces algues vertes, les taxons nobles appartenant aux Desmidiées (*Staurastrum* et *Cosmarium*) dominent le peuplement à certaines périodes. Les Desmidiées sont d'excellents indicateurs biologiques des milieux aquatiques ; comme les diatomées, elles sont très sensibles aux variations de la composition chimique des eaux et à la température.

Alors que la Chlorococcale *Botryococcus braunii* est l'espèce dominante en mars et juin (elle représente en moyenne 48% du peuplement), *Staurastrum sp.1* domine en septembre et décembre (elle représente en moyenne 38% du peuplement).



Botryococcus braunii (cliché Asconit c.)

Botryococcus braunii (Chlorococcale) est une algue d'eau douce, cosmopolite, largement distribué dans différents types d'habitats (mares, lacs). Elle se développe généralement en période de faible densité algale (sa croissance lente lui permet de devenir dominante sous des conditions de compétitions faibles).

Concernant les algues les plus liées à l'eutrophisation, notons l'augmentation de l'abondance relative des Cyanophycées en décembre, puisqu'elles représentent 7% de l'abondance phytoplanctonique. Les cyanophycées sont représentées par des espèces non toxiques : *Aphanocapsa sp*, *Limnothrix sp.*, *Lyngbya sp.*, *Merismopedia sp...* Signalons toutefois la présence, en faible proportion (<2%), du taxon potentiellement toxique, *Microcystis* au cours des quatre campagnes. Quant aux Euglénien (second groupe « marqueur » d'eutrophisation), ils représentent en moyenne, moins de 5% du peuplement algal lors des trois premières campagnes, et atteignent 10% en décembre.

Globalement, la composition du peuplement traduit un niveau trophique modéré.

Détails de la composition phytoplanctonique par campagne de prélèvement :

En mars : La communauté algale est très largement dominée par les Chlorophytes. Les genres *Cosmarium* et *Staurastrum* (Zygnématales appartenant à la Famille des Desmidiées) sont les plus abondants ; ils représentent 58% du peuplement. Viennent ensuite les Chlorococcales dont *Botryococcus braunii* est la plus représentées (29% du peuplement). Nous avons observé *Tetralantos legerheimii* qui est peu courante (mais qui demeure toutefois très peu abondante). Les Euglénophytes, algues flagellées caractéristiques des milieux riches en matières organiques, représentent moins de 3% du peuplement. Les Pyrrophytes, Cyanophytes et Chromophytes sont accessoires.

En juin : La communauté algale est très largement dominée par les Chlorophytes. Le cortège d'algues vertes est relativement courant. Il s'agit d'espèces habituellement inféodées aux eaux à caractère plutôt mésotrophe. Parmi ces algues vertes, *Botryococcus braunii* est l'espèce largement dominante ; elle constitue 67% du peuplement. Notons la présence relativement importante de taxons « nobles » : *Cosmarium* et *Staurastrum*, deux genres de Chlorophytes appartenant à la famille des Desmidiées. Ces algues représentent 11% du peuplement. Elles se rencontrent généralement dans des milieux peu productifs. Les Euglénophytes constituent 5% du peuplement. Ces algues, quant à elles, sont généralement caractéristiques des milieux riches en matières organiques ; elles sont uniquement représentées ici par le genre *Trachelomonas*.

En septembre : Avec 93% de l'abondance totale, les Chlorophytes dominent très largement la communauté algale. Le cortège d'algues vertes est relativement courant. Il s'agit d'espèces habituellement inféodées aux eaux peu chargées en matière organique. Parmi ces algues vertes, les taxons nobles appartenant aux Desmidiées dominent le peuplement : *Staurastrum* et *Cosmarium* représentent 48% de l'abondance phytoplanctonique. Notons également la présence relativement importante de *Botryococcus braunii*. Elle représente 25% du peuplement. Les

autres groupes algaux sont accessoires : les Cyanophytes et les Pyrrophytes (représentées par *Peridinium* sp) constituent respectivement 4% et 2,5% du peuplement.

En décembre : Les Chlorophytes dominent le peuplement. Les taxons nobles *Staurastrum* et *Cosmarium* (appartenant aux Desmidiées) représentent 42% de l'abondance phytoplanktonique. Notons la proportion relativement importante (10,3%) des Dinophycées avec *Peridinium* sp. Dans les plans de l'hexagone, ce taxon se rencontre généralement dans des eaux moyennement chargées en matières organiques (mésotrophe). Les Euglénophytes (ou Eugléniens) représentent également 10,3% de l'abondance ; elles sont essentiellement représentées par un *Trachelomonas* de petite taille (*Trachelomonas* sp.2). Quelques individus du genre *Euglena* ont également été observés. Ces taxons sont généralement caractéristiques des milieux riches en matières organiques. La proportion des Cyanophytes est loin d'être négligeable (7%) ; les cyanophytes répertoriées sont essentiellement représentées par des taxons non toxiques. Enfin, Diatomées, Xanthophycées et Chrysophycées sont accessoires ; elles représentent chacune moins de 3% de l'abondance phytoplanktonique totale.

3.4.2.2.3. Dénombrement phytoplanktonique

Une analyse quantitative a été menée en mars 2007, au niveau de la zone euphotique. La Figure 13 illustre les résultats obtenus (Résultats bruts en annexe 3).

La densité phytoplanktonique dans la zone euphotique est de l'ordre de 1400 algues.ml⁻¹. Cette valeur est faible (bien inférieure à celle estimée en novembre 2006 puisqu'elle était de l'ordre de 90 000 algues.ml⁻¹ sur l'ensemble de la colonne d'eau contre 334 000 algues.ml⁻¹ au niveau du maximum d'oxygène).

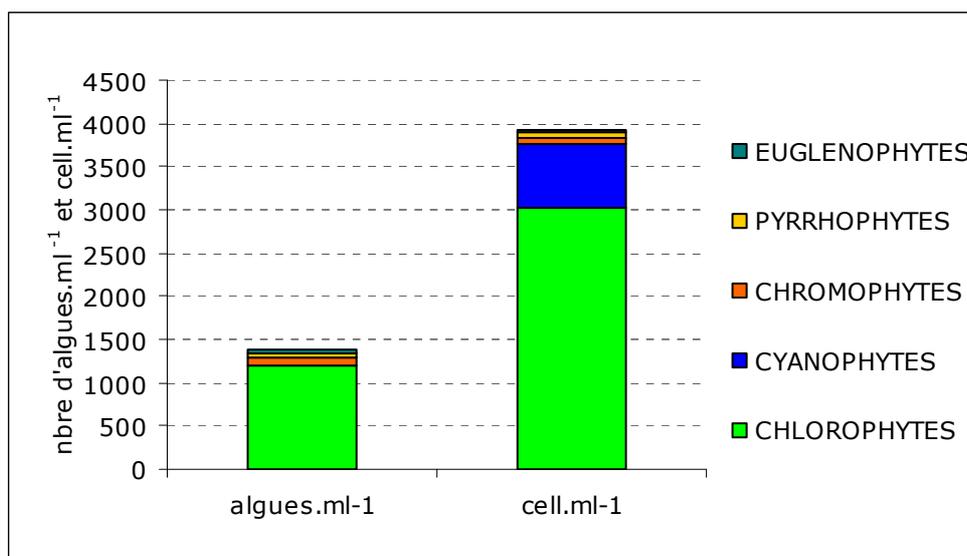


Figure 13. Densité cellulaire en nombre d'algues par millilitre et en nombre de cellules par millilitre dans la zone euphotique - mars 2007

Même si les Chlorophytes sont prépondérantes, l'analyse réalisée à cette période (mars 07) ne montre pas la dominance d'un taxon sur les autres. Cela est le reflet d'un peuplement équilibré.

Lorsque les inventaires sont exprimés en cellules par millilitre, les résultats sont différents de ceux obtenus précédemment : Chlorophytes et Cyanophytes sont nettement plus abondantes. Ceci s'explique par la présence d'algues coloniales. En effet, concernant *Botryococcus brauni*, une algue considérée comme un individu est composée de plusieurs cellules réunies dans une gangue gélatineuse. Ce taxon représente moins de 3% de la densité phytoplanktonique exprimée en algue.ml⁻¹ mais 32% de la communauté exprimée en cell.ml⁻¹. Concernant les Cyanophytes, il s'agit des algues bleues appartenant au genre *Microcystis* (organisme colonial composé de cellules sphériques) et *Planktolyngbya* (organisme filamenteux) qui regroupent des dizaines de cellules. Contrairement, Euglénophytes, Pyrrophytes et Chromophytes sont représentées par des individus mono-cellulaires.

Rappelons que dans les lacs eutrophes, les densités observées sont bien supérieures, pouvant atteindre plusieurs dizaines de millions de cellules par litre

Signalons en outre que certaines espèces de *Microcystis* sont **potentiellement toxiques** et qu'elles peuvent, après ingestion, causer des maladies graves ou même la mort d'animaux.

Enfin, le prélèvement au filet présente l'avantage de concentrer les algues et d'obtenir théoriquement davantage de richesse taxinomique comparativement au prélèvement à la bouteille. Cependant, alors que 21 taxons ont été recensés par l'analyse qualitative, l'analyse quantitative (par l'utilisation de la méthode Utermöhl) a fait ressortir 13 taxons supplémentaires ; soit un total de **34 taxons**. Dans ce cas, les cellules de petite taille (*Crucigenia tetrapedia*, *Tetraedron minimum*, *Golenkinia* sp., *Cyclotella* sp., par exemple, on pu passer à travers les mailles du filet. L'observation d'un plus grand volume d'eau a permis de mettre ces taxons (peu abondants) en évidence après sédimentation.

3.4.2.2.4. Indices biologiques (I_C , I_{PL})

Les indices basés sur l'évolution de certains compartiments biologiques (peuplement phytoplanctonique, chlorophylle *a*) permettent d'appréhender les niveaux trophiques des plans d'eau.

Ainsi l'Indice Pigments Chlorophylliens (I_C) peut être calculé pour évaluer le degré de trophie des plans d'eau ; néanmoins cet indice prend en considération uniquement le paramètre « pigments chlorophylliens », il est calculé comme suit :

$$I_C = 16 + 41,89 \log_{10} (X + 0,5)$$

X = moyenne de la somme de la chlorophylle *a* et phéophytine *a* en mg/m³.

L'indice Chlorophylle atteint la valeur élevée de 88,96 et caractérise un plan d'eau eutrophe.

L'ancien ITP (protocole de 1990), Indice Trophique Planctonique, peut aussi être calculé comme suit :

$$ITP = \text{moyenne} (B \sum Q_i A_j) - 5$$

Q_i = note de 0 à 7,

A_j = varie de 0 à 5 en fonction de l'abondance de chaque groupe,

B = classe de la biomasse exprimée en chlorophylle *a*.

D'après Barbe et al., (1990), un indice ITP compris entre 0 et 20 indique l'oligotrophie, entre 20 et 50 la mésotrophie et entre 50 et 100 l'eutrophie.

Ceci étant, cet indice est désormais connu pour surestimer largement la qualité du milieu et présenter fréquemment des discordances avec les autres descripteurs. En outre, son mode de calcul entraîne une progression par sauts de l'indice qui peut varier brusquement pour un faible écart de concentration en chlorophylle.

Plus récemment (CEMAGREF, 2003), l'Indice Planctonique ou **Indice Phytoplancton (I_{PL})** est considéré comme un bon indicateur du niveau trophique du plan d'eau. Ce nouvel indice, plus performant, ne prend plus en compte la biomasse chlorophyllienne comme auparavant et l'échelle de qualité des groupes algaux repères a été élargie. Ceci donne ainsi, dans le calcul, un poids plus élevé aux communautés algales les plus liées à l'eutrophisation (cyanobactéries, eugléniens).

Cet indice est construit pour s'échelonner en fonction de la dégradation de la qualité du milieu suivant une échelle de 0 à 100.

$$I_{PL} = \text{moyenne de } \sum Q_i \times A_j$$

Le calcul de l' I_{PL} a été réalisé à partir des valeurs indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 13. Coefficients attribués aux groupes repères (Qi), abondance relative (%), classes d'abondance relative (Aj) du phytoplancton et IPL calculé

Groupes algaux	Qi	Abondance relative (%)	Aj	Qi x Aj
Campagne 1 (28/03/2007)				
Desmidiées	1	57,8	3 (50 à ≤70 %)	0
Diatomées	3		0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5		0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	1,1	0 (0 à ≤10 %)	0
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	37,7	2 (30 à ≤50 %)	24
Cyanophycées	16	0,7	0 (0 à ≤10 %)	0
Eugléniens	20	2,3	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				24
Campagne 2 (28/06/2007)				
Desmidiées	1	11,4	1 (10 à ≤30 %)	1
Diatomées	3	0,1	0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5		0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	2,8	0 (0 à ≤10 %)	0
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	76,2	4 (70 à ≤90 %)	48
Cyanophycées	16	4,2	0 (0 à ≤10 %)	0
Eugléniens	20	5,3	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				49
Campagne 3 (20/09/2007)				
Desmidiées	1	47,9	2 (30 à ≤50 %)	2
Diatomées	3		0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5		0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	2,5	0 (0 à ≤10 %)	0
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	45,4	2 (30 à ≤50 %)	24
Cyanophycées	16	3,7	0 (0 à ≤10 %)	0
Eugléniens	20	0,6	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				26
Campagne 4 (12/12/2007)				
Desmidiées	1	41,6	2 (30 à ≤50 %)	2
Diatomées	3	2,5	0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5	0,2	0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	10,5	1 (10 à ≤30 %)	9
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	25,6	1 (10 à ≤30 %)	12
Cyanophycées	16	7,1	0 (0 à ≤10 %)	0
Eugléniens	20	10,3	1 (10 à ≤30 %)	20
Somme :				43
IPL :		35,5		

Le calcul de l'I_{PL} révèle que le barrage de la Manzo est relativement **peu dégradé**.

Selon les grilles du SEQ-Plan d'Eau, la valeur de l'I_{PL} montrent **une eau de bonne qualité** (Tableau 14).

Tableau 14. Limites de classes et classe de qualité associée à l' I_{TP} (applicable à l' I_{PL}-SEQ-Plan d'Eau)

Indice Trophique Planctonique (moyen estiva	LIMITES DES CLASSES				
	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
	20	40	60	80	

Les résultats issus de l'analyse du phytoplancton et du calcul de l'IPL montrent que le barrage de la Manzo peut être qualifié de « **mésotrophe** » (Figure 14).

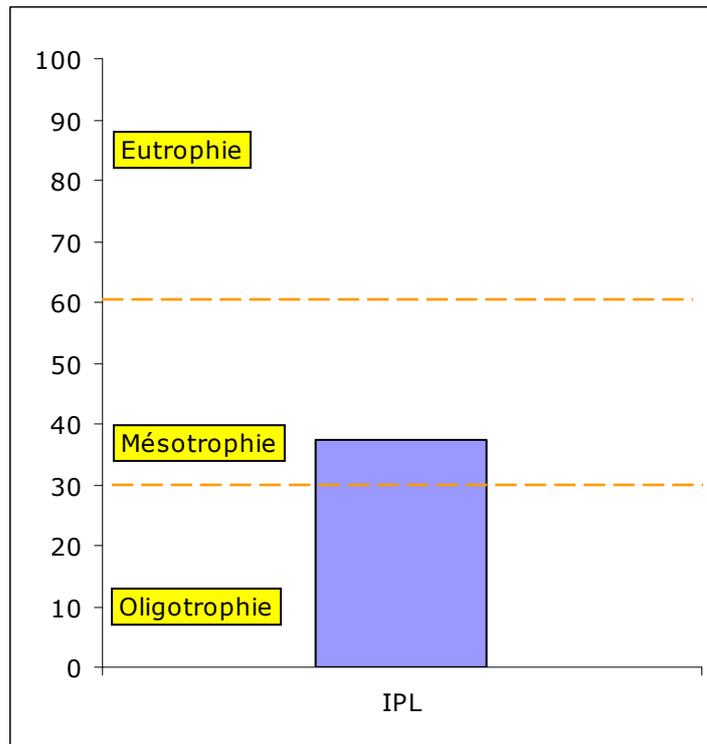


Figure 14. Valeur de l'Indice Planctonique (I_{PL}) et degré de trophie associée

3.5. Degré de trophie du plan d'eau

L'état trophique de la retenue de La Manzo a été estimé à partir du système « fixe » de classification du degré de trophie établie par l'OCDE sur l'eutrophisation (OCDE, 1982), basée sur les relations de cause à effet entre l'apport nutritif et la réaction du plan d'eau. Les paramètres nécessaires pour la classification du degré trophique du plan d'eau sont le phosphore total, la chlorophylle a et la transparence.

3.5.1. Les descripteurs

Après l'intégration des variables obtenues en 2007, le système « fixe » de classification de l'OCDE qualifie le barrage de la Manzo en plan d'eau **hyper-eutrophe** avec 78% de probabilité en fonction de la chlorophylle a (concentration moyenne en Chla de 45 µg/l) et 57% en fonction de la transparence. Le paramètre Phosphore total classe la retenue au stade **mésotrophe**.

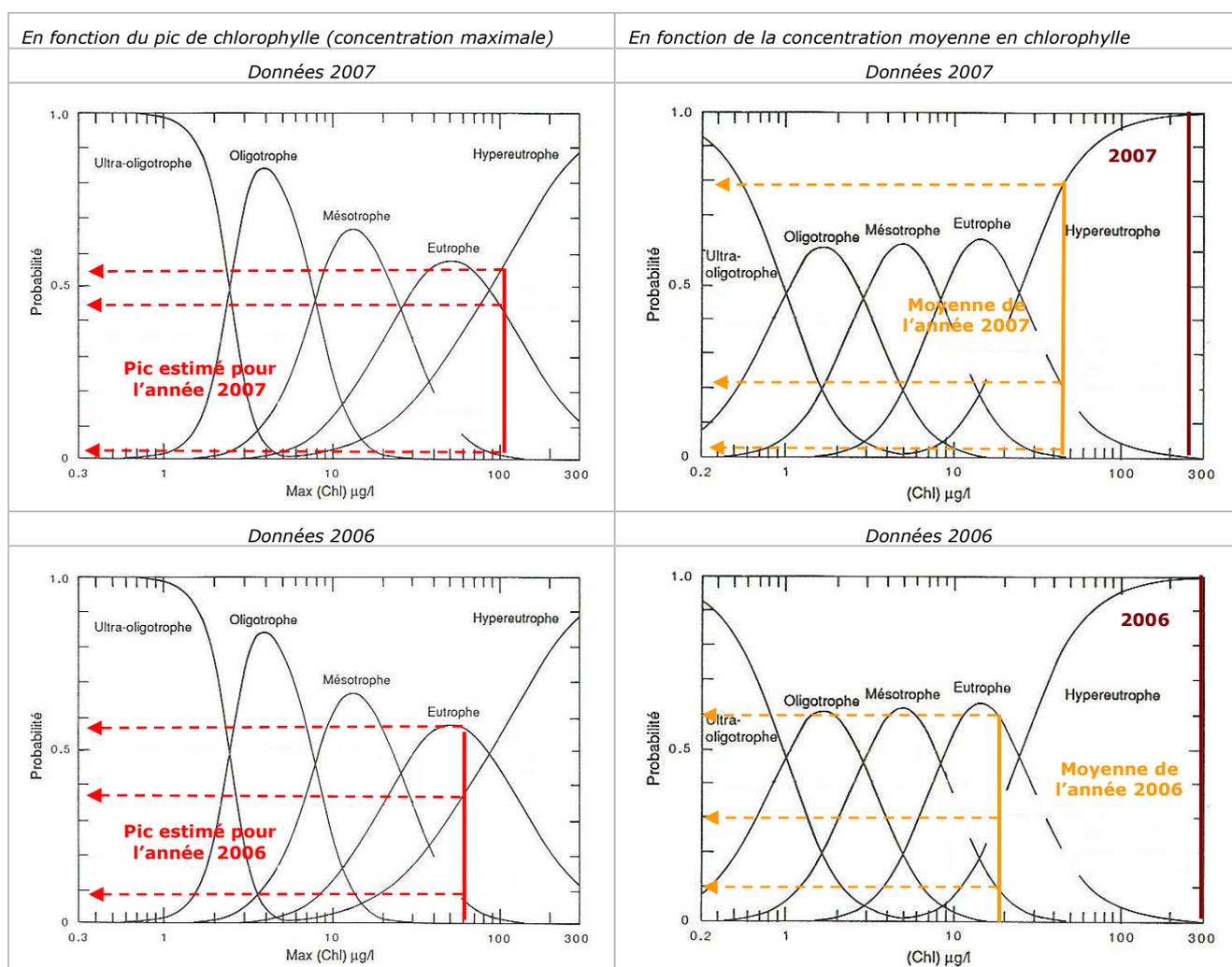
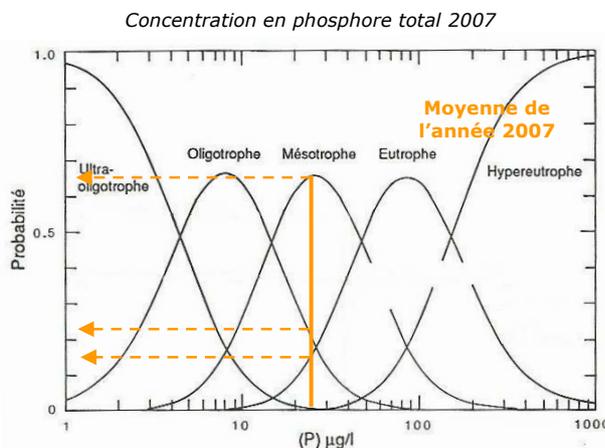


Figure 15. Etat trophique probable en fonction de la concentration en chlorophylle pour la retenue de La Manzo, selon la distribution des états trophiques de l'OCDE (OCDE, 1982). Données 2006 et 2007

A l'issue des quatre campagnes de 2007, ce système attribue un **stade global hyper-eutrophe** au barrage de la Manzo mais avec une tendance nette à l'**eutrophie**.
Les eaux de la Manzo apparaissent très productives mais néanmoins peu chargées en nutriments ce qui atteste de leur utilisation optimale par la microflore.

Figure 16. Etat trophique probable en fonction de la concentration en phosphore total pour la retenue de La Manzo, selon la distribution des états trophiques de l'OCDE (OCDE, 1982). Données 2007



En 2006, l'état probable de trophie était l'eutrophie (probabilité hyper-eutrophe : 30% ; eutrophie : 60% ; probabilité mésotrophe 10%) (Tableau 15. Etat trophique de la retenue de La Manzo en 2007 selon le système « fixe » de classification de l'état trophique de l'OCDE (OCDE, 1982).

Degré de trophie	Valeurs seuils OCDE					Asconit mars 2007		Asconit juin 2007		Asconit septembre 2007	
	Ultra-oligotrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Hyper-eutrophe	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie
Phosphore total (µg/l)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	11	Mésotrophe	65	Eutrophe	17	Mésotrophe
CHL moyenne (µg/l)	< 1	< 2,5	2,5-8	8-25	> 25	100	Hyper-eutrophe	63	Hyper-eutrophe	8	Mésotrophe
CHL maximum (µg/l)	< 2,5	< 8	8-25	25-75	> 75	100	Hyper-eutrophe				
Secchi moyenne (m)	> 12	> 6	6-3	3-1,5	< 1,5	0,95	Hyper-eutrophe	1,2	Hyper-eutrophe	2	Eutrophe
Secchi minimum (m)	> 6	> 3	3-1,5	1,5-0,7	< 0,7			-		-	

CHL : chlorophylle a dans les eaux de surface

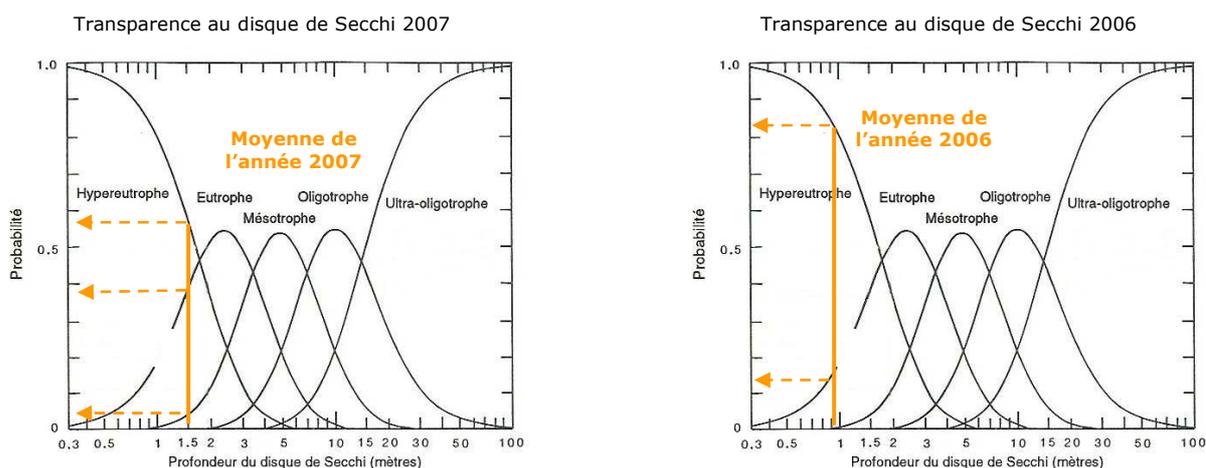
Secchi : transparence mesurée au disque de Secchi

Paramètres	Etats trophiques probables									
	Asconit 2007									
Etats trophiques	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper					
Concentration en Chlorophylle a			2%	20%	78%					
Pic prédit de Chlorophylle a			2%	44%	54%					
Concentration en Phosphore total		22%	65%	13%						
Transparence (Secchi)			5%	38%	57%					

Tableau 16). Cependant, l'étude de l'eutrophie du lac était à prendre avec précaution car elle était réalisée lors de deux phases particulières de la gestion de ce barrage : abaissement et remontée des eaux suite à l'opération de vidange.

La transparence moyenne annuelle 2006 attestait déjà d'une **hyper-eutrophie** avec une probabilité de l'ordre de 85% contre 15% en faveur d'un caractère eutrophe.

Figure 17. Etat trophique probable en fonction de la transparence pour la retenue de La Manzo, selon la distribution des états trophiques de l'OCDE (OCDE, 1982). Données 2006 - 2007



En 2001, Lemoalle avait signalé une tendance à l'eutrophie du plan d'eau. Selon les résultats précédents, en avril 2005, il présentait un état mésotrophe.

Tableau 15. Etat trophique de la retenue de La Manzo en 2007 selon le système « fixe » de classification de l'état trophique de l'OCDE (OCDE, 1982).

Degré de trophie	Valeurs seuils OCDE					Asconit mars 2007		Asconit juin 2007		Asconit septembre 2007		Asconit décembre 2007		Asconit moy. 2007	
	Ultra-oligotrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Hyper-eutrophe	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie
Phosphore total (µg/l)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	11	Mésotrophe	65	Eutrophe	17	Mésotrophe	< 5	Oligotrophe	24,5	Mésotrophe
CHL moyenne (µg/l)	< 1	< 2,5	2,5-8	8-25	> 25	100	Hyper-eutrophe	63	Hyper-eutrophe	8	Mésotrophe	9,1	Eutrophe	45	Hyper-eutrophe
CHL maximum (µg/l)	< 2,5	< 8	8-25	25-75	> 75	100	Hyper-eutrophe							100	Hyper-eutrophe
Secchi moyenne (m)	> 12	> 6	6-3	3-1,5	< 1,5	0,95	Hyper-eutrophe	1,2	Hyper-eutrophe	2	Eutrophe	1,85	Eutrophe	1,5	Hyper-eutrophe
Secchi minimum (m)	> 6	> 3	3-1,5	1,5-0,7	< 0,7			-		-					

CHL : chlorophylle a dans les eaux de surface

Secchi : transparence mesurée au disque de Secchi

Paramètres	Etats trophiques probables									
	Asconit 2007									
Etats trophiques	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper					
Concentration en Chlorophylle a			2%	20%	78%					
Pic prédit de Chlorophylle a			2%	44%	54%					
Concentration en Phosphore total		22%	65%	13%						
Transparence (Secchi)			5%	38%	57%					

Tableau 16. Etat trophique de la retenue de La Manzo entre 2001 et 2006 selon le système « fixe » de classification de l'état trophique de l'OCDE (OCDE, 1982).

Degré de trophie	Valeurs seuils OCDE					Lemoalle 2001		Asconit 2005		Asconit juin 2006		Asconit nov 2006		Asconit moy. 2006	
	Ultra-oligotrophe	Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Hyper-eutrophe	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie	Résultats	Degré de trophie
Phosphore total (µg/l)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	85	Eutrophe	< 40	Mésotrophe Eutrophe	Non disponible	-	< 50	Mésotrophe Eutrophe	< 50	Mésotrophe Eutrophe
CHL moyenne (µg/l)	< 1	< 2,5	2,5-8	8-25	> 25	10,14	Eutrophe	2	Oligotrophe	32,02	Hyper-eutrophe	5,91	Oligotrophe	18,96	Eutrophe
CHL maximum (µg/l)	< 2,5	< 8	8-25	25-75	> 75	14,08	Mésotrophe	5,5	Oligotrophe					58,81	Eutrophe
Secchi moyenne (m)	> 12	> 6	6-3	3-1,5	< 1,5	1,7	Eutrophe	1,6	Eutrophe	0,45	Hyper-eutrophe	1,33	Hyper-eutrophe	0,89	Hyper-eutrophe
Secchi minimum (m)	> 6	> 3	3-1,5	1,5-0,7	< 0,7	-		-		-		1,2	Eutrophe	-	

CHL : chlorophylle a dans les eaux de surface

Secchi : transparence mesurée au disque de Secchi

Paramètres	Etats trophiques probables														
	Lemoalle 2001					BGPISE/Asconit 2005					Asconit 2006				
Etats trophiques	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper
Concentration en Chlorophylle a			35%	58%	7%	10%	58%	29%					30%	60%	10%
Pic prédit de Chlorophylle a			28%	52%	20%	2%	74%	24%					9%	58%	33%
Concentration en Phosphore total			17%	65%	17%		6%	57%	35%		Non qualifiable en 2006				
Transparence (Secchi)			7%	42%	51%			5%	40%	55%				15%	85%

3.5.2. Approche fonctionnelle

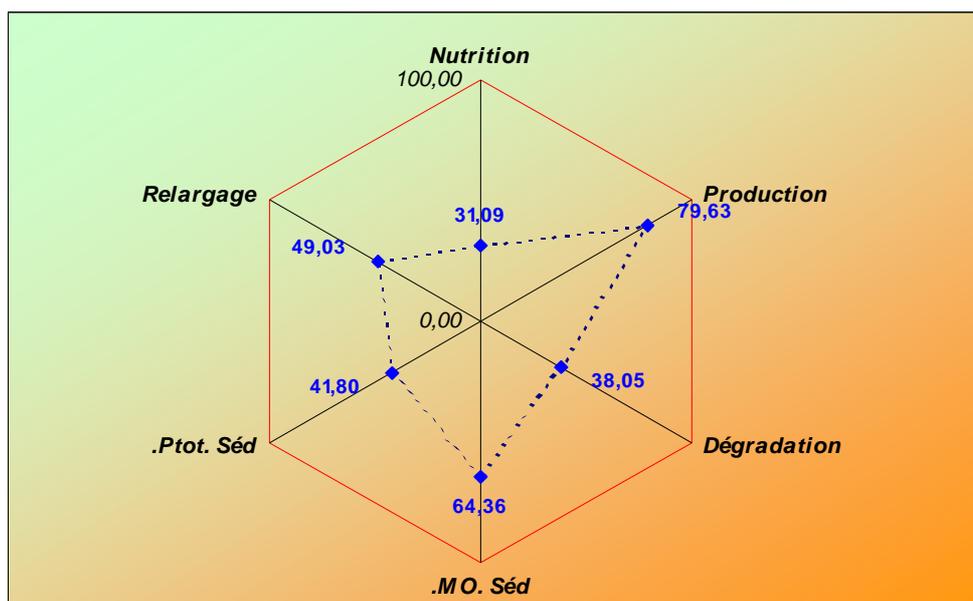
L'interprétation de la diagnose rapide (Cemagref, 2003) s'appuie sur plusieurs types d'indices basés sur un ou plusieurs paramètres pour refléter les aspects fonctionnels du plan d'eau. Ils sont de nature physico-chimique ou biologique.

Six indices principaux (Annexe 4) servent à l'appréciation de la qualité physico-chimique globale de l'écosystème : l'indice de production, de nutrition, de dégradation, de stockage des minéraux du sédiment, de stockage de la matière organique du sédiment et enfin de relargage.

Le déroulement de quatre campagnes d'échantillonnage en 2007 assure une certaine fiabilité pour le calcul des différents indices et permet ainsi d'apprécier avec plus de justesse le fonctionnement trophique de la retenue.

Le produit de ces calculs est présenté dans le graphique en radar (Figure 18). Cette présentation permet d'avoir une vision synthétique des différents indices qui font parfois appels à des métriques (données initiales) se recoupant. En termes d'interprétations, un graphique dit équilibré « symétrique » s'illustre par des indices aux valeurs proches qui forment un hexagone parfait. Si celui-ci tend à s'approcher de l'hexagone de valeur 100, le plan d'eau est eutrophe avec un fonctionnement important de toutes ces composantes. A l'inverse, un petit hexagone central définit un plan d'eau oligotrophe qui tourne à faible régime (peu d'apport, peu de production, peu de relargage, peu de fixation).

Figure 18. Approche fonctionnelle des phénomènes de trophie sur la Manzo en 2007



Le graphique en radar met en évidence une dissymétrie entre les différents indices fonctionnels avec cependant deux grandes tendances :

1. On observe un tracé central pour les indices en rapport avec la colonne d'eau (Dégradation « Consommation journalière en O2 dissous » et Nutrition « Indice Ptotal et Indice Ntotal ») et avec le sédiment (Relargage « Indice Ptotal Eau interstitielle, Indice Ammonium Eau interstitielle » et Stockage des minéraux « Ptotal du sédiment »). Ceux-ci oscillent entre 30 à 50. Cette situation s'applique généralement à des plans d'eau ayant des flux de matières moyennement importants. Cette concordance indique une relative bonne qualité physico-chimique globale du plan d'eau et tend à le classer en milieu mésotrophe.
2. La dissymétrie est induite particulièrement par l'indice Production (« Indice Pigment chlorophyllien et Indice Transparence ») et secondairement par l'indice Stockage de la matière

organique dans le sédiment (« Perte au feu du sédiment »). Le plan d'eau de la Manzo est donc sujet à une forte production phytoplanctonique, corroborée par une faible transparence des eaux. Après leur mort, les cellules algales sédimentent au fond du barrage ce qui expliquerait en partie le grand stockage de la matière organique mis en évidence. Cette forte productivité du milieu est sans doute à lier au caractère tropical de la retenue. Le résultat prend aussi en compte la décomposition des végétaux aériens qui se sont développés lors de la vidange.

4. Evaluation globale - SEQ Plan d'eau

En application des paramètres de qualités édictés par le SEQ Plan d'eau, nous présentons ci-dessous la synthèse des qualités au regard des aptitudes. Afin de faciliter la lecture de ce synoptique, le code couleur a été appliqué à l'ensemble des paramètres qui ont pu être renseignés.

Un certain nombre de champs ne sont pas renseignés. Ces derniers n'ont pu faire l'objet d'une qualification :

- soit parce que le SEQ Plan d'eau n'envisageait pas leur évaluation dans le cadre de la Manzo du fait de son caractère artificiel (non valable),
- soit parce que les classes de ce système ne sont pas validées à ce jour (attente norme),

Au titre du système d'évaluation de la qualité, en cohérence avec la nouvelle réglementation européenne, ce plan d'eau a été évalué en fonction de différents paramètres renseignant des descripteurs en fonction des usages (règle des paramètres déclassants). La retenue de barrage de la Manzo a, à l'heure actuelle, comme **seul usage l'irrigation**.

La qualité biologique et physico-chimique en 2007 satisfait cet usage comme en 2006.

Néanmoins, l'appréciation globale de l'état écologique révèle une bonne aptitude en terme d'intégrité biologique et met en avant une aptitude mauvaise en termes de :

- potentialités biologiques,
- d'habitat pour la faune et la flore,
- d'effets sur l'aval
- et de niveau trophique.

Ce constat relativement négatif sur ces aspects, ne remet pas en cause la bonne aptitude pour le principal usage qu'est l'irrigation.

En effet, les paramètres qui péjorent ce bilan (transparence, oxygène dissous, chlorophylle, manganèse et fer), seraient principalement dus :

- Au caractère tropical du plan d'eau (forte productivité par rapport à l'indice pigment chlorophyllien, toutefois cet indice est tamponné par l'indice Phytoplancton IPL qui classe le plan d'eau en milieu mésotrophe)
- Au substratum géologique : ferrisol avec forte charge en fer et en manganèse
- A la variation de profondeur liée à son usage

Les autres descripteurs présentent globalement une très bonne aptitude à la majorité des usages. On peut citer par exemple l'absence totale de détection des produits phytosanitaires et dérivés dans l'eau et dans les sédiments, une bonne minéralisation des eaux et également une bonne qualité bactériologique en 2006 et 2007.

Au regard du fonctionnement de la trophie des plans d'eau tropicaux, différents paramètres utilisés ici vont diverger des valeurs européennes de manière plus ou moins importante :

- *Les lacs et réservoirs des régions tropicales sont caractérisés par des précipitations saisonnières et des variations de température limitées. Leur température annuelle moyenne est plus élevée (environ 25°C) que dans les régions tempérées (10-15°C) ;*

Paramètre déclassant particulièrement inadapté dans le cas de la Manzo.

- *Il n'y a pas de cycle de gel et de dégel, ce qui permet à la production végétale de se maintenir toute l'année ;*

En effet, cet aspect fonctionnel est inhérent aux milieux tropicaux.

- *Quel que soit le degré de trophie, l'hypolimnion présente parfois des signes de désoxygénation, ce qui n'indique pas forcément un problème d'eutrophisation ;*

L'évaluation 2005, qui statuait sur la mésotrophie de la retenue, se caractérisait, de la même manière qu'en année eutrophe comme 2006, par une désoxygénation. Il est alors probable que cette caractéristique, qui favorise le relargage du fer et manganèse, soit une constante de la retenue majoritairement due à son substrat.

Par ailleurs, le phytoplancton qui synthétise l'oxygène ne se développe que dans la zone euphotique dont la limite se situe entre 5 à 6m de profondeur. L'absence de macrophytes accentue ce phénomène. De plus, la température diminue faiblement en profondeur, ce qui ne favorise pas la dissolution de l'oxygène. Ces différents paramètres fonctionnels contribuent systématiquement à la désoxygénation des eaux, sans pour autant indiquer une dégradation de l'état trophique du plan d'eau.

- *La productivité est généralement plus élevée du fait de l'absence de période d'interruption de la croissance végétale. Le développement de fleur d'eau peut donc se manifester toute l'année ;*

Les campagnes de 2007 rendent compte d'une production continue avec un caractère saisonnier marqué se manifestant par une accélération du système pendant la période du carême, période pendant laquelle les plus fortes teneurs en pigments chlorophylliens ont été enregistrées.

La mise en vigueur de nouveaux indicateurs comme l'IPL corrige certaines surévaluations des anciens indices et fournit une image plus fiable sur le degré de trophie des plans d'eau.

- *La concentration en phosphore généralement retenue comme seuil entre les eaux mésotrophes et eutrophes pour les régions tempérées (20-30 µg/l) est parfois trop basse en zone tropicale ;*

Critère non déclassant pour la Manzo, il illustre le faible apport en nutriment dans la retenue et donc l'utilisation optimale par le phytoplancton.

Adaptation du SEQ-Plan d'eau au contexte de la Martinique :

En l'état actuel des connaissances sur les plans d'eau des milieux tropicaux, il est particulièrement difficile de proposer des modifications fiables de l'outil d'évaluation de la qualité des milieux aquatiques le SEQ-Plan d'eau. Cependant, une adaptation s'avère nécessaire de manière à considérer les spécificités fonctionnelles de ces milieux. Au vu des résultats de la diagnose menée sur la retenue de la Manzo, trois descripteurs intégrés à la fonction Potentialités Biologiques ont fait l'objet de propositions de nouveaux seuils des classes de qualité de la manière suivante :

Le descripteur Transparence :

Les valeurs des différents paramètres inclus dans ce descripteur apparaissent inadaptées au contexte tropical.

Six mois après la vidange du plan d'eau de la Manzo, la transparence se situait déjà à moins de 2 m de profondeur. Il est donc fort improbable de prétendre à des transparences très élevées sur les plans d'eau tropicaux (de l'ordre de 3 à 4 m).

Proposition de Grilles Asconit consultants :

	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Transparence moyenne (m) annuelle	4	2,5	1,5	0,75	
Transparence minimale (m) annuelle (ou estivale)	2	1	0,75	0,5	

Le descripteur Température :

Dans le Seq-Plan d'eau, ce descripteur tient compte de la typologie salmonicole-cyprinicole. Localement, les milieux aquatiques ne font pas l'objet de classement piscicole. De plus, les besoins physiologiques des poissons sont très peu connus.

Dans le cas de la Manzo, la température minimale recueillie est 26,3°C dans les eaux profondes et la température maximale est 31,4 °C.

Proposition de Grilles Asconit consultants :

	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
<i>Lacs stratifiés</i>					
Température épilimnion °C			32		

Le descripteur Effets des Développements végétaux :

Pour ce descripteur, les valeurs de « chlorophylle a + phéopigments moyenne estivale intégrée » ont été modifiées par rapport au SEQ-Plan d'eau du fait que les valeurs maximales sont obtenues pendant la période du carême « été ». De plus au regard des résultats de la Manzo la valeur la plus faible de « chlorophylle a + phéopigments » a été dosée en décembre (14,7 µg/l). Ainsi, les valeurs du SEQ-Plan d'eau nous paraissent particulièrement faibles.

Proposition de Grilles Asconit consultants :

	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
<i>Chlorophylle a + phéopigments, maximum annuel (µg/l)</i>	10	30	65	90	
<i>Chlorophylle a + phéopigments, moyenne estivale intégrée (µg/l)</i>	8	24	48	88	



SUIVI DE LA MANZO
Eaux Douces de Type Plan d'Eau

Nom plan d'eau : **MANZO**
Code plan d'eau : **FRJR032 HYDRO-MORPHO**

Plan d'eau : Retenue de la Manzo Date : Mars. 2007 Sep. 2007
Commune : Ducos / Le François Juin. 2007 Déc. 2007
Localisation : Manzo Expert : NBA/PRO

INFORMATIONS GENERALES

Localisation :

Département : 972 - Martinique
Localisation : Manzo
Code hydrographique :
X Lambert : 722 500
Y Lambert : 1 614 000
Altitude (m) : 51 m (pour un volume moyen)
Surface du bassin versant : 2,37 km²
Finalité de la station : Diagnostic eutrophie/référence DCE

Maîtrise(s) d'ouvrage :

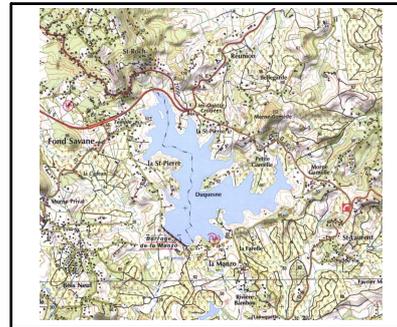
Conseil Général Martinique

DCE : Code ME :
Code HER :

FRJR032
HER1 Sud Est

Le plan d'eau :

Volume (m³x10³) : 7,94 Mm³
Profondeur maximale (m) : 20 m
Surface (km²) : 0,87 km²
Occupation du bassin versant dominante : Z. périurbaine
Statut de protection : néant
Source (m) : néant
Géologie du bassin versant : Ferrisols
Lac naturel : non
Nombre d'affluents majeurs : néant
Navigation : non



LHS **Lake Habitat Survey :**

Type de plan d'eau
Principal usage

Naturel	Réservoir				
Irrigation	AEP	Navigation	Contrôle flux	Conservation	

Enrochement ou autres structures
Vidange ?

0%	> 1-10	> 10-50	> 50-75	> 75%	de linéaire de berges)
oui	non	inconnu	Date :	26/06/2006	

Variations très importantes du niveau d'eau ?
Système aval de bassin versant ?

Élévation	Baisse		Hauteur (m) :	2,2
-----------	--------	--	---------------	-----

Présence de transferts d'eau inter-bassins ?
% d'apports inter-bassin / au flux naturel
Modification du temps de résidence "naturel"

0%	01-oct	oct-50	50-75	> 75%
non	mineur	moyen	majeur	

Fluctuations du niveau d'eau (m)

	Max. journalier	Max. annuel
< 2		
2 - 5		
> 5		

HYDROMORPHOLOGIE

SEQ-PLAN D'EAU

ALTERATIONS :

Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat Faune Flore	Aptitude aux usages de l'eau	Effets sur l'aval (cours d'eau)	Niveau trophique
				Irrigation		

Hydro. Quantité et dynamique du débit d'eau :

Σ volumes entrants réels / Σ volumes entrants naturels
Σ volumes sortants réels / Σ volumes sortants naturels
Décalage dans le régime hydrologique par rapport au naturel (mois)
Variation spatiale des points d'entrée et de sortie d'eau

non valable
non valable
non valable
non valable

Temps de résidence :

Variation du temps de séjour moyen annuel ou saisonnier

non valable
attente norme

Connexion eau souterraine



orpho. Variation de profondeur :

Marnage
Exondation de la zone littorale
Hauteur marnage artificiel/profondeur totale (%)
Vitesse de marnage (cm/j)
Type de marnage (saisonnier, journalier, ...)

attente norme
attente norme

Substrat du lit :

Ecart à la diversité naturelle des fonds du littoral (%)
Variation vitesse (taux) de sédimentation lacs naturels
Hauteur (volume) sédiments/profondeur eau

attente norme
non valable
attente norme

Structure de la rive :

Variation du périmètre
% rives naturelles / rives artificielles
Assèchement des zones humides connexes
Déboisement en rives

attente norme

Aptitude

Très Bonne
Bonne
Moyenne
Médiocre
Mauvaise

SUIVI DE LA MANZO
EAUX DOUCES DE TYPE PLAN D'EAU

Nom plan d'eau : MANZO
Code plan d'eau : FRJR032 HYDRO-MORPHO

Plan d'eau : Retenue de la Manzo Date : Mars. 2007 Sep. 2007
Commune : Ducos / Le François Juin. 2007 Déc. 2007
Localisation : Manzo Expert : NBA/PRO

SEQ-PLAN D'EAU	Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat Faune Flore	Aptitude aux usages de l'eau Irrigation	Effets sur l'aval (cours d'eau)	Niveau trophique
ALTERATIONS :							
Transparence Secchi (m) :							
Transparence moyenne (m) annuelle							
Transparence minimale (m) annuelle (ou estivale)							
Transparence moyenne (m) estivale		non renseigné					non renseigné
Transparence maximale (m) annuelle							
COD moyenne annuelle (mg/l)							
COP moyenne annuelle (mg/l)		non renseigné					
Température (°C) :							
Température épilimnion lacs stratifiés		non valable				non valable	
Température verticale plans d'eau non stratifiés		non valable					
Bilan d'oxygène :							
Oxygènes dissous (mg/l)							
Oxygènes dissous hypolimnion lacs stratifiés		non valable					
Oxygènes dissous sur verticale plans d'eau non stratifiés		non valable					
Oxygènes dissous (% saturation)							
Saturation oxygène hypolimnion lacs stratifiés		non valable					
Saturation oxygène sur verticale plans d'eau non stratifiés		non valable					
Déficit en oxygène (%) lacs stratifiés		non renseigné					non renseigné
Nutriments :							
N minéral maximal (NO3 + NH4, mg/l)							
PO43- maximal (mg/l P)							
Phosphore total maximal (mg/l P)		?					
Fer dissous (mg/l)							
Minéralisation :							
Conductivité (µS/cm)							
Acidification :							
pH (min-max) épilimnion lacs stratifiés							
pH (min-max) verticale plans d'eau non stratifiés		non valable					
Al3+ dissous épilimnion lacs stratifiés							
Al3+ dissous verticale plans d'eau non stratifiés		non valable					
Micropolluants minéraux sur eau brute :							
8 métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) + CN (µg/l)							
Pesticides sur eau brute :							
73 substances							
HAP sur eau brute :							
16 substances							
PCB sur eau brute :							
1 PCB totaux							
Autres micropolluants organiques sur eau brute :							
57 substances							
Micropolluants minéraux sur sédiments :							
8 métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)							
Pesticides sur sédiment :							
34 substances							
HAP sur sédiment :							
18 substances							
PCB sur sédiment :							
1 somme 8 isomères							
Autres micropolluants organiques sur sédiment :							
29 substances							
Micropolluants minéraux sur matière vivante :							
8 métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)		attente norme					
Effets des développements végétaux :							
Chlorophylle a + Phéopigments, maximum annuel (µg/l)							
Chlorophylle a + Phéopigments, moyenne estivale intégrée (µg/l)							
Saturation en oxygène (%)							
pH							
Azote toxique :							
NO2 (mg/l N)							
NH3+ (mg/l N)							

YSICO-CHIMIE



	Très Bonne
	Bonne
	Moyenne
	Médiocre
	Mauvaise

Légende : HAP Hydrocarbures aromatiques Polycycliques
PCB Polychlorobiphényles
MES Matières en suspension

SUIVI DE LA MANZO
EAUX DOUCES DE TYPE PLAN D'EAU

Nom plan d'eau : MANZO
Code plan d'eau : FRJR032 **HYDRO-MORPHO**

Plan d'eau : Retenue de la Manzo Date : Mars. 2007 Sep. 2007
Commune : Ducos / Le François Juin. 2007 Déc. 2007
Localisation : Manzo Expert : NBA/PRO

SEQ-PLAN D'EAU	Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat Faune Flore	Aptitude aux usages de l'eau Irrigation	Effets sur l'aval (cours d'eau)	Niveau trophique
ALTERATIONS :							
Caractéristiques des sédiments : phase solide < 63 µm						?	
C organique particulaire (mgC/g)							
N total particulaire (mgN/g)							
P total particulaire (mgP/g)							
Souffre (mg/g)		attente norme					
Potential de relargage des sédiments :							
Phase solide sur poids sec :							
Phosphore PINA (mg/g)		?				?	
Eau interstitielle :							
NH4 (mgN/l)							
Ntotal (mg/l)							
PO4 (mgP/l)							
Ptotal (mg/l)							
Fer (mg/l)							
Mn (mg/l)							
P Toxines algale :					non renseigné	non renseigné	
Equivalent Mircocystine LR (µg/l)		non renseigné					
Descripteurs spécifiques usages :							
Couleur						non renseigné	
MOOX							
Matières azotées hors NO3							
Nitrates							
Matières phosphorées							
Microorganismes							
Phytoplancton :							
ITP moyen estival							
Flore aquatique autre :							
Proportion Hydrophytes/hélophytes			attente norme				
% de recouvrement			attente norme				
Profondeur maximale colonisée par les charophytes			non valable				
Faune benthique invertébrée :							
EOS2 (=IOBL) - Indice oligochètes			non valable				
IMOL - Indice malacologique			non valable				
IBL - Indice Biologique Lacustre			non valable				
Poissons (ichtyofaune) :							
Richesse spécifique			attente norme				?
Introduction d'espèces (O/N)			attente norme				
Présence de tributaires (O/N)			attente norme				
Flore-faune proliférantes : classe d'abondance ou % recouvrement							
% Cyanophytes (%)							
Abdce Algues filamenteuses							
Macrophytes							
Invertébrés							
Poissons indésirables							
Autres vertébrés							
Parasites							
Faune et flore remarquables : (espèces protégées, menacées, à valeur patrimoniale ou indicatrices)							

SEQ-PLAN D'EAU	Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat Faune Flore	Aptitude aux usages de l'eau Irrigation	Effets sur l'aval (cours d'eau)	Niveau trophique
ALTERATIONS :							
QUALITE GENERALE							

Aptitude

	Très Bonne
	Bonne
	Moyenne
	Médiocre
	Mauvaise

5. Conclusion de la diagnose

Ce rapport inclut les résultats recueillis au cours des quatre campagnes d'échantillonnage qui se sont déroulées en mars, juin, septembre et décembre 2007.

Etant donné que les fortes influences de la vidange de 2006 se sont estompées, le suivi 2007 permet de caractériser le fonctionnement du plan d'eau en situation normale et ainsi de mieux appréhender les phénomènes dirigeant ce dernier.

L'expertise menée en 2007 indique :

La **vérification hydro-morphologique** n'a identifiée aucune pression nouvelle et significative pouvant dégrader la qualité des milieux et des eaux du barrage. La prospection visuelle menée sur le bassin versant n'a pas révélée de modifications particulières des pressions potentielles pré-identifiées.

Les **conditions physico-chimiques** traduisent :

- La stratification du plan d'eau avec une désoxygénation, une légère acidification et minéralisation de l'hypolimnion. Le métalimnion, siège de variation importante des paramètres *in situ*, s'établit entre 5 à 8 m,
- Une qualité physico-chimique des eaux bonne à très bonne à l'exception de la DCO, des micropolluants minéraux (fer et manganèse) et de la chlorophylle-phéopigment.
- Un niveau de relargage important du socle géologique qui se traduit par des fortes concentrations en fer et manganèse dans les eaux profondes.

L'évaluation de la charge en nutriments et des apports relatifs des différentes sources de nutriments aux eaux de la retenue est d'une importance cruciale pour la mise en application des mesures de contrôle de la pollution visant à prévenir ou renverser l'eutrophisation.

Après une hausse des concentrations des composés azotés et phosphorés particulièrement en juin 2007, la charge en éléments nutritifs se maintient à de faibles teneurs lors des autres campagnes.

L'alcalinité des eaux du plan d'eau ne varie guère et ne pénalise pas la qualité du milieu.

Les **micropolluants minéraux** (à l'exception du fer et du manganèse) ont été dosés à des concentrations relativement faibles, et ne constituent donc pas des facteurs de dégradation de la qualité des eaux de la retenue. Bien qu'en légère baisse, le fer et le manganèse constituent encore les deux principaux paramètres responsables d'une dépréciation des eaux du barrage de la Manzo.

Les analyses des micropolluants organiques et des paramètres bactériologiques ont été effectuées uniquement à la campagne de mars. Au cours de cette dernière, aucun **micropolluant organique** n'a été mis en évidence et la **qualité bactériologique** des eaux s'est révélée très bonne.

Les **sédiments** présentent une granulométrie très fine avec une prédominance de particules dans l'intervalle de 2 à 12 µm. Leur charge organique et minérale traduisent de

bonnes conditions physico-chimiques à l'exception des composés : l'aluminium, le fer et le manganèse. Les analyses sur l'eau interstitielle ont mises en évidence une richesse en azote N, en ammoniacque et comme en 2006 en fer et en manganèse. La comparaison des résultats eau interstitielle-eau du fond pour le fer et le manganèse n'indique pas de relation linéaire dans la diffusion sédiment-eau.

La **caractérisation biologique** s'appuie uniquement sur le maillon phytoplanctonique. L'indice Oligochètes (E.O.S.2) n'a pu être établi du fait de l'absence de vers oligochètes dans les sédiments du plan d'eau de la Manzo.

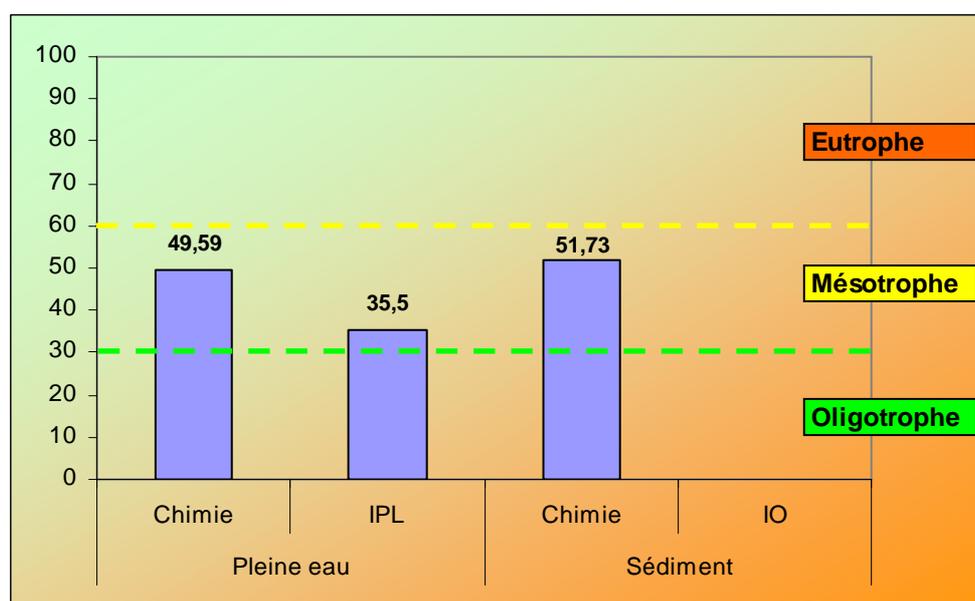
L'étude du **peuplement algal** du barrage de la Manzo montre une richesse taxonomique modérée (maximum de 34 taxons répertoriés en décembre 2007). L'importance des Chlorophytes, avec l'importance de taxons nobles appartenant aux Desmidiés (*Staurastrum*, *Cosmarium*) et la faible représentation des Cyanophytes et des Euglénophytes, suggèrent que cette retenue est modérément eutrophisée.

Le **niveau de trophie** du plan d'eau est abordé à partir de différents indicateurs :

- L'analyse du **statut trophique** à partir du système « fixe » de classification du degré de trophie établie par l'OCDE sur l'eutrophisation (OCDE, 1982), révèle un état trophique probable **hyper-eutrophe** en considérant la transparence et les teneurs en chlorophylle a. L'indicateur Phosphore total donne une indication écologique différente en classant le barrage de la Manzo en milieu **mésotrophe**.
- L'Indice Planctonique a montré que **le barrage de la Manzo** peut être qualifié de **mésotrophe**.
- Les aspects fonctionnels du plan d'eau, résultants de l'intégration de différents indices et illustrés par le graphique ne radar, a mis en exergue un **état trophique globalement mésotrophe** mais avec un niveau de production et de stockage de la matière organique dans le sédiment très élevé.

Bien que le système fixe de l'OCDE soit plus orienté vers un statut hyper-eutrophe, les limitent de classes de ce système ne semblent pas adaptées aux plans d'eau tropicaux. Le récapitulatif de tous les indicateurs fonctionnels de la diagnose, intégrée dans la figure qui suit, conclut eux à un **niveau global de mésotrophie** du plan d'eau de la Manzo. Il paraît donc difficile de conclure de manière définitive sur ce statut, néanmoins, la poursuite de cette étude devrait permettre de donner des clés pour adapter les critères de trophie au plan d'eau de la Manzo.

Figure 19 : Synthèse de la Diagnose 2007



6. Plan de gestion

Le suivi 2007 a permis de réaliser une diagnose complète riche d'enseignements en terme de potentialité de gestion du plan d'eau de la Manzo. Bien que les conclusions définitives relatives au niveau de trophie du plan d'eau nécessitent des investigations complémentaires, il semble que la Manzo présente une tendance à l'eutrophisation.

Le rapport annuel 2006 avait permis de développer une approche de gestion des principales problématiques relevées sur la retenue de la Manzo (en partenariat avec le bureau d'étude Hydratec).

Dans un premier temps, la situation avait été évaluée en considération de l'usage principal de la retenue, qu'est l'irrigation. Cependant la diagnose 2006 étant incomplète, cet exercice de prospective n'avait pas permis d'envisager des pistes de gestion rigoureuses.

En ce sens, l'approche 2007 s'appuie sur des fondements scientifiques plus stables qui autorisent le recours à des solutions plus satisfaisantes pour l'intégralité de la qualité du plan d'eau.

6.1. Rappels sur les caractéristiques des ouvrages, hiérarchisation des dysfonctionnements

6.1.1. La retenue de Saint-Pierre de la Manzo : géométrie et règles de gestion

La retenue de Saint-Pierre de la Manzo en Martinique est formée par l'édification d'un barrage dans la vallée de la rivière de la Manche en 1979.

On retiendra les caractéristiques géométriques principales suivantes :

- Niveau des plus hautes eaux : 52,00 m NGM
- Niveau d'arase de la digue 54,7 m NGM
- Capacité de la retenue : 7,94 Mm³

La vidange de la retenue s'effectue par une conduite de diamètre 1300 mm implantée dans une galerie de section 2,0 m x 2,0 m traversant le corps de la digue ; les deux orifices de fond alimentant cette conduite ont également un diamètre de 1300 ou 1400 mm, positionnés au niveau de leurs axes aux cotes 32,90 et 38,70 m NGM. Les écoulements aboutissent dans une station de pompage équipée de 7 pompes dont le débit unitaire est proche de 200 l/s ; l'exploitant nous a confirmé n'utiliser que 5 pompes au maximum de manière simultanée.

La retenue est alimentée par la Lézarde, dont les écoulements sont dérivés partiellement au niveau d'une prise d'eau et acheminés gravitairement dans la retenue. Cette alimentation est activée en saison humide ; on notera la priorité donnée à l'alimentation en eau potable depuis cette prise d'eau.

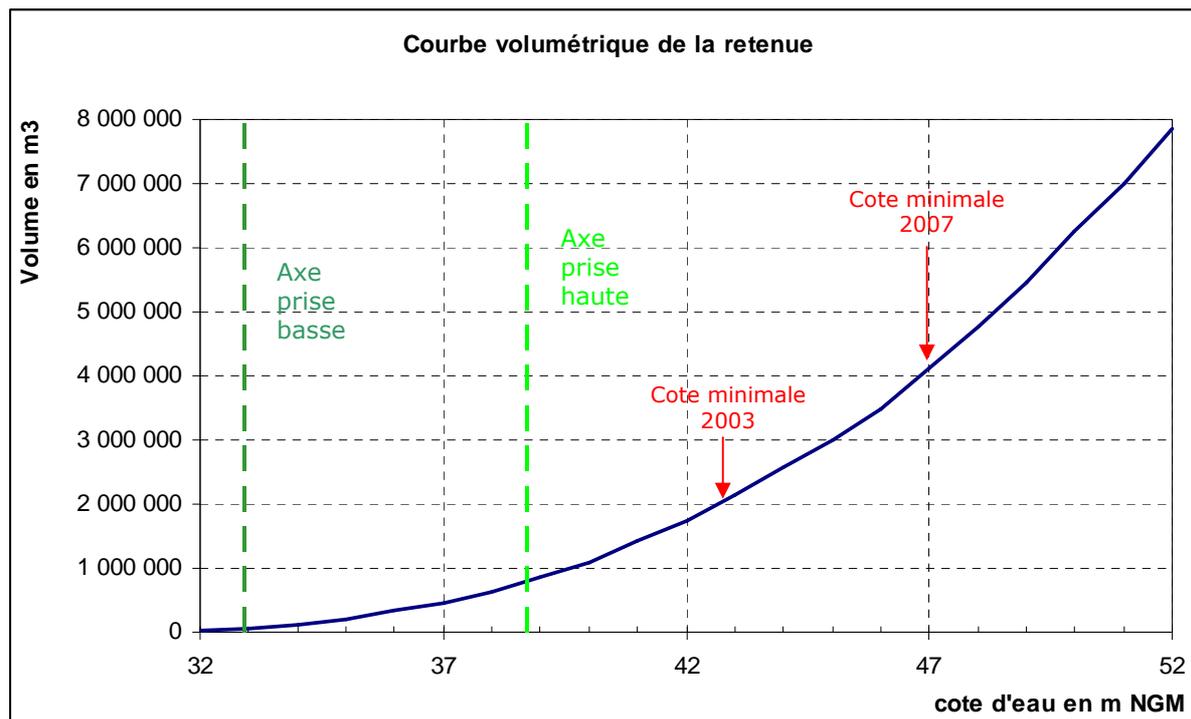


Figure 20. Courbe volumétrique de la retenue de la Manzo

6.1.2. Les problèmes relevés par l'exploitant, le constat mis en évidence par les mesures

En 2005, une note du gestionnaire du BGPISE a fait état de différents problèmes relevés par les irrigants. Ceux-ci se sont particulièrement exprimés en fin de carême en 2000 et 2004 : forte odeur d'œuf pourri, dépôts de couleur rouille et noire. Les analyses effectuées ont alors montré des teneurs très importantes en fer et en manganèse dans les eaux profondes de la retenue, 10 à 15 fois plus élevées qu'en surface.

Il semble ainsi que les perturbations ne soient pas directement corrélées au temps de séjour de l'eau dans la retenue. Par contre, les symptômes d'eutrophie péjorent nettement ces phénomènes de relargage. Le caractère ponctuellement eutrophe de la retenue devra donc être arrêté à la fin des investigations.

Les diverses mesures réalisées par Asconit et par l'exploitant mettent en évidence une stratification qualitative des eaux de la retenue accrue en période de carême :

- conditions réductrices en fond de retenue (présence d'ammonium),
- oxygénation satisfaisante de la surface jusqu'à une profondeur de 5 mètres, ensuite elle diminue très rapidement vers le fond,
- teneurs en fer atteignant 2 à 6 mg/l en profondeur selon les années, à comparer à 0,15 mg/l en surface,
- teneurs en manganèse comprises entre 1 et 3 mg/l en profondeur, pour des valeurs de l'ordre de 0,01 mg/l en surface (sauf en 2000),
- les valeurs de ces deux composants sont relativement stables dans la colonne d'eau hormis à proximité immédiate du fond (relargage).

La diagnose de 2007 a toutefois permis de mettre en évidence un comportement saisonnier pressenti en novembre 2006 par la faible saturation d'oxygène en surface (78%). En décembre 2007, ce phénomène s'opère à nouveau (75%) et le métalimnion descend à une profondeur de 12 mètres. Ces critères illustrent une baisse manifeste de la production algale couplée à un brassage plus ou moins important de la colonne d'eau (sous l'effet du vent en surface).

Les analyses réalisées sur les eaux de la Lézarde alimentant la retenue et l'examen des sources de pollution potentielles du bassin versant direct de la retenue montrent que la dégradation observée dans la retenue ne peut pas être attribuées à une qualité médiocre des apports.

Les conclusions suivantes peuvent être édictées à ce stade de l'étude :

- les problèmes de qualité chez les usagers de l'eau de la retenue (irrigation) s'amplifient lorsque les eaux présentent un caractère eutrophe,
- Le caractère eutrophe est prédominant en carême lorsque le plan d'eau est le plus stratifié,
- les eaux profondes apparaissent beaucoup plus dégradées que les eaux de surface, ces eaux profondes étant sollicitées par les prises d'eau existantes à - 13 et - 19 m.

6.2. Aménagements possibles

Lors du rapport de clôture des campagnes 2006, un certains nombres de pistes de gestion avaient été proposés. Nous rappelons ici les principaux partis d'aménagement possibles dans le cas du plan d'eau.

6.2.1. Oxygénation des eaux in situ

Le procédé réside dans l'injection de fines bulles d'air qui produisent un double effet direct :

- **Effet mécanique** provoquant un courant ascendant généré par les remontées d'air vers la surface qui entraîne progressivement la création d'un courant de convection. Ce dernier va faire redescendre vers le fond les eaux de surface saturées en oxygène en même temps que les eaux anoxiques du fond vont remonter. Ceci génère une déstratification de la masse d'eau et une aération homogène de celle-ci.
- **Mise en solution de l'oxygène** dans l'eau lors de l'injection d'air. L'échange gazeux entre l'air insufflé et l'eau est d'autant plus important que la taille des bulles est petite et que le temps de séjour des bulles est long (c'est pourquoi il est préférable d'implanter ce dispositif entre 10 et 20 mètres de profondeur).

Les effets secondaires escomptés sont :

- Effet sur la turbidité : l'aération doit théoriquement promouvoir les macrophytes et ainsi créer une compétition pour les nutriments engendrant une réduction de la production primaire algale qui augmente la turbidité. En raison du marnage sur la Manzo, empêchant l'installation durable de cette végétation, cette conséquence est sans objet.
- **Interface eau/sédiments** : le dispositif ne doit pas remettre les sédiments en suspension, mais si la ligne de bullage fonctionne en flottaison au dessus de la couche de sédiments, elle crée une barrière au relargage du phosphore, fer, manganèse et ammonium piégé dans les sédiments.
NB : Une étude bathymétrique avec sondage de la couche de sédiments est toutefois nécessaire pour surélever la ligne par rapport au fond.
- **Stabilisation du pH** : dans certains cas cette oxygénation, en réduisant la production algale, permet une stabilisation du pH autour de 7 sur toute la colonne d'eau. Le relargage est alors à nouveau limité.

Dans le cas précis de la Manzo, un traitement de l'ensemble de la retenue ne semble pas envisageable pour des raisons techniques (implantation à une profondeur supérieure à 10 mètres) et pour des raisons financières (exposées ci après).

Nous proposons le montage suivant :

1. Déploiement de 2 x 500 ou 4 x 200 mètres de lignes d'un seul tenant (peut couvrir environ 5 ha à proximité de la prise d'eau et en zone la plus profonde) qui vont flotter au dessus des sédiments à une hauteur à définir, alors qu'un second tube sert de ballast, donc de lest et assure la planéité du réseau.

Aucun entretien n'est nécessaire sur les lignes. Elles sont en polyéthylène haute densité (PEHD et non en PVC qui casse) considéré comme imputrescible. Les perforations sont faites en usine sans bavure de façon à ne pas retenir les débris végétaux.

L'installation des lignes ne nécessite pas de baisse du niveau d'eau. Les lignes sont déroulées, sur le plan d'eau par un ponton spécialement équipé, puis ballastées. Leur pose au fond de l'eau est assurée par un scaphandrier afin de garantir la planéité.

2. L'alimentation en air de l'installation est assurée par un compresseur basse pression qui envoie un air exempt d'huile et qui est refroidit afin de ne pas réchauffer l'eau. L'estimation du coup d'un tel dispositif est à affiner, car selon les machines le budget énergie peut être très variable (allant jusqu'à 6 fois le budget d'achats sur 5 ans). Il est en revanche possible d'optimiser le choix de la machine en ayant recours à un surpresseur plus coûteux à l'achat mais qui ne consomme "que" deux fois le prix d'achats (toujours sur 5 ans). Le fonctionnement de ce compresseur/surpresseur nécessite une visite de routine hebdomadaire.

Avertissement : Il est indispensable qu'une note de calcul sur les pertes de charges soit établie pour justifier de l'adéquation pression/ débit/ longueur des lignes/diamètres de tuyau ... Afin de s'assurer que le dispositif pousse l'air jusqu'au bout des lignes. Cependant le compresseur peut être installé à distance du plan d'eau.

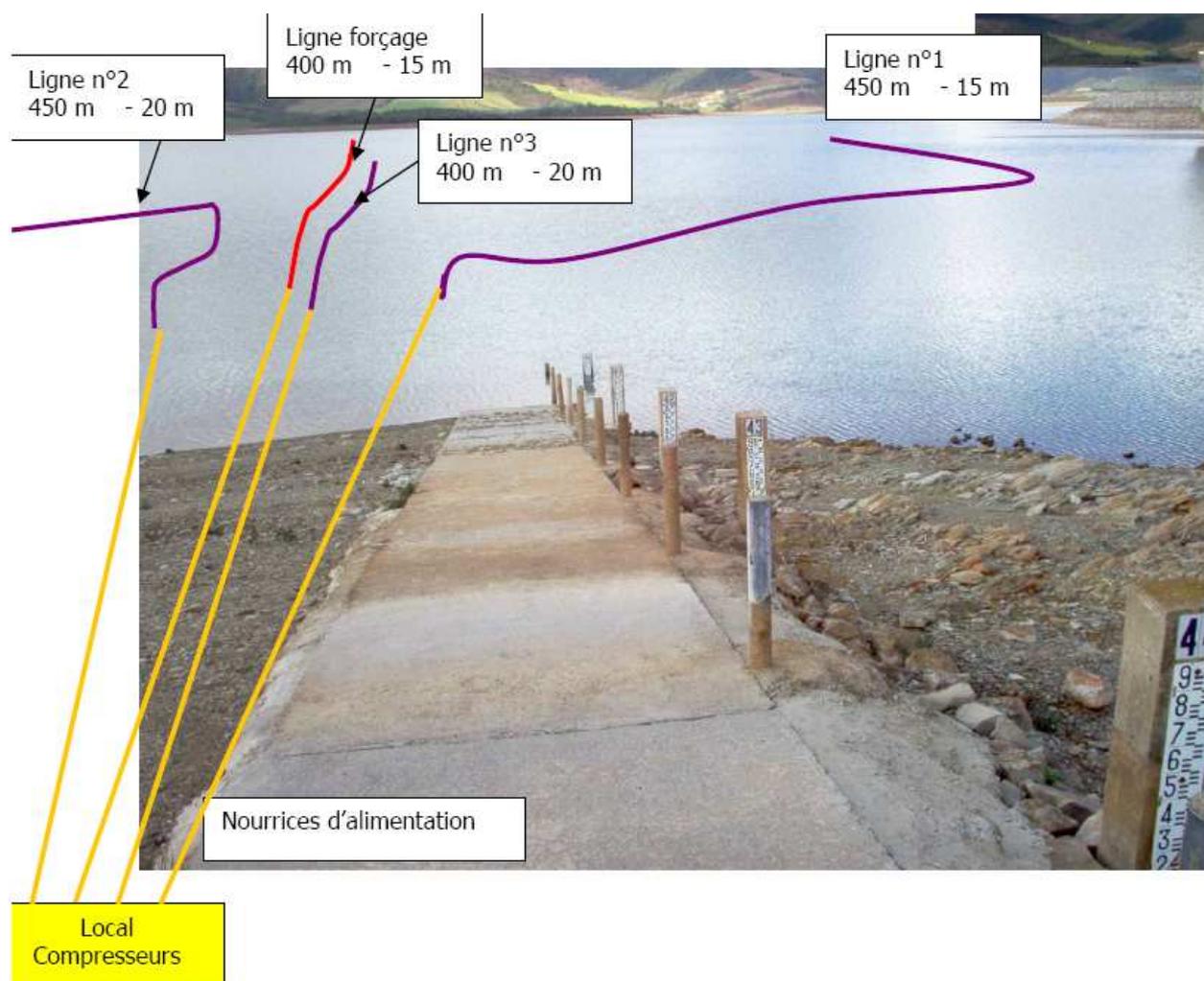


Figure 21. Dispositif de bullage pour oxygénation des eaux pour un barrage de retenue au Maroc.

Cycle de fonctionnement : la détermination des cycles optimaux se fait grâce au retour d'expérience. A priori, un cycle de 12 heures de fonctionnement en carême pourrait convenir. En hivernage, de courts cycles de fonctionnement permettent d'entretenir l'installation.

Investissement :

- Lignes et canalisations d'amenée, tourets ... : 40 000 €
- Surpresseur et refroidisseur, mise en service : 70 000 €
- Travaux d'installation hors d'eau et sous eau : 80 000 €

Avertissement : Les coûts de transport vers la Martinique ne sont pas chiffrés dans cette enveloppe de base. On peut néanmoins évaluer un surcoût minimum de l'ordre de 20% de la somme totale soit 38 000€.

Les moyens nécessaires sont une équipe de 4 dont 3 scaphandriers, ponton avec dérouleur de tour et embarcation rapide, équipements de plongée, pelle pour terrassements ...

Coût d'exploitation sur 5 ans :

- énergie environ 70 000 €
- maintenance environ 3 000 €.

Contrairement aux matériels proposés lors de la précédente version du pan de gestion, ce matériel présente les avantages :

- De ne pas avoir recours à un stockage d'oxygène liquide qui entraîne des coûts d'exploitation et des protocoles de sécurité plus lourds.
- D'être bien meilleur marché, dans la mesure où les coûts d'exploitation atteignaient 0,5 M€HT pour 1 hectare traité (soit un coût total de 2,5 M€HT pour 5 ha). Ce sont donc des coûts prohibitifs par rapport au dispositif proposé.

6.2.2. Traitement en sortie de la retenue

Le traitement des eaux soutirées à la retenue doit être adapté aux concentrations importantes en métaux et au débit maximal de 1 m³/s pompé vers le réseau du PISE.

Les traitements correcteurs sont basés sur l'oxydation du fer et du manganèse sous la forme insoluble en modifiant le potentiel d'oxydation et le pH. Les formes oxydées précipitent pour être retenues, soit en décantation, soit en filtration.

La filière à mettre en place est donc la suivante :

- aération (cascade),
- oxydation chimique et augmentation du pH,
- décantation,
- injection de permanganate et filtration sur sable.

Pour un débit de 1 m³/s, il faut compter un investissement d'environ 6 M€ HT (prix métropole) ; pour mémoire pour un débit de 300 l/s, l'investissement se porte à 2 M€ HT (prix métropole). En frais d'exploitation, sur la base de 5 Mm³ traités par an, on obtient 2,5 à 3,5 M€ HT / an. Ces montants apparaissent également prohibitifs.

6.2.3. Déstratification des eaux de la retenue

Le mélange de l'eau entre la profondeur et la surface de la retenue peut également être envisagé pour abaisser les concentrations en métaux au niveau des prises d'eau et **oxygéner le fond de la retenue**. Cette solution momentanément écartée pour le rendu 2006, trouve un nouveau développement avec la diagnose 2007 notamment après examen de la campagne d'hivernage.

Elle implique l'utilisation de technologies qui permettent à court terme d'augmenter la qualité générale de l'eau (physico-chimique) et à moyen terme d'abaisser les niveaux d'eutrophisation du plan d'eau traité (physico-chimique et biologique). Le but ultime du procédé est de permettre au plan d'eau de trouver un **meilleur équilibre de l'écosystème aquatique**, et ce en utilisant exclusivement des sources d'énergies renouvelables.

Pour mémoire, dans un premier temps, il avait été envisagé d'utiliser des hydroliennes, dont l'hélice est montée sur un axe mis en rotation par des aubes aériennes mues par le vent. Mais la Martinique est située dans une zone à hauts risques de cyclones ce qui élimine toute utilisation d'éoliennes car elles seraient difficilement gérables dans ces conditions. Des vents de plus de 160km/hr pourraient créer une poussée extrême au niveau des aubes et endommager la structure superficielle des appareils, incluant les aubes. Retirer complètement celles-ci à la veille d'un cyclone ne serait pas une solution viable car elles doivent tout de même être mises à l'abri.

Nous proposons ici un deuxième dispositif plus adapté au contexte local et pour lequel **la source d'énergie est le rayonnement solaire** (dispositif SUNGO).

Procédé des brasseurs Sungo

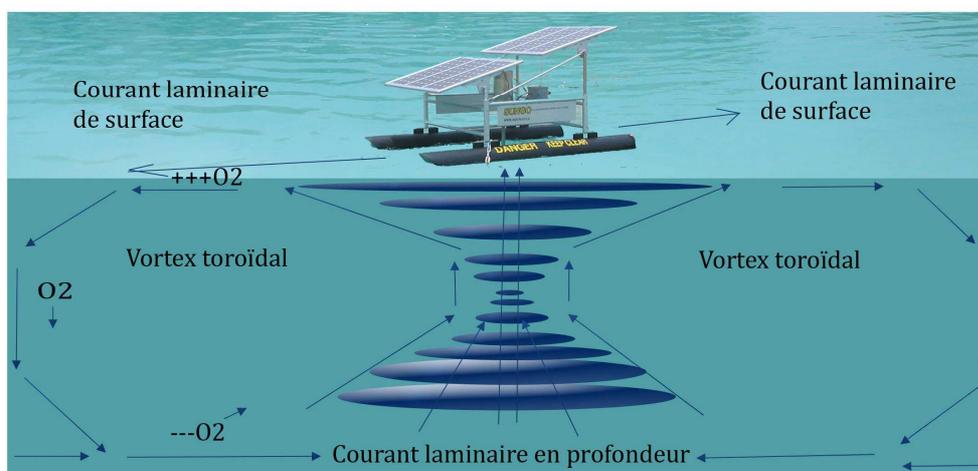


Figure 22. Schéma de principe du procédé des brasseurs Sungo.

Le principe de fonctionnement est :

- Le déplacement d'eau vertical force un mouvement des eaux horizontal : le courant laminaire de surface. Celui-ci est à l'origine d'excellents transferts d'oxygène d'origine atmosphérique. Ce mouvement laminaire est à la base d'un troisième mouvement d'eau dit de **type vortex toroïdal**. Lorsque la vélocité du courant de surface laminaire diminue, ces eaux sont emportées vers le fond. Ainsi, un déplacement d'eau vertical et descendant est produit, tirant ainsi les eaux riches en oxygène vers la base du vortex toroïdal pour ensuite créer un courant laminaire en profondeur.
- Une des caractéristiques importantes de ce dispositif est le fait qu'il ne **fonctionne que le jour**, soit lors de conditions optimales pour la production d'oxygène par photosynthèse

(sursaturation des eaux). L'oxygène est alors redistribué de façon plus homogène en profondeur afin de combler les besoins du milieu.

- Dans le contexte du contrôle des poussées d'algues, il est primordial de recréer au sein de l'écosystème des conditions optimales pour la survie des différentes formes animales. C'est au travers du rétablissement des maillons manquants (ou perdus) de la chaîne alimentaire aquatique d'un plan d'eau traité que les algues deviendront une source de nourriture pour les organismes planctivores (zooplancton) et non une source de nuisance – c'est un principe d'écologie qui est appliqué à un procédé de restauration de lac (bio-manipulation).

Ceci est un des aspects reliés aux effets de l'eutrophisation qui pourrait être appliqué à la problématique du lac de barrage de la Manzo, c'est-à-dire permettre au milieu de transformer une portion de la biomasse algale et biomasse zooplanctonique avec comme effet une augmentation progressive de la clarté de l'eau (**oligotrophisation**). Au final, la mise en place de ce dispositif permettrait de recréer un **écosystème plus complexe et fonctionnel susceptible de mener vers le bon potentiel écologique, peut-être même un bon ÉTAT écologique.**



Figure 23. Exemple d'appareils de type Sungo en situation naturelle.

Le procédé appliqué à la Manzo pourrait se définir ainsi :

1. La thermocline en condition normale d'opération se situe entre 5 et 7m (dépendant des saisons). Il serait possible de **repousser cette légère thermocline à environ 10 à 13m** de profondeur en utilisant un SunGo par 4ha.
2. Une **déstratification complète du plan d'eau pourrait être néfaste** et éventuellement recréer une mauvaise qualité des eaux comme celle observée en juin 2006. Pour calculer le nombre exact de SunGo à implanter il serait **nécessaire de connaître la bathymétrie** avec plus de précision ainsi que le régime de marnage.

En effet, le dispositif pourrait remettre en suspension des sédiments si la profondeur sous les appareils est inférieure à 2 mètres. Ce cas peut se présenter une partie de l'année (d'avril à août). Le **marnage** annuel moyen est de l'ordre de - 5 mètres pour une surface de 60 ha mais il est susceptible d'atteindre - 9 mètres en année sèche pour une surface de 40 ha.

A raison d'un appareil pour 4 hectares, **l'option haute de 15 appareils** est utilisée comme base de calcul. Néanmoins, après examen plus précis, il est possible d'abaisser ce nombre jusqu'à 10 appareils, limite au dessous de laquelle le dispositif n'aura plus d'intérêt pour l'ensemble du plan d'eau.

Il est toutefois nécessaire d'envisager quelques modifications du système de base.

- Vu que le projet est près de l'équateur, le système de pivot des panneaux (utilisé dans les zones nordiques pour atteindre le meilleur angle par rapport à l'axe saisonnier du soleil) pourrait être remplacé par un système fixe à angle permanent. L'armature de soutien des panneaux pourrait être augmentée, ainsi que pour toute la structure en générale.
- Il faut envisager un système d'ancrage modifié qui permet de maintenir l'appareil en orientation optimale lors du marnage, l'ajout de poids dans les blocs de lestage pour ce genre d'application doit être compensé au niveau de la flottabilité totale de l'appareil. Ainsi, au lieu de l'utilisation conventionnelle de flotteurs de 3m de longueur, il est possible de les remplacer par des flotteurs de 4 à 4,2m de longueur.

- Au niveau de l'ancrage de l'appareil, deux points d'ancrages seraient nécessaires, un vers l'avant et l'autre vers l'arrière de l'appareil. En prévision d'un cyclone, l'appareil serait mis hors service et l'ancrage arrière serait décroché. Seul l'ancrage avant serait relié à l'appareil. Grâce à l'angle d'attaque des flotteurs, l'appareil se tournerait en angle avec les vents ce qui lui permettrait de faire front aux vagues (comme un bateau) sans risques de l'endommager. L'ancrage arrière serait muni d'un ballon flotteur pour une récupération et un ré amarrage facile de l'appareil.
- En cas d'urgence ou les gestionnaires n'auraient pas le temps de décrocher l'ancrage arrière de l'appareil à l'arrivée d'un cyclone, une structure d'écartement des flotteurs relié à la structure générale serait ajoutée afin d'éliminer tout stress structural latéral au niveau des flotteurs (vagues de coté).

Investissement :

	Description	Prix unitaire	Total
15	SUNGOS avec les modifications structurales et flotteurs allongés (transport inclus)	30 000.00	450 000.00
15	Systèmes d'ancrages et lestages	700.00	10 500.00
1	Installation, avion et autres frais de subsistance et déplacements (2 techniciens)	4 000.00	4 000.00
		TOTAL	464 500.00

Coût d'exploitation sur 10 ans pour 15 appareils :

- 1 changement de moteur (durée approximative du moteur de 6 à 10 ans dépendant des applications et de la maintenance). Total : 15 000 €
- 2 changements complets de roulements à billes et joint d'étanchéité (il est suggéré de changer les joints d'étanchéités et les systèmes scellés de roulement à billes de l'arbre à transmission) plus temps professionnel qui peut se faire localement (environ 1hr/appareil, donc x2 sur 10ans/appareil). Total : 6 000 €
- 3 changements de brosses de carbone (moteur utilisant un courant continu, il est essentiel de changer les brosses de carbone du moteur). Total : 12 000 €

Avertissement : *il est suggéré de nettoyer les panneaux de façon périodique afin de les maintenir les plus propres possibles car l'efficacité des panneaux solaires est étroitement liée à une exposition directe des rayons solaires. Une accumulation de poussière peut réduire de façon significative l'efficacité énergétique des panneaux.*

6.2.4. Déplacement du niveau de prise

Il s'agirait de prendre l'eau en subsurface dans la couche où son oxygénation est assurée, ou, en cas de bloom avéré, en dessous immédiat de la zone euphotique afin d'éviter le captage trop important des algues sans pour autant retrouver la phase chargée en métaux (fer et manganèse) en fond de retenue.

La prise d'eau de surface pourrait être constituée d'un mât oscillant immergé en acier peint, à dimensionner pour :

- un débit maximal de 1 m³/s,
- une fixation sur le prolongement à réaliser du DN 1300 supérieur (axe 38,7 m NGM),

- une immersion du drain de prise à 1,5 m de profondeur à l'axe en première approche, cette profondeur d'immersion pouvant être réglée depuis la crête du barrage par manœuvre de câbles ou par remplissage partiel du flotteur,
- une vitesse limitée en entrée du drain pour éviter la formation de vortex et l'entraînement de l'air qui serait préjudiciable pour les pompes,
- un marnage de la retenue pour le fonctionnement de la prise entre 52,0 et 39,0 m NGM,

La photographie ci-dessous présente un exemple de réalisation dans la Gironde.

Le mât oscillant est la liaison entre la prise d'eau existante et le drain ; il est articulé à sa base avec un joint élastomère renforcé avec des anneaux en acier. Le mât permet le transit gravitaire de l'eau vers sa base et maintient le drain avec l'aide d'un flotteur dont l'immersion est réglable.

En position basse, le mât repose sur un massif à créer en fond de retenue : enrochements, béton ou gabions.

En première approche, le **mât aurait une longueur de l'ordre de 18 m et un diamètre de 800 mm.**



Figure 24. Mât oscillant en phase de mise en place au Bec d'Ambes en Gironde

Le drain de prise peut être en forme de T comme sur l'ouvrage photographié, afin d'assurer l'équilibre de la pièce en mouvement : DN 1200 mm sur une longueur de 5 m environ.

Le drain serait équipé d'un dispositif de décolmatage à air comprimé à partir d'une cuve et d'un compresseur implanté sur la crête du barrage.

La mise en place sera faite en eau avec des plongeurs, ou à sec en fonction des possibilités d'accès.

Investissement :

- Fabrication en métropole et acheminement sur le site : 160 000 € HT
- Mise en place, montage, essais : 80 000 € HT

- Prolongement de la conduite : 20 000 € HT
- Massif béton et gabions : 240 000 € HT

Coût total des travaux :	500 000 € HT
---------------------------------	---------------------

Fonctionnement :

Non chiffré à ce stade.

Il semble toutefois assez faible (compresseur de décolmatage + entretien et visite du bras)

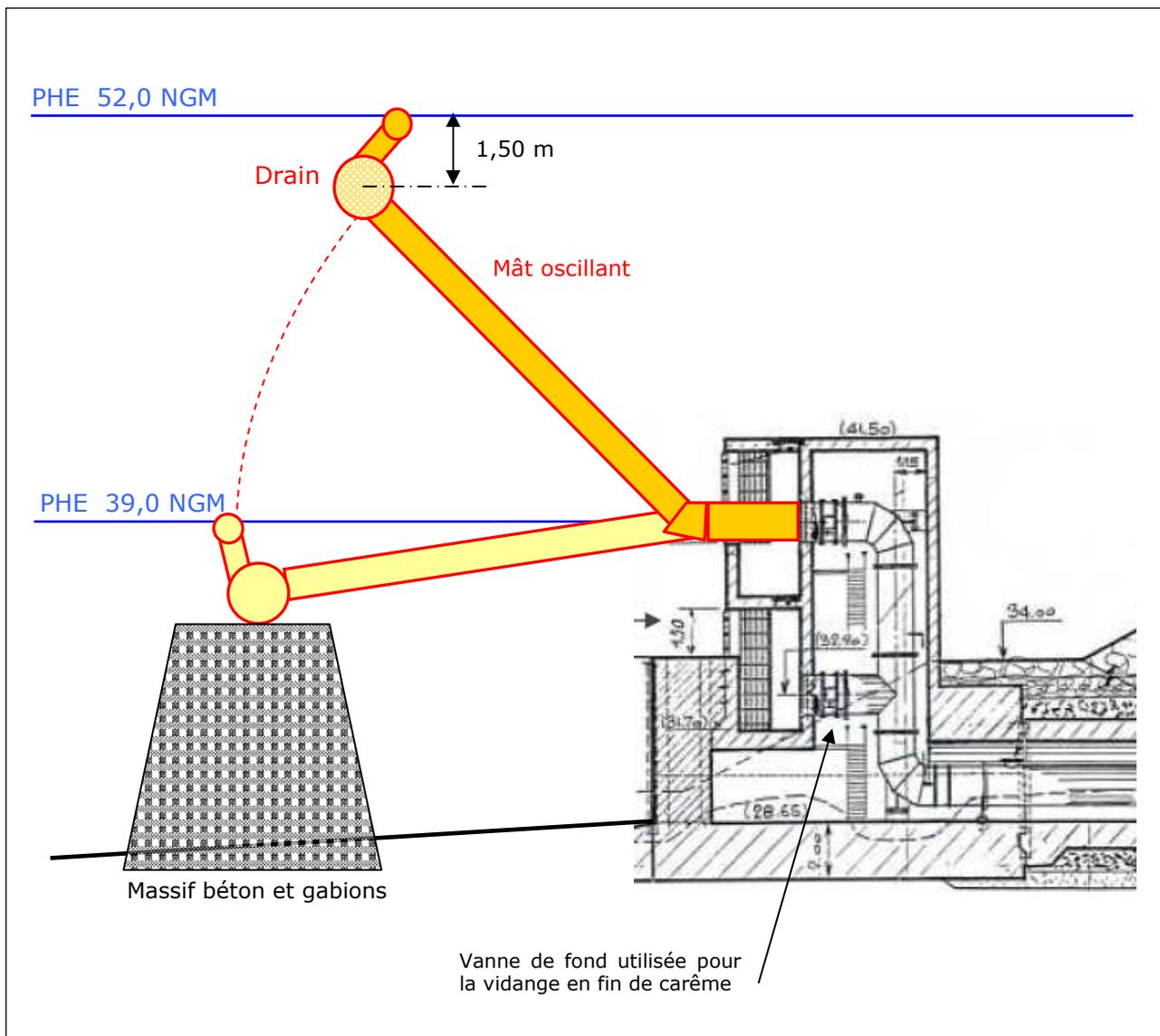


Figure 25. Schéma de principe de la prise d'eau de surface

Le recours à ce dispositif semble répondre de manière efficace aux contraintes exigées par le principal usage de la Manzo (l'irrigation). Cependant, il n'a aucune action sur l'amélioration globale de la qualité de l'eau de la retenue.

6.2.5. Modification des règles de gestion

Le renouvellement de l'eau doit être favorisé pour limiter la dégradation de l'eau en profondeur. **En fin de carême, la vidange des eaux profondes pourrait ainsi être opérée par l'orifice de fond à 32,90 m NGM vers le milieu naturel.**

L'exploitant nous a confirmé qu'il n'a jamais rencontré de problème pour remplir la retenue pendant l'hivernage ; avec cette hypothèse, une vidange du volume résiduel en fin de période d'utilisation par les irrigants est envisageable.

Le débit de vidange, le volume pouvant être vidangé et les périodes propices doivent être définis en fonction :

- des chroniques de remplissage de la retenue,
- de la capacité quantitative et qualitative du milieu récepteur (on note que les précédentes vidanges du plan d'eau ont été effectuées à 200 l/s).

Cette opération de vidange annuelle devra faire l'objet d'une procédure qui détaillera la cadence de pompage en fonction :

- du niveau résiduel dans la retenue,
- de l'âge de l'eau (chronique pluviométrique et des prélèvements des six derniers mois),
- des besoins des usagers,
- de la qualité de l'eau exprimée dans les analyses de prélèvements pouvant être réalisé sur des colonnes d'eau à faible distance des prises d'eau.

En fonction de la pluviométrie, cette opération de vidange pourra être fractionnée sur la période du Carême.

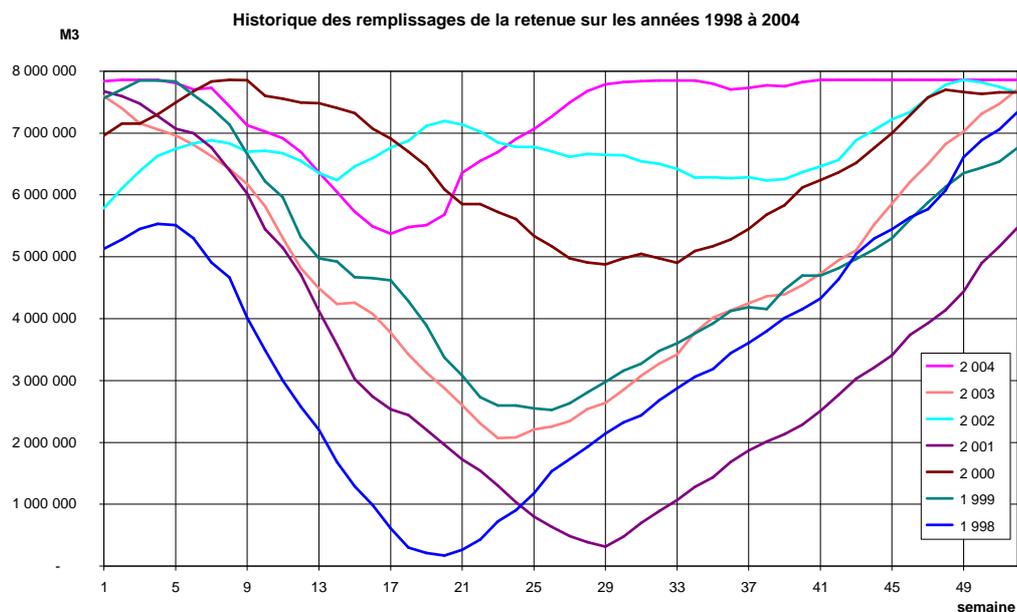


Figure 26. Historique des remplissages de la retenue (1998 à 2004)

Au vu des relevés de niveaux sur les années 1998, 1999, 2000, 2001 et 2003, on observe une vitesse potentielle de remplissage de l'ordre de 163 à 224 milliers de m³ par semaine. Toutes choses étant égales par ailleurs (irrigation, volumes de la Lézarde détournés de la retenue pour autres usages,

pluviométrie normale), une vitesse de remplissage de 163 000 m³ par semaine peut servir de base pour l'organisation de la vidange de la tranche basse en première approche.

A partir de début juin semaine 23, sur la base des 7 années précédentes, la capacité de remplissage serait sur 30 semaines de 5 Mm³ environ ; la capacité de vidange se déduit ainsi par :

$$V_{\text{vidangeable}} = 5 \text{ Mm}^3 - V_{\text{manquant}}$$

Le graphe ci-après illustre cette relation ; sur la base d'un débit de vidange de 200 l/s, soit 121 000 m³ / semaine, sous réserve de vérification des courbes de fonctionnement des pompes, la durée de vidange s'obtient de manière linéaire en fonction du volume pouvant être vidangé.

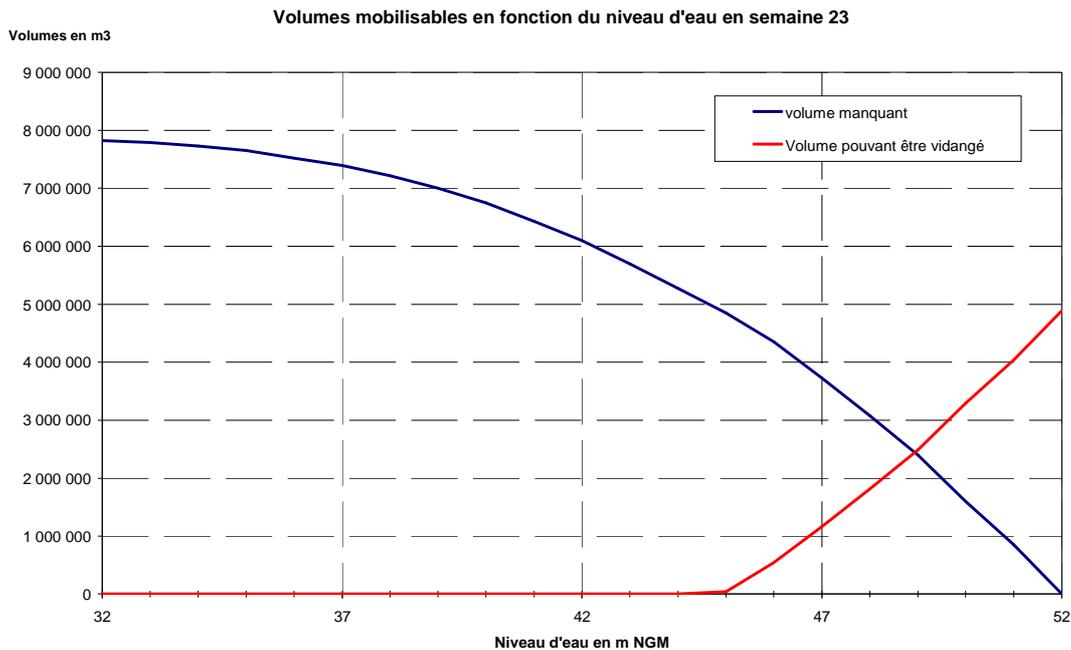


Figure 27. Volumes mobilisables en fonction du niveau d'eau en semaine 23

Par exemple, en 2004, il restait 6 692 000 m³ en semaine 23 (50,95 m NGM) ; 4 Mm³ pouvaient être vidangés, soit un renouvellement théorique de l'eau entre les cotes 32,3 et 46,8 m NGM (-5,2 m). La vidange d'un tel volume en 30 semaines nécessite toutefois un débit moyen de 220 l/s.

Autre exemple, en 2000, il restait 5 722 000 m³ en semaine 23 (49,34 m NGM) ; 2,76 Mm³ pouvaient être vidangés, soit un renouvellement théorique de l'eau entre les cotes 32,3 et 44,4 m NGM (-7,6 m). Le niveau d'eau n'a recommencé à monter qu'à partir de la semaine 33 et de la cote 48,20 m NGM ; la période de vidange avec un débit de 200 l/s devait donc commencer vers la semaine 29 pour ne pas compromettre le remplissage de la retenue jusqu'au niveau maximal.

En fonction de l'évolution réelle du niveau d'eau pendant le second semestre, la durée de vidange peut être modifiée ; il est ainsi important :

- d'assurer un suivi continu du niveau d'eau dans le barrage,
- d'appréhender les besoins en eau des irrigants en fin de carême,
- de ne pas vidanger en continu au début de l'hivernage.

Cette solution paraît donc intéressante mais soumise à de nombreux aléas (balance disponibilité/demande/aléa climatiques). De surcroît, elle ne semble pas répondre au problème

d'eutrophisation et donc ne bloquera pas l'acidification du fond du plan d'eau en carême. Le fer et manganèse étant issus du substrat géologique du plan d'eau, ce protocole ne réglera jamais de manière définitive le problème de la Manzo.

6.2.6. Synoptique des aménagements possibles

Afin d'éclairer le Conseil Général sur l'intérêt des différents aménagements et leurs caractéristiques, nous avons synthétisé ces données dans le tableau ci après.

Il est rappelé que le second objectif de cette étude est de déterminer l'état du plan d'eau de la Manzo au regard de la DCE, c'est pourquoi un critère « Intérêt pour l'amélioration globale de la qualité de l'eau » a fait son apparition dans ce tableau.

Tableau 17. Tableau synoptique des pistes de gestion envisagées pour la retenue de la Manzo

Mode de gestion	Oxygénation des eaux	Traitement en sortie	Déstratification	Déplacement du niveau de prise	Modification des règles de gestion
Matériel	Tuyaux en profondeur	Aération et traitement chimique	Sungo	Mât oscillant	Vidange programmée
Avantage	Limite les phénomènes de relargage	Pas d'intervention sur la masse d'eau	Limite les phénomènes de relargage	Cible la masse d'eau de qualité adaptée à l'usage	Limite les phénomènes de relargage, purge la masse d'eau de fond
Inconvénient	Traitement adapté aux faibles surfaces	Forte consommation de réactifs	Sensibilité au marnage	Captage d'algue possible	Limite ponctuellement la disponibilité de la ressource
Coût (Fonctionnement / 5 ans)	Investissement (pour 5ha) 228 000 € HT Fonctionnement 73 000 € HT	Investissement 6 M€ HT Fonctionnement 22,5 M€ HT	Investissement (pour 60ha) 465 000 € HT Fonctionnement 17 000 € HT	Investissement 500 000 € HT Fonctionnement non défini	Néant (envisager l'exportation des herbacés)
Intérêt pour l'amélioration globale de la qualité de l'eau	Positif	Nul	Positif	Nul	légèrement positif

6.3. Lutte contre l'eutrophisation occasionnelle

La diagnose 2007 n'a pas permis de statuer sur le caractère eutrophe du plan d'eau de la Manzo. Il n'en reste pas moins que les études précédentes ont mis en lumière des symptômes d'eutrophisation ponctuels. Il paraît ainsi opportun d'envisager l'application de certaines techniques de gestion propres aux plans d'eau eutrophes.

Les pistes envisagées précédemment, prenant en compte l'amélioration de la distribution d'eau au PISE, ont bien mis en évidence le caractère potentiellement négatif d'une déstratification totale au sein de la retenue. Par contre, il semble qu'une déstratification partielle soit bien plus adaptée au plan d'eau en favorisant une oxygénation des couches profondes et ainsi le piégeage du fer et manganèse à l'interface eau/sédiment. D'autres éléments de gestion alternatifs sont développés ici prenant en compte la réduction des apports en nutriments ou la consommation de ceux-ci.

6.3.1. Assèchement par vidange du fond

Déjà évoquée dans le paragraphe précédent, cette piste présente l'intérêt de :

- consolider par dessiccation l'interface eau/sédiment pour combattre la migration des nutriments du sédiment vers l'eau surnageante,
- favoriser la minéralisation et l'oxydation de substances indésirables (ions ferreux, matières organiques, ...),
- permettre l'installation d'une végétation herbacée en bordure. Les végétaux supérieurs utiliseront ainsi une partie du phosphore présent dans les sédiments.

Elle permettrait d'interférer ainsi en partie sur le fonctionnement trophique du lac.

Au regard du plan précédent, il n'est pas envisageable d'effectuer une vidange complète. Néanmoins les deux phénomènes précédents prendront place sur une grande surface, limitant d'autant les phénomènes de relargage.

Il faut cependant prendre une précaution particulière afin de ne pas limiter l'efficacité de la démarche : **récolte et exportation de la biomasse** qui pourraient se développer pendant le processus.

En effet, la colonisation des berges par des herbacés lors de la vidange n'a pas été traitée lors de la remise en eau, ce qui a pu contribuer, par dégradation de la biomasse végétale, à l'enrichissement de la matière organique exploitable par le phytoplancton.

Il s'avère donc nécessaire de mettre en place une récolte, une exportation et un traitement de ces végétaux.

Cette exportation peut éventuellement être accompagnée d'un curage des sédiments tous les cinq ans afin d'enlever la matière organique et les nutriments minéralisés qui peuvent être, par accumulation, à l'origine de phénomènes d'eutrophisation.

6.3.2. Biomanipulation : consommation par le zooplancton

Dans la Manzo, il semble que la productivité algale soit maximale au regard du très faible apport en nutriment. Il faut dès lors s'interroger sur le fonctionnement du réseau trophique qui régit le plan d'eau. Le compartiment des consommateurs du phytoplancton, le zooplancton, peut s'avérer largement déficitaire. Ce contrôle du phytoplancton par le broutage peut être ainsi amélioré. Il apparaît néanmoins incontournable de connaître le zooplancton.

Des pistes de développement par ce biais ne sont pour l'instant pas envisageables dans l'état actuel des connaissances mais un dispositif de déstratification (bullage ou Sungo) semble adapté pour développer le réseau trophique du plan d'eau de manière optimale.

6.3.3. Contrôle des nutriments

Malgré la faiblesse des apports en nutriments, il ressort de cette analyse que leur utilisation se fait de manière extrêmement efficace. Leur réduction doit permettre ainsi les phénomènes d'eutrophisation.

Des ouvrages de collecte et de traitement de l'assainissement urbain doivent être développés sur les communes concernées. De tels projets pourront apporter une amélioration de la situation.

Cet aspect n'est pas développé dans ce rapport (rapport de fin de diagnose sur 3 cycles annuels).

6.4. Mesures immédiates et adaptations du programme de surveillance

Comme développé auparavant, la diagnose menée en 2007 n'a pas permis de statuer un dysfonctionnement majeur du plan d'eau en raison de nombre insuffisant de données collectées. Dès lors et afin de caractériser de la manière la plus précise possible le mode de fonctionnement trophique de la retenue, il est absolument nécessaire de poursuivre une diagnose complète (sur les 3 cycles annuels de 4 campagnes) sans déroger au plan préalablement établi.

De la même manière, aucune mesure immédiate ne peut être mise en œuvre sans connaissance préalable du fonctionnement général de la Manzo.

7. Les Annexes

Annexe 1 :

Nature des interventions

NATURE DES INTERVENTIONS

Ce paragraphe présente rapidement les protocoles qui ont été mis en œuvre en 2006.

▪ **Caractérisation hydromorphologique :**

Sur la base de l'analyse des pressions anthropiques sur le bassin versant et du suivi de caractéristiques hydro-morphologiques à différentes échelles (bassin versant, tronçon, station), il s'agit de fournir des éléments de caractérisation de l'influence humaine environnante sur la qualité de l'eau du plan d'eau.

La grille des critères utilisée pour la caractérisation hydro-morphologique du plan d'eau suit celle préconisée par la circulaire 2004/08 qui fournit les indicateurs à observer. Il ne s'agit pas de réaliser une caractérisation détaillée hydro-morphologique.

Deux échelles spatiales sont à retenir pour les plans d'eau :

➤ **A l'échelle du bassin versant :**

- L'occupation des sols : afin de s'assurer que les cycles bio-géochimiques et les apports de sédiments fins ne sont pas significativement perturbés par les apports de nutriments et l'érosion des sols agricoles, et que les apports polluants et les divers impacts physiques liés aux zones bâties sont très faibles ;
- Le régime hydrologique : évaluation du module des tributaires afin de vérifier s'il est modifié (dérivation, pompage, ...) ;
- Le régime sédimentaire : afin de s'assurer que les flux sédimentaires sont conservés ;
- Recherche sur le bassin versant d'étangs toujours en exploitation.

➤ **L'échelle du plan d'eau :**

- Impact par des rejets directs industriels, urbains domestiques ;
- Impact par les eaux de tributaires déclassés par un rejet (altération par les matières phosphorées) ;
- Modifications hydrologiques significatives (marnage artificiel, modification de la circulation interne, prélèvements > 2% des apports entrants, ...) ;
- Artificialisation importante de la rive et des zones de plage ;
- Zone(s) humide(s) associée(s) : vérification de la présence de drainage, comblement, aménagement, ... ;
- Présence d'espèces proliférantes (macrophytes, avifaune, phytoplancton, macro-invertébrés, poissons) ;
- Activité de pisciculture sur le plan d'eau ;
- Vérification du peuplement de poisson, s'il est issu entièrement d'introductions.

Pour chaque critère à étudier des **seuils** ont été définis dans la circulaire 2004/08. Ils permettent d'évaluer le niveau de pression anthropique.

▪ **Caractérisation physico-chimique :**

L'objectif est d'évaluer la qualité physico-chimique du plan d'eau à partir d'analyses de paramètres physico-chimiques généraux et polluants spécifiques. Apprécier une éventuelle contamination.

Les tableaux suivants synthétisent les paramètres et les modalités d'échantillonnage de l'ensemble de l'étude. Seul le groupe 2 a été suivi en novembre 2006 ; tous les groupes avaient été pris en compte lors de la campagne précédente de juin 2006.

Mesures in situ :	GROUPE 1 :	transparence, température, pH, oxygène dissous (concentration, saturation), conductivité.
Eau :	GROUPE 2 :	DBO5, NKJ, NH4, NO3, NO2, PO43-, Ptotal, COD, COT, SiO2, fer total, ion ferreux (Fe2+), manganèse (Mn2+), hydrogène-carbonates et carbonates dureté TH et TAC, DCO, MEST, turbidité, couleur, bore, aluminium, arsenic, fluor, cyanures totaux
	GROUPE 3 :	pesticides (analyses multi-résidus) dont alachlore, atrazine, chlorfenvinphos, chlorpyriphos, diuron, endosulfan, HCH-lindane, isoproturon, simazine, trifluraline, COV, chlordécone, glyphosate, aldicarbe, fosthiazate
	GROUPE 4 :	chlorures, sulfates, sodium, potassium, calcium, magnésium
Sédiments :	GROUPE 5 : (eau interstitielle)	- Métaux (As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn),
		- Pesticides : alachlore, atrazine, chlorfenvinphos, chlorpyriphos, diuron, endosulfan, HCHlindane, isoproturon, simazine, trifluraline, chlordécone, glyphosate, aldicarbe, fosthiazate et multirésidus
	GROUPE 6 :	- HAP : anthracène, fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, naphtalène - Autres micropolluants organiques : benzène, di(2-ethylhexyl)phtalate (DEHP), hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène, nonylphénols (4-para-nonylphenol), octylphénols, (para-ter-octylphenol), pentabromodiphényléther, pentachlorobenzène, pentachlorophénol, Tributylétain-composés, tributylétain-cation, trichlorobenzènes (1,2,4-trichlorobenzène) - Phase solide : granulométrie, refus > 2 mm, pH, teneur en eau, carbonate CaCO3, perte au feu, azote kjeldahl, phosphore total, carbone organique particulaire, aluminium, arsenic, cyanures totaux, fer et manganèse - Eau interstitielle : phosphates, phosphore total, ammonium, azote total, fer et manganèse

Paramètres	Méthodes d'échantillonnages
<p>✓ Mesures in situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> • GROUPE 1 	<p><u>Transparence</u> : à l'aide d'un disque de Secchi.</p> <p><u>Température, oxygène, conductivité et pH</u> : mesures (matériel portable de type multiparamètres WTW) sur l'ensemble de la colonne d'eau, à différentes profondeurs (tous les mètres <i>a minima</i>), afin d'obtenir des <u>profils verticaux</u> de température, pH, oxygène dissous, conductivité et de situer une éventuelle thermocline.</p>
<p>✓ Eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> • GROUPE 2 • GROUPE 3 • GROUPE 4 	<p>Dans le respect des prescriptions de la norme française NF EN 25667 (ISO 5667) du mois de décembre 1993.</p> <p><u>Technique de prélèvement</u> : prélèvement effectué de façon manuelle ou à l'aide d'une bouteille fermante toute profondeur de type Van Dorn, à partir d'une embarcation, au point de plus grande profondeur.</p> <p><u>Echantillons</u> : 3 prélèvements dans la colonne d'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 prélèvement "intégré" dans la zone trophogène (euphotique) définie préalablement à partir de la mesure de la transparence (Secchi x2,5), - 1 prélèvement au fond - 1 prélèvement intermédiaire. <hr/> <p><u>Echantillons</u> : 2 prélèvements dans la colonne d'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 prélèvement "intégré" dans la zone trophogène (euphotique) définie préalablement à partir de la mesure de la transparence (Secchi x2,5), - 1 prélèvement au fond, hors influence du sédiment.
<p>✓ Sédiments :</p> <ul style="list-style-type: none"> • GROUPE 5 • GROUPE 6 	<p><u>Technique de prélèvement</u> : A l'aide d'une benne de type Eckman.</p> <p><u>Echantillons</u> : 3 prélèvements élémentaires de la couche supérieure (5-10 cm).</p>

Les prélèvements d'eau et de sédiments ont été confiés à deux laboratoires accrédités : Laboratoire Départemental d'Analyses (LDA, Conseil Général de la Martinique) et le Laboratoire Santé Environnement Hygiène (LSEH) de Lyon.

▪ Expertise biologique :

L'objectif est d'évaluer la qualité biologique du plan d'eau à partir d'analyses de bio-indicateurs spécifiques. Apprécier une éventuelle altération.

Le tableau suivant synthétise les modalités d'échantillonnage. Seuls les groupes 7 (phytoplancton) et 8 (ichtyofaune) ont été pris en compte en novembre 2006. Un prélèvement de contrôle a également été fait dans les sédiments pour vérifier l'absence d'Oligochète observée en juin 2006.

Paramètres	Méthodes d'échantillonnages
<ul style="list-style-type: none"> • GROUPE 7 : Phytoplancton 	<p><u>Echantillonnage du phytoplancton</u> : à partir d'un bateau, à l'aide d'un filet selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vertical partant de la zone profonde jusqu'à la surface, - 1 horizontal tiré sur une centaine de mètres, sous la surface de l'eau <p><u>Echantillonnage de la chlorophylle a et des Phéopigments</u> : un prélèvement d'eau "intégré" réalisé conformément au protocole décrit par Barbe et al. :</p> <ul style="list-style-type: none"> - à l'intérieur de la zone euphotique (2,5 x profondeur de disparition du disque de Secchi) à l'aide d'une bouteille à prélèvement adaptée de type Van Dorn, - 5 prélèvements équidistants effectués afin d'intégrer la zone euphotique, l'eau provenant des différentes profondeurs (échantillon global) est homogénéisée dans un grand seau.
<ul style="list-style-type: none"> • GROUPE 8 : Macrophytes 	<p><u>Observations</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inventaire floristique, par exploration à vue ; - Estimation des recouvrements.

Annexe 2 :

Inventaires phytoplanctoniques (%)

Tableau des inventaires en %

PHYTOPLANCTON DE :	Barrage de la Manzo			
	28/03/2007	28/06/2007	20/09/2007	12/12/2007
Date de prélèvement				
EUGLENOPHYTES	2,3	5,3	0,6	10,3
<i>Eugléna sp.</i>				0,8
<i>Trachelomonas sp.1</i>	1,8		0,6	0,6
<i>Trachelomonas sp.2</i>	0,5	5,3		8,8
CYANOPHYTES	0,7	4,2	3,7	7,1
<i>Aphanocapsa sp.</i>		0,1		1,7
<i>Chroococcopsis sp.</i>		1,3		
<i>Limnothrix sp.</i>				1,7
<i>Lynqbya sp.</i>				1,5
<i>Merismopedia sp.</i>				1,5
<i>Microcystis sp.</i>	0,7	2,8	0,4	0,8
<i>Pseudanabaena sp.</i>			3,3	
CHLOROPHYTES	95,5	87,6	93,2	67,2
Chlorococcales	37,7	76,2	44,6	25,6
<i>Actinastrum hantzschii</i>				1,1
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	0,2	0,1	0,2	
<i>Ankistrodesmus gelifactum</i>	1,6	6,5	10,6	2,7
<i>Ankistrodesmus sp.</i>			0,2	
<i>Botryococcus braunii</i>	28,6	66,8	24,9	1,9
<i>Chodatella ciliata</i>				0,4
<i>Coelastrum reticulatum</i>				0,2
<i>Coelastrum sp.</i>	0,4		0,6	
<i>Crucigenia rectangularis</i>				1,7
<i>Dichotomococcus sp.</i>				0,2
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0,5			
<i>Dictyosphaerium sp.</i>				2,3
<i>Eutetramorus sp.</i>	0,2		0,2	
<i>Glococystis cf polydermatica</i>				
<i>Golenkinia sp.</i>				0,4
<i>Hyaloraphidium contortium</i>				0,2
<i>Kirchneriella sp.</i>	0,7		0,4	1,1
<i>Monoraphidium sp.</i>				
<i>Oocystis sp.</i>	4,1	2,6	4,3	2,3
<i>Radiococcus sp.</i>				
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,4	0,1	1,8	1,5
<i>Scenedesmus regularis</i>				
<i>Scenedesmus sp.</i>				3,8
<i>Schroederia sp.</i>				
<i>Selenastrum sp.</i>			0,6	0,6
<i>Tetralantos legerheimii</i>	0,7			2,5
<i>Tetrastrum heteracanthum fo. elegans</i>				0,2
<i>Treubaria triappendiculata</i>	0,4	0,1	0,6	2,5
Volvocales			0,8	
<i>Chlamydomonas sp.</i>			0,8	
indéterminées				
Zygnématales	57,8	11,4	47,9	41,6
<i>Cosmarium sp.1</i>	5,9	2,9	3,1	6,1
<i>Cosmarium sp.2</i>	15,9			
<i>Staurastrum sp.1</i>	21,1	4,3	41,7	34,0
<i>Staurastrum sp.2</i>	14,8	4,2	3,1	
<i>Staurodesmus sp.</i>				1,5
CHROMOPHYTES	0,2	0,1		4,8
Diatomées		0,1		2,5
<i>Rhizosolenia longiseta</i>				2,5
pénées ind.		0,1		
Chrysophycées				0,2
flagellées indéterminées				0,2
Xanthophycées	0,2			2,1
<i>Goniochloris mutica</i>	0,2			2,1
PYRRHOPHYTES	1,1	2,8	2,5	10,5
Cryptophycées				0,2
<i>Cryptomonas sp.</i>				0,2
Dinophycées	1,1	2,8	2,5	10,3
<i>Peridinium sp.</i>	1,1	2,8	2,5	10,3
indéterminés	0,2			
Total algues	100,0	100,0	100,0	100,0

Annexe 3 :

Inventaires phytoplanctoniques en nombre d'algues et de cellules par ml - Mars 2007 -

**Tableau des inventaires en nombre d'algues et de cellules par ml
- Mars 2007 -**

point de prélèvement :	zone euphotique	
date : 28/03/2007	algues.ml⁻¹	cell.ml⁻¹
EUGLENOPHYTES	32,6	32,6
<i>Trachelomonas sp.1</i>	11,5	11,5
<i>Trachelomonas sp.2</i>	21,1	21,1
CYANOPHYTES	19,2	739,2
Nostocales	9,6	124,8
<i>Anabaena spiroides</i>		
<i>Aphanizomenon sp.</i>		
<i>Limnothrix sp.</i>		
<i>Oscillatoria sp.</i>		
<i>Planktolyngbya sp.</i>	9,6	124,8
<i>Pseudanabaena sp.</i>		
Chroococcales	9,6	614,4
<i>Aphanothece sp.</i>		
<i>Aphanocapsa sp.</i>		
<i>Chroococcus sp.</i>		
<i>Cyanodictyon sp.</i>		
<i>Merismopedia tenuissima</i>		
<i>Microcystis sp.</i>	9,6	614,4
CHLOROPHYTES	1188,6	3016,5
Chlorococcales	597,2	2425,1
<i>Actinastrum hantzschii</i>		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	38,4	71,0
<i>Ankistrodesmus gelifactum</i>	134,4	268,8
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	69,1	69,1
<i>Ankyra judai</i>		
<i>Botryococcus braunii</i>	40,3	1273,0
<i>Botryosphaera sp.</i>		
<i>Coelastrum reticulatum</i>	1,9	9,6
<i>Coenochloris sp.</i>		
<i>Crucigenia quadrata</i>		
<i>Crucigenia rectangularis</i>	9,6	46,1
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	1,9	7,7
<i>Dichotomococcus sp.</i>		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	19,2	63,4
<i>Didymocystis sp.</i>		
<i>Ererella sp.</i>		
<i>Eutetramorus sp.</i>	5,8	40,3
<i>Glococystis cf polydermatica</i>		
<i>Golenkinia sp.</i>	1,9	1,9
<i>Gonium formosum</i>		
<i>Hyaloraphidium contortium</i>	9,6	9,6
<i>Kirchneriella sp.</i>	113,3	217,0
<i>Micractinium pusillum</i>		
<i>Monoraphidium sp.</i>		
<i>Oocystis sp.</i>	63,4	99,8
<i>Pandorina morum</i>		
<i>Pediastrum duplex</i>		
<i>Pediastrum boryanum</i>		
<i>Quadricoccus verucoccus</i>		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>		
<i>Scenedesmus crassus</i>		
<i>Scenedesmus obtusus</i>	1,9	15,4
<i>Scenedesmus opoliensis var bicaudatus</i>		
<i>Scenedesmus protuberans</i>		

<i>Scenedesmus quadricauda</i>	13,4	30,7
<i>Scenedesmus regularis</i>	9,6	38,4
<i>Schroederia setigera</i>		
<i>Schroederia spiralis</i>		
<i>Selenastrum sp.</i>	5,8	25,0
<i>Sorastrum sp.</i>	15,4	34,6
<i>Tetraedron caudatum</i>		
<i>Tetraedron limneticus</i>		
<i>Tetraedron minimum</i>	3,8	3,8
<i>Tetrallantos legerheimii</i>	17,3	32,6
<i>Tetrastrum heteracanthum</i>		
<i>Tetrastrum staurogoniaeforme</i>		
<i>Treubaria triappendiculata</i>	3,8	3,8
Indéterminées	17,3	63,4
Zygnématales	591,4	591,4
<i>Cosmarium sp.1</i>	109,4	109,4
<i>Cosmarium sp.2</i>	182,4	182,4
<i>Staurastrum sp.1</i>	195,9	195,9
<i>Staurastrum sp.2</i>	103,7	103,7
CHROMOPHYTES	82,6	82,6
Chrysophycées		
<i>Bitrichia sp.</i>		
<i>Dinobryon divergens</i>		
<i>Mallomonas sp.</i>		
Diatomées	67,2	67,2
Centriques		
<i>Aulacoseira granulata</i>		
<i>Cyclotella sp.</i>	67,2	67,2
Pénées		
<i>Cymbella sp.</i>		
<i>Gyrosigma sp.</i>		
<i>Navicula sp.</i>		
<i>Nitzschia sp.</i>		
Xanthophycées	15,4	15,4
<i>Centritractus belanophorus</i>		
<i>Goniochloris minuta</i>		
<i>Goniochloris mutica</i>	15,4	15,4
PYRRHOPHYTES	55,7	55,7
Cryptophycées	9,6	9,6
<i>Cryptomonas sp.</i>	9,6	9,6
Dinophycées	46,1	46,1
<i>Gymnodinium sp.</i>		
<i>Peridinium sp.</i>	46,1	46,1
INDETERMINEES		
TOTAL	1378,6	3926,7

Annexe 4 :

Formule de calcul des indices de trophie

4.3.1 Indices physico-chimiques

Les indices physico-chimiques et leur mode de calcul s'énoncent de la manière suivante :

- > L'indice **Pigments chlorophylliens**, calculé comme :
 $I_C = 16 + 41,89 * \log_{10}(X+0,5)$ où I_C est l'indice obtenu et où X est la somme de la chlorophylle_a et de la phéophytine_a exprimée en mg/m^3 (ou $\mu g/l$). X représente la moyenne des 3 résultats obtenus sur l'échantillon intégré en dehors du brassage hivernal (moyenne des campagnes 2, 3 et 4).
- > L'indice **Transparence**, calculé comme :
 $I_T = 82 - 66,44 * \log_{10}(X)$ où X est la moyenne des 3 profondeurs de Secchi (en m) mesurées pendant la même période que précédemment, appelée aussi période de production biologique.

La moyenne de ces 2 indices constitue le premier indice fonctionnel dit indice « Production ».

» » »

- > L'indice **P total hiver**, calculé comme :
 $I_{PTH} = 115 + 39,6 * \log_{10}(X)$ où X est la valeur du phosphore total (en mg/l), mesurée lors de la campagne de fin d'hiver et obtenue à partir de l'échantillon intégré.
- > De manière analogue, l'indice **N total hiver** est calculé comme :
 $I_{NTH} = 47 + 65 * \log_{10}(X)$ où X est la valeur de l'azote total (en mg/l) de la campagne de fin d'hiver, obtenue à partir de l'échantillon intégré.

La moyenne de ces 2 indices constitue l'indice fonctionnel « Nutrition ».

» » »

- > L'indice **Consommation journalière en O_2 dissous**, calculé comme :
 $I_{O_2} = -50 + 62 * \log_{10}(X+10)$ où X est la valeur de la consommation journalière en oxygène dissous (en $mg/m^3/j$), calculée comme décrit en annexe au § 7.5.

Cet indice constitue l'indice fonctionnel « dégradation ».

- > L'indice **P total du sédiment**, calculé comme :
 $I_{PTS} = 109 + 55 * \log_{10}(X)$ où X est la valeur du phosphore total du sédiment (exprimé en % de la matière sèche), 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 ».

- > L'indice **Perte au feu du sédiment**, calculé comme :
 $I_{PF} = 53 * \log_{10}(X)$ où X est la valeur de la Perte au feu du sédiment (en % de la matière sèche), obtenue lors de la même campagne que précédemment.

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

» » »

- > L'indice **P total de l'eau interstitielle**, calculé comme :
 $I_{PTI} = 63 + 33 * \log_{10}(X)$ où X est la valeur du phosphore total de l'eau interstitielle (exprimée en mg/l), obtenue lors de la campagne de sédiment.
- > Enfin, l'indice **Ammonium de l'eau interstitielle**, calculé comme :
 $I_{NH_4} = 18 + 45 * \log_{10}(X+0,4)$ où X est la valeur de l'ammonium de l'eau interstitielle (en mg/l de N), obtenue lors de la campagne de sédiment.

La moyenne de ces 2 indices constitue l'indice fonctionnel « Relargage ».



ASCONIT CONSULTANTS CARAÏBES

5, Résidence les Horizons
Quartier Lourdes
97224 Ducos

Tél./Fax : 05.96.63.55.78
Mobiles : 06.96.25.54.10
E-mail : nicolas.bargier@asconit.com
<http://www.asconit.com>