



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



Etude diagnostic

Retenue de barrage de La Manzo

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

RAPPORT ANNUEL 2008

Campagnes de suivi 2008



ASCONIT CONSULTANTS
Agence Caraïbes

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

Tél./Fax 05.96.63.55.78
Mobile : 06.96.25.54.10



 ASCONIT
CONSULTANTS

Principaux Contacts :

CONSEIL GENERAL DE LA MARTINIQUE :

Valérie VEILLEUR Tél. : 05.96.59.85.32
Myriam MALSA MYRIAM.MALSA@CGSTE.MQ

ASCONIT CONSULTANTS :

Nicolas BARGIER nicolas.bargier@asconit.com

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs de l'étude.....	7
2. Méthodologie du diagnostic 2008.....	8
2.1. Calendrier des interventions 2008	8
2.2. Interprétation des données	10
3. Le bassin versant du barrage de la Manzo.....	11
3.1. Topographie	11
3.2. Hydrologie	12
3.2.1. <i>L'alimentation par le captage de la Lézarde.</i>	12
3.2.2. <i>L'alimentation par le bassin versant</i>	13
3.2.3. <i>La pluviométrie sur le barrage de La Manzo..</i>	13
3.2.4. <i>L'évaporation</i>	13
3.2.5. <i>Volumes d'eau transitant dans la retenue de La Manzo</i>	13
3.3. Les apports du bassin versant à la retenue de La Manzo	15
3.3.1. <i>Estimations des apports de la rivière Lézarde</i>	15
3.3.1.1. <i>Les apports en nutriments</i>	15
3.3.1.2. <i>Les apports en pesticides.....</i>	16
3.3.2. <i>Estimations des pollutions potentielles générées par l'activité agricole.....</i>	17
3.3.2.1. <i>Description de l'agriculture de production</i>	17
3.3.2.2. <i>Estimation des apports en azote et phosphore d'origine agricole.....</i>	18
3.3.3. <i>Estimations des pollutions potentielles générées par l'assainissement.....</i>	19
3.3.3.1. <i>Estimation du nombre de résidences.....</i>	19
3.3.3.2. <i>Estimation des apports en azote et phosphore issu de l'assainissement</i>	19
3.3.4. <i>Synthèse des apports en nutriments vers la retenue</i>	20
4. Evaluation des pressions sur la retenue.....	22
4.1. Occupation des sols sur le bassin versant.....	22
4.2. Régime hydrologique.....	24
4.3. Régime sédimentaire.....	25
4.4. Berges.....	25
4.5. Autres critères.....	25
4.6. Synthèse	26
5. Diagnose du plan d'eau	28
5.1. Caractérisation physico-chimique des eaux du plan d'eau.....	28
5.1.1. <i>Rappel des précédentes campagnes</i>	28
5.1.2. <i>Conditions physico-chimiques in situ</i>	28
5.1.3. <i>Paramètres chimiques analysés en laboratoire.....</i>	33
5.1.4. <i>Composés azotés et phosphorés</i>	35
5.1.5. <i>Alcalinité.....</i>	37
5.1.6. <i>Micropolluants minéraux.....</i>	38
5.1.7. <i>Micropolluants organiques.....</i>	41
5.1.8. <i>Bactériologie</i>	42
5.2. Caractérisation physico-chimique des sédiments du plan d'eau	43
5.2.1. <i>Granulométrie</i>	43
5.2.2. <i>Physico-chimie des sédiments bruts</i>	44
5.2.3. <i>Physico-chimie de l'eau interstitielle.....</i>	48
5.3. Caractérisation biologique du plan d'eau	49
5.3.1. <i>Invertébrés Oligochètes.....</i>	49
5.3.2. <i>Phytoplancton</i>	49
5.3.2.1. <i>Méthodologie.....</i>	50

5.3.2.2. <i>Résultats</i>	51
5.3.3. <i>Ichtyofaune</i>	57
5.4. Degré de trophie du plan d'eau.....	60
5.4.1. <i>Les descripteurs</i>	60
5.4.2. <i>Approche fonctionnelle</i>	63
6. Evaluation globale -SEQ Plan d'eau	65
7. Conclusion de la diagnose	71
8. Plan de gestion	75
8.1. Rappels sur les caractéristiques des ouvrages, hiérarchisation des dysfonctionnements	75
8.1.1. <i>La retenue de Saint-Pierre de la Manzo : géométrie et règles de gestion</i>	75
8.1.2. <i>Les problèmes relevés par l'exploitant, le constat mis en évidence par les mesures</i>	76
8.2. Aménagements possibles	78
8.2.1. <i>Oxygénation des eaux in situ</i>	78
8.2.2. <i>Traitements en sortie de la retenue</i>	80
8.2.3. <i>Déstratification des eaux de la retenue</i>	81
8.2.4. <i>Déplacement du niveau de prise</i>	83
8.2.5. <i>Modification des règles de gestion</i>	86
8.2.6. <i>Synoptique des aménagements possibles</i>	88
8.3. Lutte contre l'eutrophisation occasionnelle	89
8.3.1. <i>Assèchement par vidange du fond</i>	89
8.3.2. <i>Biomanipulation : consommation par le zooplancton</i>	89
8.3.3. <i>Contrôle des nutriments</i>	90
8.4. Mesures immédiates et adaptations du programme de surveillance	91
9. Les Annexes	92

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. RECAPITULATIF DES MESURES REALISEES EN 2008	9
TABLEAU 2. DESTINATION DES EAUX PROVENANT DU POMPAGE DE LA LEZARDE	12
TABLEAU 3. TEMPS DE SEJOUR DE L'EAU ESTIME DANS LA RETENUE DE LA MANZO SUR SIX ANNEES (2002 A 2008)	14
TABLEAU 4. TABLEAU 8. APPORTS EN AZOTE ET EN PHOSPHORE DANS LA RETENUE DE LA MANZO ESTIMES POUR 2002, 2003 ET 2004	15
TABLEAU 5. PESTICIDES DETECTES A LA PRISE D'EAU DE LA LEZARDE ENTRE 1993 ET 2008 (DSDS). NOMBRE DE RESULTATS SUPERIEURS A LA LIMITE ADMISSIBLE (> 0,1 µG/L)	16
TABLEAU 6. TABLEAU 9. SUPERFICIES 2002, 2003, 2006 ET 2007 DES SOLES AGRICOLES DECLAREES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RETENUE DE LA MANZO (SOURCE : CNASEA)	17
TABLEAU 7. ESTIMATION DES APPORTS EN AZOTE ET PHOSPHORE ISSUS DES CULTURES SELON LA SOLE 2002, 2003 ET 2006	18
TABLEAU 8. ESTIMATION DU NOMBRE RESIDENCES PAR SECTEUR.....	19
TABLEAU 9. ESTIMATION DES QUANTITES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE ISSUES DE L'ASSAINISSEMENT.....	20
TABLEAU 10. MESURES DE TRANSPARENCE <i>IN SITU</i> REALISEES EN 2007 ET 2006.	29
TABLEAU 11. SYNTHESE DES RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX DE LA RETENUE DE LA MANZO (CAMPAGNE 2006 A 2008).....	34
TABLEAU 12. EVOLUTION DES DESCRIPTEURS NUTRIMENTS 2005 A 2008.....	36
TABLEAU 13. CONCENTRATIONS EN FER ET EN MANGANESE (µG/L) RELEVEES EN SURFACE ET AU FOND DE LA RETENUE DEPUIS 1981.....	39
TABLEAU 14 : EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX DU BARRAGE DE MANZO (PARAMETRES FER) SELON LE SEQ PLAN D'EAU.....	40
TABLEAU 15. RESULTATS D'ANALYSES DES MICROPOLLUANTS ORGANIQUES RELEVEES EN MARS 2007.	42
TABLEAU 16. RESULTATS D'ANALYSES BACTERIOLOGIQUES RELEVEES DE 2006 A 2008	42
TABLEAU 17. RESULTATS D'ANALYSES DES SEDIMENTS DE LA RETENUE DE LA MANZO DE 2008 A 2006 ..	46
TABLEAU 18. CONCENTRATIONS PHYSICO-CHIMIQUES RELEVEES EN SEPTEMBRE 2007 SUR LES EAUX (SURFACE ET FOND) ET SUR LES SEDIMENTS DE LA RETENUE DE LA MANZO	48
TABLEAU 19. CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LE BARRAGE DE LA MANZO.....	51
TABLEAU 20. COEFFICIENTS ATTRIBUES AUX GROUPES REPERES (Q _i), ABONDANCE RELATIVE (%), CLASSES D'ABONDANCE RELATIVE (A _j) DU PHYTOPLANCTON ET I _{PL} CALCULE.....	56
TABLEAU 21. LIMITES DE CLASSES ET CLASSE DE QUALITE ASSOCIEE A L'I _{PL} (SEQ-PLAN D'EAU).....	57
TABLEAU 22. RESULTATS DES PECHES EN ABONDANCES ET BIOMASSES.	58
TABLEAU 23. ETAT TROPHIQUE DE LA RETENUE DE LA MANZO EN 2007 ET 2008 SELON LE SYSTEME « FIXE » DE CLASSIFICATION DE L'ETAT TROPHIQUE DE L'OCDE (OCDE, 1982).	62
TABLEAU 24. 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).	62
TABLEAU 25. TABLEAU SYNOPTIQUE DES PISTES DE GESTION ENVISAGEES POUR LA RETENUE DE LA MANZO	88

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DE LOCALISATION DES PRELEVEMENTS EN 2007	8
FIGURE 2. VOLUMES DE PLUIES DIRECTES SUR LA RETENUE DE LA MANZO ENTRE 2002 ET 2008.....	13
FIGURE 3. . VOLUMES CIRCULANT DANS LA RETENUE DE LA MANZO. PART DES VOLUMES ENTRANT ET SORTANT PAR RAPPORT AU VOLUME PRESENT DANS LE RESERVOIR	14
FIGURE 4. APPORTS ANNUELS EXTERNES EN AZOTE ET EN PHOSPHORE ESTIMES ENTRE 2002 ET 2004 POUR LES PRINCIPALES SOURCES EXOGENES IDENTIFIEES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MANZO	21
FIGURE 6. VOLUMES HEBDOMADAIRESTOCKES DANS LA RETENUE DE LA MANZO DEPUIS 1998	24
FIGURE 7 : EVOLUTION DE LA TRANSPARENCE DES EAUX <i>IN SITU</i> DU BARRAGE DE LA MANZO EN 2007 (DISQUE DE SECCHI EN M).....	29
FIGURE 8 : PROFILS PHYSICO-CHIMIQUES ET LIMITE DE STRATIFICATION DES COUCHES D'EAU AU BARRAGE- ANNEE 2008 ET 2007	32
FIGURE 9 : EVOLUTION DES TENEURS EN ELEMENTS NUTRITIFS – NO ₃ ET PTOTAL- (2005-2008)	36
FIGURE 10 : EVOLUTION DE L'ALCALINITE – HCO ₃ ET TAC- (2005-2007)	38
FIGURE 11 : EVOLUTION DES TENEURS EN FER ET MANGANESE DEPUIS 1981.....	41
FIGURE 12 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES PARTICULES	43
FIGURE 13. RICHESSE TAXONOMIQUE DU PHYTOPLANCTON DANS LE BARRAGE DE LA MANZO EN 2007 - 2008	52
FIGURE 14. ABONDANCE RELATIVE DES DIFFERENTS GROUPES D'ALGUES EN 2007 - 2008.....	53
FIGURE 15. DENSITE CELLULAIRE EN NOMBRE D'ALGUES PAR MILLILITRE ET EN NOMBRE DE CELLULES PAR MILLILITRE DANS LA ZONE EUPHOTIQUE - MARS 2007	55
FIGURE 16. VALEUR DE L'INDICE PLANCTONIQUE (I _{PL}) ET DEGRE DE TROPHIE ASSOCIE	57
FIGURE 17. POSITIONNEMENT DES FILETS POUR L'INVENTAIRE PISCICOLE DE MARS 2008 SUR LE PLAN D'EAU DE LA MANZO.	58
FIGURE 18. DISTRIBUTION EN CLASSES DE TAILLE DES TILAPIA, EN MARS 2008.....	59
FIGURE 17. 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 2008	61
FIGURE 18. 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 2008	61
FIGURE 20 : SYNTHESE DE LA DIAGNOSE 2007-2008	74
FIGURE 21. COURBE VOLUMETRIQUE DE LA RETENUE DE LA MANZO	76
FIGURE 22. DISPOSITIF DE BULLAGE POUR OXYGENATION DES EAUX POUR UN BARRAGE DE RETENUE AU MAROC.	79
FIGURE 23. SCHEMA DE PRINCIPE DU PROCEDE DES BRASSEURS SUNGO.	81
FIGURE 24. EXEMPLE D'APPAREILS DE TYPE SUNGO EN SITUATION NATURELLE.	82
FIGURE 25. MAT OSCILLANT EN PHASE DE MISE EN PLACE AU BEC D'AMBES EN GIRONDE	84
FIGURE 26. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA PRISE D'EAU DE SURFACE	85
FIGURE 27. HISTORIQUE DES REMPLISSAGES DE LA RETENUE (1998 A 2004).....	86
FIGURE 28. VOLUMES MOBILISABLES EN FONCTION DU NIVEAU D'EAU EN SEMAINE 23	87

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. Cette première année complète de mesure (au sens de la diagnose rapide des plans d'eau CEMAGREF) a donné une ébauche de fonctionnement.

La reconduction de ce suivi sur 2008, lors de 4 campagnes, avait pour but de renforcer le constat effectué précédemment et d'expliquer les variations interannuelles observées.

Le présent rapport synthétise les **résultats des quatre campagnes d'interventions de terrain réalisées en 2008**.

2. Méthodologie du diagnostic 2008

2.1. Calendrier des interventions 2008

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 (P1)
(GPS : 14,596,86°N ; - 60,936,16°O)
- Anse n°2 (P2)
(GPS : 14,590,96°N ; - 60,929,19°O)
- Barrage n°3 (P3)
(GPS : 14,588,73°N ; -60,934,34°O)

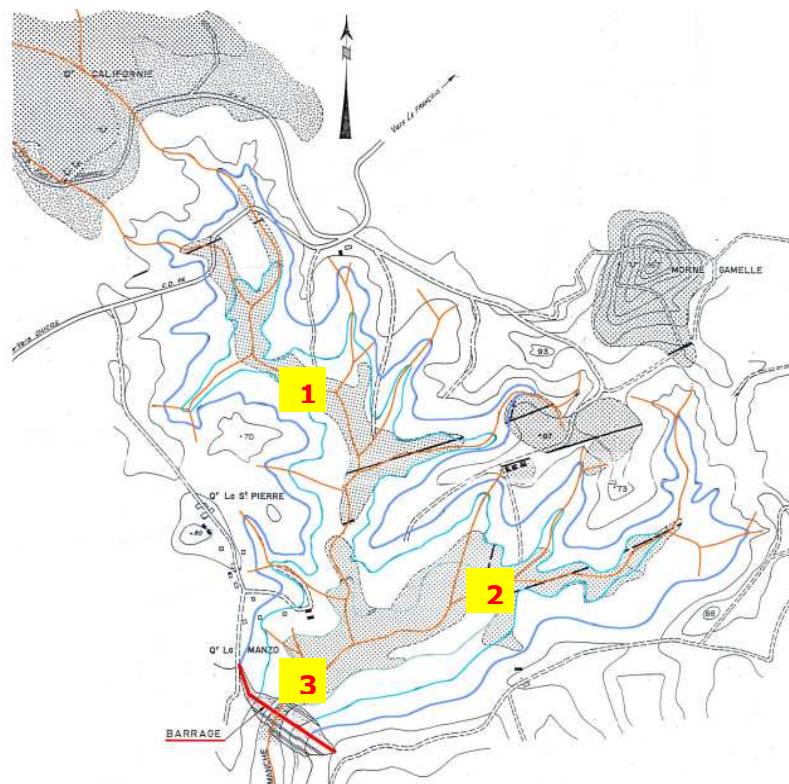


Figure 1 : Carte de localisation des prélèvements en 2007

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

Tableau 1. Récapitulatif des mesures réalisées en 2008

REtenue de la Manzo	Mars 2008	Juin 2008	Septembre 2008	Décembre 2008
Groupe 1 – Mesures physico-chimiques <i>in situ</i>	3 Profils verticaux	3 Profils verticaux	3 Profils verticaux	3 Profils verticaux
Localisation	P1, P2, P3	P1, P2, P3	P1, P2, P3	P1, P2, P3
Groupe 2 – Analyses physico-chimiques eaux	3 prélèvements	3 prélèvements	3 prélèvements	3 prélèvements
Localisation	P3 (3 profondeur)	P3 (3 prof.)	P3 (3 prof.)	P3 (3 prof.)
Groupe 3 – Analyses physico-chimiques eaux (pesticides)	1 prélèvement			2 prélèvements*
Localisation	P3 (intégré+fond)			P1 et P2 (fond)
Groupe 4 – Analyses physico-chimiques eaux (minéralisation)	2 prélèvements			
Localisation	P3 (intégré+fond)			
Groupe 5 et 6 – Analyses physico-chimiques sédiments	1 pool de prélèvements			
Localisation	P3 (fond)			
Groupe 7 – Analyses biologiques – Phytoplancton	1 prélèvement	1 prélèvement	1 prélèvement	1 prélèvement
Localisation	P1	P1	P1	P1
Groupe 8 – Analyses biologiques – Poissons	1 prélèvement			
Localisation	Tout le plan d'eau			
Analyses bactériologiques	1 prélèvement			1 prélèvement
Localisation	P3 (intégré)			P3 (intégré)
Hydromorphologie	Site	Site	Site	Site

* : analyses non réalisées lors de campagnes précédentes déplacées au niveau des anses.

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 aboutit 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. Le bassin versant du barrage de la Manzo

Cette partie constitue un rappel et une mise à jour des principaux paramètres influençant le plan d'eau de la Manzo (bassin versant et apport de la Lézarde).

Nous invitons le lecteur à consulter le rapport élaboré par ASCONIT Consultants pour le compte du Conseil Général en 2005 : « Etude Environnementale et Hydrobiologique sur la Retenue de Saint-Pierre MANZO ».

3.1. Topographie

Le bassin versant de la retenue de barrage de Saint-Pierre La Manzo s'étant sur environ 2,3 km² (237 ha) dont 0,87 km² de plan d'eau (bassin rempli). Il est limité par les points culminants des mornes Gamelle (à l'Est), Serpent, Pavillon et Bel-Air (au Nord).

Des travaux d'aménagement du déversoir ont été entrepris fin 2007. Ils ont constitué en un aménagement de la vanne de surverse et réhaussant son niveau de 0,70 m environ et donc la capacité de retenue.

La vanne doit fonctionner avec deux positions :

- position basse pendant la saison cyclonique (52.10 m NGM),
- position haute pendant en fin de saison des pluies et carème (52.67m NGM).

D'après les données initiales (1976), la capacité du plan était de 7 900 000 m³ et est passée à environ 8,5 m³.

Les dernières données topographiques de CETEF que le BGPISE a mandaté, ont permis d'actualiser les données sur la capacité du plan d'eau (avec techniques de mesures actuelles). Le volume total s'avère moindre.

La cuvette de la retenue est donc comprise entre 31 mNGM (point le plus bas) et 52,7 mNGM (point le plus haut).

Les pentes restent faibles au niveau de la retenue. La partie Nord présente les pentes plus élevées et donc la plus favorable au ruissellement des eaux.

3.2. Hydrologie

Dans le cadre du projet de surélévation du barrage de La Manzo, une étude hydrologique exhaustive a été menée par BRLi pour le compte du Conseil Général¹. Certains éléments sont repris dans les paragraphes suivants.

L'étude hydrologique du plan d'eau est basée sur les données de surveillance recueillies auprès du BGPISE.

3.2.1. L'alimentation par le captage de la Lézarde

La retenue de Saint-Pierre La Manzo est essentiellement alimentée par les eaux de la station de pompage de la rivière Lézarde. L'acheminement de l'eau prélevée vers l'usine de Directoire et vers le barrage de la Manzo est assuré principalement par une station de pompage proche de la prise d'eau, par un réservoir situé au lieu-dit « Deux Terres » de la commune du Gros Morne et par une canalisation nommée « Tronc commun ». L'eau prélevée après piquage de Directoire, alimente directement le sous-secteur de Ducos et également le reste du réseau du PISE via la retenue de la Manzo.

Tableau 2. Destination des eaux provenant du pompage de la Lézarde

Année	Pompage Lézarde	Volumes dirigés vers le PISE (Irrigation)	Volumes dirigés vers la SME (AEP)
2002	17 451 000	11 347 000	6 104 000
2003	17 821 700	11 771 200	6 050 500
2004	12 697 807	6 759 392	6 090 415
2005	11 817 275	5 643 208	6 174 067
2006	15 171 625	9 083 693	6 087 932
2007	14 247 776	8 795 066	5 452 710
2008	14 792 223	8 809 419	5 982 804

A noter, qu'il existe un net écart entre les saisons mais aussi entre les années.

En **carême** : la ressource disponible dans la rivière pendant les mois les plus secs impose de prélever prioritairement pour l'alimentation en eau potable (200 l/s) en préservant un débit réservé. De fait, le volume disponible est souvent insuffisant même pour l'alimentation en eau potable.

En **hivernage** : les volumes disponibles dans la rivière Lézarde peuvent dépasser les capacités de pompage de la station de la Lézarde. Le débit transité vers le barrage de la Manzo est alors plus important qu'en période de carême. Le remplissage de la retenue de barrage se fait à cette saison d'autant plus que les besoins en irrigation sont également les plus faibles à cette période.

Les analyses réalisées ponctuellement par la DSDS au niveau du captage, à la sortie du dessableur, ne montrent pas de signe d'altération notable lié aux matières en suspension (MES) ou à la turbidité des eaux. Aucun suivi de ces paramètres n'est cependant disponible aujourd'hui pendant toute la durée d'un épisode pluvieux.

¹ Barrage de St-Pierre La Manzo-Projet de surélévation de la retenue. Dossier de présentation au CTPB – Annexe 4. Etude hydrologique. Etude C. Général / BRLi. Juillet 2004

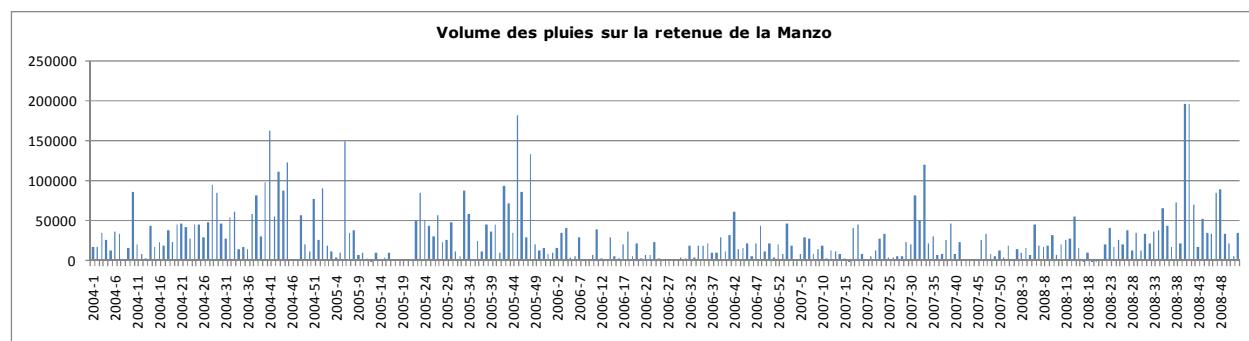
3.2.2. L'alimentation par le bassin versant

La retenue de La Manzo est située en tête de bassin versant de la rivière la Manche. Il n'y a pas de cours d'eau pérenne identifié, donc les apports d'eau naturels provenant du bassin versant sont des eaux de ruissellement estimées à **2 000 000 m³/an en moyenne**, soit une très faible proportion par rapport aux apports de la Lézarde.

3.2.3. La pluviométrie sur le barrage de La Manzo

Les pluies directes représentent un apport d'eau faible vers la retenue : en moyenne sur l'année **1 500 000 m³** soit 10 à 15% des apports de la Lézarde.

Figure 2. Volumes de pluies directes sur la retenue de La Manzo entre 2002 et 2008



Année	Volume de pluie	Acquisition de données
2004	2 266 787	50 semaines
2005	1 873 565	47 semaines
2006	817 326	49 semaines
2007	1 023 485	48 semaines
2008	1 823 105	51 semaines

3.2.4. L'évaporation

Le volume moyen annuel évaporé au-dessus de la retenue de La Manzo est estimé à **1 360 000 m³**.

3.2.5. Volumes d'eau transitant dans la retenue de La Manzo

La figure 9 ci-après 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.

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 (cf., Tableau 7). 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, 2005 ou 2008 (années 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 **2008**, ce temps est estimé à **2 années**. Ceci donne un **temps de séjour moyen estimé à 2,49 années**.

Figure 3. . Volumes circulant dans la retenue de La Manzo. Part des volumes entrant et sortant par rapport au volume présent dans le réservoir

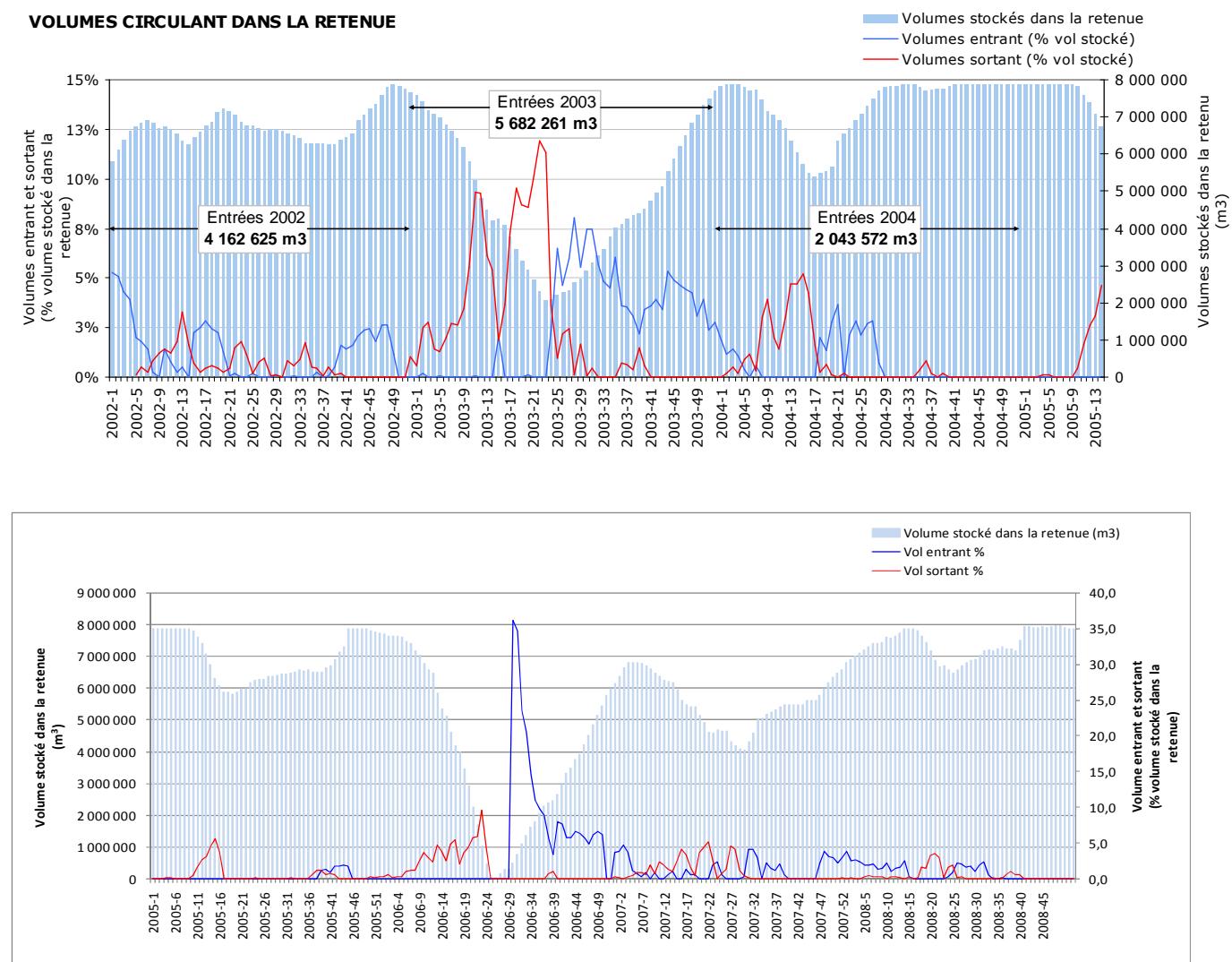


Tableau 3. Temps de séjour de l'eau estimé dans la retenue de La Manzo sur six années (2002 à 2008)

Année	Volume moyen hebdomadaire stocké (m³)	Temps de séjour (an)
2008	7 373 971	2,0
2007	5 683 542	1,8
2006	3 972 562	1,0
2005	6 922 542	5,8
2004	7 296 750	4,2
2003	4 745 760	0,8
2002	6 763 404	1,7

3.3. Les apports du bassin versant à la retenue de La Manzo

Une mise à jour de l'évaluation des principales sources exogènes potentielles de composés phosphorés, azotés et autres polluants été réalisée. Ces sources sont toujours constituées par :

- Les apports ponctuels de la rivière Lézarde,
- Les apports diffus d'origine agricole et domestique.

Nous tenons encore à informer le lecteur du niveau d'incertitude lié aux données disponibles et au niveau de connaissance sommaire des phénomènes de transfert sur le bassin versant de La Manzo.

3.3.1. Estimations des apports de la rivière Lézarde

Les analyses de la DSDS pour la période 1993 à 2008 (présentés en annexe) mettent en évidence une eau brute globalement de bonne qualité pour des eaux brutes destinées à un usage d'eau potable (conformément au Décret du 20 décembre 2001).

Les eaux se caractérisent par de faibles concentrations en éléments minéraux. Au regard du référentiel SEQ-Eau (système d'évaluation de la qualité des eaux employé au niveau national), pour l'aptitude à l'usage eau potable, ces eaux paraissent altérées par une forte charge en matières organiques et oxydables. Ce caractère est observé dans plusieurs secteurs naturels des rivières de la Martinique ; il ne peut donc être considéré ici comme un élément déclassant la qualité des eaux.

Il est à noter une forte variabilité des matières en suspension liée aux conditions hydrologiques, ainsi que la présence occasionnelle de micro-organismes.

De même une pollution très ponctuelle en hydrocarbure a été à déplorer lors de l'analyse du 19 juin 2006. Aucune explication à ce résultats ne nous a été communiquée.

3.3.1.1. Les apports en nutriments

Les apports en azote et en phosphore issus du captage de la Lézarde et dirigés vers le réservoir ont été estimés sur la base des volumes d'eau annuels entrant dans la retenue et des concentrations moyennes de chaque nutriment dans les eaux de la rivière.

Les estimations des apports entre 2002 et 2008 sont les suivants :

Tableau 4. Tableau 8. Apports en azote et en phosphore dans la retenue de La Manzo estimés pour 2002, 2003 et 2004

Année	Volume annuel entrant dans la retenue (m ³ /an)	AZOTE Concentration moyenne dans la rivière Lézarde (mg/l)	AZOTE Apports annuels estimés (kg/an)	PHOSPHORE Concentration moyenne dans la rivière Lézarde (mg/l)	PHOSPHORE Apports annuels estimés (kg/an)
2008	3 169 900	0.64	2 029	0.02	63
2007	3 791 163	0.60	2 275	0.02	76
2006	5 188 133	0.54	2 802	0.02	104
2005	766 000	1.00	766	0.02	15
2004	2 043 572	1.20	2 452	0.02	41
2003	5 682 261	0.83	4 716	0.02	114
2002	4 162 625	1.00	4 163	0.02	83
Moyenne			2 743		71

Les apports annuels en azote issus de la rivière Lézarde varient entre **0,8 et 4,7 tonnes/an, soit une moyenne de 2,75 tonnes/an**. Les apports en phosphore sont difficilement estimables en raison de la limite de quantification de la mesure. Cependant, il semble envisageable de considérer que les apports maximum en phosphore s'élèvent à **71 kg/an**.

3.3.1.2. Les apports en pesticides

Contrairement au constat rassurant de 2005, il apparaît désormais que le pesticides **Chlordécone a été mis en évidence à trois reprises entre 2006 et 2008** dans les eaux de la rivière Lézarde. Bien que cette molécule ait été dosée à des taux inférieurs au seuil de la norme admissible (0,02 et 0,01µg/l), la rivière Lézarde présente indéniablement une contamination par les produits phytosanitaires qu'il est important de surveiller.

De même, en 1998, une triazine (la Pendiméthaline) a été mesurée à un taux proche du seuil réglementaire. C'est un herbicide pouvant être utilisé dans les cultures de canne. Il n'a cependant jamais été trouvé depuis.

Les autres molécules de pesticides identifiées entre 1993 et 2008 (cf. Tableau suivant), ont été rarement détectées et à des seuils bien inférieurs à la norme admissible (< 0,1 µg/l), aussi bien en moyenne qu'en valeur maximale.

Tableau 5. Pesticides détectés à la prise d'eau de la Lézarde entre 1993 et 2008 (DSDS). Nombre de résultats supérieurs à la limite admissible (> 0,1 µg/l)

Famille de paramètres	Paramètres	Nombre de mesures	Nombre de détections	Années de détection	Valeurs	Nombre de résultats >0,1µg/l
ORGANOCHLORES	Aldrine	101	1	1998	0.002	0
	DDD-2,4'	83	1	1998	0.005	0
	DDT-4,4'	83	1	1996	0.003	0
	HCH alpha	83	1	1998	0.002	0
	HCH beta	83	1	2008	0.01	0
	HCH gamma (lindane)	83	3	1996,1998	0.002-0.001	0
	Heptachlore	83	2	1996,1998	0.001-0.005	0
	Heptachlore époxide	83	1	1998	0.002	0
ORGANOPHOSPHORES	Deméton	59	1	1998	0.05	0
UREES SUBSTITUEES	Diuron	76	3	2001,2002	0.03	0
TRIAZINES	Simazine	101	1	2002	0.04	0
	Pendiméthaline	83	1	1998	0.07	0
DIVERS	Chlordécone	61	3	2006,2007,2008	0.02-0.01	0
	Chlorothalonil	74	2	1997	0.001-0.003	0

En terme d'apport en Chlordécone, en considérant ces trois résultats positifs sur les 61 mesures, on peut extrapoler la concentration moyenne entre 2006 et 2008 à 0,002 µg/l. Sur cette base, la charge annuelle déversée dans le plan d'eau est de l'ordre de **10,4 g en 2006, 7,6 g en 2007 et 6,3 g en 2008**.

Le plan d'eau n'est **en théorie pas exempt de chlordécone**. Néanmoins, la charge reste minime au regard du volume total de la Manzo, rendant cette molécule indétectable lors d'analyses ponctuelles.

3.3.2. Estimations des pollutions potentielles générées par l'activité agricole

L'objectif recherché est de mettre en évidence les liens de causes à effets entre les apports en nutriments et polluants issus du bassin versant et les manifestations végétales observées sur la Manzo.

Rappelons lors de la précédente expertise, la description de l'agriculture traditionnelle avait mené à un impact négligeable par rapport à une éventuelle pollution concernant les apports sur bananiers familiaux. Mais seule une enquête auprès de chaque propriétaire apparaît comme un des moyens de parvenir à quantifier ces éléments. De même, la présence d'animaux à des fins d'autoconsommation, ne peut être considérée comme source de pollution tant cette pratique est ponctuelle et de type très extensif.

3.3.2.1. Description de l'agriculture de production

Le tableau suivant présente les superficies des différentes soles agricoles déclarées en 2002, 2003, 2006 et 2007 sur le bassin versant.

Tableau 6. Tableau 9. Superficies 2002, 2003, 2006 et 2007 des soles agricoles déclarées sur le bassin versant de la retenue de La Manzo (Source : CNASEA)

Sole agricole déclarée	Superficie déclarée en 2002 (ha)	Superficie déclarée en 2003 (ha)	Superficie déclarée en 2006 (ha)	Superficie déclarée en 2007 (ha)
Banane export ou Parcelle plantée en banane export au cours de l'année	7,4	5,9	3,3	1,2
Canne à sucre	2,3	4,5	7,2	2,7
Savane parcours, prairies plantées, Surfaces fourragères (alimentation du bétail)	1,0	2,3	12,4	
Maraîchage plein champ et Melon, pastèque	0,7	0,9	1,0	1,0
Bâtimennt d'élevage : ovins		0,8		
Horticulture, plantes ornementales sous abris		0,4		
Parcelles non cultivées (friches, ou labours)	0,4		5,6	
Vivrier et vivrier élevage			5,4	2,3
Total	11,4	14,8	34,9	7,2

L'agriculture de production représente une superficie assez faible sur le bassin versant (moins de 25 ha soit 17% de la surface immergée). Depuis 2003, la banane export a perdu sa place de culture prépondérante au profit de la canne et surtout des surfaces fourragères. Notons que la sole agricole a doublé voire triplée depuis 2002, en raison de l'augmentation des déclarations et des contrôles terrain réalisés par le CNASEA. Par contre, la surface déclarée en mai 2008 se révèle bien plus faible (peut être en raison de l'absence de contrôle de terrain). A noter qu'aucun élevage n'a été déclaré en 2008.

Depuis 2005, selon la réévaluation de l'activité agricole, la pollution potentielle semble toujours très faible étant donnée les faibles surfaces de productions végétales et la présence très réduite d'animaux.

3.3.2.2. Estimation des apports en azote et phosphore d'origine agricole

L'estimation de la quantité d'azote et de phosphore générée par l'activité agricole sera centrée sur les productions de banane et de canne pour les raisons déjà évoquées.

Méthode de calcul :

L'estimation de la pollution potentielle en azote et phosphore est basée sur le calcul suivant :

Estimation des apports issus de l'agriculture au milieu (kg/an)

=

Fertilisation minérale (kg/ha/an) x Surface cultivée (ha) x Taux de transfert

Sources de données :

Disposant des surfaces cultivées, nous avons réalisé les calculs d'apports sur ces deux années et avons retenu les maximums et minimum relevés sur ces deux années.

Rappelons que le taux de transfert a été défini par expérimentation sur certaines cultures et dans des contextes spécifiques. Ainsi, il a été défini en moyenne entre 5 à 10 % sur les cultures de banane tandis que sur la canne aucune donnée de ce type n'existe à ce jour sur la Martinique. Cependant, les diverses sources documentaires semblent estimer un taux de transfert très faible (5%) en raison de divers critères : un unique apport annuel en carême (ruissellement réduit), des formules de fumures peu propices au lessivage. Par conséquent, le calcul des apports en azote et phosphore parvenant au bassin versant a été réévalué à la lumière des deux cultures dominantes.

Les données relatives aux moyennes de fertilisation et l'estimation du taux de transfert au milieu ont été transmises par les experts du CIRAD et du CTCS.

Résultats :

Les tableaux ci-après présentent les données chiffrées et les résultats des calculs :

Tableau 7. Estimation des apports en azote et phosphore issus des cultures selon la sole 2002, 2003 et 2006

Type de culture	Fertilisation moyenne (kg/ha/an)		Surface moyenne cultivée (ha) en 2002	Apports totaux (kg/an)		Taux de transfert au milieu		Estimation de la quantité apportée au milieu (kg)			
	N	P		azote	phosphore	min	max	min	max	min	max
Banane	400	133	7,4	2 960	984	5%	10%	148	296	49	98
Canne à sucre	200	100	2,3	460	230		5%		23	12	
Totaux 2002				3 420	1 214				319	110	
Banane	400	133	5,9	2 640	878	5%	10%	132	264	43	87
Canne à sucre	200	100	4,5	900	450		5%		45	23	
Totaux 2003				3 540	1 328				309	110	
Banane	400	133	3,3	1 320	439	5%	10%	66	132	22	44
Canne à sucre	200	100	7,2	1 440	720		5%		72	36	
Totaux 2006				2 780	1 159				204	80	

Sur le bassin versant, on peut estimer entre **2 780 et 3 540 kg** la quantité d'azote épandue sur les parcelles de banane et de canne à sucre, et entre **1 159 et 1 328 kg** celle du phosphore (soit 40% de moins que la précédente estimation de 2005).

Une partie mineure de ces apports est susceptible d'être transférée au milieu naturel puisque la majorité de ces apports est utilisée pour la croissance des plantes et seule la part qui ruisselle sur le bassin versant parviendra à la retenue. Concernant la culture de banane, cette part est estimée entre **204 à 319 kg** d'azote et **80 et 110 kg** de phosphore, ce qui représente une quantité très faible rapportée au volume d'eau de la retenue de la Manzo.

3.3.3. Estimations des pollutions potentielles générées par l'assainissement

3.3.3.1. Estimation du nombre de résidences

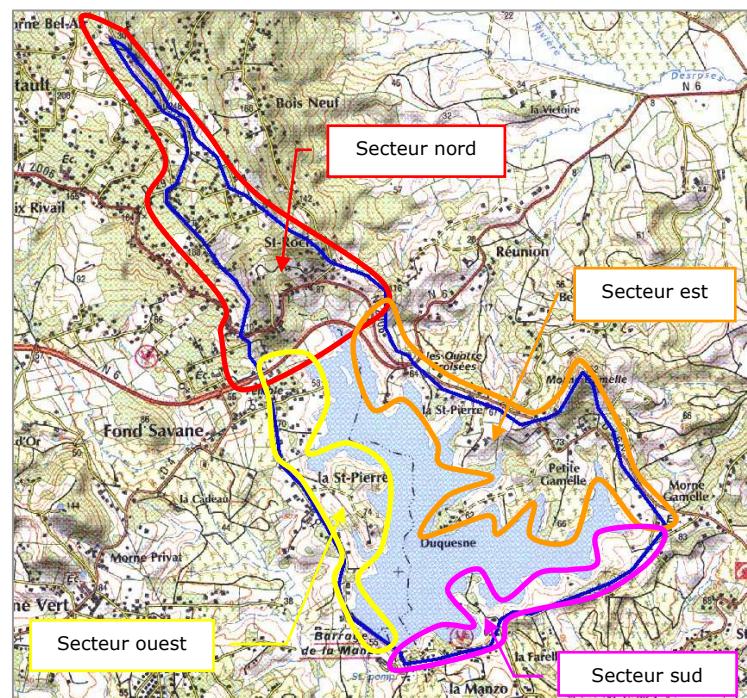
Suite à l'évaluation de 2005, donnant 397 habitations, nous avons effectué un nouveau comptage sur la base de la cartographie IGN 2006 exploitée à partir du site Géoportail.fr.

Le nombre de résidences sur le bassin versant est désormais estimé à environ 460 réparti comme exprimé dans le tableau ci dessous. Notons que le secteur nord est celui qui a vu la principale vague d'urbanisation.

Tableau 8. Estimation du nombre résidences par secteur

Secteur du bassin versant	Estimation du nombre de résidences	% sur le bassin versant
Nord	240	52 %
Est	110	24 %
Sud	30	6,5 %
Ouest	80	17,5 %
Total	460	100 %

Source : Carte IGN



3.3.3.2. Estimation des apports en azote et phosphore issu de l'assainissement

La pollution potentielle liée à l'assainissement dépend largement des pratiques et du type d'assainissement en place. La présence d'assainissement autonome sur l'ensemble du bassin versant et les fortes suspicions quant au non respect des normes réglementaires sur les installations autonomes laissent supposer une pollution d'origine domestique sur le bassin versant.

Méthode de calcul :

L'estimation de la quantité d'azote et de phosphore rejoignant les eaux est la suivante :

Estimation des apports issus de l'assainissement au milieu (kg/an)

=

$$\text{Nombre de résidence} \times \text{Nombre moyen de personne par résidence} \times \text{production moyenne par personne (kg/an)} \times \text{taux de transfert}$$

Sources de données :

Le nombre de résidences présentes sur le bassin versant est estimé à 460. Les hypothèses suivantes ont été retenues : une moyenne de 3 habitants par résidence, une production de 15 g d'azote et de 4 g de phosphore **par jour et par habitant**.

Sur le bassin versant de la Manzo, la totalité de l'assainissement est de type autonome. Aucun projet de raccordement à une station existante, d'intégration à une station en projet de construction ou de création de micro-stations n'est actuellement planifié à court moyen ou long terme sur les communes de Ducos ou du François.

Au vu du manque de connaissance sur la présence et l'efficacité de traitement individuel, deux hypothèses sont réalisées quant au taux de transfert au milieu. Appliquée à la production initiale, ce taux doit permettre de considérer la quantité rejoignant les eaux superficielles. L'hypothèse optimale considère un abattement de 50 %, l'hypothèse pessimiste un abattement de 10%.

Résultats :

Le tableau ci-après présente les données chiffrées et les résultats de l'estimation.

Tableau 9. Estimation des quantités d'azote et de phosphore issues de l'assainissement

Nature de l'apport	Nombre de résidence	Nombre de personnes par habitation	Quantité produite par jour (g) et par habitant	Quantité produite par an (kg)	Taux de transfert au milieu		Estimation de la quantité apportée au milieu (kg)	
					min	max	min	max
Azote	460	3	15	7 555	50%	90%	3 778	6 800
Phosphore	460	3	4	2 015	50%	90%	1 007	1 813

La quantité issue de l'assainissement produite par an et susceptible de parvenir à la retenue est estimée à :

- **entre 3 778 et 6 800 kg/an en azote,**
- **entre 1 007 et 1 813 kg/an en phosphore.**

Ces chiffres sont des approximations à utiliser avec toutes les précautions qui s'imposent. Pour rappel, nous avons fait un certain nombre d'hypothèses pour parvenir à ces estimations, hypothèses qu'il convient de préciser en cas d'utilisation des résultats. Certaines données pourraient être affinées simplement, d'autres nécessiteraient un travail approfondi pour être précisées. Par exemple, un travail d'enquête auprès des habitants serait indispensable pour préciser leurs équipements pour le traitement des eaux usées.

3.3.4. Synthèse des apports en nutriments vers la retenue

Une **première évaluation des principales sources exogènes** potentielles de composés phosphorés et azotés a été réalisée en 2005. La mise à jour de ces éléments a permis de réviser ce chiffrage. Ces sources sont essentiellement constituées par :

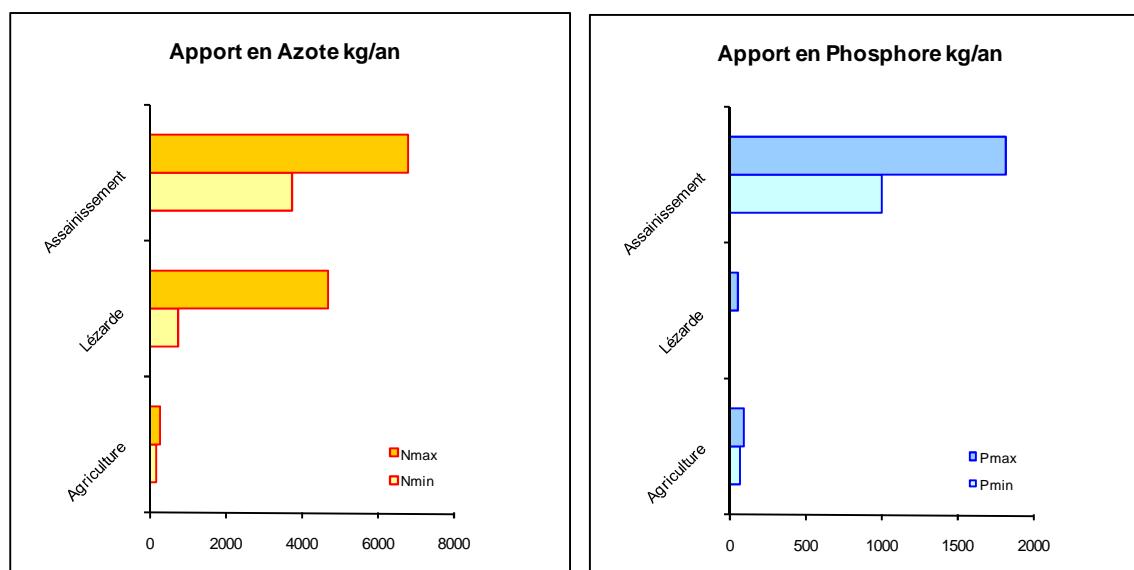
- Les apports ponctuels de la rivière Lézarde,

- apports annuels en azote entre 0,8 et 4,7 tonnes/an
- apports annuels en phosphore entre 0 et 71 kg/an
- Les apports diffus d'origine agricole et domestique.
 - apports annuels de l'agriculture (culture de banane) :
 - entre 204 à 319 kg d'azote
 - 80 et 110 kg de phosphore
 - apports annuels de l'assainissement :
 - entre 3 778 et 6 800 kg/an en azote
 - entre 1 007 et 1 813 kg/an en phosphore
- **Charge externe globale estimée entre 2002 et 2006 :**
 - **en azote entre 4,8 et 11,8 tonnes/an**
 - **en phosphore entre 1,1 et 2 tonnes/an**

Bien qu'en hausse au regard de la dernière évaluation, ces charges externes apportées à la retenue de La Manzo ne semblent toujours pas excessives². Les principales évolution proviennent de la prise en compte de la culture de la canne et de l'augmentation de l'urbanisation du bassin versant.

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.

Figure 4. Apports annuels externes en azote et en phosphore estimés entre 2002 et 2004 pour les principales sources exogènes identifiées sur le bassin versant de La Manzo



² A titre indicatif, dans le cadre du contrôle du phénomène d'eutrophisation dans un lac de barrage algérien (Diagnostic et contrôle du phénomène d'eutrophisation du barrage de Keddara - Algérie. Samir Boucherai) de 14,6 millions de m³, et d'une profondeur moyenne de 28 m, il a été estimé que pour ramener le réservoir eutrophe à un état oligo-mésotrophe, la charge externe admissible modélisée en phosphore devait être de 2,8 à 4 tonnes/an. Une charge externe observée initialement de 20 tonnes/an était beaucoup trop élevée.

4. Evaluation des pressions sur la retenue

4.1. Occupation des sols sur le bassin versant

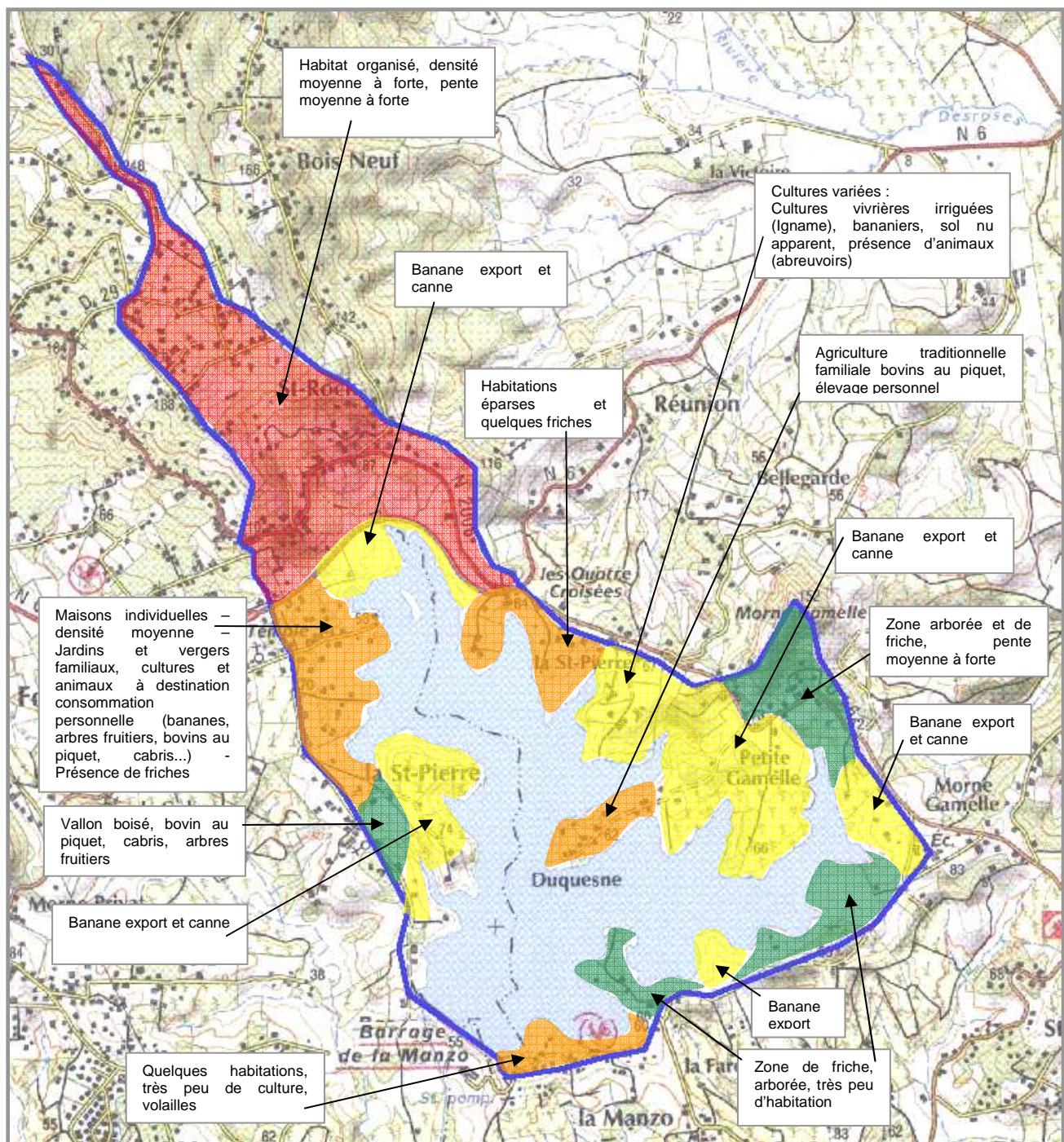
L'objectif, au niveau du bassin versant, est ici de s'assurer que les cycles bio-géochimiques et les apports de sédiments fins ne sont pas significativement perturbés par les apports de nutriments et l'érosion des sols agricoles, et que les apports polluants et les divers impacts physiques liés aux zones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

Au niveau du plan d'eau, il s'agit d'écartier 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.

En accord avec le descriptif du précédent chapitre, le **bassin versant de la retenue La Manzo** n'a pas subi de modifications significatives entre 2005 et 2008 et a, par conséquent, conservé ces principales caractéristiques résumées ci-dessous (schématisés dans la figure suivante) :

- 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

Figure 5. Description du bassin versant de la retenue de la Manzo



Légende :

- Zone d'habitation de densité moyenne à forte
- Zone de culture traditionnelle, habitations de densité faible à moyenne
- Zone d'agriculture de production : canne ou/et banane export
- Zone arborée ou en friche
- Limite du bassin versant de la retenue La Manzo

4.2. Régime hydrologique

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

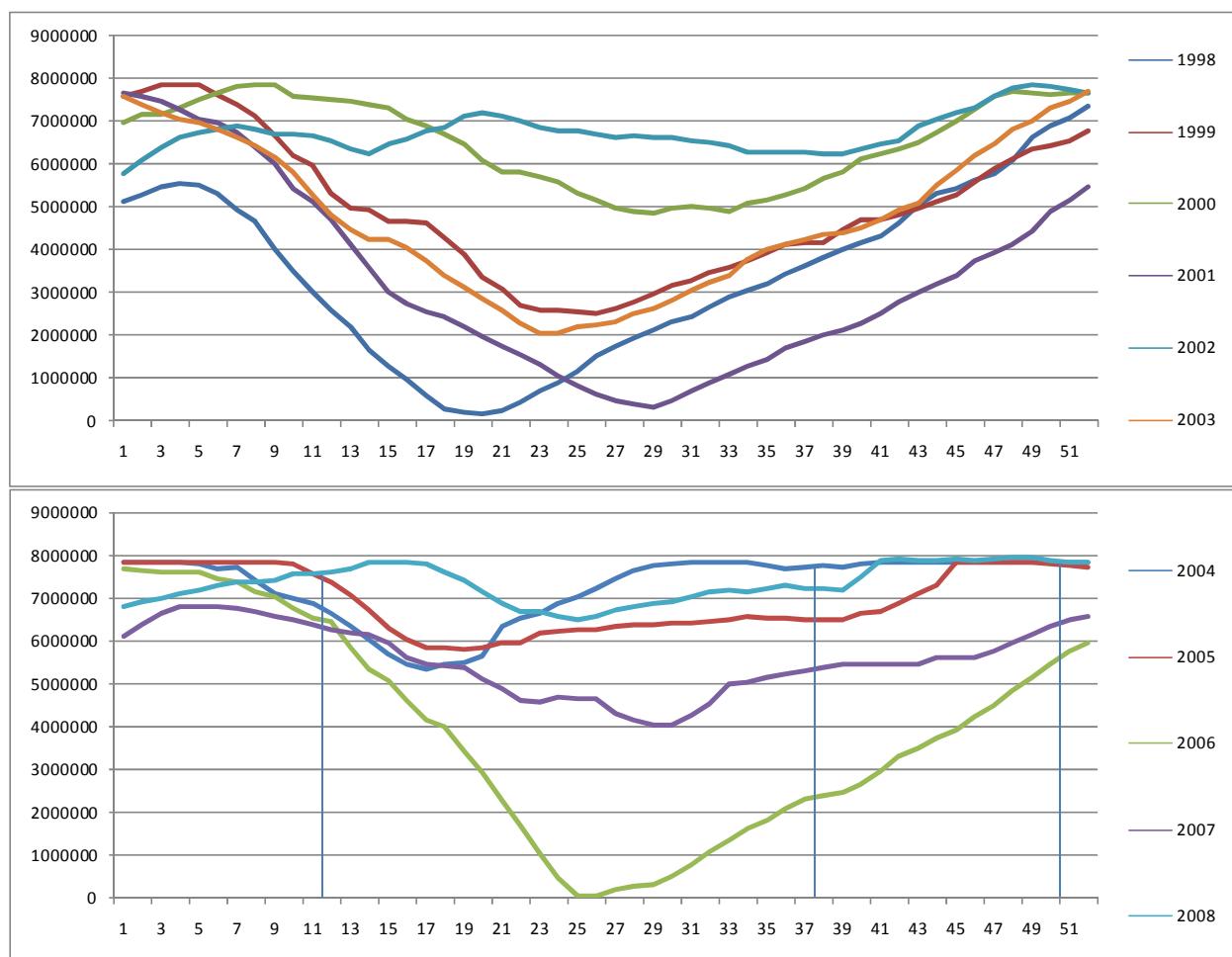
Au niveau du plan d'eau, les modifications du régime hydrologique concernent l'existence ou non d'un marnage artificiel (ou artificialisé, s'il en existait un naturellement auparavant), la modification de la circulation interne de la masse d'eau (systèmes d'agitation, pompage, ...), les prélèvements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

Le fonctionnement hydrologique plus précis est expliqué dans le chapitre précédent.

Les **volumes d'eau stockés dans la retenue de La Manzo** sont variables en fonction des années et de la saison. Les côtes hebdomadaires relevées par le BGPISE, entre 1998 et 2008 (Figure 6), 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 6. Volumes hebdomadaires stockés dans la retenue de La Manzo depuis 1998



Notons toutefois que depuis 2004, hors vidange décennale de 2006, le plan d'eau est majoritairement en pleine capacité.

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.

4.3. Régime sédimentaire

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

Aucune modification vis-à-vis ce paramètre en 2008.

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.

4.4. 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 2008.

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

4.5. Autres critères

Il s'agit d'écartier 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 2008.

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, espèce 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).

4.6. 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 2008.

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

◊ 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)

$\leq 10\%$	$\leq 20\%$	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.

5. Diagnose du plan d'eau

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

Aucune perturbation majeure pouvant influencer le barrage de la Manzo n'est à signaler en 2008 si ce n'est la récurrence des petites ondes tropicales qui ont engendrées de fortes précipitations avant chaque campagne de cette année. Les investigations de terrain se sont toutefois déroulées dans de bonnes conditions.

5.1.1. Rappel des précédentes campagnes

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.

En 2007, la diagnose a été réalisée dans des conditions bien plus stables. Les principales conclusions en terme de fonctionnement étaient :

- 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.

5.1.2. Conditions physico-chimiques in situ

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

Le suivi des paramètres physico-chimiques in situ, au cours des **quatre campagnes de mesures de 2008**, 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 2,5 m en période de fonctionnement normal (année 2008) soit une augmentation de 50 cm par rapport à 2007 (campagne de décembre). La zone trophogène dite euphotique s'étend par conséquent désormais entre 2,5 à 6 m.

Ces deux années complètes nous permettent d'avancer avec plus de certitude une augmentation de la transparence en décembre, donc en fin d'hivernage lorsque la production primaire est la plus faible. De même, il semble désormais clair que la transparence est plus faible en période de forte production primaire, c'est-à-dire en fin de carême.

A contrario, les valeurs de la première et troisième campagne annuelle sont bien moins explicites puisqu'alternativement plus importantes ou plus faible selon les années. Il semble alors que ce fonctionnement soit à analyser à la lumière de phénomènes météorologiques (précipitation, ensoleillement, vent, etc.), hydrologiques (pic et creux de remplissage) ou encore physico-chimiques (disponibilité en nutriments).

Globalement, l'homogénéité entre les trois points de mesure a été plus satisfaisante en 2008 qu'en 2007 (au maximum 25 cm de différence entre les points contre 50 cm en 2007).

Rappelons que 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.

Figure 7 : Evolution de la Transparence des eaux *in situ* du barrage de la Manzo en 2007 (Disque de Secchi en m)

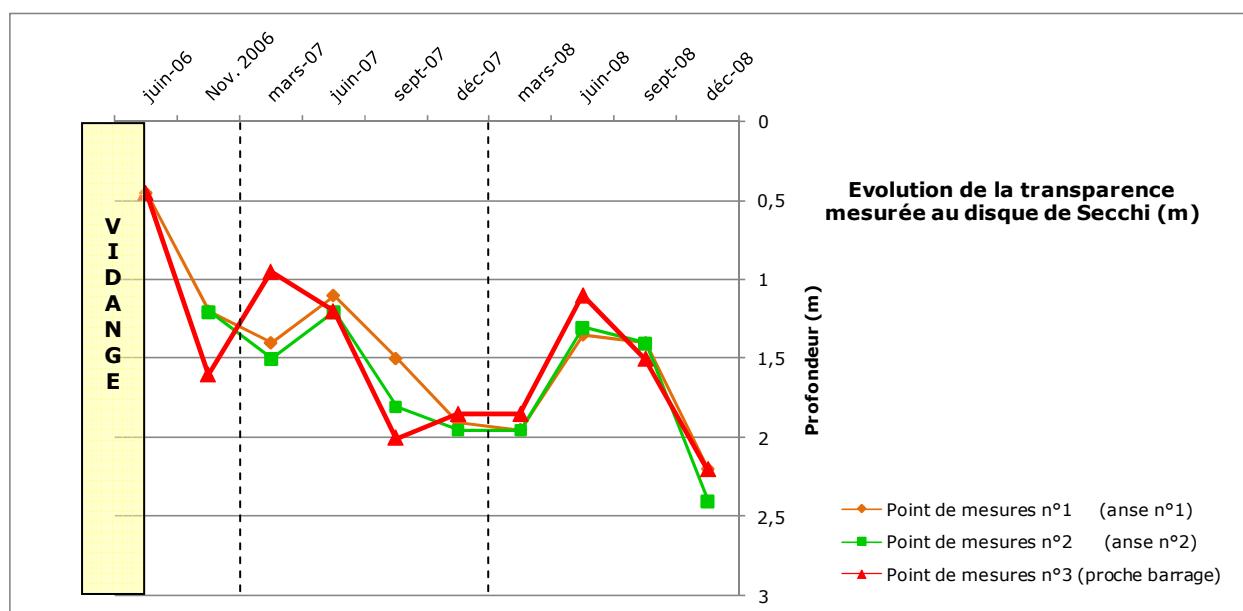


Tableau 10. Mesures de transparence *in situ* réalisées en 2007 et 2006.

	TRANSPARENCE RETENUE DE LA MANZO	Point de mesures n°1		
		Anse n°1	Anse n°2	Barrage
Décembre 2008	Disque de Secchi (m)	2,2	2,4	2,2
	Zone trophogène (m)	5,5	6	5,5
Septembre 2008	Disque de Secchi (m)	1,4	1,4	1,5
	Zone trophogène (m)	3,5	3,5	3,8
Juin 2008	Disque de Secchi (m)	1,35	1,3	1,1
	Zone trophogène (m)	3,4	3,3	2,8

Mars 2008	Disque de Secchi (m)	1,95	1,95	1,85
	Zone trophogène (m)	4,9	4,9	4,6
Décembre 2007	Disque de Secchi (m)	1,9	1,95	1,85
	Zone trophogène (m)	4,8	4,9	4,6
Septembre 2007	Disque de Secchi (m)	1,5	1,8	2
	Zone trophogène (m)	3,75	4,5	5
Juin 2007	Disque de Secchi (m)	1,1	1,2	1,2
	Zone trophogène (m)	2,75	3	3
Mars 2007	Disque de Secchi (m)	1,4	1,5	0,95
	Zone trophogène (m)	3,5	3,8	2,4
Nov. 2006	Disque de Secchi (m)	1,2	1,2	1,6
	Zone trophogène (m)	3	3	4
Juin 2006	Disque de Secchi (m)	0,45	-	0,45
	Zone trophogène (m)	1,1	-	1,1

L'étude des profils obtenus lors des campagnes de 2008 et 2007 pour les autres paramètres (température, pH, conductivité, oxygène dissous) nous permet de distinguer nettement trois couches d'eau si on excepte la campagne de décembre :

- Une couche superficielle ou épilimnion, de la surface jusqu'à 3 – 6 m présentant :
 - les températures les plus élevées entre 27 à 32°C
 - une saturation ou sursaturation pour l'oxygène dissous notamment en surface
 - une conductivité proche ou supérieure à 100 µS/cm (à part en mars 2008)
 - un pH basique entre 8 et 9
- Une couche intermédiaire ou métalimnion, entre 6 et 9 m en mars 2008 et remonte progressivement en juin et septembre pour s'étaler entre 3 et 6 m où on observe :
 - une variation significative des paramètres mesurés
 - une chute de l'oxygénation des eaux pour passer de 125 à 25%
 - un abaissement du pH à la neutralité
 - une augmentation de la minéralisation mise en évidence essentiellement en juin et septembre
- Une couche profonde (hypolimnion), au-delà de 9 m de profondeur, s'élevant en cours d'année pour atteindre 6 m, où :
 - les valeurs de pH, de température et d'oxygène sont les plus faibles
 - pH légèrement acide entre 6,5 et 7
 - 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 proche ou inférieure à 27°C

Les profils verticaux des paramètres physico-chimiques *in situ* établis mettent en évidence une **stratification du plan d'eau de La Manzo** de mars à septembre. Cette stratification est induite principalement par le paramètre oxygène, conductivité et de pH. Contrairement au plan d'eau de zone tempérée, le paramètre température ne montre pas de grande variation en fonction de la profondeur (variation maximale de 5° 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 (cf Tableau en annexe).

En marge, le mois de décembre porte une toute autre information. En effet la plupart des paramètres semblent démontrer une perte de la stratification :

- le pH, la température et la conductivité (à part à l'interface sédiment) sont d'une stabilité absolue
- l'oxygénation présente encore une variabilité mais moins appuyée que le reste de l'année : désoxygénation de surface puis remontée à 50% de saturation en 2008 et 75% en 2007 puis à nouveau une chute pour se stabiliser vers 25% comme le reste de l'année.

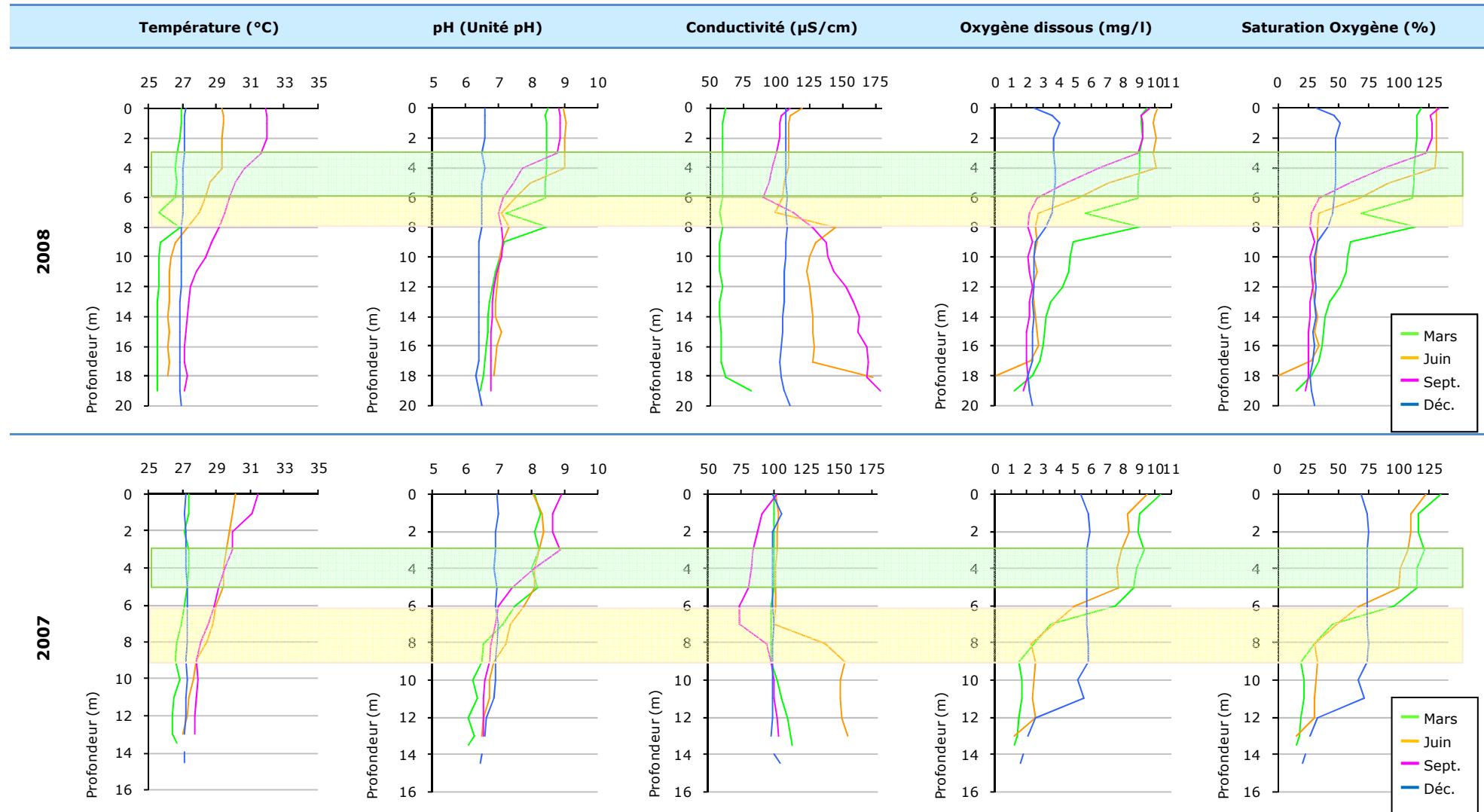
On remarquera que la chute de saturation s'opère vers 8 m en 2008 alors qu'en 2007 elle était plus profonde (vers 11 m). De même, en 2008 la sous-saturation était déjà très importante en surface, la chute qui s'en est suivie était donc moins sévère qu'en 2007.

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.

En marge de ces grandes lignes de fonctionnement de la stratification du plan d'eau, il nous semble nécessaire d'attirer

Afin de mieux illustrer la stratification des eaux, les couches d'eau sont replacées sur les profils établis aux différents points de mesure (Figure 8).

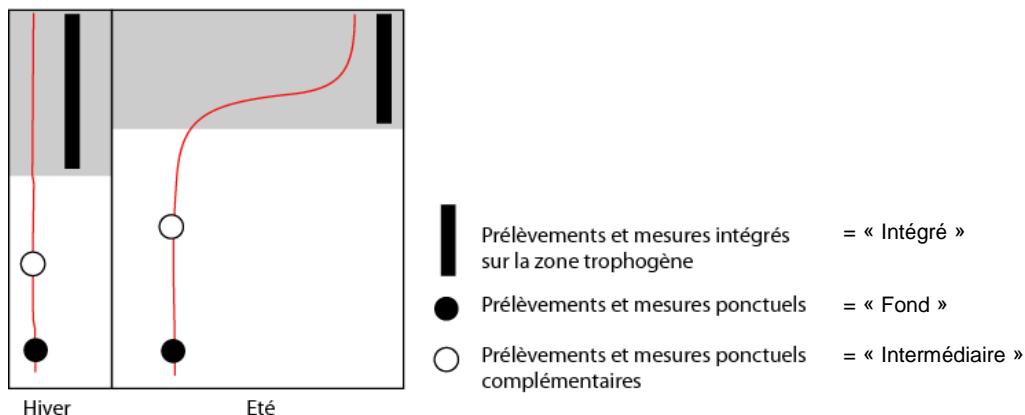
Figure 8 : Profils physico-chimiques et limite de stratification des couches d'eau au Barrage- Année 2008 et 2007



5.1.3. Paramètres chimiques analysés en laboratoire

Au point le plus profond du plan d'eau, des prélèvements d'eau ont été réalisés à différentes profondeurs afin de caractériser certains paramètres chimiques des eaux (cf. Schéma ci dessous, issu de la circulaire DCE 2006-16). Les résultats des analyses synthétisés pour les 2,5 années de suivi, sont présentés dans le tableau ci-après (Intégralité des résultats présentés en annexe 2).

Plan d'eau moyennement à très profond
(profondeur maximale > 15 m)



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 2008 et 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 paillasses non disponibles) ce qui peut entraîner un déclassement systématique de la qualité.

Exemple :

- *Le phosphore et les orthophosphates.*

Classes de qualité SEQ-Plan d'Eau :	
Très bonne (TB)	
Bonne (B)	
Moyenne (Mo)	
Médiocre (Mé)	
Mauvaise (Ma)	

Tableau 11. Synthèse des résultats d'analyses des eaux de la retenue de La Manzo (Campagne 2006 à 2008)

Paramètres	Unités	Moyenne 2008			Moyenne 2007			Moyenne 2006			Source
		Intégré	Interméd	Fond	Intégré	Interméd	Fond	Intégré	Interméd	Fond	
Transparence	(m)	1,66			1,50			1,03			Seq-Plan d'eau
Matières organiques et oxydables											
Saturation en O2	(%)	102,9	38,3	24,1	100,2	55,6	17,0	79,40	47,70	48,05	Seq-Plan d'eau
DBO5	mg/l O2	6,50	5,25	5,33	5,25	3,75	3,5	1,50	1,00	1,00	Seq-Eau
DCO	mg/l O2	38,43	17,30	16,63	35,60	30,23	12,80	< 30,50	< 45,00	< 33,50	Seq-Eau
COD	mg/l C	2,38	2,19	2,05	2,82	2,75	2,44	2,30	3,70	2,40	Seq-Plan d'eau
COT	mg/l C	2,97	2,91	2,46	3,29	3,17	2,75	2,50	4,50	2,60	
NH4	mg/l NH4	0,06	0,11	0,88	0,01	0,01	0,45	0,17	0,34	0,56	Seq-Eau
NTK	mg/l N	0,80	0,80	1,17	0,55	0,50	0,83	0,65	0,80	0,90	Seq-Eau
Azote, Phosphore											
NO3	mg/l NO3	0,10	0,11	0,11	0,04	0,04	0,03	0,08	0,13	0,08	Seq-Eau
NO2	mg/l NO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	< 0,025	< 0,025	< 0,025	Seq-Plan d'eau
Phosphore total	mg/l P	< 0,02	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,00	0,00	0,00	Seq-Plan d'eau
Phosphore total	mg/l P2O5	< 0,05	< 0,03	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,10	< 0,10	< 0,10	
Orthophosphates	mg/l PO4	0,01	0,02	0,01	0	0	0	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Seq-Plan d'eau
Particules en suspension											
MES	mg/l	7,40	3,88	9,88	13,75	9,00	9,45	22,00	26,00	25,50	Seq-Eau
Turbidité	NTU	3,86	5,04	9,60	10,95	6,16	6,86	11,90	15,10	> 23,80	Seq-Eau
Acidification											
pH	unité pH	7,96	7,00	6,65	8,04	7,10	6,38	6,85	6,70	6,65	Seq-Plan d'eau
Minéralisation											
Conductivité	µS/cm	96,05	111,80	124,73	100,80	93,08	121,45	117,20	118,40	118,15	Seq-Plan d'eau
Silice	mg/l	19,02	19,92	20,85	18,28	18,05	18,58	20,00	19,00	19,00	
Chlorures	mg/l	12,40		12,60	11,36		11,10			16,30	Seq-Eau
Sulfates	mg/l	2,54		2,50	3,41		2,73	4,87		5,66	Seq-Eau
Calcium	mg/l	5,80		6,00	6,55		6,86	6,20		5,70	
Fluorures	µg/l	31,50	34,00	19,50	24,00	20,50	19,50	32,50	34,00	33,00	
Magnésium	mg/l	3,20		3,20	3,08		1,92	3,20		3,00	Seq-Eau
Sodium	mg/l	8,70		8,70	8,63		8,23	9,00		9,00	Seq-Eau
Potassium	mg/l	1,80		1,80	1,88		1,89	1,80		1,80	
TAC	(d°F)	3,02	4,03	4,01	2,49	2,54	3,32	3,05	3,00	3,00	Seq-Eau
TH	(d°F)	2,99	3,33	3,57	2,85	2,67	2,97	2,10	2,00	1,95	Seq-Eau
Carbonates	mg/l CO3	0,83	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Hydrogénocarbon	mg/l	35,23	49,10	48,43	27,28	32,13	42,92	37,10	36,15	36,75	
Micropolluants minéraux sur eau brute											
Arsenic	µg/l	0,28	0,35	0,40	2,78	2,85	2,90	< 5	< 5	< 5	Seq-Plan d'eau
Aluminium	µg/l	359,75	153,50	95,75	4,78	7,53	7,28	16,00	13,00	120,00	Seq-Plan d'eau
Bore	µg/l	31,00	28,25	29,75	14,02	13,52	12,01	25,00	25,00	32,00	q-Eau (aptitude Af)
Cyanures totaux	µg/l	1,80	1,70	4,15	< 6,25	< 6,25	< 6,25	< 10	< 10	< 10	q-Eau (aptitude Af)
Fer total	µg/l	163,75	404,25	3603,75	124,98	135,88	1935,50	339,00	< 445,00	2614,00	Seq-Plan d'eau
Manganèse total	µg/l	39,93	396,18	880,43	44,38	70,93	926,63	< 288,50	< 206,50	324,00	
Micropolluants organiques sur eau brute											
OHV (44 subst)		Aucune substance mise en évidence			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	4,38			45,03			18,97			Seq-Plan d'eau
Phéopigments		6,78			9,65			6,15			Seq-Plan d'eau
Bactériologie											
Coliformes totaux	n/100 ml	0,00			36,00			150,00			Seq-Eau
Escherichia Coli	n/100 ml	0,00			0,00			46,00			Seq-Eau
Entérococques	n/100 ml	0,00			0,00			< 15			Seq-Eau
Salmonelles sp	n/5l	0,00			0,00			0,00			

5.1.4. 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 (NtK , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), sont recherchés dans les eaux car leurs concentrations respectives permettent d'apprecier 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 anaérobiose, 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.

	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
N minéral maximal ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) (mgN/l)	0,20	0,40	1	2	
PO4 maximal (mgP/l)	0,010	0,020	0,030	0,050	
P total maximal (mgP/l)	0,015	0,030	0,060	0,100	

En 2005, les concentrations en éléments azotés observées étaient faibles à nulles (Annexe 2). Les teneurs en phosphore dans l'essentiel de la colonne d'eau (< 40 µg/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 µg/l).

En 2006, les concentrations de la plupart des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, phosphore, orthophosphates) paraissent très faibles à nulle (en dessous des limites de quantification). Les composés azotés NO3 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 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.

En 2007 et 2008, la faible teneur des eaux de la retenue de la Manzo en éléments nutritifs observés se confirme. La couche profonde des eaux conserve un caractère réducteur avec une concentration en ammonium beaucoup plus importante (minimum : décembre 2007 avec 0,21 mg/l et mars 2008 avec 0,2 mg/l, maximum : juin 2007 avec 1,021 mg/l et septembre 2008 avec 2,2 mg/l). Ce composé a été détecté en surface uniquement au cours de la campagne de décembre pour l'année 2007 ce qui serait probablement dû à un relatif brassage des eaux à cette période. En 2008, on le retrouve en surface à toutes les campagnes à des concentrations inférieures à 0,1 mg/l. Les concentrations en nitrate sont très faibles sur toute la colonne d'eau avec des valeurs plus élevées au cours du premier semestre de l'année et ceci particulièrement en 2007. Au cours de ces deux années, les valeurs les plus fortes ont été obtenues en juin. La forme toxique de l'azote « azote nitreux » est absente de la surface au fond du plan d'eau.

Les nutriments phosphatés demeurent à des concentrations faibles. Le phosphore présent dans les eaux se révèle néanmoins plus important en juin et ceci au niveau des trois couches d'eau. Les orthophosphates n'ont jamais été détectés en 2007. En 2008, la tendance est similaire, on en retrouve toutefois en septembre au fond du plan d'eau et en juin dans la couche superficielle et intermédiaire.

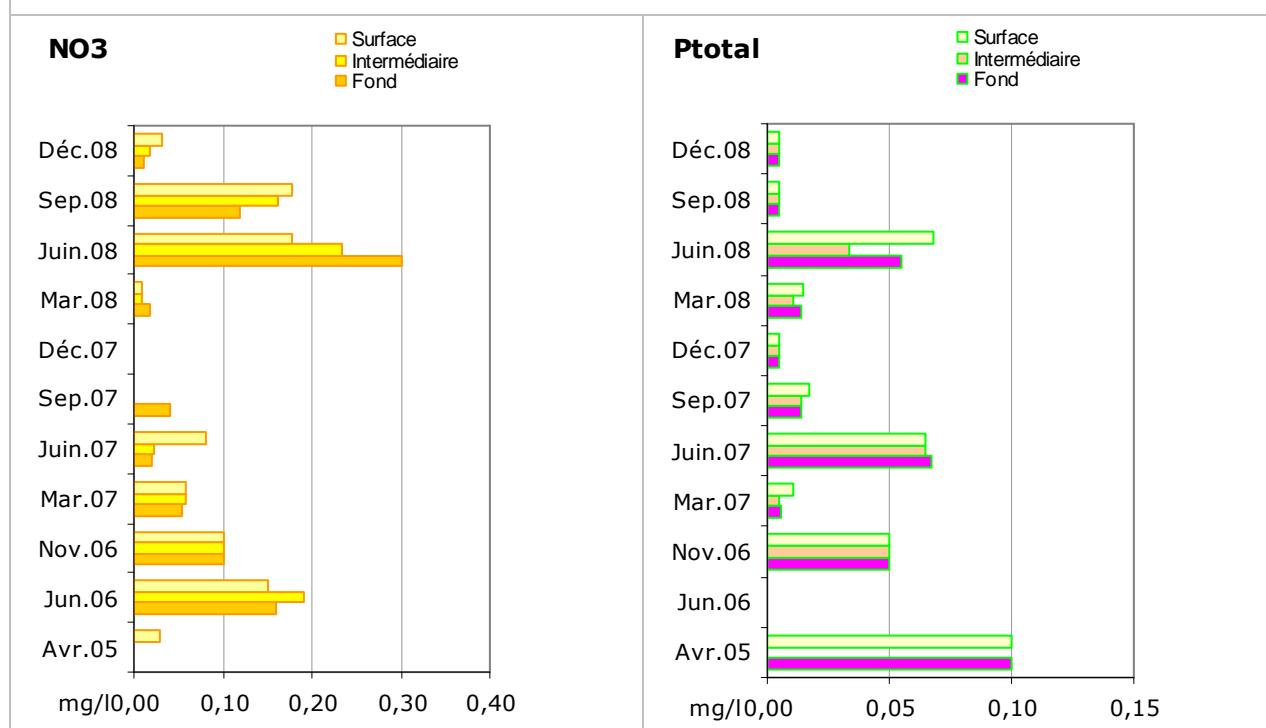
Les composés azotés et phosphorés sont présents à des teneurs faibles dans les eaux de la retenue. Rappelons que ces paramètres importants jouent un rôle majeur dans l'eutrophisation des milieux aquatiques. Les descripteurs Nutriments décris du SEQ Plan d'eau rendent compte d'un milieu peu riche en éléments nutritifs et ceci sur les années 2006 à 2008. La qualité des eaux se révèle bonne à très bonne. Les éléments nutritifs ne constituent donc pas un facteur de dégradation de la qualité des eaux du plan d'eau.

Par ailleurs, la stratification des couches d'eau semble plus marquée en juin et septembre, période au cours de laquelle les couches profondes sont beaucoup plus riches en composés azotés. Alors qu'au cours du mois de décembre, ces composés se répartissent plus régulièrement sur toute la colonne d'eau avec toujours des teneurs plus élevées au fond. En ce qui concerne les composés phosphorés, la stratification des eaux est moins nette, ces paramètres se répartissant sur toute la colonne d'eau.

Tableau 12. Evolution des descripteurs Nutriments 2005 à 2008

Echantillon intégré	2008	2007	2006
N minéral maximal ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) (mgN/l)	0,16	0,05	0,25
P total maximal (mgP/l)	<0,02	<0,02	0

Figure 9 : Evolution des teneurs en éléments nutritifs – NO_3 et Ptotal- (2005-2008)



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. Pour la retenue de la Manzo, certaines difficultés limitent l'exploitation de ces paramètres : 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 2008, le constat des années précédentes de 2007 et 2006 se renouvelle. En effet, le calcul de ce rapport est pénalisé à nouveau par l'absence d'orthophosphates en mai, septembre et décembre. L'azote minéral des eaux reste donc disponible ce qui tend à renforcer la croissance des chlorophycées. En parallèle, cet état permet 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. Le **rapport est évalué à 8** au moins de juin ce qui coïncide à un rapport relativement équilibré. Aucun des éléments nutritifs n'apparaît limitant, les principaux groupes algaux consommateurs de ces minéraux peuvent donc croître dans de bonnes conditions mésologiques.

Toutefois, à certaines périodes de l'année, la concentration trouvée pour l'azote minéral montre une totale consommation des éléments produits donc un risque de développement des espèces autotrophes vis-à-vis de l'azote. Tel a été le cas en novembre 2006, en juin 2007 et en mars 2008.

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

Lors des différentes campagnes des trois années, le rapport s'établit à des valeurs très élevées du fait des teneurs en silice proche de 20 mg/l et les teneurs faibles ou l'absence de phosphore < 0,1 mg/l. A titre d'exemple, un rapport de 277 a été trouvé en juin 2007 et **301 en juin 2008**. Le niveau de cet indicateur traduit les bonnes conditions dont bénéficient les diatomées planctoniques vis-à-vis de la disponibilité de la silice. Ce composé n'est de ce fait absolument pas un facteur limitant.

- **Le rapport N/SiO₂ dans l'eau :**

Quelque soit les campagnes considérées sur les trois années de mesure, cet indicateur est inférieur à 0,04. La faiblesse de ce rapport montre bien que la silice n'est pas un facteur limitant pour les diatomées. Ceci confirme donc l'information écologique fournie par le rapport Si/P. Néanmoins, il souligne une carence en azote (par rapport à la silice) qui pourrait dans ce cas là favoriser les cyanophycées si l'équilibre azote/phosphore est rompu. Cependant, le rapport N/P nuance fortement cet état de fait en mettant en évidence la bonne disponibilité en azote minéral qui dessert les cyanophycées en faveur des chlorophycées.

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.

5.1.5. 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 le titre alcalimétrique TAC et les concentrations en carbonates inorganiques, indique que les concentrations en ions carbonates sont très faibles à nul. En revanche, le titre alcalimétrique complet (TAC) indique la présence d'ions hydrogénocarbonates de 2005 à 2008.

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⁻.

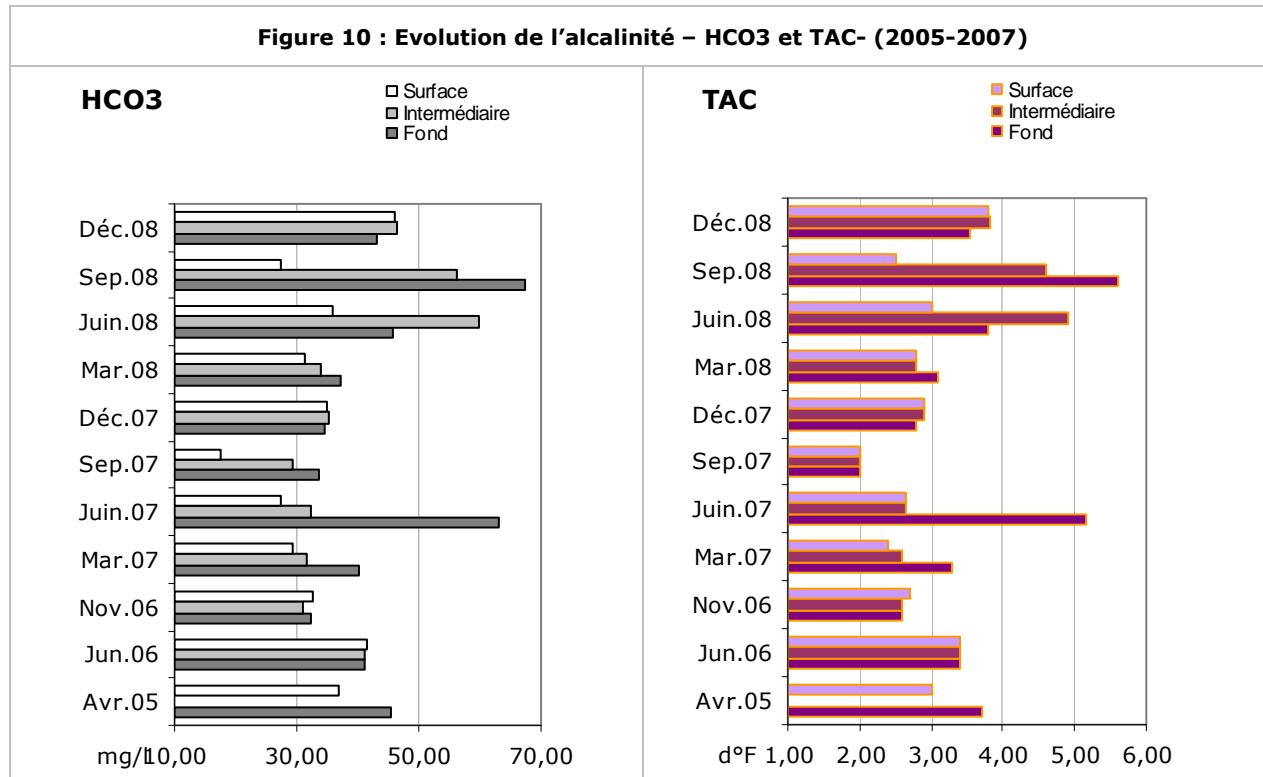
En 2008, le TAC varie globalement entre 2,5 et 5,6 degrés (°F). Ces valeurs traduisent la pauvreté des eaux du barrage en carbone minéral. Ce carbone minéral est représenté principalement par le bicarbonate dont les concentrations demeurent relativement stables au cours de l'année. A titre d'exemple sur l'année 2008, dans la couche profonde, cette concentration atteint 43,2 mg/l en décembre, 67,5 mg/l en septembre, 45,8 mg/l en juin et enfin 37,2 mg/l en mars. Le carbonate est quasiment absent puisqu'il a été détecté uniquement au niveau de la couche superficielle en mars et en septembre aux concentrations respectives de 1,6 mg/l et 1,7 mg/l.

En 2007 et 2006, on observe globalement la même situation. Les gammes de variation des paramètres TAC, HCO₃⁻, CO₃ sont relativement similaires. A nouveau, le carbonate n'a été échantillonné qu'au niveau de la couche superficielle.

Par ailleurs, aucune tendance de variation claire des paramètres TAC et bicarbonate ne se dégage en fonction de la profondeur de la colonne d'eau. Ce constat s'explique par une acidification des eaux qui reste modérée en profondeur, le seuil de pH de 6,3 n'étant pratiquement jamais atteint. Toutefois, au mois de juin et septembre, les teneurs de ces deux paramètres semblent augmenter en profondeur.

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

Figure 10 : Evolution de l'alcalinité – HCO₃ et TAC- (2005-2007)



5.1.6. 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 analyses de 2008 apportent les mêmes informations par rapport à ces deux micropolluants minéraux que sont le fer et le manganèse avec toutefois une dégradation encore plus significative de la qualité des eaux en juin et en septembre. En effet, des teneurs extrêmement élevées ont été enregistrées sur ces deux campagnes. Les eaux profondes du barrage présentaient des teneurs de 9330 µg/l en fer et 2007 µg/l en manganèse en septembre et 3787 µg/l en fer et 956 µg/l en manganèse en juin.

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 et en 2008 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 13. Concentrations en fer et en manganèse (µg/l) relevées en surface et au fond de la retenue depuis 1981.

Hivernage																				
Nov. 1981		Jun. 1985		Sept. 1985		Oct. 2000		Oct. 2003		Nov. 2006		Sept. 2007		Déc. 2007		Sept. 2008		Déc. 2008		
S	F	S	F	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	213	9330	198	474
Mn			-	1070	0	210	2007	1576	<20	67	<10	34	31	417	95	571	<16	2007	78,7	455,7

Carême																				
Mai. 1989		Avr. 1994		Mai. 2000		Avr. 2004		Avr. 2005		Juin 2006		Mars 2007		Juin 2007		Mars 2008		Juin 2008		
S	F	S	F	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	127	824	117	3787
Mn	0	620			114	1515	41	666	89	2681	447	614	0	1231	51,5	1487,5	19	103	46	956

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 classaient en qualité mauvaise alors qu'en surface ce paramètre ne déclassait 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 était jugée moyenne.

En 2008, les eaux sont également très chargées en fer. Les eaux de fond conservent le mauvais état observé depuis 2000. Le constat est identique à celui de 2007 pour la surface avec une légère détérioration en début d'année.

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

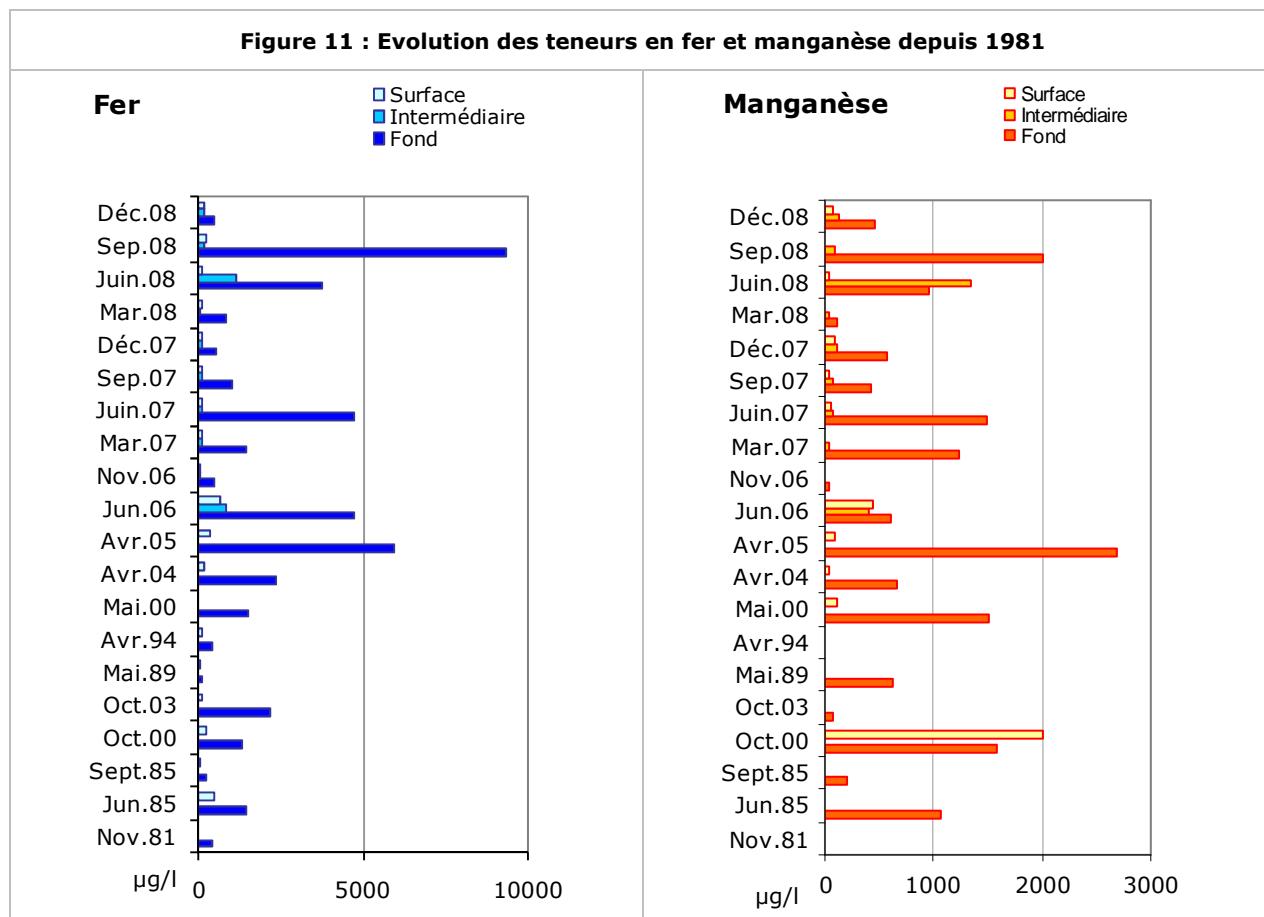
Campagne		11/81	06/85	09/85	05/89	04/94	05/00	10/00	10/03	04/04	04/05
Fer	S	TB	Mé	TB	B	B	TB	Mo	B	Mo	Mé
	F	Mé	Ma	Mo	B	Mé	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma

Campagne		06/06	11/06	03/07	06/07	09/07	12/07	03/08	06/08	09/08	12/08
Fer	S	Ma	TB	B	B	Mo	Mo	Mo	B	Mo	Mo
	F	Ma	Mé	Ma							

Classes de qualité SEQ-Plan d'Eau :



	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Fer dissous mg/l	0,05	0,125	0,25	0,5	



Au regard du SEQ-Eau version 2 (limites reprises dans le SEQ-Plan d'eau), le bore ne déclasse pas la qualité de l'eau (< 1000 µg/l). Par contre, l'aluminium constitue un élément déclassant de la qualité de l'eau de surface (< 200 µg/l et pH>6,5) au mois de juin contrairement aux années précédentes. Cette valeur révèle une acidité temporaire (faisant passer à l'état moyen) qui a un impact sur la toxicité des eaux vis-à-vis des poissons. En l'occurrence, la piscifaune étant réduite en diversité et de faible intérêt, ce déclassement ne paraît pas de nature réellement péjorative dans le cas de la Manzo. 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.

5.1.7. Micropolluants organiques

Les dosages de micropolluants organiques ont été effectués en juin 2006, en mars 2007 et 2008 au niveau du barrage (point de plus grande profondeur) sur un prélèvement intégré.

De plus, la dernière campagne de 2008 a fait l'objet d'investigations complémentaire au niveau des anses pour valider l'absence de micropolluants organiques sur l'intégralité du plan d'eau.

En mars 2007 et 2008, 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.

Au niveau des anses, les analyses 2008 ont mis en avant l'absence totale de chlordécone. Désormais, il semble possible d'affirmer avec plus d'assurance, que le plan d'eau de la Manzo est exempt de contamination au chlordécone à ce jour.

Cependant, d'autres pesticides appartenant aux familles des carbamates (trimethacarbe : insecticide molluscicide) et des azoles (herbicide à faible rémanence) ont été détectés à des taux faibles qui laissent penser à une contamination issue d'un usage local mais sans doute assez récente.

Tableau 15. Résultats d'analyses des micropolluants organiques relevées en mars 2007.

Paramètres	Unités	Mars 2007 – Mars 2008 Intégré	Juin 2006 Intégré	Décembre 2008 Anse 1 Anse 2
Hexazinone (Herbicides Triazinones)	µg/l	Non détecté	< 0.050 détecté	Non détecté
Chlordécone (Pesticides)	µg/l	Non détecté	< 0.010 non détecté	Non détecté
Organohalogénés volatils OHV (44 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés	Non détectés
Glyphosate, AMPA Glufosinate (3 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés	Non détectés
Herbicides formes ester (16 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés	Non détectés
Pesticides (347 molécules analysées)	µg/l	Non détectés	Non détectés	Non détectés
- dont Chlordécone	µg/l	Non détecté	Non détecté	Non détectés
- dont Hexazinone	µg/l	Non détecté	Détecté	Non détectés
- dont carbamates	µg/l	Non détecté	Non détecté	Anse 1 : 3,4,5-trimethacarbe : 0,021
- dont azoles	µg/l	Non détecté	Non détecté	Anse 1 : Imazaméthabenz méthyl : 0,11

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

5.1.8. Bactériologie

En 2008, deux campagnes d'analyse bactériologique ont été réalisées en mars et en décembre. Sur les quatre paramètres mesurés, trois n'ont pas pu être fournis par le laboratoire en mars. Seuls les résultats du dosage des salmonelles nous ont été transmis. Pour la campagne de décembre, toutes les analyses ont été menées.

Comme 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 2008 et 2007 et bonne en juin 2006.

Tableau 16. Résultats d'analyses bactériologiques relevées de 2006 à 2008

Paramètres	Unités	Décembre 2008 Intégré	Mars 2008 Intégré	Mars 2007 Intégré	Juin 2006 Intégré	Valeurs limites de « Bonne » aptitude du SEQ-Eau ^A
Coliformes totaux	n/100 ml	0	-	36	150]50-500] ^a
Escherichia Coli	n/100 ml	0	-	0	46	< 20 000 ^a
Entérocoques	n/100 ml	0	-	0	< 15	< 10 000 ^a
Salmonelles sp	n/5l	0	0	0	0.0	

5.2. 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.

L'analyse physico-chimique des sédiments a été menée en mars 2008. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-après et comparés aux données des campagnes précédentes de septembre 2007 et juin 2006.

5.2.1. Granulométrie

Les sédiments de la retenue de La Manzo se caractérisent par une granulométrie très fine lors des trois campagnes en mars 2008, septembre 2007 et juin 2006.

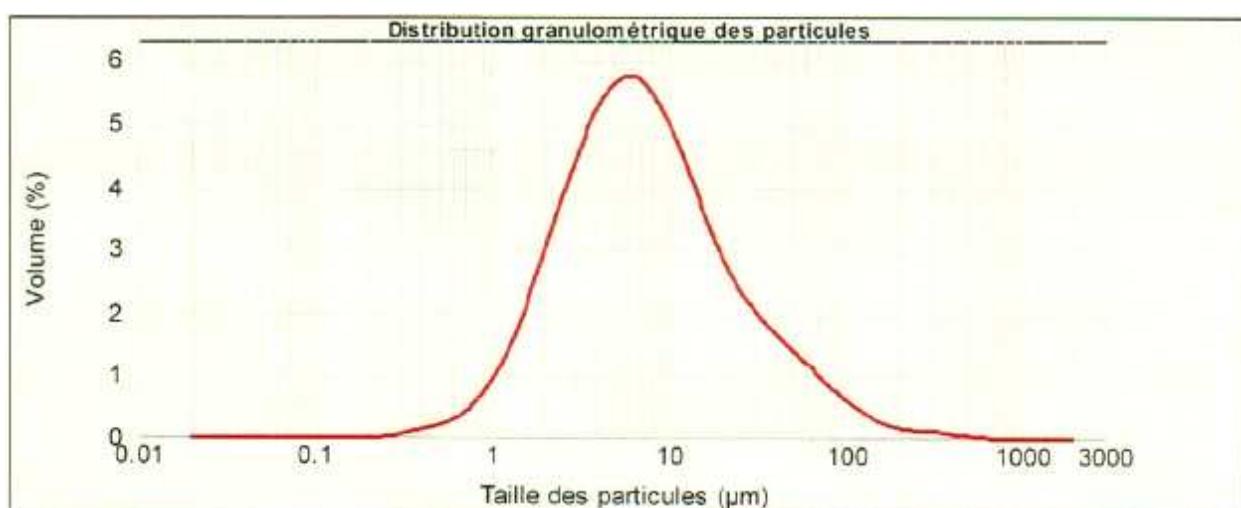
En 2008, la moyenne en volume est de 16,264 µm, valeur très proche de celle de 2007. 90% du volume des particules sédimentaires sont en deçà de 36,634 µm.

L'analyse granulométrique laser présentée ci-après montre la prédominance d'éléments très fins de 2 à 35 µm en juin 2006 avec une moyenne en volume de 28,139 µm, en septembre 2007 de 2 à 12 µm avec une moyenne en volume de 16,288 µm, et de 2 à 10 µm en mars 2008.

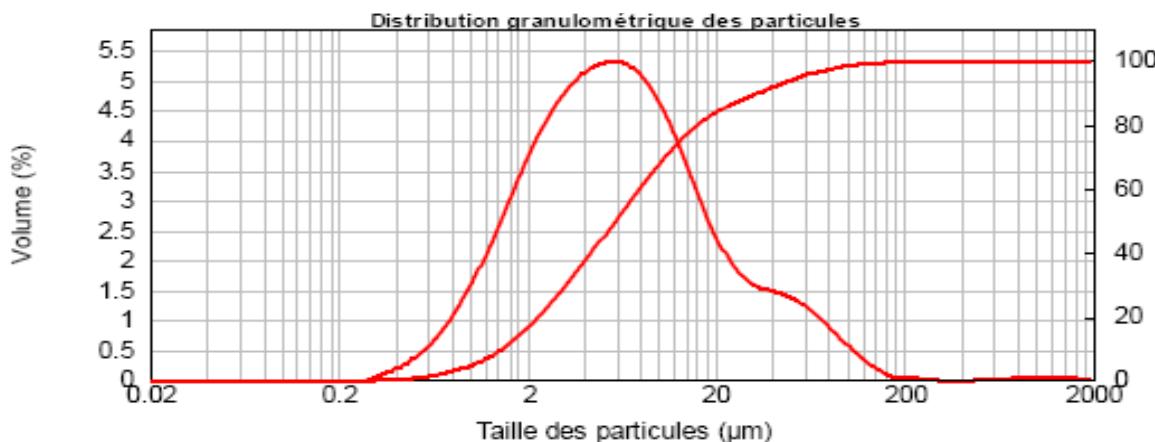
En 2007, le refus de tamisage à 2 mm a retenu que 10% du sédiment brut alors qu'en 2006 et 2008 il n'a pas permis d'isoler de particules supérieures à 2 mm.

Figure 12 : Distribution granulométrique des particules

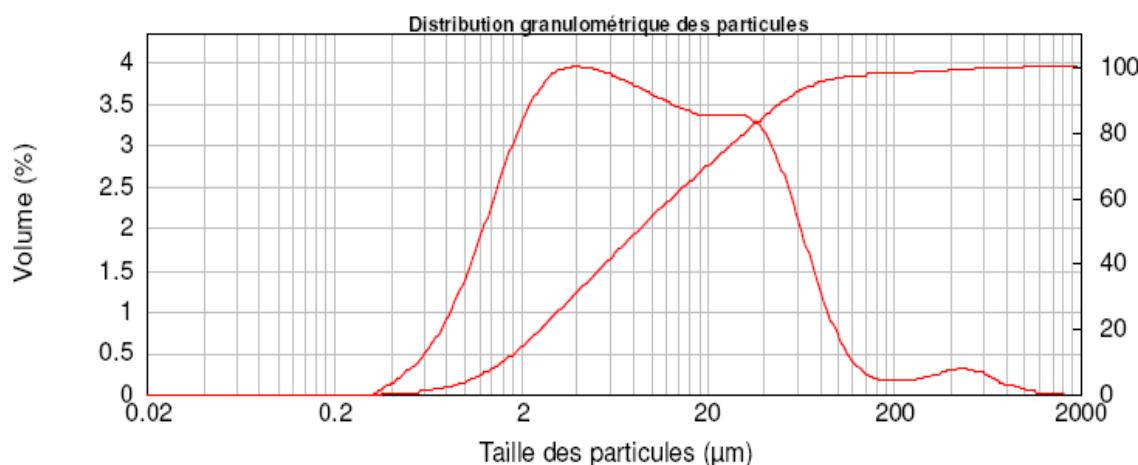
Mars 2008



Septembre 2007



Juin 2006



5.2.2. Physico-chimie des sédiments bruts

Les données de 2007 ont permis de constater les concentrations élevées de certains métaux tels que l'aluminium, le fer, et dans une moindre mesure le manganèse. 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 induisait 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 diphenylétherbromés. 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.

Les analyses de 2008 mettent en évidence :

- Une constance dans la texture du sédiment en particulier entre 2007 et 2008. L'humidité avoisine 72 à 74% MB. La composante minérale représente environ 85 % MS, ce qui laisse 15% MS à la composante volatile.
- une nette augmentation des teneurs des métaux fer et manganèse
 - En juin 2006 : 58 212,8 mg/kg MS de fer total et 1452,7 mg/kg MS de manganèse total
 - En septembre 2007 : 68 386,7 mg/kg MS de fer total et 1816,8 mg/kg MS de manganèse total
 - En mars 2008 : 145 474 mg/kg MS de fer total et 4062,8 mg/kg MS de manganèse total

Une origine géologique de ces métaux est avancée. Les fortes concentrations dans les eaux brutes du barrage s'expliquent d'une part par un phénomène de relargage sédimentaire en milieu acide, comme précisé précédemment. Néanmoins, il semble que les échanges à l'interface eau-sédiment du barrage en particulier pour ces composés métalliques soient beaucoup plus complexes. En six mois, les teneurs sédimentaires ont doublé ce qui introduit les possibilités d'une interaction orientée de la phase liquide vers la phase solide par un phénomène de précipitation. Dans le cas du fer, ce composé se caractérise par une grande capacité d'adsorption des substances chimiques en raison de sa réactivité. Par exemple, le cycle du fer est couplé au cycle du phosphate dans les lacs et les espèces du fer jouent un rôle significatif dans l'immobilisation des phosphates dans les sols. Dans notre cas, ce processus est suspecté du fait de l'absence de phosphates dans les eaux.

En complément du relargage, l'augmentation des teneurs de ces composés (Cf. 5.1.6) près de l'interface eau-sédiment est à mettre en relation avec les conditions d'oxydo-réduction qui règnent au fond au contact des sédiments. Il a été montré que, sous certaines conditions, fer et manganèse ne sont stables que sous forme solide oxydées, MnO₂ et FeOOH, la concentration des formes solubles étant inférieure à 1 µg/l. Par contre, un abaissement du potentiel redox, conséquence d'une diminution de la concentration en oxygène entraîne une augmentation en manganèse et fer solubles Mn²⁺ et Fe²⁺. Ce phénomène serait particulièrement intense au niveau du barrage, la stratification des eaux par rapport à l'oxygène se maintenant toute l'année avec une concentration proche de 2 mg/l au fond.

Dans un deuxième temps, un phénomène de précipitation de ces éléments au dessus de l'interface s'opère. Cette précipitation peut être d'origine biologique (action des micro-organismes) ou chimique (réaction avec le phosphate du fer par exemple). Ce phénomène s'accentue de lui-même, ces métaux solubles s'absorbant sur des particules de précipité et s'accumulant dans le sédiment.

- Une constance dans la teneur des autres métaux, le sédiment présente une bonne qualité pour tous ces composés à l'exception du cuivre qui demeure en qualité moyenne.
- Une constance dans la teneur de l'azote kjeldahl
- Une augmentation dans la charge organique (azote organique, carbone organique)
- Une absence de pesticides

Les composés chimiques polybromodiphényléthers (PBDE) ont augmenté en mars 2008 pour atteindre la teneur de 0,738 µg/kg MS. La grille Seq-Eau V2 donne les classes de qualité pour la forme chimique des pentabromodiphényléthers. Cette grille confère une très bonne qualité aux sédiments de la retenue de la Manzo. Ces produits sont connus pour leur utilisation dans l'industrie pour leurs propriétés ignifugeantes. Ils entrent dans la fabrication de nombreux produits comme les matériaux de construction, les pièces automobiles, etc.

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.

De même en 2008, ce rapport s'établit à 0,28 indiquant encore le dépôt récent de matière organique d'origine algale.

Tableau 17. Résultats d'analyses des sédiments de la retenue de La Manzo de 2008 à 2006

Paramètres	Unités	juin-06	sept-07	mars-08	Source
Siccité					
Refus de tamisage 2 mm	% brut	0.0	10	<1	-
Matières sèches	% MB	45.57	26.13	28.1	
Humidité	% MB	54.43	73.87	71.9	
Matières volatiles	% MS	11.14	16.38	14.17	
Matières minérales	% MS	88.86	83.62	85.83	
Matières volatiles	% MB	5.08	4.28	3.98	
Matières minérales	% MB	40.49	21.85	24.12	
Valeur agronomique					
Azote total (N)	% MS	0.13	0.31	0.6	
Azote organique (N)	% MS	0.13	0.31	0.6	
Phosphore total (P205)	% MS	< 0.06	< 0.06	0.59	
Azote total (N)	% MB	0.06	0.08	0.17	
Azote organique (N)	% MB	0.06	0.08	0.17	
Phosphore total (P205)	% MB	< 0.03	< 0.02	0.17	
Analyses physico-chimiques de base					
Carbonates	g/kg	9.0	4.2	27	
Carbone organique	% MS	2.04	5.43	49.6	
Cyanures totaux (CN) sur extrait aqueux	mg/kg MB	< 0.5	< 0.5	< 0.5	
Azote Kjeldahl	mg/kg MS	1.1	108	97	
Anions					
Azote nitreux	mg/kg MS	-	<0,1	<0,1	
Nitrates lixiviables	mg/kg MS	-	10	< 10	
Métaux					
Aluminium total	mg/kg MS	77 274	50 371	48 223	
Aluminium total	mg/kg MB	35 214	13 162	13 550,00	
Arsenic total	mg/kg MS	< 5.15	< 5.10	< 2.5	Seq-Plan d'eau
Arsenic total	mg/kg MB	< 2.35	< 1.33	< 0.7	Seq-Plan d'eau
Cadmium total	mg/kg MS	< 0.5	< 0.5	< 0.5	Seq-Plan d'eau
Cadmium total	mg/kg MB	< 0.2	< 0.13	< 0.14	Seq-Plan d'eau
Chrome total	mg/kg MS	12.4	2	5.0	Seq-Plan d'eau
Chrome total	mg/kg MB	6	0.52	1.4	Seq-Plan d'eau
Cuivre total	mg/kg MS	113.3	137.3	127.6	Seq-Plan d'eau
Cuivre total	mg/kg MB	52	36	35.8	Seq-Plan d'eau
Fer total	mg/kg MS	58 212.8	68 386.7	145 474	
Fer total	mg/kg MB	26 527.6	17 869.4	40 878.2	
Manganèse total	mg/kg MS	1 452.7	1 816.8	4 062.8	
Manganèse total	mg/kg MB	662.0	474.7	1 141.6	
Mercure total	mg/kg MS	0.041	0.097	0.070	Seq-Plan d'eau
Mercure total	mg/kg MB	0.019	0.025	0.019	Seq-Plan d'eau
Nickel total	mg/kg MS	< 2.6	5.1	4.0	Seq-Plan d'eau
Nickel total	mg/kg MB	< 1	1	1.1	Seq-Plan d'eau
Plomb total	mg/kg MS	< 5	12	13.6	Seq-Plan d'eau
Plomb total	mg/kg MB	< 2.3	3.1	3.8	Seq-Plan d'eau
Sélénum total	mg/kg MS	< 10.3	< 10.2	< 5	
Sélénum total	mg/kg MB	< 4.7	< 2.7	< 1.4	
Zinc total	mg/kg MS	76.2	102.1	96.9	Seq-Plan d'eau
Zinc total	mg/kg MB	35	27	27.2	Seq-Plan d'eau
Aluminium lixiviable	mg/kg MS	-	13.7	27.2	Seq-Plan d'eau
Fer lixiviable	mg/kg MS	-	57.3	402.4	Seq-Plan d'eau

Manganèse lixiviable	mg/kg MS	-	18.6	9.7	Seq-Plan d'eau
COV : composés organiques volatiles					
BTEX : hydrocarbures aromatiques et	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	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Pesticides					
Pesticides azotés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Atrazine	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Simazine	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Pesticides organochlorés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlordécone	µg/kg MS	Non détecté	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Pesticides organophosphorés	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlorfenvinphos	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Chlorpyriphos	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Endosulfan	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Lindane (HCH gamma)	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Carbamates	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Amides	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Alachlore	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Anilines	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Trifluraline	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
Urées substituées	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Diuron	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
- dont Isoproturon	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
PCB : Polychlorobiphényles					
PCB par congénères	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	Seq-Plan d'eau
PBDE : Diphenylétherbromés					
Somme 13 PBDE	µg/kg MS	0.121	0.318	0.738	Seq-Eau
Somme des penta BDE99 et 100	µg/kg MS	0.028	0.072	0.143	Seq-Eau
Dérivés du benzène					
Chlorobenzènes	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	
Dérivés du phénol					
Chlorophénols	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	
Alkylphénols	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	
Phtalates					
Phtalates	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	
Organométalliques					
Organostanneux	µg/kg MS	Non détectés	Non détectés	Non détectés	
Eau interstitielle					
Azote N	mg/l	< 1.7	4.6	13.9	Seq-Plan d'eau
Nitrites NO2	mg/l	0.01	< 0.1	<0,02	
Nitrates NO3	mg/l	< 0.1	0.3	1,3	
Ammoniaque NH4	mg/l	1.8	4.6	16.5	Seq-Plan d'eau
Phosphates PO4	mg/l	0.005	?	?	Seq-Plan d'eau
Phosphore P	mg/l	0.03	<0.5	0,16	Seq-Plan d'eau
Aluminium Al	mg/l	0.062	?	?	
Fer Fe	mg/l	4.18	16	59	Seq-Plan d'eau
Manganèse Mn	mg/l	4.13	5.8	3.85	Seq-Plan d'eau

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

5.2.3. Physico-chimie de l'eau interstitielle

Le fait marquant de la campagne de 2008 est la dégradation de la qualité des eaux interstitielles par rapport aux composés azotés. Ainsi, l'augmentation constatée en 2007 de la concentration en azote N et en ammoniacal se retrouve en 2008. Toutefois, elle est beaucoup plus forte et elle déclasse ce compartiment en qualité moyenne pour l'azote N avec 13,9 mg/l et mauvaise pour l'ammoniacal avec 16,5 mg/l selon le SEQ-Plan d'eau. Cette situation corrobore à nouveau 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 apparaissait 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'indiquaient pas de différence dans la diffusion de ces composés.

En 2008, les tendances d'évolution pour ces deux composés s'inversent. On observe une baisse de la teneur en manganèse qui classe malgré tout l'eau interstitielle en qualité médiocre. La teneur en fer continue à augmenter, elle atteint 59 mg/l et traduit comme en 2007 la mauvaise qualité de l'eau interstitielle.

Tableau 18. Concentrations physico-chimiques relevées en septembre 2007 sur les eaux (surface et fond) et sur les sédiments de la retenue de La Manzo

Mars 2008									
	Azote N	Nitrites NO2	Nitrates NO3	Ammoniacal NH4	Phosphates PO4	Phosphore P	Aluminium Al	Fer Fe	Manganèse Mn
Eau-surface	< 1 mg/l N	0 mg/l NO2	< 0.3 mg/l NO3	< 0.05 mg/l NH4	< 0.05 mg/l PO4	0.015 mg/l P	20 µg/l	127 µg/l	19 µg/l
Eau-fond	< 1 mg/l N	0 mg/l NO2	< 0.03 mg/l NO3	0.2 mg/l NH4	< 0.05 mg/l PO4	0.014 mg/l P	5 µg/l	824 µg/l	103 µg/l
Sédiments-eau interstitielle	13.9 mg/l	< 0.02 mg/l	1.3 mg/l	16.5 mg/l	- mg/l	0.16 mg/l	- mg/l	59 000 µg/l	3 850 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

Septembre 2007									
	Azote N	Nitrites NO2	Nitrates NO3	Ammoniacal 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	< 0.1 mg/l	0.3 mg/l	4.6 mg/l	- mg/l	<0.5 mg/l	- 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	Ammoniacal 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

5.3. Caractérisation biologique du plan d'eau

5.3.1. Invertébrés Oligochètes

Des prélèvements de sédiments analysés en juin 2006 n'ont pas révélé de présence de vers Oligochètes, employés fréquemment en zone tempérée comme indicateur biologique (E.O.S.2³) de la qualité des plans d'eau.

Le second prélèvement réalisé en septembre 2007 avait validé ce résultat. Aucun indice n'avait pu être calculé. En conséquence les investigations n'ont pas été réitérées.

5.3.2. 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.

³ 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.

5.3.2.1. Méthodologie

5.3.2.1.1. 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 à l'Agence ASCONIT Centre-Auvergne (63) pour analyses en 2008.

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 3).

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).

5.3.2.1.2. 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)⁴, 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 sédimer pendant 24 heures dans une chambre de sédimentation Hydro-Bios. Les dénombremens 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 Olrik et al. (1998)⁵, 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 sédimerter,

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 3 sous forme de tableau avec la densité de chaque taxon, exprimée en nombre d'algues et de cellules par millilitre.

⁴ UTERMÖHL H., (1958). "Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik". Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38.
⁵ OLRIK, K., P. BLOMQUIST, et al. (1998). "Methods for quantitative assesment of phytolankton in freshwater". Stockholm.

5.3.2.2. 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.

5.3.2.2.1. 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 19. Concentrations en chlorophylle *a* dans le barrage de la Manzo.

	Mars 2008	Juin 2008	Sept. 2008	Déc. 2008	Moyenne annuelle
Chl a ($\mu\text{g/l}$)	5,8	3,5	4,4	3,8	4,37
Phéopigments ($\mu\text{g/l}$)	10	12,7	2,6	1,8	6,77
Total	15,8	16,2	7,0	5,6	11,04
	Mars 2007	Juin 2007	Sept. 2007	Déc. 2007	Moyenne annuelle
Chl a ($\mu\text{g/l}$)	100	63	8	9,1	45,03
Phéopigments ($\mu\text{g/l}$)	19	0	14	5,6	9,65
Total	119	63	22	14,7	54,68

Les concentrations en chlorophylle *a* sont relativement faible en 2008. Elles restent stables au cours des quatre campagnes d'échantillonnage, la valeur maximale de 5,8 $\mu\text{g/l}$ (contre 100 $\mu\text{g/l}$ en mars 2007) étant enregistrée en mars (début de période de Carême) et la minimale de 3,5 $\mu\text{g/l}$ en juin. Le barrage de la Manzo s'avère de « bonne » qualité si l'on se réfère aux valeurs seuils des classes de qualité du SEQ-Plan d'eau pour le paramètre chlorophylle *a* et phéopigments (moyenne estivale intégrée).

En 2007, elles étaient élevées et diminuaient nettement au cours des campagnes d'échantillonnage d'hivernage (septembre et décembre). La valeur maximale de 100 $\mu\text{g/l}$ était enregistrée en mars (début de période de Carême) et la minimale de 8 $\mu\text{g/l}$ en septembre.

Avec une valeur moyenne annuelle de **54,68 $\mu\text{g/l}$** , le barrage de la Manzo s'avérait de « mauvaise » qualité.

En 2006, la valeur moyenne de 18,96 $\mu\text{g/l}$ traduisait déjà une biomasse conséquente.

5.3.2.2.2. 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.

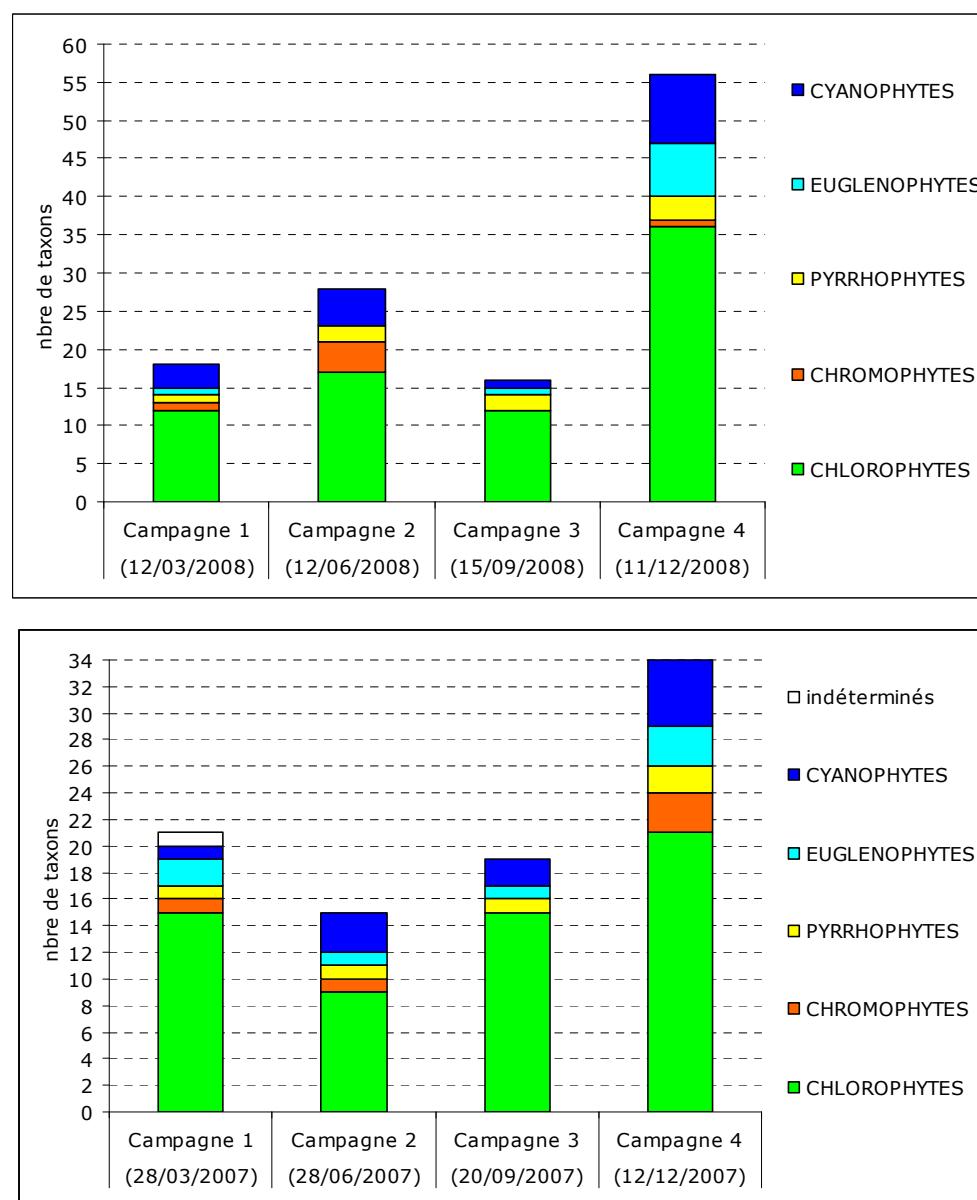
Comme en 2007, les différents taxons identifiés dans le barrage de la Manzo en 2008, se répartissent principalement dans l'embranchement des Chlorophytes (algues vertes), des Cyanophytes (ou

Cyanobactéries : algues bleues), et dans une moindre mesure des Chromophytes, des Euglénophytes et des Pyrrhophytes.

Les différents taxons identifiés sont répertoriés dans le tableau situé en annexe 3.

La Erreur ! Source du renvoi introuvable. illustre la richesse taxonomique de chaque grand groupe considéré aux différentes dates de prélèvement.

Figure 13. Richesse taxonomique du phytoplancton dans le barrage de la Manzo en 2007 - 2008



Avec moins d'une trentaine de taxons seulement répertoriés en 2008, la richesse taxonomique moyenne (nombre de taxons présents) du phytoplancton du plan d'eau de la Manzo est relativement faible. En décembre, cette richesse taxonomique augmente considérablement. 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.

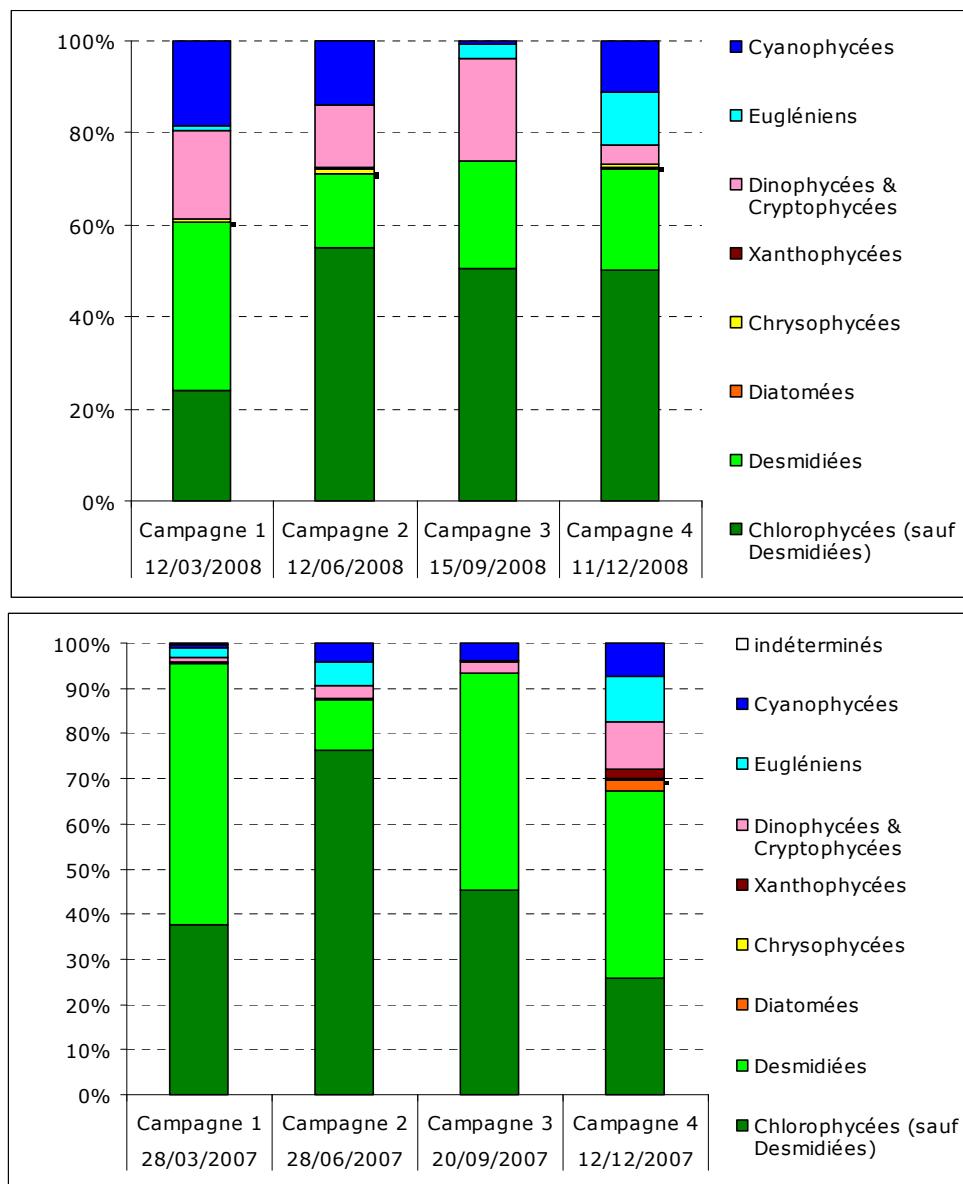
Globalement, la richesse taxonomique oscille entre 16 et 56 taxons. Les Chlorophycées montrent la plus forte diversité taxonomique (> 30 taxons en décembre). Les Cyanophycées sont représentées par

1 à 9 taxons. Enfin, les Chromophytes, Euglénophytes et Pyrrhophytes sont accessoires, avec 1 à 7 taxons observés pour chaque groupe.

C'est au cours de la dernière campagne de Décembre que la plus grande richesse a été enregistrée (56 taxons), tous les groupes algaux sont représentés.

En 2007, une trentaine de taxons avaient été inventoriée.

Figure 14. Abondance relative des différents groupes d'algues en 2007 - 2008



Entre le mois de mars et le mois de décembre 2008, la communauté phytoplanctonique est très largement dominée par les Chlorophycées. Au cours des quatre campagnes, ces dernières représentent, en moyenne, 69,4% de l'abondance totale (dont 24,4% de Desmidiées). Leur proportion est cependant moins importante lors de la première 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 (Genres *Cosmarium* et *Staurastrum*) dominent le peuplement en mars. 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. Le genre *Peridinium* (Dinophycées) est très présent lors des campagnes de mars et de septembre.

Alors que la Chlorococcale *Botryococcus braunii* est l'espèce dominante en juin et en septembre (respectivement 42,1 et 31,9% du peuplement), *Cosmarium sp.1* domine en mars (24,1%) et *Apodochloris simplicissima* en décembre (23,8 %). On note la disparition totale de *Botryococcus braunii* lors de la dernière campagne.



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, l'abondance relative des Cyanophytes est comprise entre 10 et 20% en mars, juin et décembre alors qu'elle est inférieure à 1% en septembre. Les cyanophycées sont représentées par des espèces non toxiques : *Aphanocapsa sp*, *Limnothrix sp.*, *Leptolyngbya sp.*, *Merismopedia sp...* Signalons toutefois la présence (jusqu'à 8% en mars) du taxon potentiellement toxique *Microcystis sp.* Quand aux Euglenophytes (second groupe « marqueur » d'eutrophisation), ils représentent en moyenne, moins de 5% du peuplement algal lors des trois premières campagnes, et atteignent 11% en décembre.

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

Détails de la composition phytoplanctonique par campagne de prélèvement :

En mars : la richesse taxonomique est modérée (18 taxons répertoriés en mars 2008). L'importance des Chlorophytes, avec la dominance de taxons nobles appartenant aux Desmidiées (*Staurastrum*, *Cosmarium*) suggèrent que cette retenue serait modérément eutrophisée. Cependant, l'abondance relativement élevée des Cyanobactéries (18,3%) à cette période de l'année, suggère que les conditions climatiques (températures douces, absence de vent, ...) et les paramètres physico-chimiques aient réuni les conditions favorables au développement de ces organismes. Les Pyrrhophytes représentent 19,3% du peuplement avec le genre *Peridinium*. Les Chromophytes et les Euglénophytes sont accessoires (moins de 3% du peuplement).

En juin : la richesse taxonomique en juin est toujours modérée (28 taxons répertoriés). L'importance des Chlorophytes, avec la dominance de *Botryococcus braunii* et la présence notable de taxons nobles appartenant aux Desmidiées (*Staurastrum*, *Cosmarium*) suggèrent que cette retenue serait modérément eutrophisée. L'abondance des Cyanobactéries reste relativement élevée (13,8%) avec la forte présence de *Leptolyngbya sp.* Le genre *Peridinium* était relativement présent lors de cette campagne. Les Euglénophytes et les Chromophytes restent accessoires en juin.

En septembre : La communauté algale est très largement dominée par les Chlorophytes (73,9%). Il s'agit d'espèces habituellement inféodées aux eaux à caractère plutôt mésotrophe. Parmi ces algues vertes, la Chlorococcale *Botryococcus braunii* est la plus abondante ; elle représente 32% du peuplement. Un constat similaire a déjà été observé les années précédentes à la même période. Signalons également la présence notable de taxons appartenant aux Desmidiées (*Cosmarium sp.* et *Staurastrum sp.*) représentant 23,2 % du peuplement. Les Pyrrhophytes constituent le deuxième groupe le mieux représenté avec 22,2% du peuplement (*Peridinium sp.*). Les Cyanophytes et les Euglénophytes sont très peu représentées (<5% du peuplement). Les Chromophytes lors de cette campagne de prélèvement sont absentes.

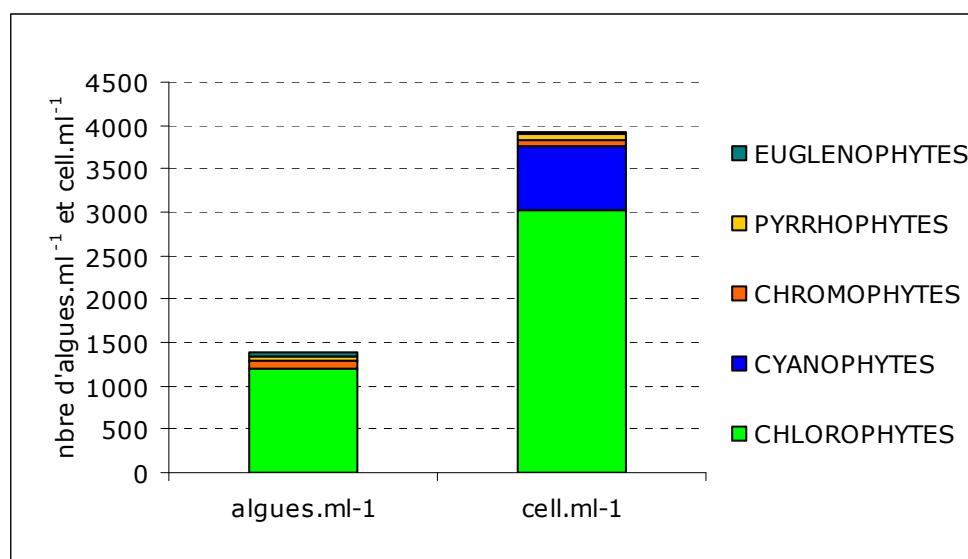
En décembre : Les Chlorophytes dominent le peuplement (72%) avec la dominance d'*Apodochloris simplicissima* (23,8%). Le taxon noble *Staurastrum tetracerum* (appartenant aux Desmidiées) représente 16,4% de l'abondance phytoplanctonique. Notons la proportion relativement importante (11,3%) des Cyanophytes (majoritairement représentées par le genre *Merismopedia*) et des Euglénophytes (*Trachelomonas volvocinopsis*) qui sont généralement caractéristiques des milieux riches en matières organiques. Les cyanophytes répertoriées sont essentiellement représentées par des taxons non toxiques. Enfin, Chromophytes et Pyrrhophytes sont accessoires ; elles représentent chacune moins de 5% de l'abondance phytoplanctonique totale.

5.3.2.2.3. Dénombrement phytoplanctonique

Une analyse quantitative a été menée en mars 2007, au niveau de la zone euphotique. La figure ci-dessous illustre les résultats obtenus (Résultats bruts en annexe 4).

La densité phytoplantonique 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 15. 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 phytoplanctonique 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, Pyrrhophytes 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.

5.3.2.2.4. Indices biologiques (I_{PL})

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

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

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

Tableau 20. Coefficients attribués aux groupes repères (Q_i), abondance relative (%), classes d'abondance relative (A_j) du phytoplancton et I_{PL} calculé

Groupes algaux	Q_i	Abondance relative (%)	A_j	$Q_i \times A_j$
Campagne 1 (12/03/2008)				
Desmidiées	1	36,6	2 (30 à ≤50 %)	2
Diatomées	3		0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5	0,6	0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	19,3	1 (10 à ≤30 %)	9
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	24,1	1 (10 à ≤30 %)	12
Cyanophycées	16	18,3	1 (10 à ≤30 %)	16
Eugléniens	20	1,1	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				37
Campagne 2 (12/06/2008)				
Desmidiées	1	16,0	1 (10 à ≤30 %)	1
Diatomées	3		0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5	1,1	0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	13,8	1 (10 à ≤30 %)	9
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	55,1	3 (50 à ≤70 %)	36
Cyanophycées	16	13,8	1 (10 à ≤30 %)	16
Eugléniens	20	0,0	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				62
Campagne 3 (15/09/2008)				
Desmidiées	1	23,2	1 (10 à ≤30 %)	1
Diatomées	3		0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5		0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	22,2	1 (10 à ≤30 %)	9
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	50,7	3 (50 à ≤70 %)	36
Cyanophycées	16	0,8	0 (0 à ≤10 %)	0
Eugléniens	20	3,2	0 (0 à ≤10 %)	0
Somme :				46
Campagne 4 (11/12/2008)				
Desmidiées	1	21,9	1 (10 à ≤30 %)	1
Diatomées	3	0,3	0 (0 à ≤10 %)	0
Chrysophycées	5	1,0	0 (0 à ≤10 %)	0
Dinophycées & Cryptophycées	9	4,2	0 (0 à ≤10 %)	0
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12	50,2	3 (50 à ≤70 %)	36
Cyanophycées	16	11,3	1 (10 à ≤30 %)	16
Eugléniens	20	11,3	1 (10 à ≤30 %)	20
Somme :				73
IPL :				
54,5				

Le calcul de l' I_{PL} révèle que le barrage de la Manzo est relativement peu dégradé. En comparaison de l'indice de 2007, on constate tout de même une légère baisse dans la qualité biologique du plan d'eau, ce dernier s'élevait à 35,5.

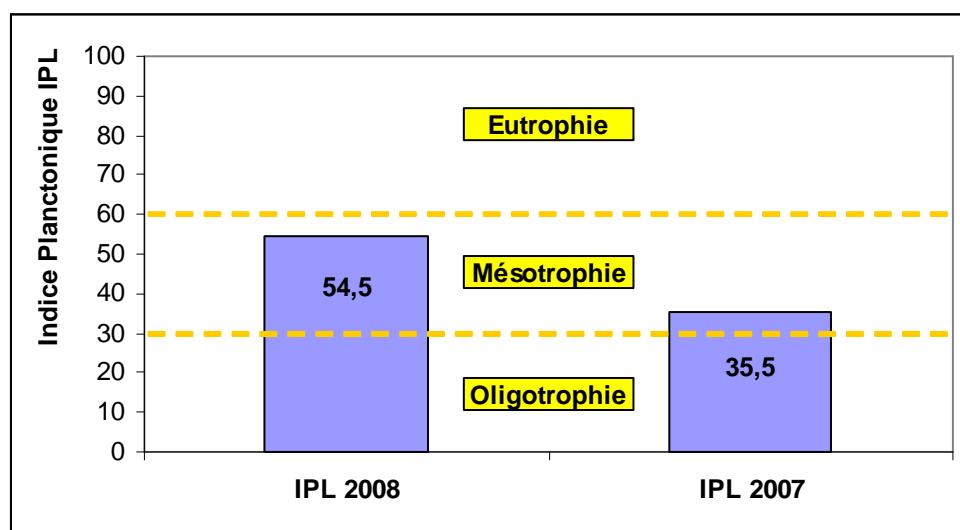
Selon les grilles du SEQ-Plan d'Eau, la valeur de l' I_{PL} montrent une eau de qualité moyenne. Elle était classée en bonne qualité en 2007.

Tableau 21. Limites de classes et classe de qualité associée 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 16. Valeur de l'Indice Planctonique (I_{PL}) et degré de trophie associé



5.3.3. Ichtyofaune

En complément de l'inventaire piscicole de novembre 2006, une expertise piscicole a été menée en mars 2008 afin d'évaluer les caractéristiques de ce compartiment dans des conditions normales de fonctionnement du plan d'eau.

Selon un protocole adapté à la norme européenne d'inventaire piscicole en milieu lacustre, 21 filets ont été disposés à quatre profondeurs en différents points du plan d'eau de manière à couvrir le mieux possible la surface totale. Les pêches se sont déroulées de nuit (pose le soir et relevé le matin) sauf pour trois filets afin de tester l'efficacité de pêche diurne. Le positionnement des filets est présenté sur la carte suivante.

Le peuplement piscicole de la Manzo selon la pêche au filet se résume à deux espèces : **le Tilapia Oreochromis mossambicus et le Gupy Poecilia sp..**

La précédente pêche (novembre 2006) n'avait fait état que de la présence du Tilapia. Cette campagne permet donc de révéler la présence d'une espèce de Poeciliidae, mais le maillage surdimensionné des filets pour cette espèce (d'une taille rarement supérieure à 3 cm) et la capture d'un seul individu ne permet pas de conclure sur l'état de la population pour le plan d'eau.

La pêche diurne s'est révélée être plus efficace que la pêche nocturne en terme de taille et poids des individus capturés. Néanmoins, la différence d'effort de pêche (nombre de filets posés) entre les deux périodes ne permet pas de tirer des conclusions pouvant témoigner du regain d'activité de Tilapias adultes de jour.

Figure 17. Positionnement des filets pour l'inventaire piscicole de mars 2008 sur le plan d'eau de la Manzo.



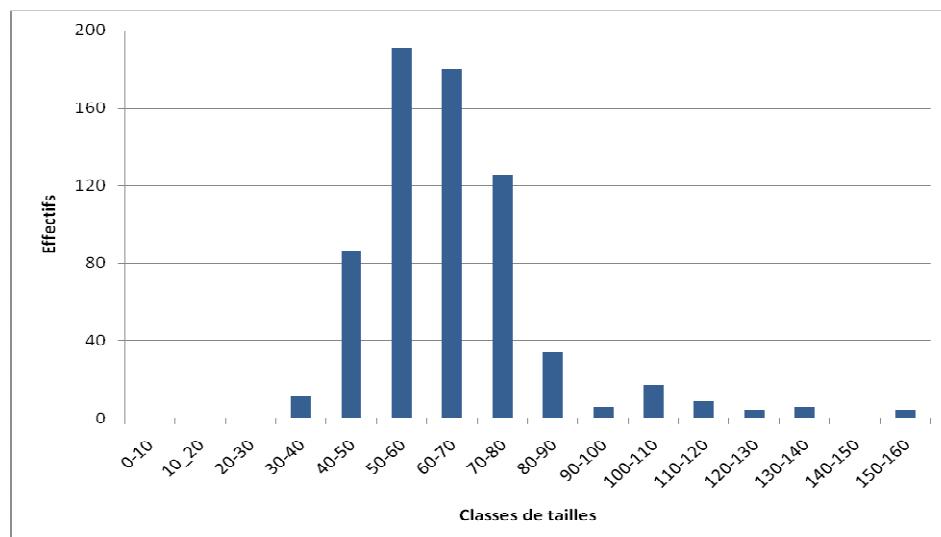
Le rendement numérique en Tilapia est de 71,3 individus pour 100 m² de filet. Le rapport entre le rendement pondéral et numérique est faible (égal à 6) révélant ainsi une population formée par de jeunes individus (faible poids). A titre informatif, les rapports calculés sur 14 lacs de métropole sont supérieurs à 30. Le fonctionnement des ces lacs n'est pas comparable à celui de la Manzo, mais ce chiffre permet tout de même de situer le type de peuplement du lac.

Tableau 22. Résultats des pêches en abondances et biomasses.

Espèces 2006	Nombre	Masse (g)	Abondance Numérique (%)	Abondance pondérale (%)	Rendement numérique (nbre /100 m ² filet)	Rendement pondéral (g/100 m ² filet)
Tilapia	61	1047	100	100	22,6	388
<hr/>						
Espèces 2008	Nombre	Masse (g)	Abondance Numérique (%)	Abondance pondérale (%)	Rendement numérique (nbre /100 m ² filet)	Rendement pondéral (g/100 m ² filet)
Tilapia	674	3993,9	99,9	100	71,3	422,6
Poeciliidae	1	0,9	0,1	0	0,1	0,1
Total	675	3994,8	100	100	71,4	422,7

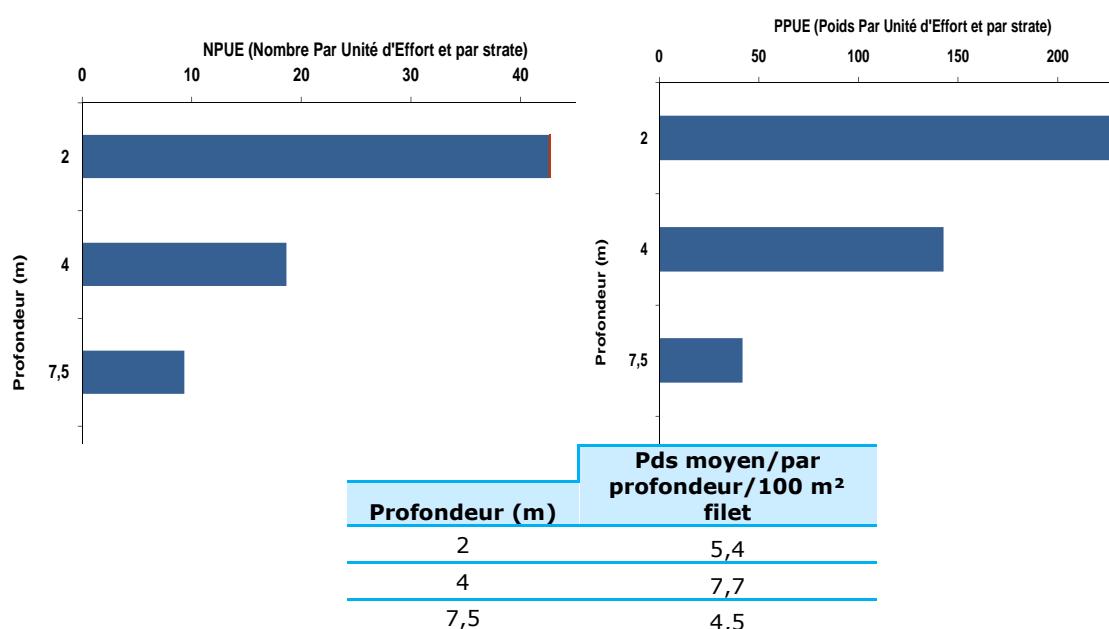
La population est majoritairement représentée par des individus de tailles comprises entre 50 et 80 mm. Les individus de grande taille sont peu nombreux (une dizaine en effectif pêché). L'espèce ayant une reproduction continue, la distribution des classes de tailles ne permet pas d'identifier des cohortes et donc de connaître l'âge des individus.

Figure 18. Distribution en classes de taille des Tilapia, en mars 2008.



La couche de surface, entre 0 et 2 m, abrite la plus forte proportion et biomasse de poissons. Cette distribution peut s'expliquer par le fait que les filets ont été posés au niveau du rivage où la densité de cache apportée par les branchages est importante. Le milieu était donc propice au développement des jeunes individus. Par ailleurs, la biomasse relative des individus pour une surface donnée est la plus importante à la profondeur de 13,50 m, et ceci malgré la faible concentration en oxygène de l'eau à cette profondeur (ce sont donc des individus plus gros et plus âgés qui sont moins sensibles aux conditions biologiques difficiles du milieu).

Figure 19. Distribution en abondance et biomasse des Tilapia en fonction de la profondeur.



13,5 11,5

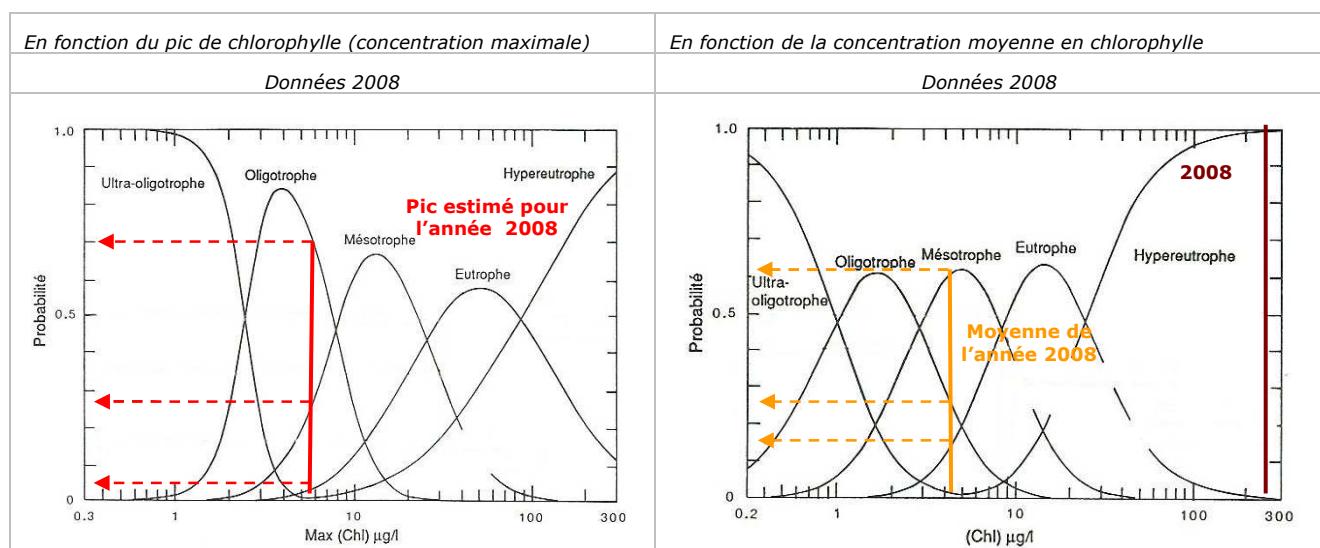
5.4. Degré de trophie du plan d'eau

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.

5.4.1. Les descripteurs

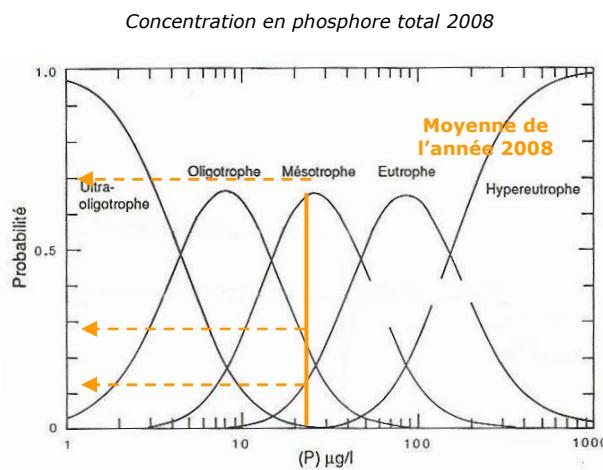
Après l'intégration des variables obtenues en 2008, le système « fixe » de classification de l'OCDE qualifie le barrage de la Manzo en plan d'eau **mésotrophe** avec 61% de probabilité en fonction de la chlorophylle a en concentration moyenne en Chla (4,4 µg/l) et **oligotrophe** à 69% en concentration maximale de chlorophylle a (5,8 µg/l).

Figure 20. 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 2008



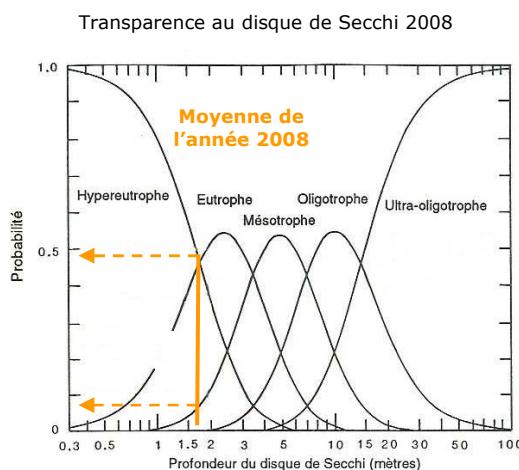
Le paramètre Phosphore total classe la retenue au stade **mésotrophe** avec une probabilité de 65 %.

Figure 21. 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 2008



La transparence moyenne annuelle constitue le seul paramètre qui classe en limite hypereutrophie-eutrophie avec une probabilité de 47 %.

Figure 22. 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 2008



Ce système attribue en 2008 un **stade global mésotrophe** au barrage de la Manzo. Alors qu'en 2007, la tendance était d'avantage à l'**hyper-eutrophie** avec des eaux très productives mais néanmoins peu chargées en nutriments. Il se dégageait ainsi une utilisation optimale de ces nutriments par la microflore.

Tableau 23. Etat trophique de la retenue de La Manzo en 2007 et 2008 selon le système « fixe » de classification de l'état trophique de l'OCDE (OCDE, 1982).

Degré de trophie	Valeurs seuils OCDE					Asconit mars 2008		Asconit juin 2008		Asconit septembre 2008		Asconit décembre 2008		Asconit moy. 2008	
	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 ($\mu\text{g/l}$)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	15	Oligotrophe	68	Eutrophe	< 5	Oligotrophe	< 5	Oligotrophe	23,3	Mésotrophe
CHL moyenne ($\mu\text{g/l}$)	< 1	< 2,5	2,5-8	8-25	> 25	5,8	Mésotrophe	3,5	Mésotrophe	4,4	Mésotrophe	3,8	Mésotrophe	4,4	Mésotrophe
CHL maximum ($\mu\text{g/l}$)	< 2,5	< 8	8-25	25-75	> 75	5,8	Mésotrophe							5,8	Mésotrophe
Secchi moyenne (m)	> 12	> 6	6-3	3-1,5	< 1,5	1,85	Eutrophe	1,1	Hyper-eutrophe	1,5	Hyper-eutrophe	2,2	Eutrophe	1,7	Hyper-eutrophe
Secchi minimum (m)	> 6	> 3	3-1,5	1,5-0,7	< 0,7			-		-					

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 ($\mu\text{g/l}$)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	11	Mésotrophe	65	Eutrophe	17	Mésotrophe	< 5	Oligotrophe	24,5	Mésotrophe
CHL moyenne ($\mu\text{g/l}$)	< 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 ($\mu\text{g/l}$)	< 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					Asconit 2008						
Etats trophiques	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper	Ul.-Oligo	Oligo	Méso	Eutro	Hyper		
Concentration en Chlorophylle a			2%	20%	78%		25	61	14			
Pic prédict de Chlorophylle a			2%	44%	54%		69	27	4			
Concentration en Phosphore total		22%	65%	13%			23	65	12			
Transparence (Secchi)			5%	38%	57%			6	47	47		

Tableau 24. 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 ($\mu\text{g/l}$)	< 4	< 10	10-35	35-100	> 100	85	Eutrophe	< 40	Mésotrophe	Non disponible	-	< 50	Mésotrophe	< 50	Mésotrophe
CHL moyenne ($\mu\text{g/l}$)	< 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 ($\mu\text{g/l}$)	< 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 prédict 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%	

5.4.2. Approche fonctionnelle

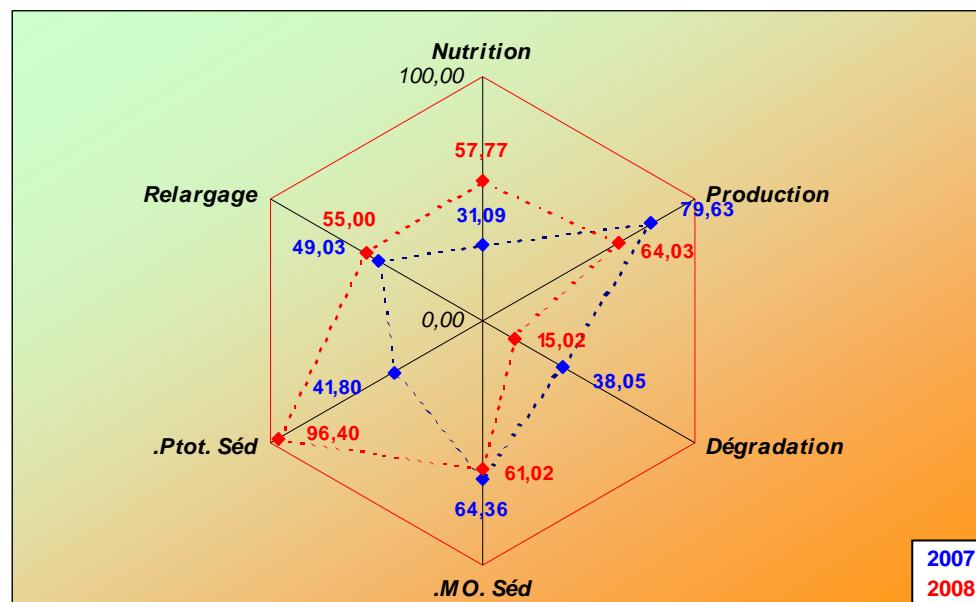
L'interprétation de la diagnose rapide (Cemagref, 2003) s'appuie sur plusieurs types d'indices basés sur un ou plusieurs paramètres pour refléter les aspects fonctionnels du plan d'eau. Ils sont de nature physico-chimique ou biologique.

Six indices principaux (Annexe 5) 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 et en 2008 assure une certaine fiabilité pour le calcul des différents indices. Cela permet ainsi d'apprécier avec plus de justesse le fonctionnement trophique de la retenue sur deux années de données.

Le produit de ces calculs est présenté dans le graphique en radar (Figure 23). Cette présentation permet d'avoir une vision synthétique des différents indices qui font parfois appels à des métriques (données initiales) se recouplant. 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 23. Approche fonctionnelle des phénomènes de trophie sur la Manzo en 2007 et 2008



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 intersticielle, Indice Ammonium Eau intersticielle » 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 liée 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.

En 2008, les deux indices Stockage des minéraux « Ptotal du sédiment » et Dégradation « Consommation journalière en O₂ dissous » sont principalement responsables de la dissymétrie du graphique. Ceci montre le stockage important du phosphore dans le sédiment mis en évidence en mars 2008 et une diminution de la consommation journalière en oxygène.

Les deux autres indices sédimentaires Stockage de la matière organique « Perte au feu du sédiment » et Relargage « Indice Ptotal Eau intersticielle, Indice Ammonium Eau intersticielle » demeurent très stables par rapport à 2007.

L'indice Production « Indice Pigment chlorophyllien et Indice Transparence » indique un ralentissement de la production du plan d'eau mais qui reste tout de même à des niveaux élevés.

L'indice Nutrition « Indice Ptotal et Indice Ntotal ») augmente nettement et indique un plan d'eau mésotrophe.

La diagnose 2008 montre globalement une bonne concordance entre les différents indices fonctionnels, excepté le stockage des minéraux dans le sédiment. Ce dernier met l'accent sur la dégradation de la qualité du milieu du fait d'une accumulation importante du phosphore dans le sédiment. La teneur en 2008 (0,59 %MS) croît très fortement par rapport aux deux années précédentes (< 0,06 %MS).

6. 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 entre 2006 et 2008 satisfaisait cet usage.**

Néanmoins, l'appréciation globale de l'état écologique révèle une aptitude moyenne 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 depuis 2006.

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 2008 et 2007 rendent compte d'une production continue avec un caractère saisonnier 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 mais beaucoup moins marquée en 2008.

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-cyprinicoile. 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 ». 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) en 2007. En 2008, c'est toujours le cas mais les différences sont moins nettes avec les campagnes du carême. En 2007, les valeurs du SEQ-Plan d'eau nous paraissaient particulièrement faibles, nous avions donc proposé la grille ci-dessous. Cette grille sera ajustée ultérieurement après intégration de données supplémentaires.

Proposition de Grilles Asconit consultants :

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



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

INFORMATIONS GÉNÉRALES

HYDROMORPHOLOGIE

Plan d'eau :
Commune :
Localisation :

Retenue de la Manzo
Ducos / Le François
Manzo

Nom plan d'eau :
Code plan d'eau :

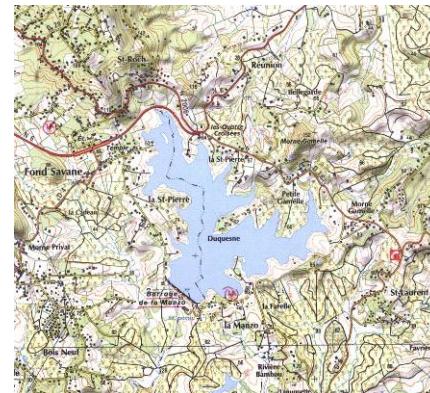
MANZO
FRJR032
HYDRO-MORPHO

Date :
 Mars. 2008
 Juin. 2008
Expert : NBA/PRO

Sep. 2008
 Déc. 2008

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 (m³ × 10³) 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

0% > 1-10 > 10-50 > 50-75 > 75% (de linéaire de berges)

Vidange ?

oui non inconnu Date : 26/06/2006

Variations très importantes du niveau d'eau ?

Elévation Baisse Hauteur (m) : 2,2

Système aval de bassin versant ?

non oui

Présence de transferts d'eau inter-bassins ?

0% 01-oct oct-50 50-75 > 75%

% d'apports inter-bassin / au flux naturel

non mineur moyen majeur

Modification du temps de résidence "naturel"

Fluctuations du niveau d'eau (m)

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

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)**

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)

non valable
non valable
non valable
non valable

Variation spatiale des points d'entrée et de sortie d'eau

non valable
attente norme

Temps de résidence :

Variation de 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
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
attente norme
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 :
Commune :
Localisation :

Retenue de la Manzo
Ducos / Le François
Manzo

Date : Mars. 2008
 Juin. 2008
Expert : NBA/PRO

Sep. 2008
 Déc. 2008



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
Commune : Ducos / Le François
Localisation : Manzo

Date : Mars. 2008
 Juin. 2008
Expert : NBA/PRO

Sep. 2008
 Déc. 2008

SEQ-PLAN D'EAU ALTERATIONS :	Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat	Aptitude aux usages de l'eau	Effets sur l'aval (cours d'eau)
				Faune	Flore	
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)						
Potentiel de relargage des sédiments :						
Phase solide sur poids sec :						
Phosphore PINA (mg/g)						
Eau interstitielle :						
NH4 (mgN/l)						
Ntotal (mg/l)						
PO4 (mgP/l)						
Total (mg/l)						
Fer (mg/l)						
Mn (mg/l)						
Toxines algale :						
Equivalent Mircocystine LR (µg/l)						
Descripteurs spécifiques usages :						
Couleur						
MOOX						
Matières azotées hors NO3						
Nitrites						
Matières phosphorées						
Microorganismes						
Phytoplancton :						
ITP moyen estival						
Flore aquatique autre :						
Proportion Hydrophytes/hélophytes						
% de recouvrement						
Profondeur maximale colonisée par les charophytes						
Faune benthique invertébrée :						
EOS2 (=IOBL) - Indice oligochètes						
IMOL - Indice malacologique						
IBL - Indice Biologique Lacustre						
Poissons (ichtyofaune) :						
Richesse spécifique						
Introduction d'espèces (O/N)						
Présence de tributaires (O/N)						
Flore-faune proliférante : 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 ALTERATIONS :	Qualité de l'eau	Potentialités biologiques	Intégrité biologique	Habitat	Aptitude aux usages de l'eau	Effets sur l'aval (cours d'eau)
				Faune	Flore	
QUALITE GENERALE						

Aptitude :

 Très Bonne
 Bonne
 Moyenne
 Médiocre
 Mauvaise

7. Conclusion de la diagnose

Ce rapport inclut les résultats recueillis au cours des trois années 2006 à 2008. Il s'appuie principalement sur les investigations menées de 2007 à 2008 et qui se sont déroulées sur la base de quatre campagnes d'échantillonnage aux mois de mars, juin, septembre et décembre.

Etant donné que les fortes influences de la vidange de 2006 se sont estompées, le suivi 2007-2008 permet de caractériser le fonctionnement du plan d'eau en situation normale et ainsi de mieux appréhender les phénomènes dirigeant ce dernier. En effet, à la suite de deux années de mesures, on commence à percevoir les éléments déterminants dans le fonctionnement du système aquatique de la retenue de la Manzo.

Afin de bien comprendre l'évolution fonctionnelle du plan d'eau, les conclusions de l'expertise 2007 sont à nouveau présentées. Dans une seconde partie, les principaux points de divergences par rapport à la diagnose 2007 seront détaillés.

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 de proximité.

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 ammoniacal et comme en 2006 en fer et en manganèse. La comparaison des résultats eau intersticielle-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 limites 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.

En 2008, l'expertise de 2008 montre :

➤ **Des conditions hydromorphologiques similaires**

➤ **Des conditions physico-chimiques des eaux :**

- Une transparence moyenne de 1 à 2,5 m avec une augmentation au mois de décembre en période de production primaire faible et une diminution au carême (en période de forte production primaire),
- Stratification du plan d'eau de mars à septembre induite principalement par le paramètre oxygène, conductivité et de pH avec une couche intermédiaire ou métalimnion, entre 6 et 9 m en mars 2008 et qui remonte progressivement en juin et septembre pour s'étaler entre 3 et 6 m,
- Variation faible de la température,
- Pas de véritable phénomène de brassage saisonnier avec cependant au mois de décembre une stratification qui apparaît beaucoup moins nette et plus profonde
- Une qualité physico-chimique des eaux bonnes à très bonne à l'exception de la DCO, DBO5, TAC, TH,, des micropolluants minéraux aluminium, manganèse et Fe
- Une dégradation encore plus significative de la qualité des eaux par rapport au fer et manganèse en juin et en septembre avec des teneurs extrêmement élevées dans la couche profonde 9330 µg/l en fer et 2007 µg/l en manganèse en septembre et 3787 µg/l en fer et 956 µg/l en manganèse en juin.
- Une qualité des eaux par rapport aux micropolluants organiques et une qualité bactériologique très bonnes.

➤ **Des conditions physico-chimiques des sédiments :**

- Une nette augmentation des teneurs des métaux fer et manganèse,
 - En juin 2006 : 58 212,8 mg/kg MS de fer total et 1452,7 mg/kg MS de manganèse total
 - En septembre 2007 : 68 386,7 mg/kg MS de fer total et 1816,8 mg/kg MS de manganèse total
 - En mars 2008 : 145 474 mg/kg MS de fer total et 4062,8 mg/kg MS de manganèse total
- Une augmentation dans la charge organique (azote organique, carbone organique),
- Une constance des autres paramètres,
- Un dosage des composés chimiques polybromodiphényléthers (PBDE) de 0,738 µg/kg MS en mars 2008
- Une dégradation de la qualité des eaux interstitielles par rapport aux composés azotés
- Une baisse de la teneur en manganèse qui classe l'eau interstitielle en qualité médiocre
- Une hausse de la teneur en fer qui classe l'eau interstitielle en qualité mauvaise

➤ **Des conditions biologiques :**

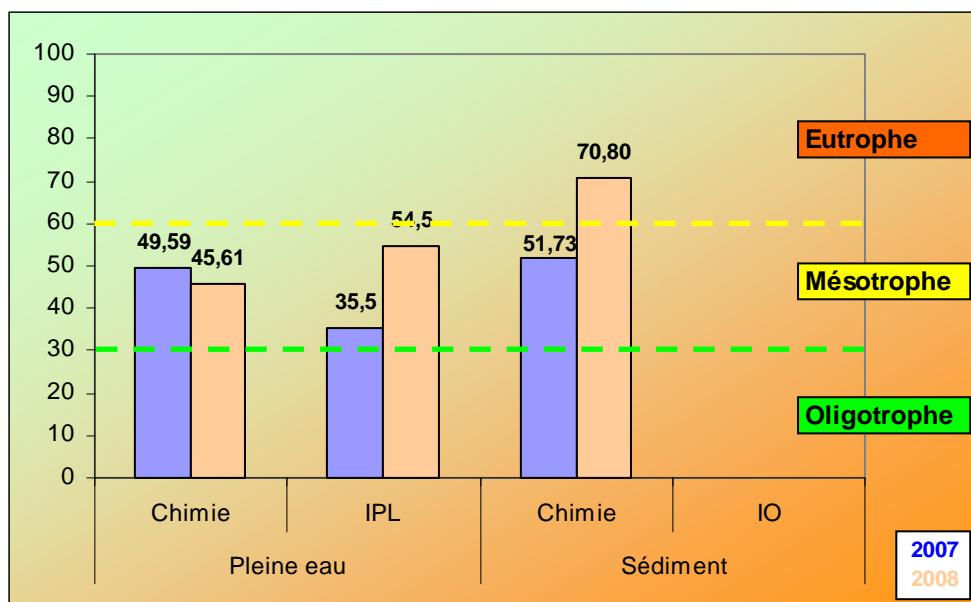
- Des concentrations en chlorophylle *a* relativement faibles et stables classant la retenue en bonne qualité

- Un peuplement phytoplanctonique avec une richesse taxonomique entre 16 et 56 taxons et une représentation des familles par ordre décroissant les Chlorophycées, les cyanophycées, et les autres les Chromophytes, Euglénophytes et Pyrrhophytes
- Un peuplement piscicole quasi-monospécifique avec le Tilapia *Oreochromis mossambicus*. La deuxième espèce accessoire est le Gupy *Poecilia sp.*.

➤ **Le niveau de trophie :**

- **Un stade global mésotrophe** à partir du système « fixe » de classification du degré de trophie établie par l'OCDE sur l'eutrophisation (OCDE, 1982),
- **Un stade mésotrophe** avec un indice I_{PL} de 54,5, en hausse par rapport à 2007,
- 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** excepté le stockage des minéraux dans le sédiment. Ce dernier met l'accent sur la dégradation de la qualité du milieu du fait d'une accumulation importante du phosphore dans le sédiment.

Figure 24 : Synthèse de la Diagnose 2007-2008



8. 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.

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

8.1.1. 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.

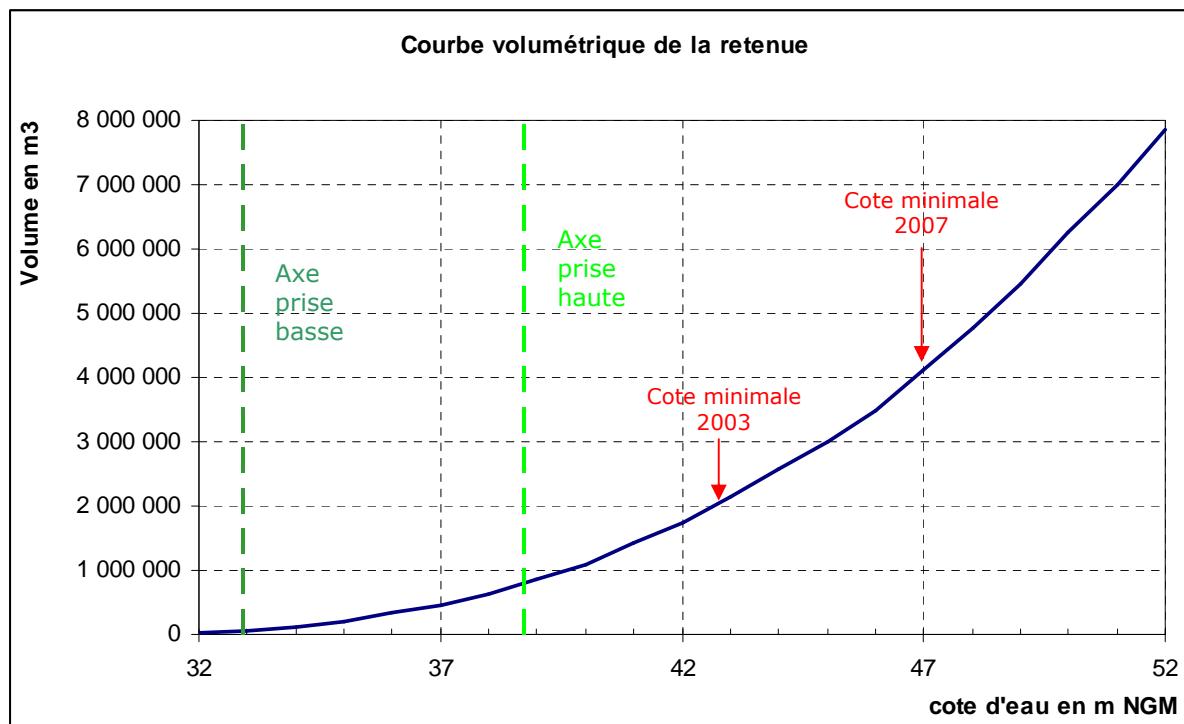


Figure 25. Courbe volumétrique de la retenue de la Manzo

8.1.2. 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 pressentis 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 attribuée 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.

8.2. 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.

8.2.1. Oxygénéation 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 oxygénéation, 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.

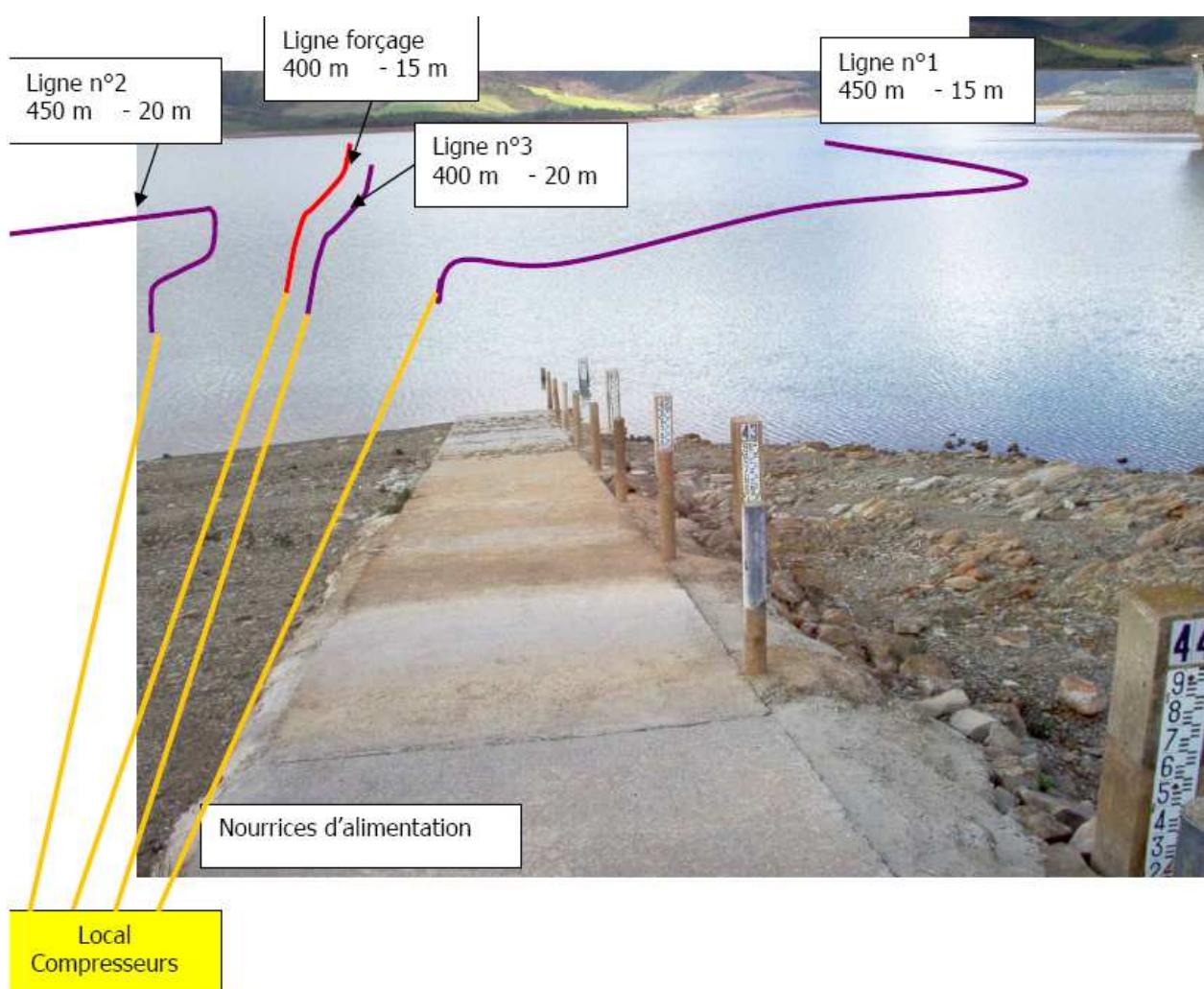


Figure 26. Dispositif de bullage pour oxygénation des eaux pour un barrage de retenue au Maroc.

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.

8.2.2. 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.

8.2.3. 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 **oxygénier 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

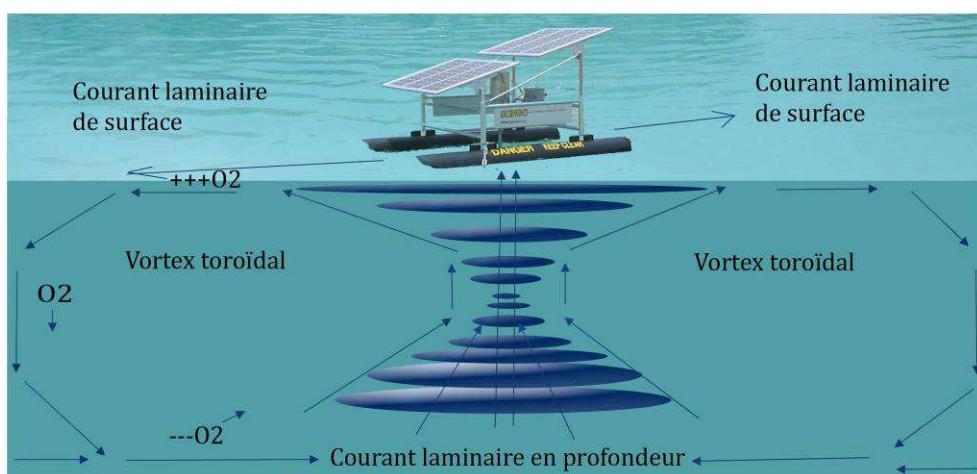


Figure 27. Schéma de principe du procédé des brasseurs Sungo.

Le principe de fonctionnement est :

- Le déplacement d'eau vertical force un mouvement des eaux horizontales : 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 vitesse 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 28. Exemple d'appareils de type Songo en situation naturelle.

Le procédé appliquée 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'ancre 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.*

8.2.4. 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 29. Mât oscillant en phase de mise en place au Bec d'Ambès 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)

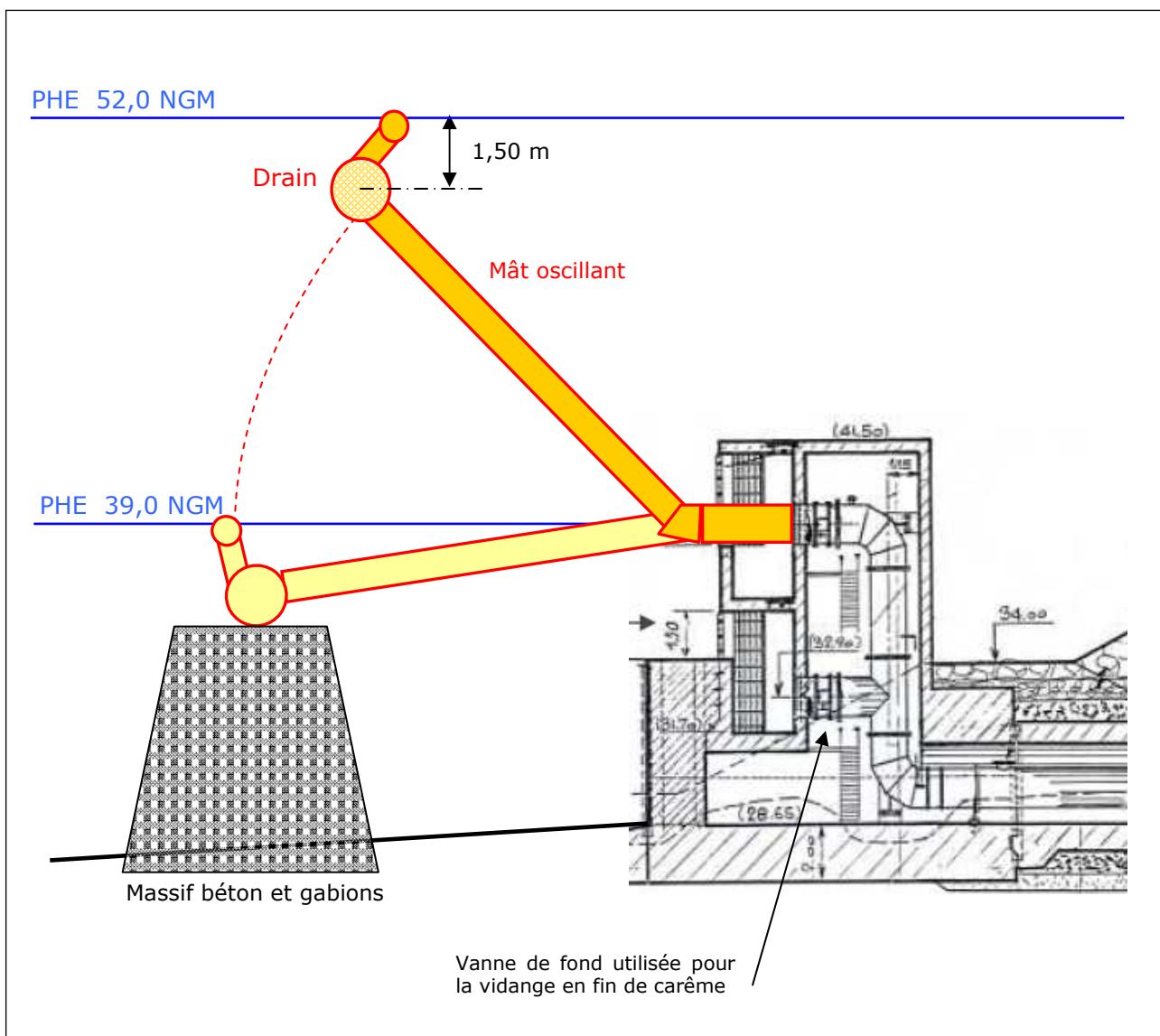


Figure 30. Schéma de principe de la prise d'eau de surface

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.

8.2.5. 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.

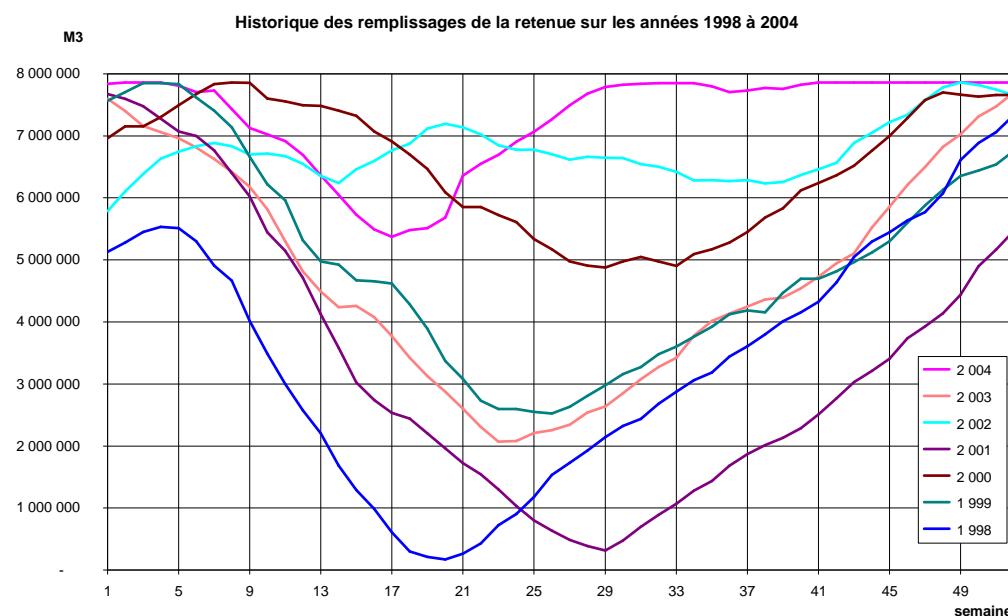


Figure 31. Historique des remplissages de la retenue (1998 à 2004)

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.

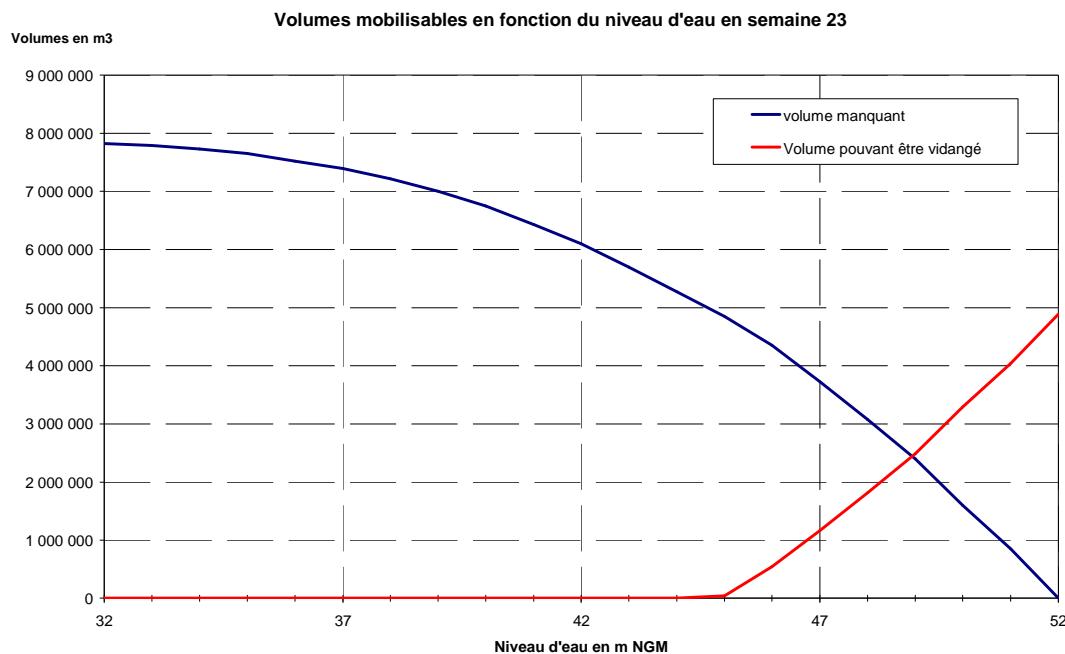


Figure 32. Volumes mobilisables en fonction du niveau d'eau en semaine 23

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.

8.2.6. 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 25. 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	Traitements adaptés 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

8.3. 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 un 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.

8.3.1. Assèchement par vidange du fond

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

- consolider par dessication 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.

8.3.2. 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.

8.3.3. 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 concernés. 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).

8.4. Mesures immédiates adaptations du programme de surveillance et

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.

9. 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 <i>in situ</i> :	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+), hydrogénocarbonates 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
		- HAP : anthracène, fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, naphtalène
	GROUPE 6 :	- Autres micropolluants organiques : benzène, di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène, nonylphénols (4-paranonylphenol), 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
✓ Mesures <i>in situ</i> :	<u>Transparence</u> : à l'aide d'un disque de Secchi. • GROUPE 1 <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 de température, pH, oxygène dissous, conductivité</u> et de situer une éventuelle thermocline.
✓ Eau :	Dans le respect des prescriptions de la norme française NF EN 25667 (ISO 5667) du mois de décembre 1993. <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. <u>Echantillons</u> : 3 prélèvements dans la colonne d'eau : <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.
• GROUPE 3	<u>Echantillons</u> : 2 prélèvements dans la colonne d'eau :
• GROUPE 4	<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.
✓ Sédiments :	<u>Technique de prélèvement</u> : A l'aide d'une benne de type Eckman. <u>Echantillons</u> : 3 prélèvements élémentaires de la couche supérieure (5-10 cm).
• GROUPE 5	
• GROUPE 6	

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
• GROUPE 7 : Phytoplankton	<u>Echantillonnage du phytoplancton</u> : à partir d'un bateau, à l'aide d'un filet selon : - 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 <u>Echantillonnage de la chlorophylle a et des Phéopigments</u> : un prélèvement d'eau "intégré" réalisé conformément au protocole décrit par Barbe et al. : - 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.
• GROUPE 8 : Macrophytes	<u>Observations</u> : - Inventaire floristique, par exploration à vue ; - Estimation des recouvrements.

Annexe 2 :

Résultats d'analyses physico-chimiques

Paramètres	Unités	déc-08	déc-08	déc-08	sept-08	sept-08	sept-08	juin-08	juin-08	mars-08	mars-08	mars-08	Moyenne 2008			Source		
		Intégré	Interméd.	Fond	Intégré	Interméd.	Fond	Intégré	Interméd.	Fond	Intégré	Interméd.	Intégré	Interméd.	Fond			
Transparence	(m)	2,2			1,5			1,1			1,85			1,66			Seq-Plan d'eau	
Matières organiques et oxydables																		
Saturation en O2	(%)	31	30,7	30	133	29,8	22,9	129	32,8	28,1	118,5	59,8	15,4	102,9	38,3	24,1	Seq-Plan d'eau	
DBO5	mg/l O2	6	5	5	8	7	< 4	7	5	6	5	4	5	6,50	5,25	5,33	Seq-Eau	
DCO	mg/l O2	24,3	15,9	19,9	35	36	30	56	0	0	22,9	20,6	22,2	34,55	18,13	18,03	Seq-Eau	
COD	mg/l C	2,3	3,15	2,61	1,08	0,76	0,51	3,63	2,81	3,01	2,51	2,03	2,06	2,38	2,19	2,05	Seq-Plan d'eau	
COT	mg/l C	2,56	4,14	2,72	2,51	2,4	1,31	4,09	2,92	3,24	2,73	2,16	2,57	2,97	2,91	2,46		
NH4	mg/l NH4	0,172	0,182	0,226	< 0,05 (0,02)	0,14	2,2	0,06	0,11	0,9	< 0,05 (0,007)	< 0,05 (0,009)	0,2	0,06	0,11	0,88	Seq-Eau	
NTK	mg/l N	<1	<1	<1	0,4	0,4	1,5	non dispo.	non dispo.	non dispo.	<1	<1	<1	< 0,80	< 0,80	< 1,17	Seq-Eau	
Azote, Phosphore																		
NO3	mg/l NO3	< 0,3 (0,031)	< 0,3 (0,017)	< 0,3 (0,012)	< 0,3 (0,178)	< 0,3 (0,161)	< 0,3 (0,118)	0,178	0,234	0,3	< 0,3 (0,008)	< 0,3 (0,008)	< 0,3 (0,017)	0,10	0,11	0,11	Seq-Eau	
NO2	mg/l NO2	< 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)	0,00	0,00	0,00	Seq-Eau	
Phosphore total	mg/l P	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,068	0,034	0,055	0,015	0,011	0,014	< 0,02	< 0,01	< 0,02	Seq-Plan d'eau	
Phosphore total	mg/l P2O5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,156	0,078	0,126	0,034	0,025	0,032	< 0,05	< 0,03	< 0,04		
Orthophosphates	mg/l PO4	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	0,051	0,03	0,08	0	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	< 0,05 (0)	0,01	0,02	0,01	Seq-Plan d'eau	
Particules en suspension																		
MES	mg/l	1,6	1,5	6,5	6	4	22	14	6	5	8	4	6	7,40	3,88	9,88	Seq-Eau	
Turbidité	NTU	2,02	2,04	5,01	3	9,9	14	3,3	5,2	13	7,1	3	6,4	3,86	5,04	9,60	Seq-Eau	
Acidification																		
pH	unité pH	6,6	6,4	6,5	8,81	7,15	6,77	7,94	7,3	6,9	8,48	7,16	6,44	7,96	7,00	6,65	Seq-Plan d'eau	
Minéralisation																		
Conductivité	µS/cm	107	107	111	111	138	179	106	145	128	60,2	57,2	80,9	96,05	111,80	124,73	Seq-Plan d'eau	
Silice	mg/l	16,5	16,3	17,5	20,3	22,7	25,9	20,5	20,8	21,4	18,8	19,9	18,6	19,02	19,92	20,85		
Chlorures	mg/l										12,4		12,6	12,40		12,60	Seq-Eau	
Sulfates	mg/l										2,54		2,5	2,54		2,50	Seq-Eau	
Calcium	mg/l										5,8		6	5,80		6,00	Seq-Eau	
Fluorures	µg/l	32	34	34	31	< 30 (24)	< 30 (20)	< 30	< 30	< 30	34	< 30	31,50	34,00	19,50			
Magnésium	mg/l										3,2		3,2	3,20		3,20	Seq-Eau	
Sodium	mg/l										8,7		8,7	8,70		8,70	Seq-Eau	
Potassium	mg/l										1,8		1,8	1,80		1,80		
TAC	(d°F)	3,78	3,82	3,54	2,5	4,6	5,6	3	4,9	3,8	2,8	2,8	3,1	3,02	4,03	4,01	Seq-Eau	
TH	(d°F)	3,198	3,161	3,161	2,86	2,83	4,8	3,09	4,54	3,43	2,83	2,77	2,87	2,99	3,33	3,57	Seq-Eau	
Carbonates	mg/l CO3	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0,83	0,00	0,00		
Hydrogénocarbonates	mg/l	46,1	46,5	43,2	27,5	56,1	67,5	36	59,9	45,8	31,3	33,9	37,2	35,23	49,10	48,43		
Micropolluants minéraux sur eau brute																		
Arsenic	µg/l	< 5 (0)	< 5 (0)	< 5 (0)	< 5 (0)	< 5 (0,4)	< 5 (0,2)	< 5 (0,9)	< 5 (0,7)	< 5 (0,8)	< 5 (0,7)	< 5 (0)	< 5 (0,4)	< 5 (0)	0,28	0,35	0,40	Seq-Plan d'eau
Aluminium	µg/l	15	14	12	24	20	17	1380	573	349	20	7	5	359,75	153,50	95,75	Seq-Plan d'eau	
Bore	µg/l	22	21	22	33	31	39	44	39	37	25	22	21	31,00	28,25	29,75	Seq-Eau (aptitude AEP)	
Cyanures totaux	µg/l	< 5 (0)	< 5 (0)	< 5 (0)	< 5 (1,6)	< 5 (1,3)	11	0,6	0,5	0,6	< 5	< 5	< 5	1,80	1,70	4,15	Seq-Eau (aptitude AEP)	
Fer total	µg/l	198	200	474	213	152	9330	117	1184	3787	127	81	824	163,75	404,25	3603,75	Seq-Plan d'eau	
Manganèse total	µg/l	78,7	123,7	455,7	< 16	84	2007	46	1346	956	19	31	103	39,93	396,18	880,43		
Micropolluants organiques sur eau brute																		
OHV (44 subst)																	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	3,8	-	-	4,4	-	-	3,5	-	-	5,8	-	-	4,38			Seq-Plan d'eau	
Phéopigments		1,8			2,6			12,7			10			6,78			Seq-Plan d'eau	
Bactério																		
Coliformes totaux	n/100 ml	0									Pb labo			0,00			Seq-Eau	
Escherichia Coli	n/100 ml	0									Pb labo			0,00			Seq-Eau	
Entérocoques	n/100 ml	0									Pb labo			0,00			Seq-Eau	
Salmonelles sp	n/5l	0									0			0,00				

Paramètres	Unités	déc-07	déc-07	déc-07	sept-07	sept-07	sept-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	< 10	< 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)																	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	9,1	-	-	8	-	-	63	-	-	100	-	-	45,03			Seq-Plan d'eau		
Phéopigments		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 paillasses
Les moyennes annuelles ont été calculées préférentiellement en considérant les valeurs de paillasses quand elles étaient disponibles

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	
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											16,30	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	< 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
Bactériologie													
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.

Classes de qualité SEQ-Plan d'Eau :

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

Annexe 3 :

Inventaires phytoplanctoniques (%)

Tableau des inventaires en %

PHYTOPLANCTON DE :	Barrage de la Manzo			
	12/03/2008	12/06/2008	15/09/2008	11/12/2008
EUGLENOPHYTES	1,1		3,2	11,3
<i>Euglena sp.</i>				0,6
<i>Lepocinclis sp.</i>				0,3
<i>Phacus caudatus</i>				0,3
<i>Trachelomonas bacillifera</i>				0,3
<i>Trachelomonas circulifera</i>				0,3
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>				8,4
<i>Trachelomonas sp.1</i>	1,1		3,2	1,0
CYANOPHYTES	18,3	13,8	0,8	11,3
<i>Anabaena sp.</i>		0,4	0,8	
<i>Chroococcus sp.</i>				0,6
<i>Coelomorion sp.</i>				1,9
<i>Cylindrospermopsis sp.</i>		1,3		
<i>Limnothrix sp.</i>	1,7			0,3
<i>Leptolyngbya sp.</i>	8,0	10,8		
<i>Merismopedia marssonii</i>				4,2
<i>Merismopedia tenuissima</i>				0,3
<i>Microcystis aeruginosa</i>				0,6
<i>Microcystis sp.</i>	8,6	0,2		
<i>Oscillatoria sp.</i>				0,3
<i>Planktolyngbya sp.</i>				1,6
<i>Pseudanabaena limnetica</i>		1,1		
<i>Pseudanabaena sp.</i>				1,3
CHLOROPHYTES	19,8	71,1	73,9	72,0
Chlorococcales	19,8	52,2	48,5	38,3
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>			2,6	
<i>Ankistrodesmus gelifactum</i>	1,5	4,6		
<i>Apodochloris simplicissima</i>				23,8
<i>Botryococcus braunii</i>	13,5	42,1	31,9	
<i>Chlorococcum sp.</i>				2,3
<i>Coelastrum reticulatum</i>			1,0	
<i>Coenochloris sp.</i>		0,6		
<i>Crucigeniella crucifera</i>				0,3
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>				0,3
<i>Eutetramorus sp.</i>		0,7		
<i>Franceia sp.</i>				0,3
<i>Kirchneriella irregularis</i>				0,6
<i>Kirchneriella lunaris</i>	2,8	0,9	0,6	1,3
<i>Lagerheimia obesa</i>				0,3
<i>Monoraphidium arcuatum</i>		0,6		2,9
<i>Monoraphidium contortum</i>		0,6	2,2	0,3
<i>Monoraphidium griffithii</i>				1,6
<i>Monoraphidium irregulare</i>				0,6
<i>Monoraphidium mirabile</i>				0,3
<i>Monoraphidium tortile</i>				0,3
<i>Nephrochlamys subsolitaria</i>				0,6
<i>Oocystis lacustris</i>				2,3
<i>Oocystis sp.</i>	1,1		10,3	
<i>Quadricoccus verrucosus</i>	0,9			

SUITE PHYTOPLANCTON DE :		Barrage de la Manzo		
Date :		12/03/2008	12/06/2008	15/09/2008
CHLOROPHYTES				
Chlorococcales				
<i>Scenedesmus falcatus</i>	0,2			
<i>Scenedesmus obtusus</i>				0,3
<i>Scenedesmus opoliensis</i>		0,4		0,3
<i>Scenedesmus pannonicus</i>				0,3
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,7	0,9	1,0	0,3
<i>Selenastrum gracile</i>	0,2	0,2		
<i>Siderocelis ornata</i>				0,6
<i>Sphaeocystis schroeteri</i>			0,6	1,0
<i>Tetraedron legerheimii</i>	1,7			0,3
<i>Tetraedron minimum</i>				0,6
<i>Tetraneprhis sp.</i>				0,3
<i>Treubaria triappendiculata</i>	1,5	0,7	0,6	5,5
<i>Trochiscia plantonica</i>				0,3
Volvocales		2,9		1,9
<i>Chlamydomonas sp.</i>		0,4		1,6
<i>Spermatozopsis exultans</i>				0,3
<i>Sphaerelloposis mucosa</i>		2,6		
Zygnematales	36,6	16,0	23,2	21,9
<i>Cosmarium cf. contractum</i>			7,3	2,6
<i>Cosmarium reniforme</i>				0,3
<i>Cosmarium subcrenatum</i>				1,3
<i>Cosmarium sp.1</i>	24,1	4,4		
<i>Cosmarium sp.2</i>		4,6		
<i>Staurastrum cf chaetoceras</i>			10,9	
<i>Staurastrum cf. inconspicuum</i>			5,0	0,6
<i>Staurastrum tetracerum</i>				16,4
<i>Staurastrum sp.1</i>	4,5	3,9		
<i>Staurastrum sp.2</i>	8,0	3,1		
<i>Staurodesmus lobatus</i>				0,3
<i>Staurodesmus sp.</i>				0,3
CHROMOPHYTES	0,6	1,3		1,3
Diatomées				0,3
<i>Rhizosolenia longiseta</i>				0,3
Chrysophycées	0,6	1,1		1,0
<i>Bitrichia sp.</i>		0,6		
<i>Dinobryon bavaricum</i>				0,3
<i>Mallomonas sp.</i>	0,6			0,3
<i>Chrysococcus rufescens</i>		0,4		
<i>Pseudokephyriion ovum</i>				0,3
flagellées indéterminées		0,2		
Xanthophycées		0,2		
<i>Pseudostaurastrum sp.</i>		0,2		
PYRRHOPHYTES	19,3	13,8	22,2	4,2
Cryptophycées				1,3
<i>Cryptomonas marssonii</i>				0,3
<i>Cryptomonas ovata</i>				1,0
Dinophycées	19,3	13,8	22,2	2,9
<i>Peridinium cf. africanum</i>		9,2	14,1	
<i>Peridinium sp.</i>	19,3	4,6	8,1	2,9
Total algues	100,0	100,0	100,0	100,0

PHYTOPLANCTON DE :	Barrage de la Manzo			
Date de prélèvement	28/03/2007	28/06/2007	20/09/2007	12/12/2007
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>Gloccystis cf polydermatica</i>				
<i>Golenkinia sp.</i>				0,4
<i>Hyaloraphidium contortum</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>Tetraillantos 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 4 :

**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	
	algues.ml⁻¹	cell.ml⁻¹
date : 28/03/2007	32,6	32,6
EUGLENOPHYTES		
<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>Aphanothecce 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 contortum</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>Tetraellatos 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>Centrictactus 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 5 :

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 :
 $I_C = 16 + 41,89 \cdot \log_{10}(X+0,5)$ 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/m³ (ou µg/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 :
 $I_T = 82 - 66,44 \cdot \log_{10}(X)$ 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 ».

3 3 3

- L'indice P total hiver, calculé comme :
 $I_{PH} = 115 + 39,6 \cdot \log_{10}(X)$ 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 :
 $I_{NH} = 47 + 65 \cdot \log_{10}(X)$ 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 ».

3 3 3

- L'indice Consommation journalière en O₂ dissous, calculé comme :
 $I_{O2j} = -50 + 62 \cdot \log_{10}(X+10)$ où X est la valeur de la consommation journalière en oxygène dissous (en mg/m³/j), calculée comme décrit en annexe au § 7.5.

Cet indice constitue l'indice fonctionnel « dégradation ».

- L'indice P total du sédiment, calculé comme :
 $I_{PS} = 109 + 55 \cdot \log_{10}(X)$ 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 ».

3 3 3

- L'indice P total de l'eau interstitielle, calculé comme :
 $I_{PTI} = 63 + 33 \cdot \log_{10}(X)$ 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 :
 $I_{NH4I} = 18 + 45 \cdot \log_{10}(X+0,4)$ 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>