

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER

Stage de STE5 Département Sciences et Technologies de l'Eau

ANNEE 2017-2018

Gestion hydraulique de la réserve naturelle du Bagnas



*ADENA & SMTB
Agbanrin Yeelen*



*Nathalie Guénel – Ludovic Cesmat
Marie-Georges Tournoud*

STAG
E



ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER
UNIVERSITE MONTPELLIER II SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC
Place Eugène Bataillon 34095 MONTPELLIER CEDEX 5
Tél. : 04 67 14 31 60 – Fax : 04 67 14 45 14
E-mail : scola@polytech.univ-montp2.fr



Remerciements

Je voudrais adresser mes remerciements à toute l'équipe présente lors de mon stage de fin d'études, pour avoir répondu à mes questions et m'avoir guidée tout au long du projet, tout en me permettant d'être autonome.

Tout d'abord, merci à mes tuteurs Madame Nathalie Guénel et Monsieur Ludovic Cesmat, respectivement chargée d'études et de suivis scientifiques à l'ADENA, et responsable modélisation VigiThau au SMBT, pour l'aide et les précieux conseils et explications qu'ils m'ont apportés durant mon stage ainsi que pour leur bienveillance et leur disponibilité.

Ensuite, je voudrais remercier ceux qui m'ont aidée sur le terrain, notamment Mathieu Lognos, garde-technicien de la réserve, qui a été d'une aide précieuse pour ses connaissances de la réserve, ainsi que Samuel Delacroix, technicien rivière du SMBT, pour m'avoir souvent accompagnée et prêtée main-forte. Egalement merci aux stagiaires présents qui m'ont tous aidée pendant ma campagne terrain.

Enfin, je remercie la directrice de l'ADENA Julie Bertrand et le directeur du SMBT Luc Hardy, pour m'avoir accueillie dans leurs structures, ainsi que leurs équipes qui ont rendu ces six mois particulièrement appréciables.

Résumé

Ce rapport présente le stage de fin d'études, dont le sujet porte sur la gestion hydraulique de la réserve naturelle nationale du Bagnas. L'étude s'inscrit dans une étude globale financée par l'Agence de l'eau RMC (pour le maintien du bon état écologique de la réserve du Bagnas) et dans une étude globale du bassin de Thau menée par le SMBT.

L'objectif est d'améliorer la connaissance hydraulique du site en constituant un inventaire patrimonial exhaustif du réseau hydraulique (canaux, ouvrages, données topographiques) au travers d'une base de données (cartographiques, fiches ouvrages, relevés topographiques), de construire un outil de modélisation hydraulique intégrant l'ensemble des relevés et calé sur les données suivies, et enfin d'exploiter cet outil pour orienter et assister les choix de gestion hydraulique de la réserve du Bagnas.

Les quatre premiers mois ont permis d'établir la base de données patrimoniales afin d'améliorer la gestion et l'entretien du patrimoine de la réserve, le modèle hydraulique développé et calé sur les données suivies, et l'outil a pu être exploité afin de présenter les bilans quantitatifs des sources d'apports et de pertes d'eau et notamment l'établissement d'abaques des principales martelières.

Les deux derniers mois ont porté sur l'exploitation de l'outil pour répondre aux scénarios de gestion fixés par le gestionnaire et ses partenaires (les assecs, la salinisation de l'étang, les volumes d'eau prélevés etc), et sur des propositions d'action pour l'amélioration de l'outil et de la plateforme technique concernant par exemple la modification du réseau de suivi de la réserve ou la planification de travaux et tache d'entretien.

Summary

This report is about the final year internship. The subject was the hydraulic management of the Bagnas national nature reserve. The study is enclosed in a global study financed by "Agence de l'eau RMC" for the maintain of the good ecological state of the Bagnas reserve and a global study of Thau lagoon managed by the "SMBT".

The objective was to improve the hydraulic knowledge of Bagnas thanks to an inventory of the hydraulic network (canal, hydraulic structure, topographic survey) and the establishment of a database (SIG and index), to build an hydraulic model with these data, and to use this support to assist and guide the manager in his future hydraulic decisions.

Thereby, the database has been built to improve the gestion and maintenance of the reserve's heritage, and the hydraulic model has been developed and used to establish some results (amount of water inflow and loss, flow curve for some hydraulic structure).

The last two months has been used to carry out the scenario set by the manager about the drying up of the Bagnas, augmentation of salinity and amount of water taken from the 'canal du midi'. Some ideas has been proposed to the manager to improve the model, like the modification of the hydraulic monitoring or some structural work.

Mots clés : Gestion Hydraulique Réserve

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 1 |
| I- Contexte | 3 |
| 1.1 Présentation des entreprises | 3 |
| 1.1.1 L'ADENA..... | 3 |
| 1.1.2 Le SMBT | 3 |
| 1.2 Développement durable et responsabilité sociétale | 4 |
| 1.3 Présentation du site | 4 |
| 1.4 Contexte du stage..... | 5 |
| 1.5 Objectifs du stage..... | 6 |
| II- Matériels et méthodes | 7 |
| 2.1 Présentation du site d'étude et données patrimoniales existantes | 7 |
| 2.1.1 Géologie et nature des sols | 7 |
| 2.1.2 Réseaux hydraulique patrimonial et hydrologique | 7 |
| 2.1.3 Topographie | 8 |
| 2.2 Données hydro-climatiques utilisées | 8 |
| 2.2.1 Réseau de Suivi hydrologique de la réserve..... | 8 |
| 2.2.2 Pluviométrie | 9 |
| 2.2.3 Evaporation | 10 |
| 2.2.4 Limnimétrie de l'Hérault | 10 |
| 2.2.5 Base de registre de manipulation des ouvrages | 11 |
| 2.2.6 Marégraphe | 11 |
| 2.3 Campagne terrain..... | 12 |
| 2.4 Outil de modélisation hydraulique..... | 13 |
| 2.4.1 PCSWMM..... | 13 |
| 2.4.2 Intégration des données et conditions aux frontières | 13 |
| 2.4.3 Paramètres contrôlables pour ajuster le modèle..... | 15 |
| 2.4.4 Scénarios projetés | 15 |
| 2.5 Détermination de l'EBF | 16 |
| III- Résultats et discussion | 17 |
| 3.1 Constitution d'une base de données patrimoniales | 17 |
| 3.2 Outil de modélisation hydraulique développé et calé | 17 |
| 3.2.1 Comparaison entre simulé et observé | 18 |
| 3.2.2 Echanges hydraulique..... | 21 |
| 3.2.3 Paramètres calés | 23 |
| 3.3 Exploitation de l'outil | 24 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.1 | Abaques de la prise d'eau Nord (Pont Martin) et Sud (Sept Fonts) | 24 |
| 3.3.2 | Courbe de vidange du Grand Bagnas par le T, Petit Pont et Pioch Couguioul | 25 |
| 3.3.3 | Courbe de remplissage du Grand Bagnas par le T, Petit Pont et Pioch Couguioul | 26 |
| 3.4 | Scénarios | 28 |
| 3.4.1 | Modification de la prise d'eau..... | 28 |
| 3.4.2 | Salinisation | 30 |
| 3.4.3 | Tout ouvert..... | 35 |
| 3.4.4 | Renouvellement eau | 40 |
| 3.4.5 | Sans prélèvement l'été..... | 40 |
| 3.4.6 | Assecs partiels | 45 |
| 3.5 | Programme d'actions proposé | 49 |
| 3.5.1 | Programme d'entretien..... | 49 |
| 3.5.2 | Programme de travaux structurant..... | 50 |
| 3.6 | Schémas de gestion proposés | 51 |
| 3.6.1 | Gestion maitrisée des niveaux d'eau | 51 |
| 3.6.2 | Gestion naturelle des niveaux d'eau | 52 |
| 3.6.3 | Salinité | 54 |
| 3.6.4 | Volumes prélevés | 55 |
| VI- | Conclusion et perspectives..... | 56 |
| | Bibliographie..... | 57 |
| | Annexes | 58 |

Table des figures

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 1: | Organigramme de l'ADENA | 3 |
| Figure 2: | Organigramme du SMBT -Avril 2017..... | 3 |
| Figure 3: | Carte du Bagnas [7] | 5 |
| Figure 4 : | Points de suivi du Bagnas | 7 |
| Figure 5: | Carte topographique du Bagnas..... | 8 |
| Figure 6: | Graphique des hauteurs d'eau suivies du Grand Bagnas, GB8 et la demi-lune | 9 |
| Figure 7: | Evaporation potentielle mensuelle moyenne (1988-2012) | 10 |
| Figure 8: | Graphique du suivi limnimétrique de l'Hérault (2015-2017) | 11 |
| Figure 9: | DGPS | 12 |
| Figure 10: | Niveau..... | 12 |
| Figure 11: | Schéma de lecture de mire [9] | 12 |
| Figure 12: | Schéma du modèle hydraulique développé sur la zone du Bagnas nord | 18 |
| Figure 13: | Profil du Grand Bagnas..... | 18 |
| Figure 14: | Hauteur relative du Grand Bagnas simulée et observée..... | 19 |
| Figure 15: | Hauteur relative de GB8 simulée et observée | 20 |
| Figure 16: | Hauteur relative de la demi-lune simulée et observée..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Figure 17: Courbe de tarage de la prise d'eau nord (Pont Martin) et sud (Sept fonts) | 25 |
| Figure 18: Courbe de vidange du Grand Bagnas par les trois martelières..... | 26 |
| Figure 19: Courbe de remplissage du Grand Bagnas par les trois martelières | 27 |
| Figure 20: Abaques des différentes configurations de la prise d'eau | 29 |
| Figure 21: Relevés de salinité effectués par l'ADENA depuis 1998 du GB | 30 |
| Figure 22: Salinité moyenne du GB au cours du temps | 31 |
| Figure 23: Gradient de salinité devant chaque martelières..... | 32 |
| Figure 24: Masse de sel présente au cours du temps du GB | 33 |
| Figure 25: Niveau du GB avec et sans le canal du midi fermé en décembre | 36 |
| Figure 26: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau 2 ou 4 mois en été | 36 |
| Figure 27: Niveau du GB avec les données limnimétriques de Koch dans le scénario tout ouvert..... | 39 |
| Figure 28: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau l'été en année normale | 41 |
| Figure 29: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau l'été en année sèche..... | 41 |
| Figure 30: Niveau du GB avec fermeture de 2 mois de la prise d'eau entre juillet et aout | 43 |
| Figure 31: Niveau du GB avec fermeture de 4 mois de la prise d'eau entre juin et septembre..... | 43 |
| Figure 32: Vidange du GB pour atteindre l'assec | 46 |
| Figure 33: Remplissage du GB après assec..... | 46 |
| Figure 34: Embâcle à la buse du T | 49 |
| Figure 35: Tube calcaire du cascaïl..... | 49 |
| Figure 36: Point haut du canal Pont Martin | 50 |
| Figure 37: Schéma de gestion maîtrisée des niveaux du GB..... | 52 |
| Figure 38: Schéma de gestion "tout ouvert en continu" | 53 |
| Figure 39: Schéma de gestion "tout ouvert avec fermeture de la prise d'eau 4 mois en été..... | 54 |
| Figure 40: Salinité des différents schémas de gestion comparée à celle observée | 55 |
| Figure 41: Comparaison des volumes prélevés sur le canal du midi des dernières années et des schémas de gestion | 55 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Caractéristiques du réseau hydraulique du Bagnas | 7 |
| Tableau 2: Cote NGF des bassins..... | 9 |
| Tableau 3 : Objets du modèle | 18 |
| Tableau 4: Apport hydraulique dans le modèle | 22 |
| Tableau 5: Débits moyens mensuels pouvant être prélevés sur le canal du midi par Pont Martin | 22 |
| Tableau 6: Paramètres calés du modèle | 23 |
| Tableau 7: Hauteur du canal du midi en mNGF (1980-2017)..... | 24 |
| Tableau 8: Abaques des différentes configurations de la prise d'eau | 28 |
| Tableau 9: Temps de remplissage du GB par les différentes prises d'eau | 29 |
| Tableau 10: Objectifs de salinité du GB..... | 33 |
| Tableau 11: Masse de sel introduite par Petit Pont en fonction du niveau du GB | 34 |
| Tableau 12: Niveaux du GB dans le scénario tout ouvert | 37 |
| Tableau 13: Bilan des volumes entrants/sortants dans le scénario tout ouvert | 38 |
| Tableau 14: Niveau du GB dans le scénario sans prélèvement l'été..... | 42 |
| Tableau 15: Niveau du GB dans le scénario sans prélèvement entre 2 et 4 mois l'été | 44 |
| Tableau 16: Niveau du GB dans le scénario des assecs partiels pour la vidange..... | 47 |
| Tableau 17: Niveau du GB dans le scénario des assecs partiels pour le remplissage | 47 |
| Tableau 18: Temps de réponse de la prise d'eau..... | 48 |

Glossaire

ADENA (Association de Défense de l'Environnement et de la Nature des Pays d'Agde)

CAHM (Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée)

CDL (Conservatoire Du Littoral)

GGPS (GPS différentiel)

EBF (Espace de Bon Fonctionnement)

ICPE (Installation Classées pour la Protection de l'environnement)

LIDAR (light detection and ranging)

MNT (Modèle Numérique de Terrain)

PGRE (Plan de Gestion de le Ressource en Eau)

PPRi (Plan de Prévention du Risque inondation)

RNN (Réserve Nationale Naturelle)

RSL (Réseau de Suivi Lagunaire)

SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux)

SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux)

SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine)

SLGRI (Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation)

SMBH (Syndicat mixte du bassin de l'Hérault)

SMBT (Syndicat Mixte du Bassin de Thau)

TRI (Territoire à Risque important d'Inondation)

VBA (Visual Basic)

VNF (Voie Navigable de France)

¹Sansouïres : désigne des écosystèmes herbeux, des prairies halophiles méditerranéennes composées de salicornes *Salicornia sp.*, de la famille des Chénopodiacées.

²Laro-limicoles : oiseaux de la famille des laridés (mouette, sternes, etc).

³Gagnage : pâturage

⁴Anatidés : oiseau aquatique aux pattes palmées caractérisé par un bec plat (canard, sarcelle, cygne, oie, etc).

⁵Assec : période pendant laquelle un étang est maintenu vide.

⁶Biseau salé : ou intrusion d'eau salée, est un mouvement entrant d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce.

Introduction

Les zones humides sont des milieux où l'eau transite systématiquement avant de rejoindre les cours d'eau et/ou les nappes souterraines. Elles permettent ainsi de rendre de nombreux services comme atténuer les crues, soutenir les étiages, favoriser l'infiltration vers les nappes, garantir la qualité de l'eau etc. Dans les bassins Rhône méditerranée et corse, les zones humides les plus menacées se trouvent en têtes de bassin versant, en vallée alluviale et sur le pourtour des lagunes. Il est urgent de préserver et restaurer leur fonctionnement, très utiles et rendant de nombreux services écosystémiques à nos territoires. Pour cela des politiques de l'eau aux échelles européennes, nationales et locales ont été mis en place. [\[1\]](#)

C'est dans cet objectif que la réserve naturelle nationale (RNN) du Bagnas a été créée en 1983 par décret du Conseil d'Etat. Elle est cogérée par l'ADENA (Association de Défense de l'Environnement et de la Nature des Pays d'Agde), la CAHM (Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée) et la ville d'Agde. Anciennement utilisée pour l'exploitation du sel puis l'aquaculture (à partir de 1960), il s'agit d'un site remarquable se situant au niveau de l'ancien delta de l'Hérault, à proximité de la pointe Ouest de la lagune de Thau. Cet espace représente plus de 600 hectares, dont la majeure partie appartient aujourd'hui au CDL (Conservatoire Du Littoral), regroupant une dizaine de milieux protégés au plan européen, et constituant des habitats variés et fréquentés par de nombreuses espèces d'oiseaux.

Aujourd'hui, l'existence de la réserve et du site Natura 2000 oblige à orienter la gestion du site pour atteindre les objectifs de conservation (milieux et espèces patrimoniales) et de restauration des zones humides. Pour la ville d'Agde, le site joue également un rôle d'atténuation des crues (espace tampon). A une échelle plus large, la réserve du Bagnas s'intègre au sein du bassin versant de la lagune de Thau et s'inscrit donc dans le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et le contrat de gestion intégrée porté par le SMBT (Syndicat Mixte du Bassin de Thau).

Les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) 2016-2021 réaffirment le rôle déterminant des zones humides pour le bon état des masses d'eau. Ils fixent un objectif de non dégradation des zones humides et de restauration de leurs fonctions. Pour cela, le plan de gestion stratégique constitue le document cadre à l'échelle des bassins versants. A l'échelle plus locale des sites, l'outil opérationnel est le document local de gestion. C'est un document de référence validé entre les différentes parties prenantes et qui précise les orientations et les objectifs de gestion. Il définit les enjeux de l'intervention et organise la mise en œuvre d'actions. [\[1\]](#)

Le gestionnaire du Bagnas, a débuté la révision de son plan de gestion, et se doit de renforcer ses connaissances et sa compréhension du fonctionnement hydraulique du site pour orienter la gestion des 10 ans à venir. Dans ce contexte, un partenariat a été établi entre le SMBT et l'ADENA pour développer un outil de gestion hydraulique. Le SMBT travaille sur des approches hydrauliques de qualité des eaux, et la zone du Bagnas draine un important bassin versant comprenant des zones urbaines de la commune d'Agde. D'autre part le SMBT a engagé une approche inondation (Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation) et doit pour cela développer des outils de modélisation hydraulique intégrant les singularités du site afin de pouvoir évaluer les risques d'inondation par ruissellement et par débordement du cours d'eau, la zone du Bagnas étant dans la zone d'épanchement des crues du fleuve Hérault. La réserve a quant à elle besoin de connaître le cheminement des eaux au travers du réseau hydraulique dense et ramifié dont elle à la charge, afin de pouvoir gérer au mieux les flux et les niveaux des masses d'eau, afin d'optimiser la conservation de

certaines habitats privilégiant des espèces inféodées souhaitées. Le patrimoine d'ouvrages et d'aménagements historiques (canaux, roubines, martelières, etc) se sont toutefois détériorés avec le temps et leur fonctionnement n'est pas connu de manière précise. Ceci pose des difficultés au niveau de la gestion du site puisque les objectifs sont devenus des objectifs de conservation du patrimoine naturel et non plus d'exploitation du sel et de l'aquaculture. [2]

Ainsi, l'objectif du stage est multiple et large, il vise à

1. Constituer un inventaire patrimonial exhaustif du réseau hydraulique (canaux, ouvrages, données topographiques) au travers une base de données cartographiques, des fiches ouvrages, des relevés topographiques
2. De construire un outil de modélisation hydraulique intégrant l'ensemble de ces relevés et d'établir un paramétrage et un calage sur les données de suivies (2014-2017)
3. D'exploiter cet outil pour orienter et assister les choix de gestion hydraulique de la réserve du Bagnas.

Les enjeux sont multiples puisque l'étude s'inscrit dans une étude globale financée par l'Agence de l'eau RMC (pour le maintien du bon état écologique de la réserve du Bagnas) et dans une étude globale du bassin de Thau menée par le SMBT.

Ce rapport présentera dans un premier temps le contexte du stage avec les entreprises d'accueil et le site d'étude. Ensuite, une partie présentera les données disponibles et exploitables pour l'étude, et les outils qui ont été utilisés tant sur la campagne terrain que sur le volet ingénierie. Enfin, la partie résultats montrera les étapes de construction et d'utilisation de l'outil hydraulique ainsi qu'un aperçu de la base de données patrimoniales créée pour le gestionnaire. La conclusion se fera sous la forme d'un retour d'expérience vis-à-vis du stage et de ses apports aux entreprises.

I- Contexte

1.1 Présentation des entreprises

1.1.1 L'ADENA

L'ADENA est gestionnaire depuis plus de 30 ans de la réserve du Bagnas. Celle-ci est située sur les communes d'Agde et Marseillan dans l'Hérault (34). La réserve est classée Réserve Naturelle Nationale (RNN) depuis 1983 et site Natura 2000 depuis 2004. Dans ce contexte, l'association a des missions de préservation du patrimoine naturel et d'accueil du public. Pour cela l'équipe gestionnaire est composée de 5 salariés permanents (Agent technique, Animateur, Chargée d'études scientifiques, Conservatrice, Garde-technicien ; voir l'organigramme Figure 1). L'association réunit également plusieurs adhérents qui participent à la vie associative, ainsi que des saisonniers, services civiques et/ou stagiaires qui aident l'équipe dans la réalisation de ses missions. [3]

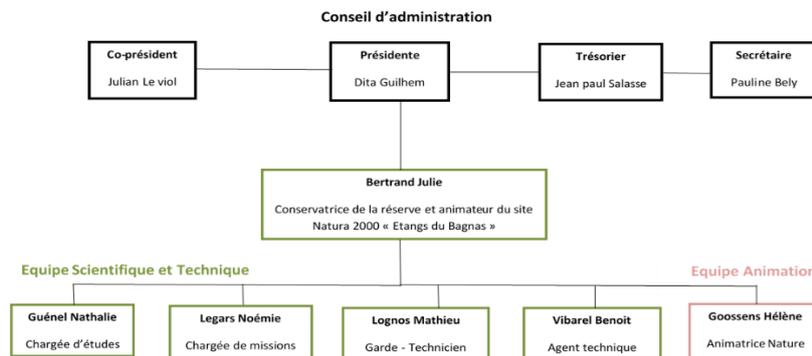


Figure 1: Organigramme de l'ADENA

1.1.2 Le SMBT

Le SMBT reconnu comme établissement public territoriale de bassin (EPTB) a pour rôle de protéger le territoire lagunaire de Thau face aux problématiques de l'aménagement du territoire, de la gestion de l'eau et de l'environnement. Pour cela, il a pour mission la prévention des inondations, la gestion équilibrée de la ressource en eau, la préservation et la gestion des zones humides, ainsi que la mise en œuvre du SAGE sur l'ensemble du bassin versant de la lagune de Thau. Le SMBT est localisé à Sète dans l'Hérault (34) et regroupe 3 intercommunalités : la Communauté d'Agglomération du Bassin de Thau, la Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée et Montpellier Méditerranée Métropole. Il est administré par un comité syndical de 46 délégués et piloté par un directeur entouré d'une équipe d'une douzaine de personnes (Figure 2). [4]

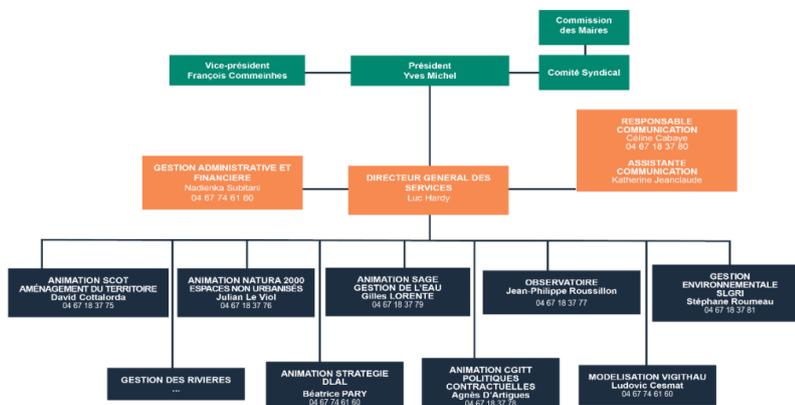


Figure 2: Organigramme du SMBT -Avril 2017

1.2 Développement durable et responsabilité sociétale

La responsabilité sociétale des entreprises (RSE) désigne la prise en compte par les entreprises, des enjeux environnementaux, sociétaux et éthiques dans leurs activités. Ainsi les sociétés impliquées dans la RSE ont des pratiques différenciées notamment dans leur contribution aux enjeux du développement durables. [5]

En tant que gestionnaire d'un espace protégé, l'ADENA se doit d'être impliquée vis-à-vis des enjeux du développement durable et responsabilité sociétale (DDRS). Ainsi, une charte de bonne pratique devrait figurer dans son nouveau plan de gestion de même que l'encouragement à des actions écoresponsables notamment vis-à-vis des transports (co-voiturage/ vélo). Au niveau des actions mis en œuvre, trois volets peuvent être distingués :

Du côté environnementale, la réserve, en tant que zone humide, est un espace tampon qui joue un rôle important dans la prévention des inondations sur la commune d'Agde mais qui est aussi une réserve de biodiversité faunistique et floristique. Du côté pratique, des démarches comme le tri des papiers dans les bureaux ou l'utilisation de papier recyclés pour les impressions sont mises en place, comme l'installation en 2012 de poubelles de tri des déchets ménagers et en 2018 d'un compost avec des fiches explicatives.

Du côté social, des actions de sensibilisation sont menées auprès des écoles (primaire, collège, lycée), des cours sont également dispensés à des masters sur la gestion des lagunes. Au niveau du grand public des animations sont aussi organisées pour sensibiliser les personnes aux espaces naturels.

Du côté économie, toute activité industrielle et commerciale est interdite sur la réserve par décret, mais des conventions de pâturages et de viticulture ont été établies, ce qui permet un développement durable du territoire.

1.3 Présentation du site

Le Bagnas est une zone humide littorale méditerranéenne d'environ 600 ha dont le conservatoire du littoral est le propriétaire principal. Ancien salin puis utilisé pour l'aquaculture, il abrite une importante biodiversité avec des milieux naturels variés (lagunes, sansouïres¹, prés salés). L'un de ses principaux attraits est sa richesse avifaunistique. Le maintien des espèces d'oiseaux aux différentes périodes de l'année est fortement lié à la conservation de la roselière du Grand Bagnas et à des niveaux d'eau adaptés en période de nidification (hérons, laro-limicoles²) et d'hivernage pour les anatidés et la Foulque macroule. Les niveaux de salinité jouent également un rôle important pour la conservation de la faune et la flore (eaux saumâtres pour le maintien de la sansouïre, eau faiblement saumâtre pour la roselière, eau douce pour la cistude d'Europe). La forte salinité de l'eau et un assèchement prolongé en période estivale sont propices au développement des sansouïres, habitat majoritaire du secteur. Les conditions y sont favorables pour la nidification des laro-limicoles et le gagnage³ hivernal des anatidés⁴. [6]

Ainsi le Bagnas est composé de différents plans d'eau (Figure 3): le Grand Bagnas au nord du site qui est le plan d'eau principal, est assimilé à une lagune permanente oligo à mésohaline, il est alimenté à la fois par des apports d'origine naturelle en provenance du bassin versant et par des apports contrôlés issus principalement du canal du Midi ; Le Petit Bagnas au sud composé de lagune temporaire a un fonctionnement naturel (le gestionnaire n'intervient pas pour fixer les niveaux d'eaux) ; le Pairollet qui est un espace de prés salés dans la partie est du Petit Bagnas ; le pré des Sept-Fonts situé entre le Grand et le Petit Bagnas ; le grau du Rieu qui relie le Petit Bagnas à l'étang de Thau au nord, et à la mer au sud en période de hautes eaux ; et enfin le canal de Pont-Martin qui relie le canal du Midi au site du Grand Bagnas.

Le gestionnaire du Bagnas ayant adopté une nomenclature spécifique des espaces du sites ([voir annexe 1](#)), les mêmes noms seront utilisés dans la suite du rapport.

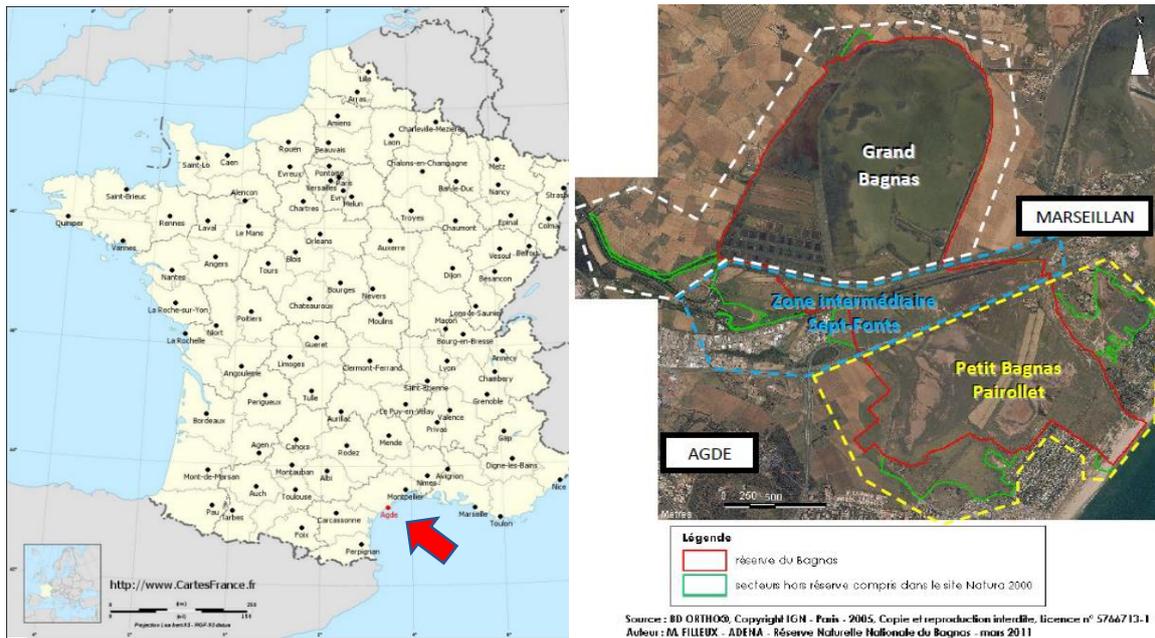


Figure 3: Carte du Bagnas [7]

Pour gérer les niveaux d'eau, le gestionnaire peut intervenir au niveau de la martelière du canal du Midi pour faire entrer de l'eau douce via le canal de Pont Martin et alimenter l'étang du Bagnas et les canaux périphériques. Une évacuation des eaux de l'étang est possible principalement via la martelière du T et du Petit Pont qui débouchent dans le canal du Midi. L'alimentation en eau des bassins périphériques situés à l'ouest de l'étang du Grand Bagnas ne peut être contrôlée par ces ouvrages hydrauliques, et il n'est pas possible d'obtenir des niveaux différents d'un secteur à l'autre de l'étang du Bagnas. Cela serait nécessaire pour permettre d'avoir des niveaux d'eau inférieurs à 20 cm au printemps dans certaines roselières pour favoriser la reproduction des petits hérons paludicoles. Les échanges d'eau avec le canal de Pioch couguioul (connexion avec l'étang de Thau) sont très restreints car contrôlés par une martelière qui reste fermée en général. [2]

1.4 Contexte du stage

Comme indiqué précédemment, la conservation des habitats et espèces d'intérêt patrimonial du site est fortement dépendante des niveaux d'eau et du degré de salinité des eaux. Or, une gestion efficace de l'eau du Bagnas passe nécessairement par une connaissance fine du fonctionnement hydraulique des différents compartiments du site.

Actuellement, de grosses lacunes existent sur la connaissance de ce fonctionnement, or les milieux sont fragiles et les objectifs fixés pour la restauration et le maintien des zones humides sont de plus en plus exigeants dans un contexte de restriction et de partage des eaux sur le territoire. Il apparaît alors comme essentiel pour le gestionnaire de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique du site et de se doter d'outils de suivi et de gestion sur le long terme pour accompagner l'évolution du site et des réflexions.

La connaissance des besoins en volumes d'eau pour ces espaces naturels est également importante dans le plan de gestion de ressource en eau du fleuve Hérault (PGRE-Hérault). Ce fleuve est en effet en déficit quantitatif dans ses débits d'objectif d'étiage (DOE) et la réserve du Bagnas en tant qu'usager de l'eau doit pouvoir être en conformité avec les gestionnaires des étiages du fleuve (Syndicat du fleuve hérault).

Pour l'ensemble de ces points techniques, un partenariat a été noué entre l'ADENA et le SMBT. La première structure définit ses objectifs de gestion et apporte la connaissance du site tandis que la seconde structure apporte l'expertise hydraulique pour construire le modèle hydraulique de la réserve du Bagnas. Le modèle permettra d'un côté d'établir des plans d'actions et de gestion adéquats, et de l'autre il sera intégré dans la modélisation du bassin versant de Thau dans le cadre du SAGE et de la SLGRI (Stratégie Locale de Gestion du Risque inondation) menés par le SMBT. [4]

1.5 Objectifs du stage

Le stage est ainsi co-encadré par la chargée d'études scientifiques de L'ADENA Nathalie Guénel et le responsable modélisation VigiThau du SMBT Ludovic Cesmat. Il vise principalement à développer le modèle hydraulique du secteur du Grand Bagnas et à tester différents scénarios de gestion vis-à-vis des attentes du gestionnaire.

Les résultats seront structurants pour l'avenir du site et influenceront les décisions de gestion dès à présent, puisqu'ils vont permettre d'élaborer le nouveau plan de gestion de la réserve qui est en cours de révision et qui prévaudra pour les 10 prochaines années.

En effet, le plan de gestion d'une RNN (Réserve Nationale Naturelle), devenu obligatoire depuis le décret n°2005-491 du 18 mai 2005, permet d'établir le diagnostic d'une RNN pour aboutir à des objectifs et opérations de gestion précis en vue de la protection des espaces naturels de la réserve.

Les points à aborder pour définir une gestion hydraulique la plus adaptée à la conservation des habitats et espèces du Bagnas sont les suivants [2] :

- Comprendre plus finement le fonctionnement hydraulique et hydrologique naturel des différents compartiments du site, leurs connexions et les relations avec les autres systèmes environnants (canal du Midi, bassin de Thau, etc)
- Cartographier l'ensemble des ouvrages hydrauliques et identifier leurs rôles respectifs
- Modéliser le fonctionnement hydraulique du site selon le mode de fonctionnement actuel
- Connaître les sources de pollution en provenance du bassin versant, hiérarchiser les contributions relatives de chacune, identifier les points noirs à traiter en priorité et définir un programme de suivi de la qualité.
- Définir l'espace de bon fonctionnement (EBF) hydraulique du Bagnas
- Tester des scénarios de gestion (par exemple les manipulations à effectuer, et le temps nécessaire pour réaliser un assec⁵ et re remplir les bassins à un certain niveau d'eau à une date donnée)

Les missions seront donc de s'approprier les enjeux et le contexte de l'étude, créer un modèle hydraulique sous SWMM du fonctionnement de la réserve, récolter des données sur le terrain (topographie, dimensions des ouvrages) afin d'établir une base de données patrimoniale pour la réserve et de compléter le modèle, et enfin l'utilisation de l'outil développé, pour appréhender différents objectifs et établir des scénarios de gestion (assec, salinisation d'un étang, déconnexion entre bassins, etc), pour mieux répondre aux objectifs de conservation des habitats et des espèces et d'amélioration de qualité des eaux.

II- Matériels et méthodes

2.1 Présentation du site d'étude et données patrimoniales existantes

Cette partie vise à présenter le site d'étude, les données patrimoniales et de suivis existantes et utilisées pour cette étude.

2.1.1 Géologie et nature des sols

Les données sur la nature des sols et des sous-sols sont importantes pour comprendre les écoulements d'interaction entre la surface et le sous-sol. Il existe ainsi différents organismes qui mettent à disposition des bases de données donnant des renseignements sur ces caractéristiques. Le BRGM (Bureau de Recherches Géologique et Minière) fournit par exemple la localisation des forages existant avec les caractéristiques du sol ou encore des cartes géologiques (portail infoterre, banque du sous-sol). L'INRA possède également une base de données BDsol recensant les caractéristiques des sols. Ces données ont mis en avant l'existence de nappes d'eau douce ainsi que la présence d'un biseau salé⁶ pouvant interagir avec la surface [8].

2.1.2 Réseaux hydraulique patrimonial et hydrologique

L'ADENA possède une base de données sous forme de SIG qui recense tout type d'informations comme la localisation des ouvrages hydraulique connus ou encore les canaux endommagés et actuels, la localisation de leurs points de mesures etc. Le Tableau 1 et la Figure 4 suivants reprennent les principales caractéristiques du site utilisées lors de l'étude.

Tableau 1: Caractéristiques du réseau hydraulique du Bagnas

| Caractéristique du site | | Superficie des masses d'eau | |
|---------------------------------------|----------|------------------------------------|--------|
| Mètre linéaire de canaux approximatif | 90 000 m | Superficie moyenne du Grand Bagnas | 160 ha |
| Nombre approximatif d'ouvrages | 60 | Superficie moyenne de GB8 | 16 ha |
| Nombre de points de suivi hydraulique | 27 | Superficie moyenne de la demi-lune | 10 ha |
| | | Superficie BV de Bragues | 805 ha |

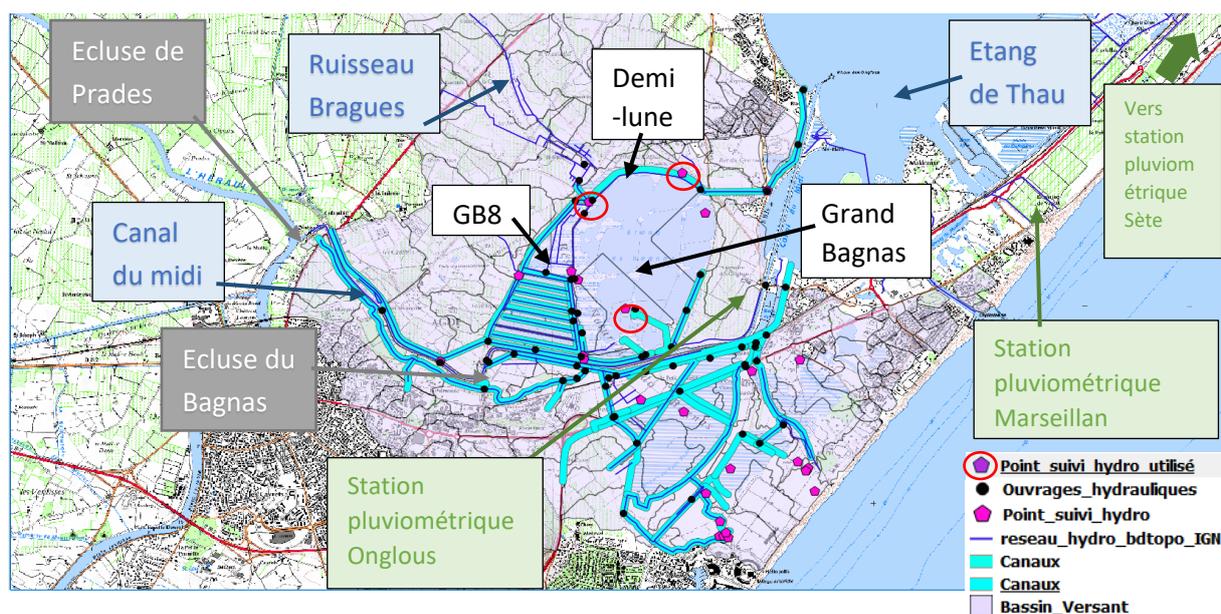


Figure 4 : Points de suivi du Bagnas

2.1.3 Topographie

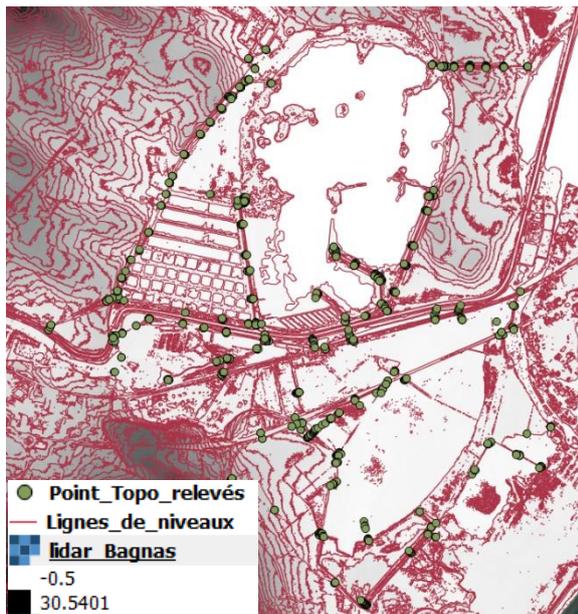


Figure 5: Carte topographique du Bagnas

Des données altimétriques et de télédétection sont disponibles sur l'ensemble du site du Bagnas comme celle du LIDAR (light detection and ranging) réalisé en 2011 (qualité de mesure de 25 cm vertical et résolution de 1 m horizontal [8]) ou du MNT (Modèle Numérique de Terrain) de 2012 (avec 5m de résolution). Il existe également des bornes géodésiques IGN au sein de la réserve dont les fiches sont accessibles en ligne (par exemple le point de matricule M.D.M3 - 7a au niveau de la prise d'eau sur le canal Pont Martin, référencé à une altitude de 2,704 m) et qui ont été utilisées comme points de repère pour le travail topographique de terrain. La Figure 5 représente les lignes de niveaux (d'un mètre) obtenues avec le Lidar et les points topographiques relevés sur site.

2.2 Données hydro-climatiques utilisées

Différentes données hydro-climatiques ont été récupérées auprès de différents fournisseurs, certaines ont été intégrées au modèle hydraulique.

2.2.1 Réseau de Suivi hydrologique de la réserve

Le site du Bagnas fait l'objet d'un suivi hydrologique bimensuel depuis 1997, avec 74 points de suivis dont une vingtaine actuels (voir points de suivi Figure 4), comprenant la relève du niveau d'eau des différents bassins et le suivi physico-chimique des eaux. Les niveaux d'eau sont relevés soit en mNGF lorsque le bassin est équipé d'une échelle référencée en mNGF, soit en hauteur relative grâce à une échelle disposant d'une règle de mesure. Le volet eutrophisation et sédiments a été suivi par un autre réseau : le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) opéré par l'Ifremer de 2002 à 2014 inclus. Les mesures de qualité physico-chimique intègrent les paramètres suivants : concentration et saturation en oxygène, turbidité, pH, salinité, conductivité, température.

Les courbes de hauteur d'eau de 3 bassins (L'étang du Grand Bagnas, la demi-lune, et le bassin GB8) provenant du suivi seront utilisées par la suite pour caler le modèle hydraulique. La Figure 6 présente les hauteurs d'eau de ces bassins sur plusieurs années.

Les variations de niveau de l'étang du Grand Bagnas montrent un fonctionnement saisonnier marqué, lié au réglage des vannes de remplissage par le canal du midi et de vidange. Hormis l'apport pluvial, le compartiment GB8 est alimenté par l'étang du Grand Bagnas. Il s'équilibre avec celui-ci dès que son niveau est supérieur à 0.2mNGF. La demi-lune dépend des apports du ruisseau de Bragues et du canal du midi.

A partir d'octobre le niveau de chaque bassin croît pour atteindre une hauteur maximale moyenne de 0.6mNGF au Grand Bagnas, 0.4 mNGF en GB8 et demi-lune. Au début du printemps, le niveau décroît progressivement jusqu'à un niveau minimal atteint fin août à -0.1 mNGF au Grand Bagnas, -0.28 mNGF en GB8 et 0,21 mNGF à la demi-lune. Ainsi le bassin GB8 s'assèche totalement en été, quand le niveau d'eau de l'étang principal devient insuffisant pour l'alimenter, et la demi-lune s'assèche durant l'été sur une durée de 3 à 4 mois.

L'amplitude courante des bassins sur l'année est alors de 0,5m pour le Grand Bagnas, 0,3 à 0,4m pour la demi-lune et 0,6m pour GB8. Le profil de l'année 2016 est différent des autres années pour le Grand Bagnas à la suite de l'assec qui a été réalisé en avril, le mettant à sec en aout (-0,2 mNGF). Les vitesses de chute de niveau sont de l'ordre de 7 cm/mois pour le Grand Bagnas et GB8 et de 5cm/mois pour la demi-lune.

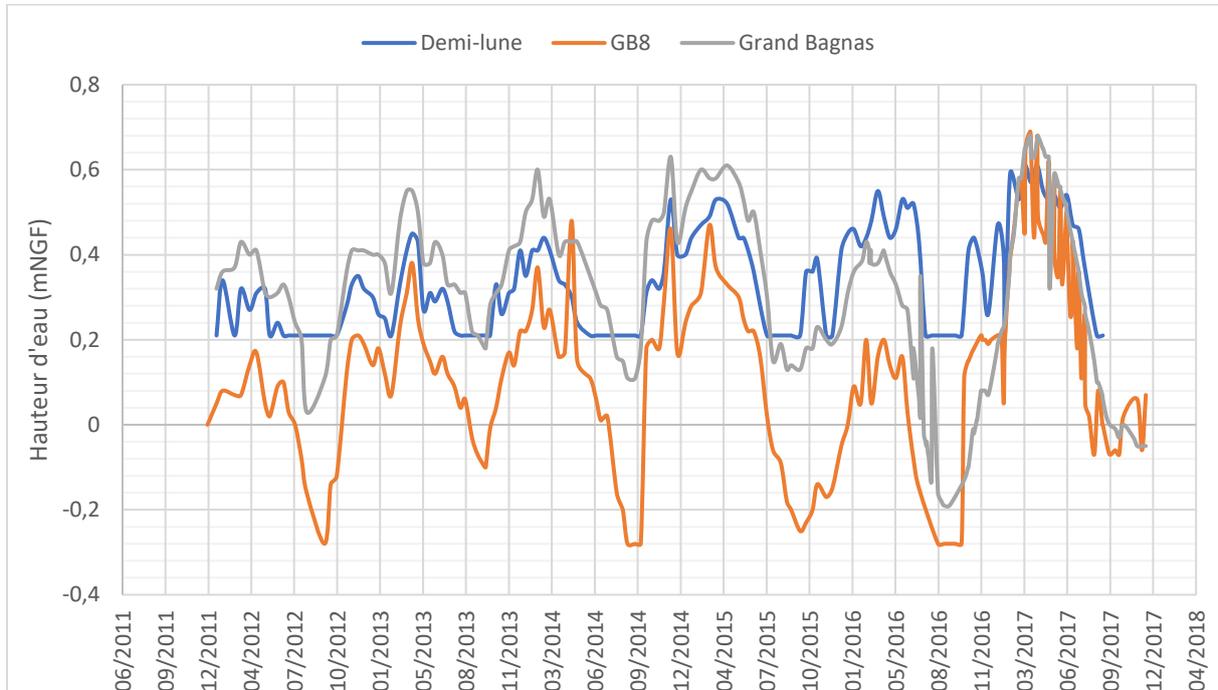


Figure 6: Graphique des hauteurs d'eau suivies du Grand Bagnas, GB8 et la demi-lune

Le Tableau 2 suivant reprend le radier (en mNGF) des trois bassins.

Tableau 2: Cote NGF des bassins

| | Grand Bagnas | GB8 | Demi-lune |
|----------------------|--------------|-------|-----------|
| Radier (mNGF) | -0,65 | -0,28 | 0,21 |

2.2.2 Pluviométrie

Plusieurs stations de mesures pluviométriques se trouvent aux alentours de la réserve (voir localisation Figure 4), les relevés sont effectués automatiquement toutes les heures et donne la quantité de pluie tombée en millimètre :

- La station des Onglous (données à partir du 15/12/2013) source VIGITHAU (Sète Agglomération Métropole et SMBT)
- La station de Marseillan (données à partir du 15/12/2013) source VIGITHAU (Sète Agglomération Métropole et SMBT)
- La station de Sète (données de 2002 à 2015) source météociel, station du Sémaphore de Météo-France

De même, l'ADENA effectue un relevé ponctuel de la pluviométrie sur le site de la réserve lors d'épisodes pluvieux mais ces relevés sont journaliers. Pour les apports hydrologiques (ruisseau de Bragues, bassin versant naturel, et aire de ruissellement) les données pluviométriques horaires permettent de mieux appréhender les productions de volumes d'eau s'écoulant à la lagune et seront retenus pour la suite.

2.2.3 Evaporation

Les données d'évaporation potentielle mensuelle (de 1988 à 2012) ont été achetées à Météo France. Les données de 2012 à aujourd'hui ont été complétées en utilisant la moyenne interannuelle de 1988 à 2012 (Figure 7). Ainsi une forte évaporation est observée au mois de juillet, de l'ordre de 170 mm pour n'atteindre que 18 mm au mois de décembre ou l'évaporation est au plus bas.

L'ADENA a également mis en place en 2018 un bac d'eau en acier inoxydable de 1m sur 1m d'une profondeur de 50 cm, enterré sur 40 cm, pour mesurer l'évaporation in situ. Le bac est rempli initialement à 40 cm et est équipé d'une règle de mesure pour la lecture du niveau d'eau. Au cours du stage les relevés d'évaporation ont été effectués toutes les semaines, pour cela le niveau d'eau est noté en cm et après chaque lecture il est remis à l'initial.

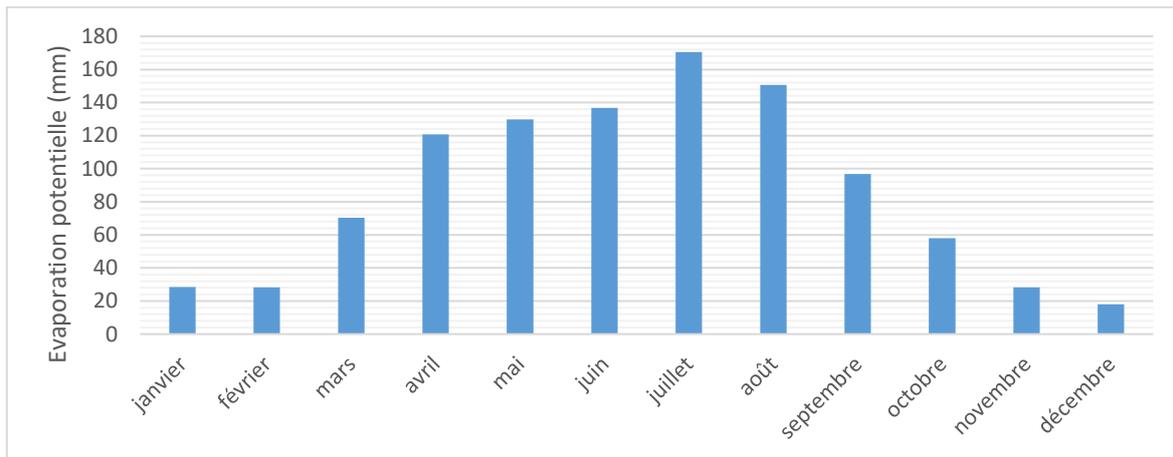


Figure 7: Evaporation potentielle mensuelle moyenne (1988-2012)

2.2.4 Limnimétrie de l'Hérault

Une station de mesure hydrométrique de l'Hérault opérée par la DREAL-Occitanie se trouve avant l'écluse de Prades qui contrôle le niveau d'eau dans le canal du midi. Cette station de mesure sert par ailleurs de station de jaugeage débitmétrique de l'Hérault afin de contrôler les étiages en aval et instaurer la gestion des prélèvements amont sur le fleuve. Le fichier limnimétrique du fleuve a donc été récupéré auprès de la base de données : banque hydro de France (Code station Y2372010). Les données sont disponibles de 1979 à 2018. L'écluse de Prades (localisation Figure 4), appelée écluse de garde, s'ouvre quand le niveau de la ligne d'eau de l'Hérault est inférieur à 1,95 mNGF et se referme quand elle est supérieure à 2mNGF afin de protéger les installations et le canal du midi de trop forts débits pouvant entraîner potentiellement de l'érosion et la fragilisation des berges. L'écluse du Bagnas est quant à elle, celle qui écluse les bateaux.

Un épanchoir côté à 1.6 mNGF et dont le niveau peut être réhaussé avec des batardeaux, contrôle le niveau du bief pour le tirant d'eau voulu par le gestionnaire. Ainsi, le niveau du canal du midi du bief amont sur lequel se situe les prises d'eau du Bagnas est contrôlé par le niveau de la cote de déversement de l'épanchoir du Bagnas et par le niveau du fleuve et donc de son débit. Dans la suite de cette étude, les données de niveau de l'écluse de Prades seront utilisées comme le niveau de la ligne d'eau contrôlant les intrants dans le Bagnas.

La Figure 8 ci-dessous reprend la limnimétrie du fleuve ainsi que les relevés bimensuels du niveau du canal du midi effectués par l'ADENA. Le suivi du niveau dans le canal du midi, montre que celui-ci dépasse rarement 2 mNGF (ce qui est normal étant donné que l'écluse de Prades se ferme pour des niveaux supérieurs de l'Hérault). De plus, il est en accord avec la limnimétrie de l'Hérault, excepté

pour 3 points qui peuvent provenir d'une erreur de saisie dans la base de données ou qui correspondent à une période d'entretien du canal du midi.

Etant donné que le suivi présente de plus grandes incertitudes, que sa fréquence ne permet pas de suivre avec précisions les variations de hauteur du canal et que les points de mesure réalisés sont similaires à la limnimétrie de l'Hérault, il apparaît comme valide d'utiliser la limnimétrie comme condition de bief amont en fixant la fermeture de l'écluse au-delà de 2 mNGF.

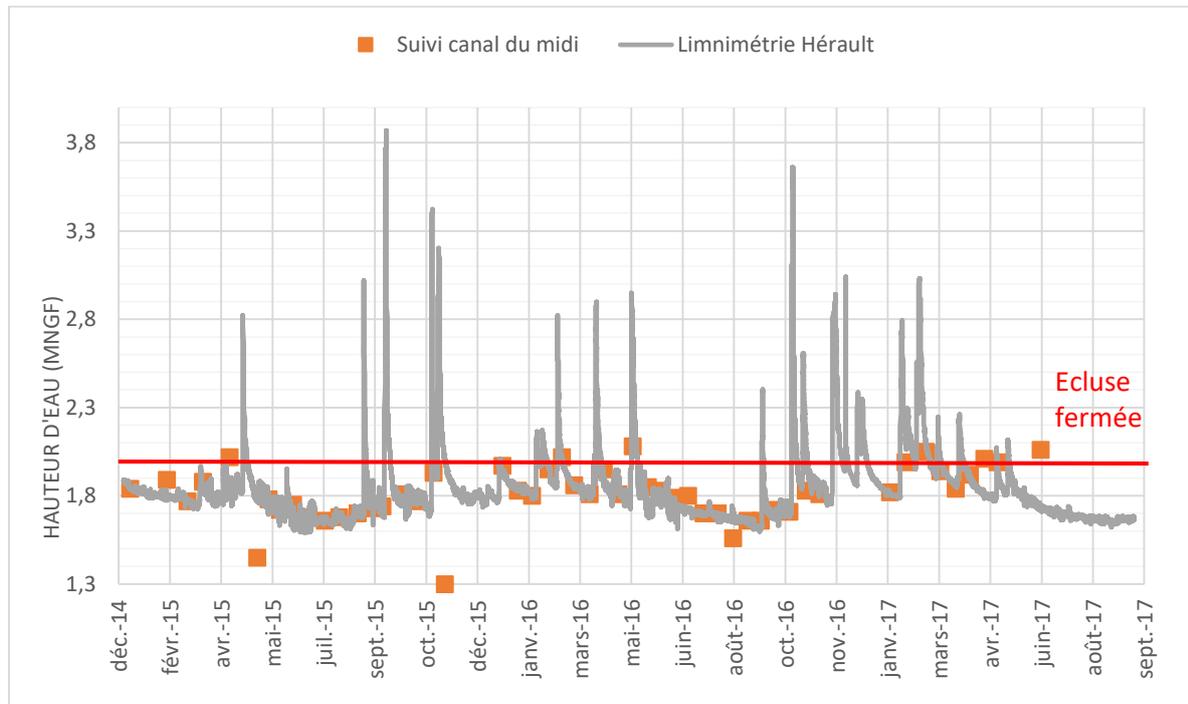


Figure 8: Graphique du suivi limnimétrique de l'Hérault (2015-2017)

2.2.5 Base de registre de manipulation des ouvrages

Depuis 2009, l'équipe tient un registre de toutes les manipulations des ouvrages qui sont effectuées. Ainsi, la base de données recense des informations comme le nom de la martelière manipulée, la date, l'heure et le type de manipulation (Ouverture/fermeture) avec en commentaire le motif de l'intervention. Huit martelières sont ainsi utilisées pour gérer les entrées et sorties d'eaux des différents bassins de la réserve. Entre 20 et 40 manipulations sont recensées dans le registre chaque année.

2.2.6 Marégraphe

L'étang de Thau étant en connexion avec le Bagnas via le canal de Pioch Couguioul ou bien via le canal du midi lui-même (bief aval), il aurait été intéressant d'en connaître la variation de hauteur. Cependant la limnimétrie de l'étang n'étant pas mesurée, seules les données du marégraphe de Sète ont été récupérées via le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) pour représenter à défaut le forçage de la mer sur l'étang et donc de l'étang sur le Bagnas. Notons que les amplitudes de marnages quotidiens via les marées urnes et diurnes sont bien moins importantes dans la lagune (5-6 cm) qu'en mer (trentaine de centimètre).

Ces données marégraphiques sont exprimées dans le référentiel hydrologique local. Le référentiel Altimétrique de la Marine (RAM) nous informe que le zéro hydrologique est de 29,3 cm en dessous du 0 mNGF. De même, le niveau moyen de la mer est de 46,3 cm en zéro hydrologique, c'est-à-dire à 16,6 mNGF.

2.3 Campagne terrain



Figure 9: DGPS

Une campagne de terrain de 4 semaines a été planifiée pour relever les profils en long et en travers des canaux du Bagnas, les dimensions des ouvrages hydrauliques et leur description. Un GPS différentiel (DGPS) a été loué pour établir les relevés topographiques du Grand Bagnas ainsi que les altitudes des différents ouvrages. Préalablement à l'utilisation de cet outil, une formation a été dispensée afin de le prendre en main.

Le DGPS est une amélioration du GPS, il utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues. En fait, le récepteur reçoit la différence entre les pseudo-distances mesurées par les satellites et les véritables pseudo-distances et peut ainsi corriger ses mesures de positions. Le terme DGPS peut s'appliquer aussi bien à la technique elle-même qu'à des implémentations qui l'utilisent.

Le DGPS qui a été loué, est composé d'un boîtier fixé en haut d'une perche, permettant de détecter les satellites, et d'un boîtier de contrôle (Figure 9). Sa fonction topographie permet de relever l'altitude du bas de la perche en mNGF ainsi que les coordonnées GPS du point relevé. Afin de fonctionner, il doit détecter au minimum 6 satellites, il faut donc éviter que le boîtier soit obstrué pour qu'il puisse détecter les satellites. Lors des mesures, certains problèmes de détection ont été rencontrés, notamment proche de lignes électriques (qui brouillaient le signal), ou encore au niveau du canal Pont Martin dont le couvert végétal est trop dense. Ce canal représentant un enjeu fort dans la modélisation du fonctionnement hydraulique (principaux apports prélevés sur le bief du canal du midi), il a fallu utiliser une autre technique pour effectuer son relevé topographique.

Les relevés topographiques du canal Pont Martin se sont donc fait par nivellement géométrique. Une mire manuelle (règle graduée tous les centimètres) est tenue verticalement à l'aide d'un niveau par un opérateur. Un deuxième opérateur utilise un niveau (appareil qui permet de matérialiser une ligne de visée horizontale) mis en station sur un trépied et équipée de lunette, pour lire la hauteur sur la mire (Figure 10).

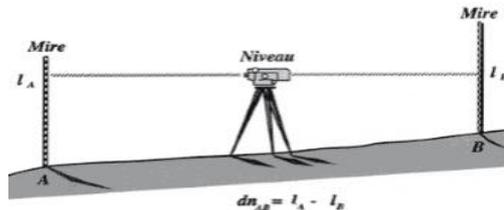


Figure 11: Schéma de lecture de mire [9]



Figure 10: Niveau

Le dénivelé résulte de la différence des lectures entre deux points (Figure 11). En partant d'un point de référence connu comme une borne géodésique, on peut retrouver, de proche en proche, l'altitude de chaque point. Lorsque la station est déplacée, le dernier point mesuré devient le point de référence, il doit donc être à nouveau mesuré depuis le nouvel emplacement de la station.

En amont de la campagne terrain, des fiches terrains, recensant toutes les informations à relever ([voir annexe n°2](#)), et un planning ont été établis pour maximiser la récolte de données et prioriser les relevés à effectuer. Ayant eu du temps supplémentaire, des relevés ont été faits sur le petit Bagnas mais dont les données ne seront pas exploitées dans la modélisation hydraulique, le stage s'étant consacré uniquement à la modélisation du réseau hydraulique nord. En aval, des fiches patrimoniales (fiches ouvrage et fiches transects) ont été créés pour le gestionnaire, recensant toutes les informations récoltées.

Le jaugeage des débits des deux prises d'eau (Pont Martin et sept fonts) et des martelières d'évacuation des eaux (T, Petit Pont et Pioch Couguioul) a été effectué dans le but de vérifier et ajuster leurs courbes de tarages. Pour ce faire, un moulinet (Flow Probe, FP11-FP211) a été utilisé pour mesurer la vitesse (m/s) avec une précision de 0,1 m/s [\[10\]](#), ainsi qu'un courantomètre électromagnétique (BFM 801) [\[11\]](#) d'une précision de 0,001 m/s.

Le jaugeage dont l'objectif consiste à estimer le débit au droit d'un transect, consiste alors à mesurer la vitesse du courant en plusieurs points dans le plan perpendiculaire à l'écoulement. Des coefficients permettent de pondérer les mesures à proximité des limites du profil (bords, fond et surface). Une vitesse moyenne est alors calculée puis transformée en débit au travers de la section d'écoulement. Le dépouillement du jaugeage s'est fait à l'aide du logiciel DEPJAU du BRGM qui calcul le débit d'écoulement [\[12\]](#).

2.4 Outil de modélisation hydraulique

2.4.1 PCSWMM

Le logiciel PCSWMM est un logiciel de modélisation hydraulique couplant sous la même interface une base de données, une modélisation hydrologique et hydraulique et un rendu SIG. Il intègre un modèle de simulation hydraulique complet par la résolution des équations complètes de Barré de Saint Venant, permettant une représentation des écoulements en régime transitoire en surface libre et/ou en charge.

L'ensemble des ouvrages hydrauliques susceptibles d'être rencontrés ou créés dans un système peuvent être pris en compte de manière dynamique (règles de contrôle de martelière, de vanne, automatisme...) dans la modélisation. Pour les simulations en temps de pluie, les modules hydrologiques français (transformation pluie-débit et pluie de projet de Desbordes) sont intégrés dans le logiciel. L'infiltration peut être simulée par 3 modèles possibles (Horton / Green Ampt / SCS). [\[13\]](#)

2.4.2 Intégration des données et conditions aux frontières

Des conditions aux frontières ont été fixées dans le modèle sous la forme d'exutoires auxquels on fixe une condition aux limites (libre, normal, fixe, condition de marée, ou série de valeurs) :

- Sur le bief amont du canal du midi au niveau de l'Hérault, la série de données de la limnimétrie de l'Hérault fixant la hauteur d'eau dans le canal a été affectée.
- Sur le bief aval du canal du midi au niveau de l'étang de Thau, la série de données du marégraphe de Sète a été affectée.

Il est possible d'intégrer des données de climatologie (température, évaporation, vitesse du vent) via un éditeur. Ici seules les valeurs d'évaporation potentielle, s'appliquant aux bassins de stockage, ont été renseignées.

Concernant la pluviométrie, les séries de données des pluviomètres peuvent être ajoutées au modèle. Il est alors nécessaire de créer des sous bassins versants auxquels on affecte la série pluviométrique voulue. Il convient ensuite de relier les sous-bassins aux jonctions du modèle, indiquant de ce fait le point d'entrée des eaux de ruissellement issues du sous-bassin en question. Différents paramètres comme la surface perméable / imperméable, le stockage en surface, le couvert neigeux etc, viennent ajuster chaque sous bassins.

Le découpage des sous bassins versant avait été préalablement établi avec la paramétrisation des pourcentages de surfaces imperméables (à partir des surfaces de route et de bâtiment de la BD-topo de l'IGN). De même les caractéristiques de pente de ces sous bassins versant ont été estimées à partir du LIDAR. Des coefficients de la loi d'Horton utilisée dans le modèle pluie-débit a été reporté d'un calage d'autres ruisseaux du bassin de Thau, et pourra constituer un paramètre contrôlable pour caler l'outil.

Les manipulations des martelières (représentées par des orifices dans le modèle) ont également été intégrées dans PCSWMM par l'intermédiaire des règles de contrôles. Elles permettent de réguler l'ouverture et la fermeture des orifices présents dans le modèle, comme elles l'ont été par les agents de la réserve dans la période retenue pour les simulations.

Il faut alors créer pour chaque orifice une règle de fermeture (setting=0) et une règle d'ouverture (setting=1). Lorsqu'une simulation est lancée il faut pour chaque manipulation des martelières effectuée calculer le temps (en heure), entre la date de début de simulation et la date à laquelle l'ouvrage a été manipulé.

Un code VBA (Visual Basic) a été élaboré sur Excel pour faire les calculs et écrire toutes les règles de contrôles automatiquement en fonction de la date à laquelle la simulation est lancée (le détail du programme se trouve en [annexe n°3](#)). On obtient des règles sous la forme suivante pour chaque orifice :

```

RULE M2B_f
IF SIMULATION TIME = 16080
Then ORIFICE M2B SETTING = 0
RULE M2B_o
IF SIMULATION TIME = 0
OR SIMULATION TIME = 12805
OR SIMULATION TIME = 17304
Then ORIFICE M2B SETTING = 1

```

D'autres règles ne dépendant pas du temps peuvent être ajoutées, notamment pour contrôler l'ouverture de l'écluse du canal du midi au niveau de l'Hérault qui dépend de la hauteur d'eau de celui-ci :

```

RULE pradesF
IF NODE OF1 DEPTH > 2
THEN ORIFICE ecluse_prades SETTING = 0
RULE pradesO
IF NODE OF1 DEPTH < 1.95
THEN ORIFICE ecluse_prades SETTING = 1

```

Avant chaque simulation, il est nécessaire d'ajouter les règles de contrôles correspondantes aux dates simulées et de fixer la hauteur d'eau initiale dans les bassins de stockage, hauteur d'eau observée par le réseau hydrologique de la réserve. Pour cela, un fichier Excel compilant les hauteurs relevées dans les bassins a été établi et donne la hauteur mesurée en fonction de la date voulue.

2.4.3 Paramètres contrôlables pour ajuster le modèle

Différents paramètres peuvent être modifiés afin d'ajuster le modèle aux mesures observées :

- L'infiltration du sol : loi de Horton

$$i(t) = if + (i0 - if) * e^{-kt}$$

L'estimation du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va alimenter les écoulements souterrains. La formule de Horton exprime la capacité d'infiltration mais nécessite de déterminer différents paramètres dont les valeurs existantes sont très hétérogènes.

$i(t)$: capacité d'infiltration au cours du temps
 $i0$: capacité d'infiltration initiale (mm/h)
 if : capacité d'infiltration finale (mm/h)
 k : constante en fonction de la nature des sols (min^{-1})

- Fuites (conductivité et facteur d'évaporation) des bassins de stockage : la conductivité en mm/h représente les pertes par infiltration dans le sol, et le facteur d'évaporation permet d'ajuster les pertes par évapotranspiration.
- Rugosité des canaux et pertes de charges (linéaires et singulières) : le coefficient de Manning représente ces pertes de charges (en $\text{s/m}^{1/3}$), il dépend de la nature des sols et de la singularité.

Les hauteurs d'eau simulées et observées sont comparées en premier lieu par appréciations visuelles. En second temps, d'autres indicateurs permettent d'évaluer quantitativement la qualité de l'ajustement entre les signaux simulés et observés : amplitude, volume entrant, hauteur max et min, le critère de Nash ($Nash = 1 - \frac{\sum(X_{obs} - X_{calc})^2}{\sum(X_{obs} - \bar{X}_{obs})^2}$) qui permet une évaluation de la fiabilité du modèle sur la période considérée (doit être proche de 1).

Il existe par ailleurs une fonctionnalité de calage intégrée au logiciel PCSWMM permettant de faire varier des paramètres pour ajuster graphiquement la simulation aux mesures observées et évaluer les gammes de valeur des paramètres contrôlables sur les sorties. Dans notre cas, les paramètres d'infiltration dans les réservoirs, les paramètres d'infiltration pour les apports hydrologiques, et les paramètres de facteur d'évaporation ont été modulés afin de bien reproduire les bilans quantitatifs et les niveaux des différents réservoirs.

2.4.4 Scénarios projetés

Le gestionnaire de la réserve a établi et défini des scénarios à tester en priorités vis-à-vis du Grand Bagnas. Ce travail en hydraulique sera par ailleurs présenté au comité de pilotage de la réserve qui rassemble les gestionnaires et des partenaires (DREAL, Conservatoire des espaces naturels, scientifiques, Agence de l'eau) et pourra également solliciter certaines demandes à tester avec l'outil développé. Sur les premiers scénarios imaginés en interne à la réserve, quatre principales thématiques en sont ressorties :

- Les assecs

Le gestionnaire désire connaître les temps de mise à sec et de remise en eau, soit les vitesses de remplissage et de vidange (en cm/semaine) du Grand Bagnas par l'ouverture indépendante ou combinée des trois martelières (Pioc Couguioul, T, Petit Pont). Dans le cas d'un assec total en roselière (cas de gestion fréquent), qui équivaut à un assec partiel de l'étang (-7 cmNGF) : Il voudrait savoir s'il est possible et comment gérer les martelières pour avoir 20 cm d'eau pendant au moins 1 mois en été, en partant entre 13 et 33 cmNGF début juillet, et pouvoir revenir à 13 cmNGF mi-septembre.

- La salinisation de l'étang

La question de la salinisation de l'étang se pose pour le gestionnaire, il aimerait avoir une idée des possibilités existantes pour réintroduire du sel. Pour cela il est possible de faire rentrer de l'eau salée de l'étang de Thau par la martelière de Pioc Couguioul, du T et du Petit Pont. Avec le marégraphe de

Sète, il est possible de connaître le nombre de jour par an où le niveau de l'étang de Thau est supérieur à celui du Grand Bagnas et donc d'avoir un ordre d'idée de la quantité de sel pouvant être introduite chaque année. L'idée est d'évaluer les volumes et tonnage de sel qu'il est possible de faire rentrer et d'évaluer les taux de salinité dans la masse d'eau du grand Bagnas.

- Volumes d'eau prélevés

Dans un contexte de raréfaction de la ressource et donc de restriction et de partage des eaux sur le territoire, l'ADENA souhaiterait connaître les volumes d'eau prélevés au cours de l'année et principalement pendant l'été, savoir s'il est possible de maintenir des niveaux d'eau à 13 cmNGF sans prélèvement, ou si ce n'est pas possible, le débit minimum nécessaire à leur maintien.

- L'aspect pollution (eutrophisation)

En cas de pollution de l'Hérault ou lors de lessivage des sols après de fortes pluies, des pollutions peuvent être apportées dans les eaux de la réserve. Le gestionnaire voudrait donc connaître les taux de concentration et le temps de renouvellement des eaux du Grand Bagnas.

Afin de répondre à plusieurs des questions posées, il est apparu indispensable de créer les abaques (de prise d'eau et de vidange) des 4 principales martelières (Pioch Couguioul, canal du T, Petit Pont et Pont Martin) de même que la prise d'eau des sept fonts permettant d'alimenter le petit Bagnas même si ce secteur ne sera pas traité pendant le stage. L'idée est d'établir un tableau donnant le débit en m³/j en fonction de la différence des cotes amont / aval de la martelière (par tranche de 5 cm et de traduire cette valeur en variation de hauteur sur le Grand Bagnas (cm/semaine) en tenant compte de l'évaporation par mois.

2.5 Détermination de l'EBF

Le SDAGE 2016-2021 préconise et incite à établir l'EBF des zones humides, dont l'enjeu se renforce dans le contexte du changement climatique puisqu'il est une composante indispensable au maintien de la capacité de la zone humide à répondre aux perturbations. Il a donc fallu lors du stage, délimiter l'EBF hydraulique du Bagnas. Pour cela, il existe des guides mis à disposition par l'Agence de l'eau. Le guide portant sur la délimitation de l'EBF des zones humides n'étant pas encore publié, c'est celui sur la délimitation de l'EBF des cours d'eau qui a été consulté à titre d'indication.

Il a été choisi d'intégrer les points suivants dans l'EBF hydraulique :

- Le périmètre de la réserve
- Les cartographies des périmètres réglementaire existant sur le territoire : zones humides alentours, parcelles classées N2000 et celles appartenant au CDL
- La cartographie des risques pour une crue moyenne

La délimitation du périmètre hydraulique de l'EBF s'est faite sur Qgis. Une version schématique sera présentée lors du comité technique courant juillet, où figureront les continuités et les échanges de l'extérieur avec l'EBF (corridor écologique, étang de Thau, fleuve de l'Hérault etc).

III- Résultats et discussion

3.1 Constitution d'une base de données patrimoniales

45 fiches ouvrages ont été établies sous la forme d'un fichier Excel comportant un index des ouvrages et une fiche ouvrage par feuille. On retrouve parmi eux les ouvrages structurants comme la prise d'eau du canal Pont Martin ([voir annexe n°4](#)), mais également les ouvrages qui ne sont plus en état de fonctionnement (cassés, bouchés).

Les fiches recensent des informations comme la localisation géographique de l'ouvrage (photo aérienne et coordonnées GPS), l'éditeur de la fiche et la date à laquelle elle a été créée, une description de l'ouvrage (état, fonctionnement, nature des matériaux etc) et ses caractéristiques (radier, dimensions etc). Elles vont permettre au gestionnaire de connaître avec précision le parc des ouvrages existants (état, fonctionnalité), elles pourront ainsi aider à prendre des décisions et l'aider dans sa gestion et l'entretien de son patrimoine.

De même, des fiches transects des canaux de la réserve ont été réalisées rassemblant tous les points de mesures et information relevés. On retrouve ainsi un fichier Excel comportant 7 fiches pour les principaux canaux du Grand Bagnas (le contre canal, le canal de ceinture, le canal du T, le canal est, le canal ouest, Pioch couguioul et Pont Martin) et 3 fiches pour les zones en dehors du Grand Bagnas (le petit Bagnas, les sept fonts et la zone intermédiaire).

Elles recensent le rédacteur et la date de rédaction, les numéros de points avec les coordonnées GPS, l'altitude du point en mNGF, le code du transect (un même code correspondant à un même transect), et des informations relevées comme l'état d'embroussaillage, la nature des berges et la hauteur de vase (en cm) estimée dans le canal ([voir annexe n°5](#)).

Tous les points relevés ont aussi été ajoutés à la base de données SIG de l'ADENA sous la forme d'une couche vecteur. Ces informations patrimoniales seront utiles au gestionnaire pour le suivi de l'état et du dimensionnement de son réseau de canaux.

3.2 Outil de modélisation hydraulique développé et calé

Tout le travail de modélisation de cette étude s'est effectué sur un sous modèle de la partie nord de la réserve (Figure 12), qui sera réintégré au modèle principal ([photo en annexe n°6](#)) comportant la partie sud. 504 objets sont recensés sur le sous modèle, composés de canaux, nœuds, déversoirs, stockage etc (Tableau 3). Le linéaire modélisé est important : 36 238 m avec un bassin versant d'une superficie de 1 530 ha drainant toutes les eaux jusqu'au Grand Bagnas. Les temps de calculs sont de l'ordre d'1h30 pour 1 an de simulation ce qui reste corrects à l'échelle d'une journée de travail.

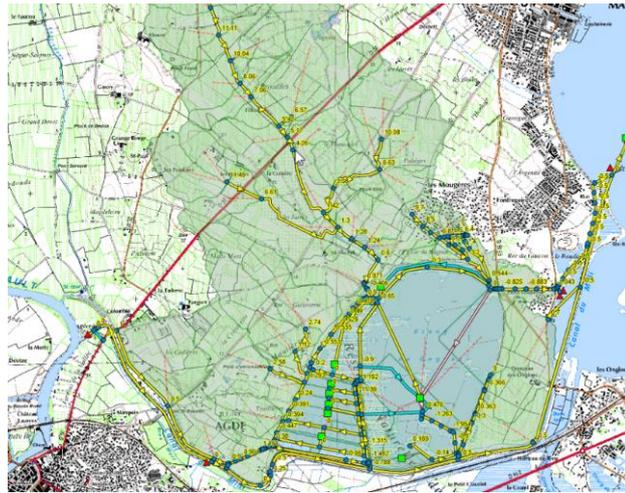


Figure 12: Schéma du modèle hydraulique développé sur la zone du Bagnas nord

Tableau 3 : Objets du modèle

| | | | |
|------------------------------|--------|--|-------|
| Nombre de nœuds | 205 | Nombre de bassins de stockage | 11 |
| Linéaire modélisé (m) | 36 238 | Nombre de sous bassins | 70 |
| Nombre d'objets | 504 | Superficie totale sous bassins (ha) | 1 530 |
| Nombre d'ouvrages | 25 | Nombre de profil en travers recensé | 69 |
| Nombre de canaux | 219 | Nombre de cote recensée | 11 44 |

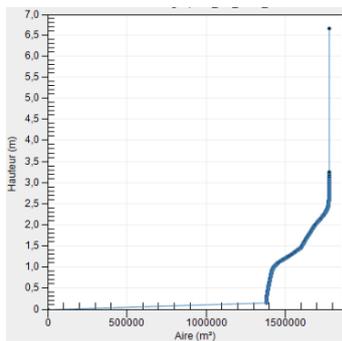


Figure 13: Profil du Grand Bagnas

Les profils des bassins de stockage ont été obtenus avec le Lidar en estimant l'aire par tranche de 0,01 m de hauteur. Concernant le profil du Grand Bagnas (Figure 13), l'aire varie peu (environ 1 400 000m²) jusqu'à 1m, puis croit régulièrement jusqu'à 2,5m (1 770 000 m²) puis reste constante jusqu'à 6m. Le radier du bassin étant de -0,65 mNGF et le lidar ne descendant pas en dessous de -0,5 mNGF, il a fallu extrapoler les valeurs obtenues pour les faibles hauteurs (entre 0 et 0,15 m). Ainsi ces valeurs peuvent être discutables du fait de l'extrapolation.

3.2.1 Comparaison entre simulé et observé

Une simulation sur 3 ans (de septembre 2014 à septembre 2017) comprenant un assec partiel en 2016 a été conduite. La Figure 14 montre la variation du niveau du Grand Bagnas simulé, comparé au niveau suivi. Le profil obtenu est similaire au profil observé en 2015 et 2016, cependant de forts écarts sont observés lorsque le bassin se remplit après l'assec de 2016.

Ceci pourrait s'expliquer par une forte infiltration des eaux de remplissage dans les nappes souterraines qui ont dû se rabattre bien au-dessous de la cote radier de la lagune du Grand Bagnas lors de l'assec. Il faut alimenter et remplir la nappe sous-jacente de la lagune jusqu'à son radier avant de commencer à remplir le Grand Bagnas ce qui implique alors plus de temps (et de volume) pour que l'étang ne se remplisse.

Ces phénomènes d'interaction avec les nappes ne sont pas représentés dans le modèle ou bien uniquement en termes de fuites (et pas en termes de remontée de nappes), les résultats de simulation ont ainsi tendance à surestimer les volumes de l'étang entre 2016 et 2017.

Ainsi, le volume nécessaire pour remplir l'étang après l'assec (entre le 01/10/2016 et le 01/04/2017) a été de 1 359 090 m³ observés contre 1 764 606 m³ simulés, soit une surestimation de 405 515 m³. Ceci peut donner un ordre de grandeur du volume nécessaire pour remplir la nappe sous-jacente au Grand Bagnas. Pour un débit moyen de 9 262 m³/j à cette période de l'année (voir partie [3.3.1](#)), il faut 45 jours pour apporter un tel volume au Grand Bagnas.

D'autres pics présents sur la courbe observée (entourés en rouge) sont toutefois peu cohérents et peuvent mettre en doute la qualité de certaines données liminigraphiques de la base du gestionnaire. Les amplitudes saisonnières des niveaux simulés sont toutefois proches de celles observées avec une surestimation globale de 20%. Le critère de Nash est de 0.0789, la simulation n'est pas totalement satisfaisante mais reste correcte globalement, hors période d'assec.

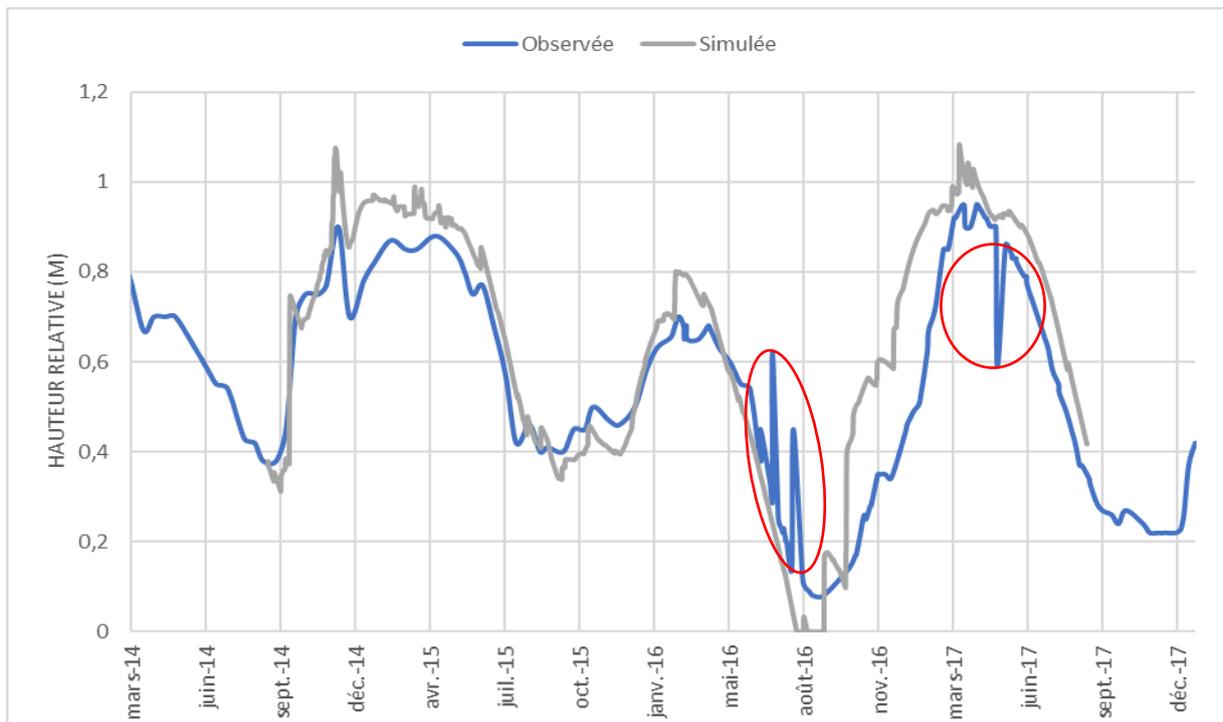


Figure 14: Hauteur relative du Grand Bagnas simulée et observée

La Figure 15 présente la simulation du bassin GB8. Il apparaît que la courbe simulée sous-estime légèrement les hauteurs d'eau dans le bassin (10%), son amplitude varie de 0,31 à 0,71 m contre 0,34 à 0,89 m de la courbe observée.

Après vérification du fichier de suivi, il est apparu qu'après la pose d'une nouvelle échelle NGF en août 2016 pour mesurer les hauteurs d'eau, il y a eu une confusion dans les données, ce qui peut s'observer sur la courbe dont les pics et oscillations (entourés en rouge) paraissent aberrants. Le critère de Nash est de 0.795, la simulation est donc très satisfaisante pour ce bassin.

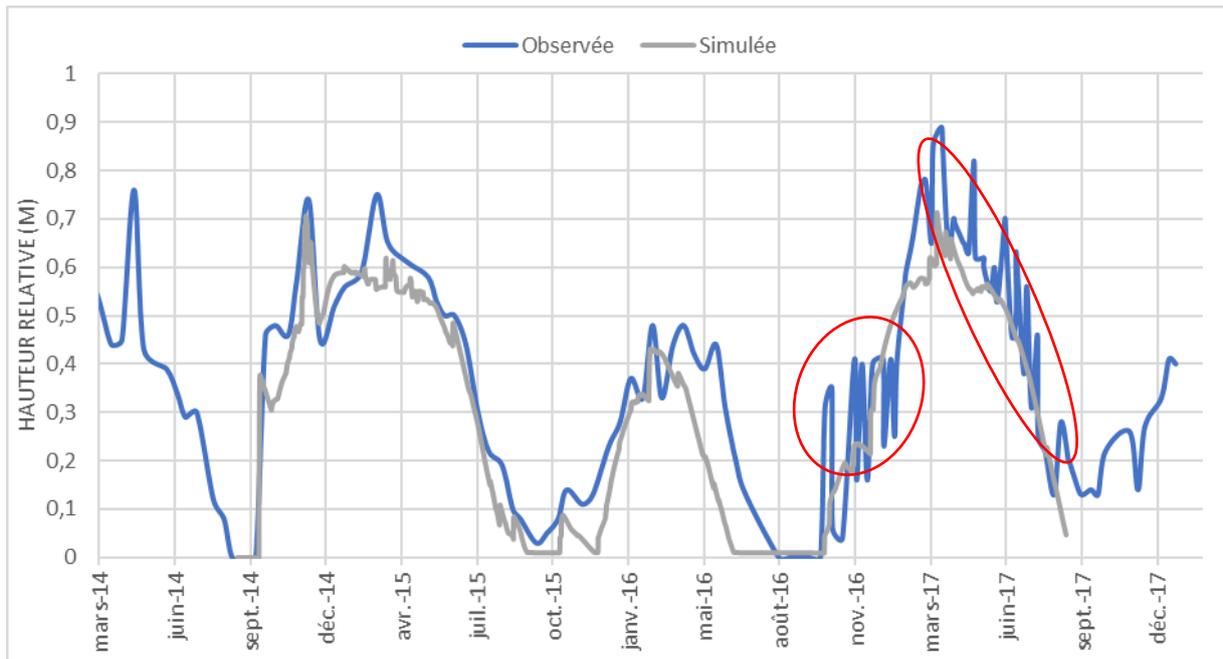


Figure 15: Hauteur relative de GB8 simulée et observée

La Figure 16 présente la simulation de la demi-lune, les hauteurs simulées sont constamment supérieures de 20% à celle observées. Le bassin ne s'assèche pas les étés comme observé. Les variations ne sont pas similaires à la courbe observées et deux pics à plus de 1,8 m apparaissent alors que dans le suivi aucune valeurs ne dépassent 0,4 m. Le critère de Nash pour cette simulation est de -2.42, ce qui confirme la non validité du modèle pour représenter ce bassin.

Le volume observé (entre le 01/09/2014 et le 01/09/2017) est de 94 551 m³ contre 572 459 m³ simulé. Le modèle surestimerait donc 477 908 m³. La nappe astienne se trouvant à plus de -80 mNGF sur ce secteur il est peu probable qu'elle interfère avec le système mais il est possible qu'il y ait des infiltrations dans un aquifère. Ou alors il existe un seuil qui ne permet pas aux eaux de la bascule d'équilibrer le niveau du plan d'eau de la demi-lune avec le niveau de la bascule.

Il faudrait par la suite effectuer un repérage du cheminement hydraulique plus approfondi de cette partie car il semble plus limitant que ce qui a été modélisé, de même les apports du ruisseau de bragues ont pu être surestimés (retenue d'eau en amont, forage ect).

Il faut toutefois noter que la demi-lune est la zone d'expansion du ruisseau de Bragues qui draine un bassin versant de 805 ha. Un suivi tous les 15 jours n'est pas représentatif des fluctuations journalières qui peuvent être importantes selon la pluviométrie. Ainsi la simulation n'est pas satisfaisante vis-à-vis de l'observation mais celle-ci reste discutable.

Enfin, De nombreux ouvrages et forages agricoles se retrouvent à moins de 500 m de la demi-lune, et peuvent également expliquer une partie du déficit d'eau, notamment en période estivale. Une zone humide en amont de la réserve pourrait également intercepter des volumes du ruisseau, cette zone humide n'est pas prise en compte dans outil.

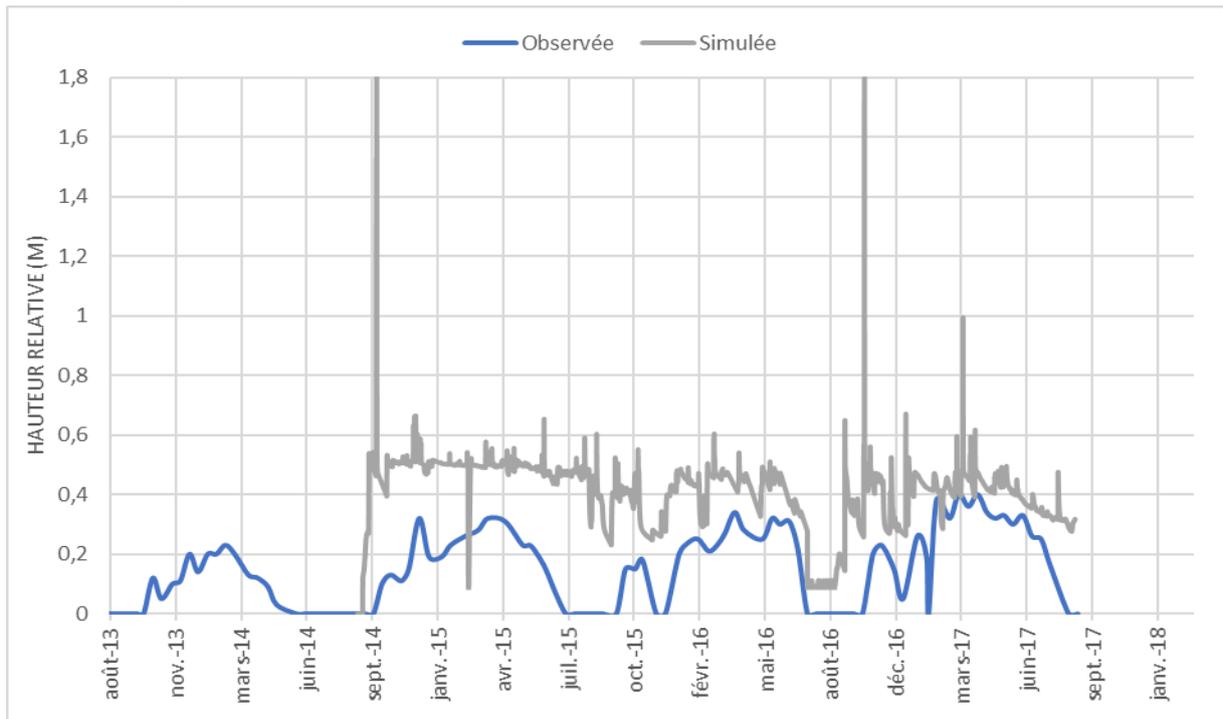


Figure 16: Hauteur relative de la demi-lune simulée et observée

3.2.2 Echanges hydraulique

Le Tableau 4 présente les bilans hydriques des sources et des pertes hydrauliques du modèle du 01/09/2014 au 01/09/2017. Il montre des apports principaux établis par :

- La prise d'eau de Pont Martin avec 1 650 000 m³ moyen annuel (66% des apports)
- La pluviométrie avec 850 000 m³ moyen annuel (34% des apports)

La pluviométrie peut être différenciée par plusieurs entités :

- Le ruisseau de Bragues, qui draine une partie du ruissellement et alimente la demi-lune avec 450 000 m³ moyen annuel (48% des apports pluviométrique)
- Le reste du ruissellement qui représente 185 000 m³ moyen annuel (22% de la pluviométrie)
- La pluie directement interceptée par les bassins représente 215 00 m³ moyen annuel (30% de la pluviométrie)

D'importantes variations interannuelles peuvent être observées notamment en 2015 où les apports sont nettement réduits, avec une pluviométrie réduite de 60% par rapport à 2016 et ceux de la prise d'eau de 61%. Les volumes perdus, dépendent de l'évaporation et de l'ouverture des martelières de sorties, qui se fait en fonction des niveaux dans les bassins.

Ainsi les niveaux perdus par les martelières sont relatifs aux apports (s'il y a un excédent dans les apports, on compense en ouvrant les martelières et inversement). Ceci est visible en 2015, où les pertes par les martelières sont quasi nulles (4 630 m³). En temps normal, il apparaît que la martelière du T est celle qui est la plus utilisée pour vidanger l'étang du Grand Bagnas. La martelière de Pioch Couguioul est ponctuellement utilisée pour réguler le niveau de la demi-lune et la longe. Cependant, c'est l'évaporation qui représente les pertes de volume les plus importantes chaque année avec plus de 2 millions de m³.

Tableau 4: Apport hydraulique dans le modèle

| Apport et pertes hydraulique | Volume total en 2014 (m ³) | Volume total en 2015 (m ³) | Volume total en 2016 (m ³) |
|---------------------------------|--|--|--|
| Prise d'eau (Canal Pont Martin) | +2 105 060 | +815 172 | +2 039 138 |
| Pluviométrie sur le BV | +1 189 958 | +472 005 | + 897 269 |
| Ruisseau de Bragues | +720 064 | +127 444 | +512 516 |
| Ruissellement BV | +258 823 | +102 664 | +195 161 |
| Martelière du T | -1 542 818 | 0 | -820 167 |
| Martelière du Petit Pont | 0 | -4 630 | 0 |
| Martelière Pioch Couguioul | -140 226 | 0 | -67 973 |
| Evaporation | -2 259 275 | -1 912 476 | -2 087 724 |

Les débits moyens mensuels pouvant être prélevés sur le canal du midi sont présents dans le Tableau 5 suivant, les valeurs indiquées tiennent compte d'une ouverture de la prise d'eau continue. Ainsi selon le niveau du canal du midi les volumes mensuels prélevés varient :

- 80 517 m³ en juillet
- 399 392 m³ en novembre

Le volume maximum annuel pouvant être prélevé actuellement est de 2 548 956 m³.

Tableau 5: Débits moyens mensuels pouvant être prélevés sur le canal du midi par Pont Martin

| | Jan | Fev | Mars | Avril | Mai | Juin | Juill | Août | Sept | Oct | Nov | Déc | An |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| Hauteur moyenne canal du midi (mNGF) | 1,87 | 1,92 | 1,91 | 1,90 | 1,86 | 1,78 | 1,70 | 1,69 | 1,74 | 1,88 | 1,94 | 1,89 | 1,80 |
| Q(m ³ /j) prise d'eau | 10 127 | 12 372 | 11 686 | 11 634 | 9 571 | 6 216 | 3 097 | 2 597 | 4 566 | 10 320 | 13 313 | 11 113 | 6 983 |
| Volume mensuel (m ³) | 313 941 | 346 408 | 362 263 | 349 023 | 296 686 | 186 467 | 96 020 | 80 517 | 136 976 | 319 910 | 399 392 | 344 501 | 2 548 956 |

Lors de l'étude hydraulique de 2013, les volumes annuels du canal du midi et du ruisseau de Bragues ont été estimés à partir des observations hydrauliques bimensuelles effectuées par l'ADENA. Pour l'estimation des volumes prélevés du canal du midi, les hauteurs d'eau ont été interpolées linéairement entre dates consécutives, sauf périodes de fermeture, les débits prélevés ont été estimés à partir de la formule suivante : $Q = H (m) \times \text{largeur} \times \text{vitesse moyenne}$, et les volumes ont été calculés par décennie sur la base des estimations de débits. La largeur de la prise d'eau a été fixée à 0,7 m (contrairement au 0,48 m mesuré lors de cette étude) et la vitesse moyenne a été fixée à 0,75 m/s (l'origine de cette valeur est inconnue). Ainsi, le volume annuel prélevé du canal du midi a été estimé à 1 220 500 m³. Le calcul du volume du ruisseau de Brague n'a pas été détaillé, il est estimé à 20 900 m³ annuel. [14]

Le volume annuel prélevé par le canal du midi est du même ordre de grandeur dans les deux études (avec 400 000 m³ de différence) mais celui du ruisseau de Brague est totalement différent (20 900 dans

l'étude hydrau 2013 contre 450 000 m³ dans cette étude). Les approximations faites dans l'étude hydrau 2013 pourraient expliquer ces écarts.

3.2.3 Paramètres calés

Différents paramètres ont été ajustés afin de représenter au mieux les suivis. Ainsi la rugosité des canaux a été fixée partout à 0,025 s/m^{1/3} ce qui correspond à la rugosité d'un canal artificiel en terre dont les parois sont en mauvaises état.

Les courbes de tarage des prises d'eau ont été calées sur une mesure de jaugeage du débit par ajustement de la rugosité des canaux dans le modèle. Ainsi la rugosité du canal Pont Martin a été fixée à 0,017 s/m^{1/3} (rugosité d'un canal en terre artificiel dont les parois sont en bon état [15]).

Pour représenter la fuite des bassins de stockage par infiltration dans le sol, c'est le paramètre de conductivité qui a été ajusté graphiquement à 0,005 mm/h au Grand Bagnas, 0,01 mm/h à la demi-lune, et à 0 mm/h en GB8.

Enfin le facteur d'évaporation fixé à 1, a été augmenté à 1,5 au Grand Bagnas et 2 à la demi-lune pour prendre l'effet évapotranspiration en compte (Tableau 6).

Tableau 6: Paramètres calés du modèle

| Paramètres | Gamme calage testée | Valeur fixée dans le modèle |
|---------------------------------------|---------------------|---|
| Rugosité s (s/m^{1/3}) | 0,016 – 0,025 | 0,025 Pont Martin : 0,017 Canal du T : 0,025 Canal du midi : 0,03 Canal ouest : 0,017 |
| Conductivité bassin (mm/h) | 0-0,01 | GB : 0,005 GB8 : 0 Demi-lune : 0,01 |
| Facteur évaporation | 1-3 | GB : 1,5 GB8 : 1 Demi-lune : 2 |

Au vu des valeurs des coefficients de Manning, de la présence avérée de nappes souterraines pour la conductivité, et d'une très forte évaporation observée l'été, les ajustements de paramètre se trouvent dans une gamme de validité acceptable.

Cependant certaines limites sont observées, notamment la conductivité qui peut varier en fonction de plusieurs facteurs (porosité du sol, saturation au temps t etc) et qui est fixe dans le modèle ou encore les conditions d'évaporation qui peuvent être augmentées lors de période de fort mistral.

De plus, le suivi étant effectué bimensuellement, il permet de rendre compte de la variation globale des hauteurs d'eau dans les bassins, mais des phénomènes infra mensuels peuvent ne pas être visibles sur le suivi du gestionnaire, notamment lors d'épisodes pluvieux courts et intenses.

De même, les erreurs de lecture ou de report des données du suivi peuvent affecter la précision/validité du suivi. Il est alors délicat de comparer et établir un calage sur des fortes variations aux échelles de temps courtes (semaine).

3.3 Exploitation de l'outil

Les abaques des ouvrages structurants le réseau hydraulique dans la gestion du Grand Bagnas ont été établies soit en fonction du niveau du canal du Midi pour les prises d'eau, soit en fonction de la différence de cote entre le Grand Bagnas et le canal du Midi pour les ouvrages de vidange de l'étang. En [annexe n°7](#) se trouve le détail de chaque abaque avec en fonction du mois de l'année, la traduction en montée/baisse de niveau (en cm/jour) sur le Grand Bagnas, en prenant en compte l'évaporation moyenne sur un mois standard.

Le Tableau 7 suivant, reprend les moyennes et médianes de la limnimétrie de l'Hérault sur 37 ans en fonction du mois. Toutes les hauteurs supérieures à 2,7 mNGF (hauteur maximale observée) n'ont pas été prises en compte afin de représenter le niveau dans le canal du midi.

Ainsi sur 37 ans, le niveau moyen du canal du midi a été de 1,8 mNGF avec une médiane légèrement supérieure (1,84 mNGF) et un minimum de 1,42 mNGF. Le niveau moyen le plus bas du canal est atteint au mois d'août avec 1,69mNGF contre 1,94 mNGF pour son maximum au mois de novembre. Ces valeurs vont permettre d'établir les capacités de captage de la prise d'eau nord en fonction de la période de l'année.

Tableau 7: Hauteur du canal du midi en mNGF (1980-2017)

| | Janv | fev | Mar | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc | total |
|----------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Moyenne | 1,87 | 1,92 | 1,91 | 1,90 | 1,86 | 1,78 | 1,70 | 1,69 | 1,74 | 1,88 | 1,94 | 1,89 | 1,80 |
| Médiane | 1,84 | 1,87 | 1,84 | 1,84 | 1,83 | 1,76 | 1,84 | 1,68 | 1,71 | 1,79 | 1,87 | 1,85 | 1,84 |
| Min | 1,66 | 1,69 | 1,68 | 1,67 | 1,64 | 1,59 | 1,68 | 1,56 | 1,58 | 1,62 | 1,56 | 1,55 | 1,42 |

3.3.1 Abaques de la prise d'eau Nord (Pont Martin) et Sud (Sept Fonts)

La courbe de tarage de la prise nord (dont la section est de 0,25 m²) montre une capacité de captage nulle si le niveau du canal du midi est inférieur à 1,6 mNGF et de 39 588 m³/j à 2,4 mNGF (Figure 17).

La médiane du niveau observé du canal du midi se situe à 1,84 mNGF (la moyenne étant de 1,8 mNGF), soit un débit de 9 262 m³/j. Ceci représente une élévation de 0,11 cm/j de l'étang du Grand Bagnas au mois de juillet lorsque l'évaporation est la plus forte et de 0,6 cm/j en décembre quand l'évaporation est la moins forte ([annexe 7](#)).

Ainsi une élévation positive n'est observée qu'à partir d'1,85 mNGF au mois de juillet (dont la moyenne est de 1,7 mNGF) et de 1,7 mNGF en décembre (dont la moyenne est de 1,89 mNGF). Ainsi le remplissage de l'étang se fera difficilement du mois de juin à septembre au vu du niveau moyen du canal du midi (Tableau 7) et de l'élévation potentielle de ces mois ([annexe n°7](#)). Le remplissage sera le plus favorable entre novembre et février avec une élévation comprise entre 0,71 et 0,76 cm/j.

La prise sud (section de 0,03 m²) à une capacité bien moindre à celle de la prise nord, elle varie de 4 482 à 7 742 m³ pour des niveaux du canal du midi allant de 1,5 à 2,3 mNGF. Pouvant potentiellement être connectée au petit Bagnas (partie non étudiée lors du stage), l'abaque pourra servir dans le cas où le gestionnaire déciderait d'utiliser cette connexion. Il est à noter que le jaugeage de la prise sud n'a pas pu être réalisé suite à une panne du matériel utilisé et sera effectué cet été.

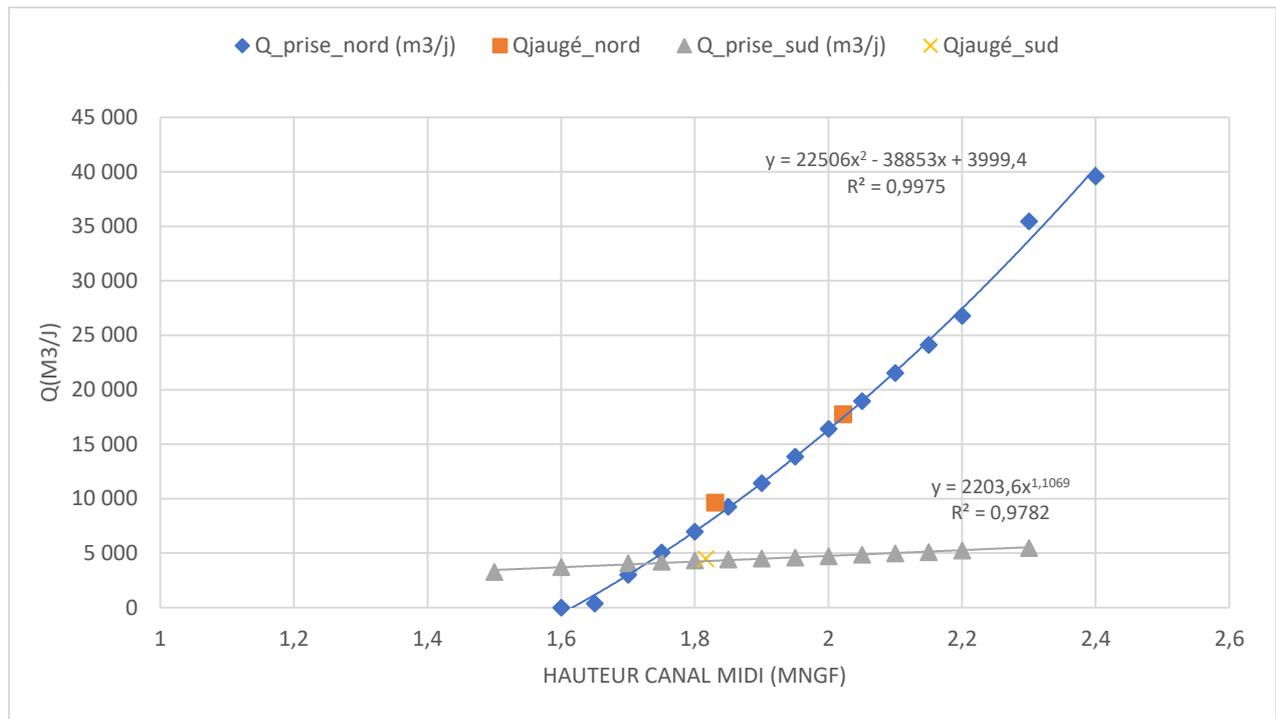


Figure 17: Courbe de tarage de la prise d'eau nord (Pont Martin) et sud (Sept fonts)

A partir de ces abaques, le gestionnaire va pouvoir répondre à certaines des questions auxquelles il est confronté. Il peut notamment quantifier le prélèvement d'eau sur le canal du midi et ainsi établir une convention avec VNF (Voie Navigable de France) et fournir les données nécessaires au SMBH (Syndicat mixte du bassin de l'Hérault) dans le cadre du PGRE (Plan de Gestion de le Ressource en Eau) qui est en cours de réalisation. En effet, le bassin de l'Hérault subit de fortes pressions sur la ressource en eau et connaît une tension critique de juin à septembre. Il apparaît important de connaître les volumes prélevés par chaque utilisateur afin d'établir des règlements en période critique.

3.3.2 Courbe de vidange du Grand Bagnas par le T, Petit Pont et Pioch Couguioul

La Figure 18 présente la vidange du Grand Bagnas en fonction du temps en jour par les trois martelières. Pour une vidange d'environ 0,65 m, soit de 0,8 mNGF à 0,166 mNGF (niveau moyen de l'étang de Thau), la martelière du T permet de vidanger l'étang le plus rapidement : 40 jours contre 50 par Petit Pont et plus de 60 par Pioch Couguioul, soit des débits moyens respectifs de 18 590, 15 155 et 14 155 m³/j. En partant de 0,8 mNGF et en 10 jours, le niveau diminue de 41 cm par le T, 35 cm par Petit Pont et 24 cm par Pioch Couguioul.

Pour une différence de charge (entre l'étang de Thau et le Grand Bagnas) de 50 cm, la vitesse de vidange est de 4,33 cm/j par le T, 3,49 cm/j par Petit Pont et 2,25 cm/j par Pioch Couguioul ([annexe n°7](#)). Pour une charge deux fois moins importante, soit 25 cm, la vitesse de vidange est de 2,29 cm/j par le T, 1,75 cm/j par Petit Pont et 0,98 cm/j par Pioch Couguioul, elle est donc divisée par deux dans les trois cas. Pour des différences de charge moins importantes, les vitesses de vidange diminuent plus vite que la charge.

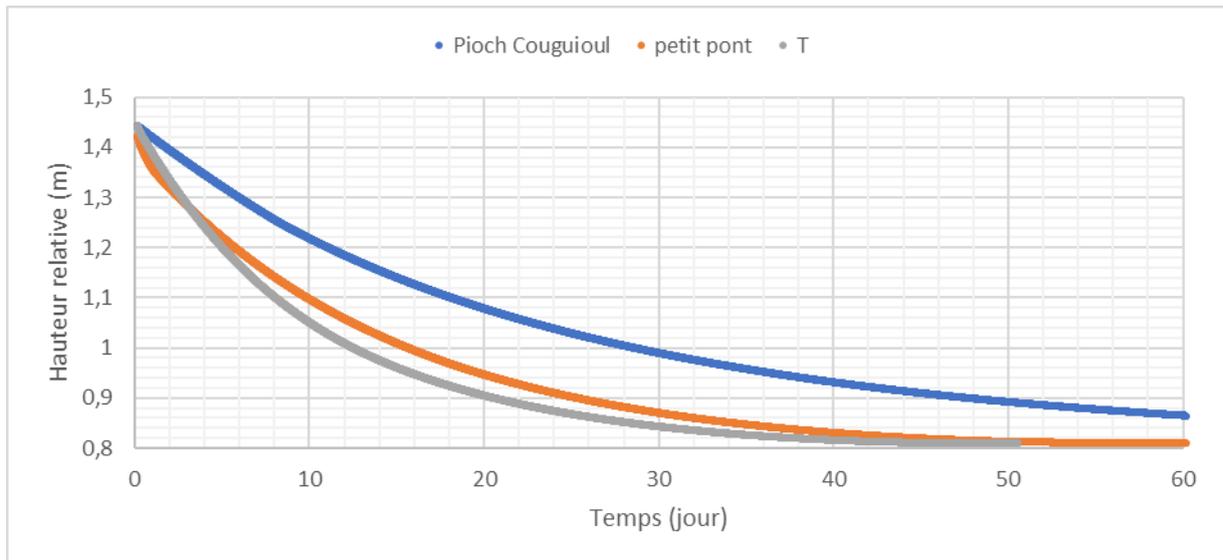


Figure 18: Courbe de vidange du Grand Bagnas par les trois martelières

Ces résultats sont cohérents au vu de la localisation des martelières. En effet, la martelière du T est directement connectée à l'étang du Grand Bagnas, alors que celle de Petit Pont et de Pioch Couguioul se situent plus loin, ce qui entraîne des pertes de charges linéaires plus importantes, et la vitesse de vidange s'en ressent. Le canal de Pioch Couguioul étant le plus long, ses pertes de charges sont les plus importantes et il possède la capacité la plus limitée.

Par ailleurs, sur le canal du T, le profil en long présente un point haut qui peut également limiter les échanges à certaines cotes. La sortie du Petit Pont semble la plus adéquate à vider la zone.

Il faut noter que ces résultats ne prennent pas en compte la pluviométrie, l'évaporation, le vent et l'infiltration, ils sont théoriques et ne reflètent pas totalement la réalité observée. Un jaugeage de chaque ouvrage sera réalisé en conditions réelles d'ouvertures durant l'été afin d'ajuster ces résultats.

3.3.3 Courbe de remplissage du Grand Bagnas par le T, Petit Pont et Pioch Couguioul

La Figure 19, présente le remplissage du Grand Bagnas en fonction du temps en jour par les trois martelières. En partant de l'étang vide et en le remplissant de 0,81 m par le forçage de l'étang de Thau (soit de -0,65 mNGF à 0,166 mNGF), la martelière du T permet de le remplir le plus rapidement : en 6,5 mois, contre 8 par Petit Pont et plus de 24 par Pioch Couguioul, soit des débits moyens respectifs de 4 254, 4 181 et 1 366 m³/j. Ainsi, en 10 jours, l'étang à sec pourrait se remplir de 10 cm par le T, 9 cm par Petit Pont et 6 cm par Pioch Couguioul.

Pour une différence de charge (entre l'étang de Thau et le Grand Bagnas) de 50 cm, la vitesse de remplissage est de 0,38 cm/j par le T, 0,32 cm/j par Petit Pont et 0,10 cm/j par Pioch Couguioul ([annexe n°7](#)). Pour une charge deux fois moins importante, soit 25 cm, la vitesse de remplissage est de 0,38 cm/j par le T, 0,33 cm/j par Petit Pont et 0,10 cm/j par Pioch Couguioul. Ainsi, l'élévation reste constante en fonction de la différence de charge.

Si on tient compte de l'évaporation, il n'est pas possible de remplir le Grand Bagnas d'avril à août par le T et Petit Pont. Concernant la martelière de Pioch, il apparaît très difficile de remplir l'étang, la seule possibilité serait en décembre mais avec une élévation très faible (0,04 cm/j).

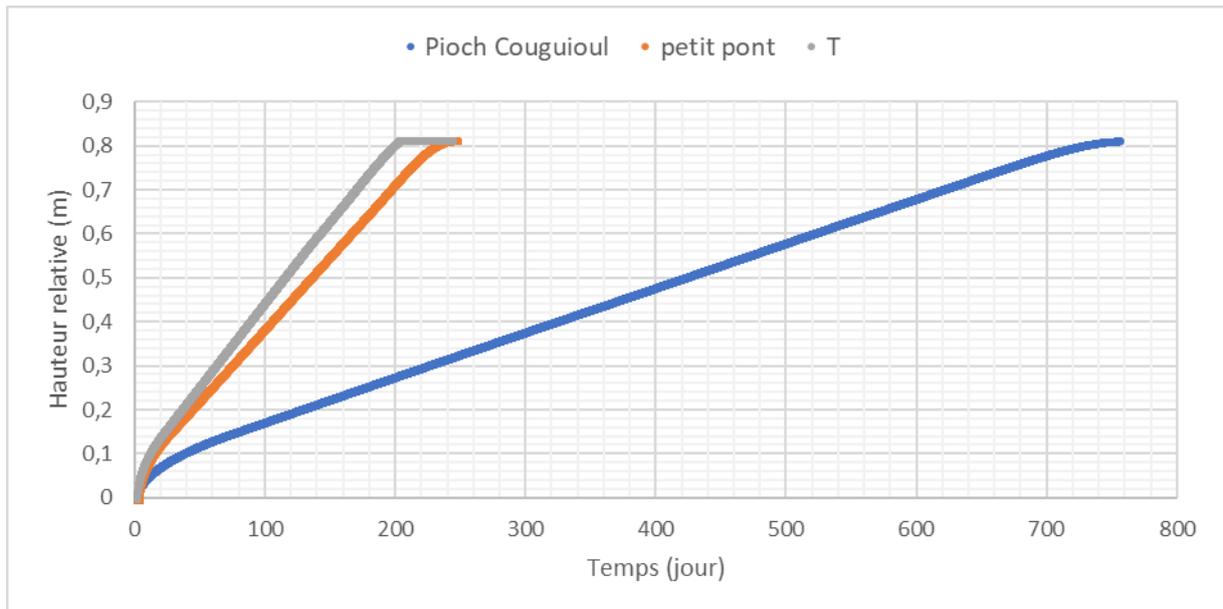


Figure 19: Courbe de remplissage du Grand Bagnas par les trois martelières

Au vu des temps pour remplir l'étang et du niveau maximal atteint (16,6 cmNGF), il apparaît beaucoup plus efficace d'utiliser la prise d'eau nord (environ 2,5 mois pour remplir l'étang à niveau égal si l'étang est à sec), mais pour des questions de qualité de l'eau ou de salinisation de l'étang, il peut être intéressant de remplir une partie de l'étang par une de ces martelières, notamment celle du T qui est la plus efficace. Comme dit précédemment, les résultats sont théoriques et ne prennent pas en compte les conditions extérieures.

A noter que le canal Pioch Couguioul était le canal d'amené des eaux salées à la lagune, et est celui qui présente finalement la plus faible capacité. Toutefois, le canal du midi est souvent stratifié avec une couche et pellicule importante en surface (cinquantaine de centimètres) et de l'eau salée au fond. Pour faire rentrer de l'eau salée il convient aussi de vérifier le niveau (en mNGF) de cette stratification pendant les périodes estivales, si elle est en dessous du niveau de prise des ouvrages du canal aval du canal du midi, les volumes entrants ne seront pas forcément salés. Le canal de Pioch Couguioul ayant une prise directe sur la lagune ne dispose pas de ce problème car les eaux lagunaires sont généralement mélangées et salées à de forts niveaux.

3.4 Scénarios

Pour chaque scénario, un fichier Excel a été réalisé avec les données exportées du modèle hydraulique PCSWMM, les graphiques et résultats obtenus ainsi qu'une feuille faisant le résumé du scénario testé et des principaux résultats.

3.4.1 Modification de la prise d'eau

Ce scénario traite le cas où la prise d'eau et le canal Pont Martin seraient modifiés afin d'améliorer la capacité de captage. Plusieurs modifications ont été testées :

- Modification du canal Pont Martin : pente régulière entre la prise d'eau et la bascule (correction de la contre pente et de la singularité)
- Modification de la singularité de Pont Martin : correction de la singularité (effacement du point haut à 1,64 mNGF et élargissement de la portion de canal correspondante à 2 m au lieu de 0,6m)
- Modification de la prise d'eau : Taille de la prise d'eau doublée (1m*1m au lieu de 0,48*0,52)
- Modification de la prise d'eau et de la singularité : Taille de la prise d'eau doublée + correction de la singularité
- Modification de la prise d'eau et du canal Pont Martin : Taille de la prise d'eau doublée + pente régulière entre la prise d'eau et la bascule

Pour chaque configuration, dans le fichier Excel, le débit capté par la prise d'eau est indiqué en fonction du niveau d'eau dans le canal du midi, entre 1,6 mNGF (niveau minimum permettant de faire rentrer de l'eau) et 2,4 mNGF (soit 50 cm au-dessus de la marche en béton au niveau de la prise d'eau, occurrence observée mais rare). Ce débit est traduit en termes d'élévation du niveau du GB en cm/j. Afin de rendre compte plus précisément de cette élévation, le facteur d'évaporation mensuel a également été pris en compte, on retrouve ainsi en fonction du mois de l'année la montée de niveau réelle en cm/j.

Le Tableau 8 et la Figure 20 suivants présentent les abaques de chaque cas, comparées à la configuration actuelle. Les résultats montrent que rien qu'**en corrigeant la singularité du canal Pont Martin**, cela permettrait de **multiplier par 4 le débit capté** par la prise d'eau et ainsi de réduire considérablement le temps pour remplir le Grand Bagnas. Cette singularité est d'ailleurs le facteur le plus limitant car même en doublant la taille de la prise d'eau, si la singularité n'est pas modifiée, le débit capté ne serait augmenté que de 20%.

Tableau 8: Abaques des différentes configurations de la prise d'eau

| Niveau du canal du midi (mNGF) | Q(m ³ /j) | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| | Actuel (2018) | Modif sing PM | Modif canal PM | Prise eau agrandie | Prise eau + sing PM | Prise eau + canal PM |
| 1,85 (Niveau médian annuel) | 9 262 | 34 975 | 49 421 | 11 076 | 75 902 | 115 690 |
| 1,70 (Niveau moyen l'été) | 3 034 | 26 957 | 42 025 | 6 536 | 51 296 | 93 226 |
| 1,90 (Niveau moyen l'hiver) | 11 422 | 37 368 | 51 762 | 25 384 | 83 981 | 123 120 |
| Capacité multipliée par | | 3,8 | 5,3 | 1,2 | 8,2 | 12,5 |
| % Q supplémentaire capté | | 278% | 434% | 20% | 719% | 1149% |

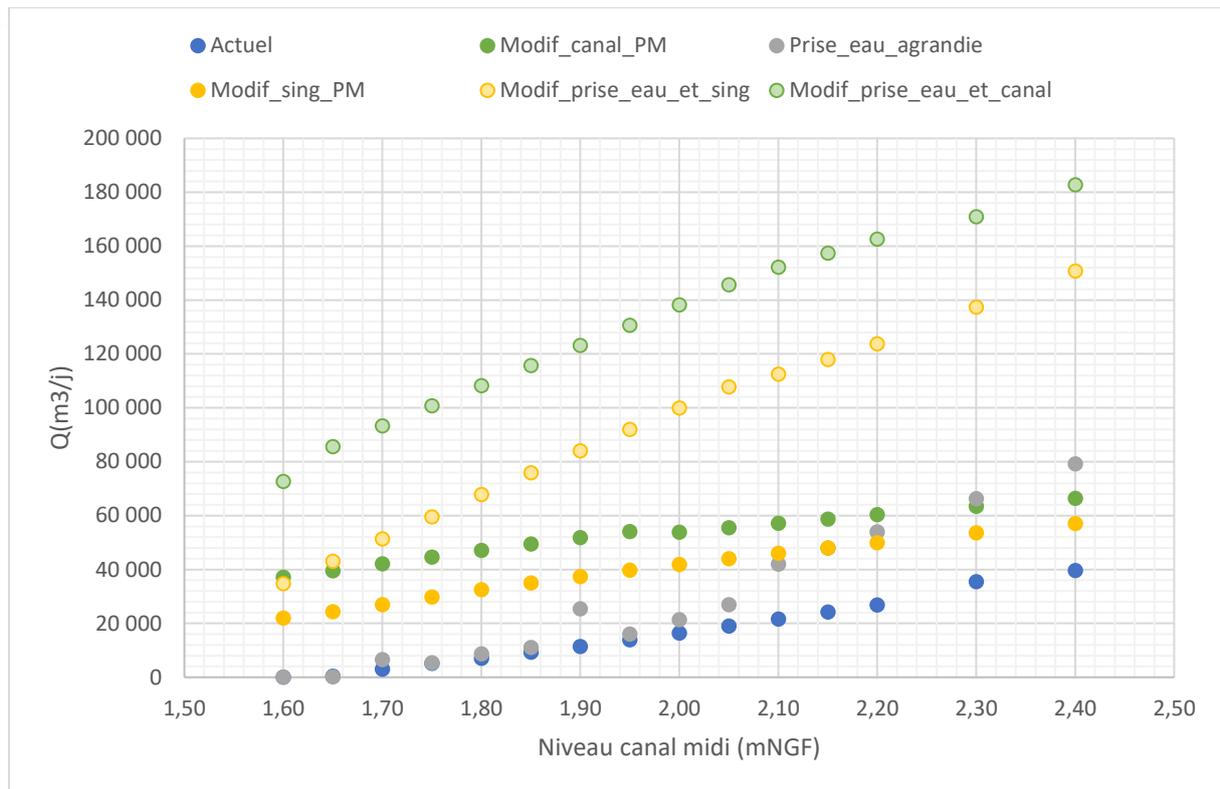


Figure 20: Abaques des différentes configurations de la prise d'eau

Le Tableau 9 suivant présente les temps de remplissage du Grand Bagnas, des différentes configurations, en fonction du niveau du canal du midi. Par rapport au temps de remplissage de la configuration actuelle au niveau médian du canal du midi, l'efficacité des autres configurations est indéniable (excepté pour celle où la prise d'eau est agrandie, qui reste limitée).

Ainsi **pour remplir le Grand Bagnas de 80 cm s'il est à sec**, il faudrait :

- 122 jours dans la configuration actuelle
- 32 jours si le seuil du canal est effacé
- 10 jours si la prise d'eau est agrandie et la pente du canal Pont Martin ajustée

Tableau 9: Temps de remplissage du GB par les différentes prises d'eau

| Temps (jours) pour remplir le GB de 0,8m s'il est à sec | | | | | | |
|---|---------------|---------------|----------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Niveau canal midi (mNGF) | Actuel (2018) | Modif sing PM | Modif canal PM | Prise eau agrandie | Prise eau + sing PM | Prise eau + canal PM |
| 1,85 (Niveau médian annuel) | 122 | 32 | 23 | 102 | 15 | 10 |
| 1,70 (Niveau moyen l'été) | 371 | 42 | 27 | 172 | 22 | 12 |
| 1,90 (Niveau moyen l'hiver) | 99 | 30 | 22 | 44 | 13 | 9 |

Les résultats montrent que **la gestion des niveaux d'eau du Grand Bagnas pourrait être améliorée de manière significative, juste en corrigeant le seuil présent sur le canal Pont Martin** (temps de remplissage divisé par 4).

3.4.2 Salinisation

3.4.2.1 Profil de salinité

Ce scénario traite l'aspect salinité du Grand Bagnas, il présente les différents profils de salinité devant chaque martelière, qui peut potentiellement apporter de l'eau au Grand Bagnas.

La Figure 21 présente les relevés de salinité effectués par l'ADENA depuis 1998 sur le Grand Bagnas. Il faut noter que ces relevés sont effectués avec de l'eau de surface de la lagune et qu'il est possible qu'elle soit plus salée en profondeur. Les relevés de salinité du piézomètre de GB5_T sont également présentés à partir de 2014.

Une constatation peut être faite en ce qui concerne le Grand Bagnas : on remarque une diminution globale de la salinité au cours du temps (Figure 21), mais si on se fie à la Figure 22, avec la salinité moyenne par année et son intervalle de confiance à 95%, on se rend compte qu'effectivement une diminution a été observée entre 2012 et 2015 mais que la salinité est bien remontée en 2016 (probablement à la suite de l'assec total).

Ainsi, les intervalles de confiance se recoupant entre 2016 et 2017, **on ne peut pas affirmer une nouvelle tendance à la baisse de la salinité**. La faible étendue de données du piézomètre ne permet pas d'affirmer une tendance globale en ce qui concerne la salinité de la nappe du Grand Bagnas.

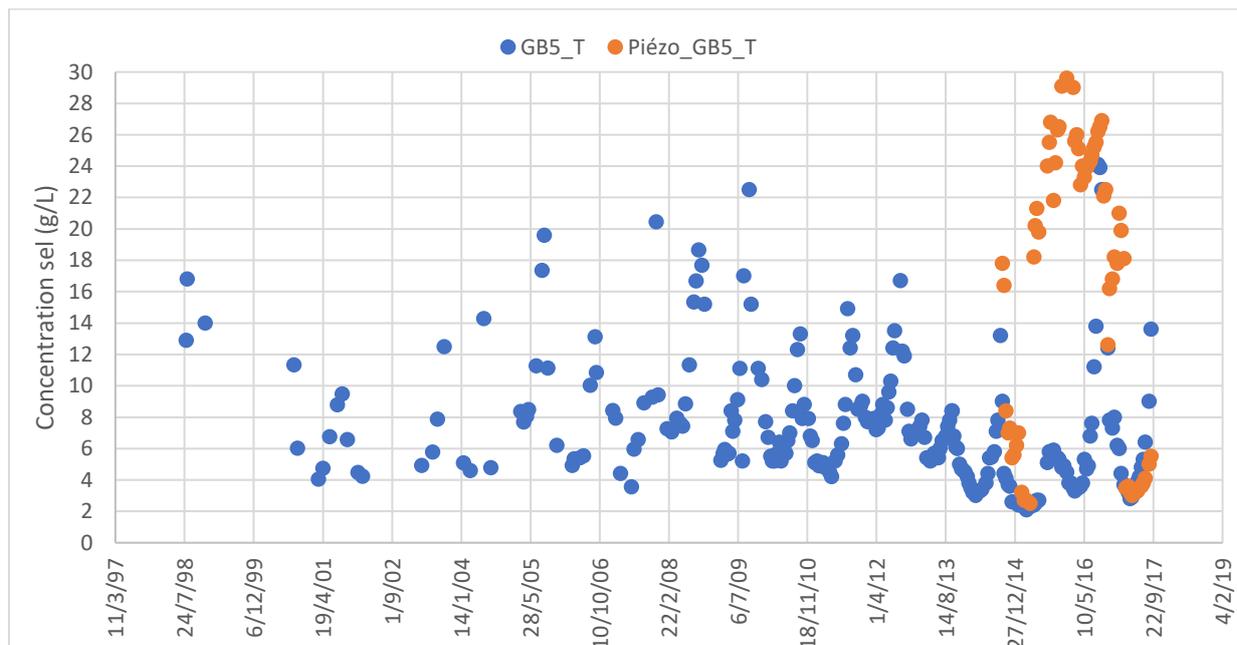


Figure 21: Relevés de salinité effectués par l'ADENA depuis 1998 du GB

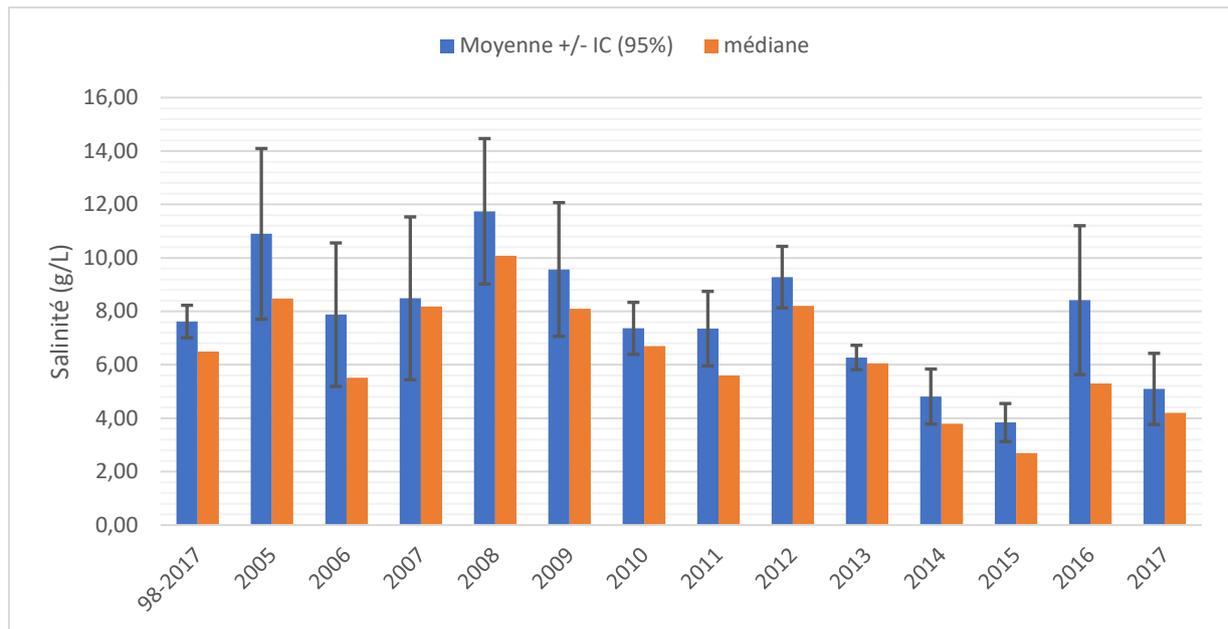


Figure 22: Salinité moyenne du GB au cours du temps

La Figure 23 présente les gradients de salinité devant chaque martelière en fonction du niveau en mNGF. Les relevés ont été effectués le 13/06/2018 avec la sonde de salinité de l'ADENA utilisée pour les relevés hydrauliques.

Le profil de salinité devant chaque martelière n'établit pas la présence de gradient de salinité devant la martelière de Pioch Couguioul, du T et de la prise d'eau, dont la salinité reste constante avec la profondeur. Tandis qu'un gradient de salinité est présent dans le canal du midi ainsi que devant la martelière de Petit Pont, même s'il est atténué en raison de la présence d'un seuil devant la martelière qui ne permet qu'aux eaux de surface du canal du midi (soit la partie moins salée) d'accéder devant la martelière (voir [annexe n°9](#)).

Ainsi la concentration moyenne en sel est de :

- 5 g/L à Pioch Couguioul
- 6 g/L au canal du T
- De 11,5 à 16 g/L à Petit Pont
- De 12,8 à 26,6 g/L dans le canal du midi

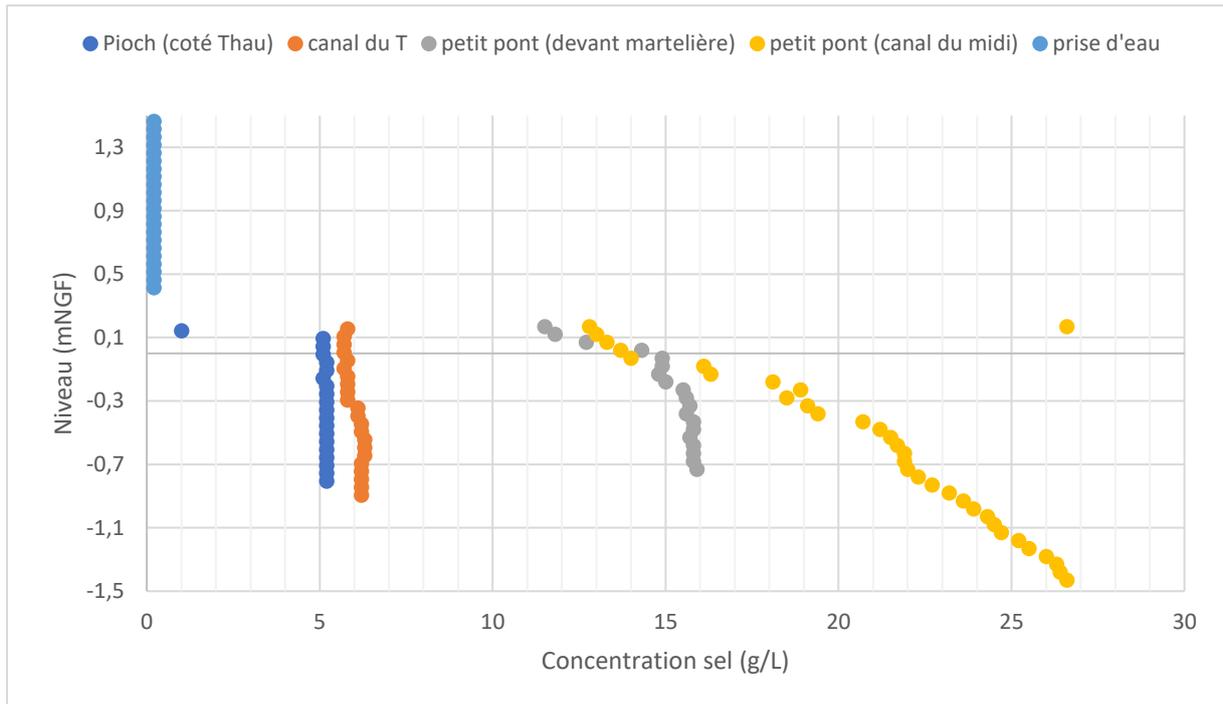


Figure 23: Gradient de salinité devant chaque martelières

En 2017, la salinité moyenne en surface du Grand Bagnas était de 5 g/L. Ainsi, **la seule façon actuelle de resaliner l'étang du Grand Bagnas** serait de faire rentrer de l'eau avec une salinité supérieure, soit **par Petit Pont**, soit **par le T**.

3.4.2.2 Bilan de salinité

Ce scénario traite les objectifs de salinité du Grand Bagnas, afin d'évaluer dans quelle mesure il est possible de resaliner l'étang.

La Figure 24, présente sous forme de graphique la masse de sel présente au cours du temps dans le Grand Bagnas ainsi que le niveau de celui-ci en mNGF.

On se rend compte que la masse de sel n'est pas constante au cours du temps avec la variation des niveaux d'eaux. Ainsi dès qu'une baisse significative du niveau d'eau du Grand Bagnas se produit, on observe des pics sur le bilan de masse de sel totale, notamment entre juillet et septembre lorsque le niveau du Grand Bagnas est bas, la quantité de sel augmente. Ceci pourrait être dû à des remontées d'eau salée ou à un relargage du stock sédimentaire, ou encore d'un biais lié à l'imprécision topographique du profil vertical de la masse d'eau que nous avons estimé à partir du LIDAR.

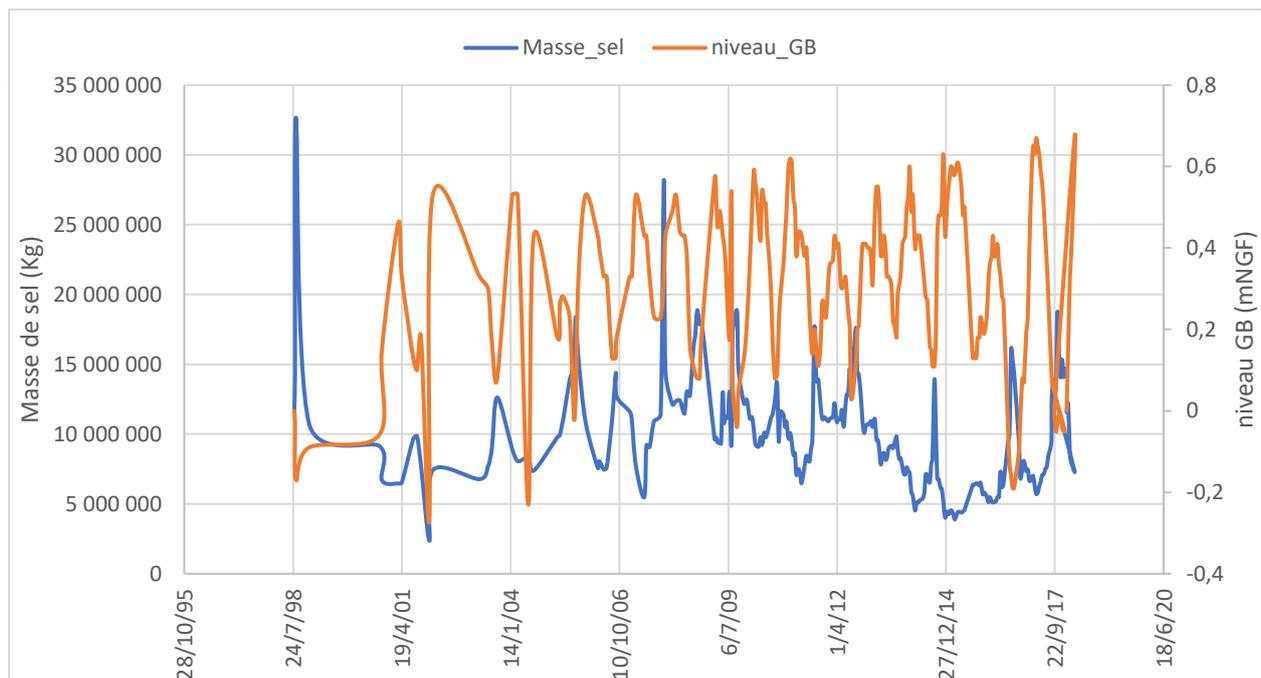


Figure 24: Masse de sel présente au cours du temps du GB

Le Tableau 10 suivant donne la **quantité de sel à apporter** au Grand Bagnas afin d'atteindre un objectif de salinité fixé en g/L, à un **niveau moyen du Grand Bagnas de 0,35 mNGF**.

Ainsi, à un niveau moyen de 0,35 mNGF, pour augmenter la salinité de :

- 3 g/L, il faut un apport de plus de 4 tonnes de sel
- 13 g/L, il faut un apport de plus de 18 tonnes de sel

Tableau 10: Objectifs de salinité du GB

| Salinité (g/L) | Salinité actuelle (2017) | Salinité Voulue (g/L) | | | |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 10 | 15 | 18 | 20 |
| Salinité (g/L) | 7 | 10 | 15 | 18 | 20 |
| Volume (m3) | 1 378 408 | 1 427 320 | 1 427 320 | 1 427 320 | 1 427 320 |
| Masse de sel moyenne (Kg) | 9 824 179 | 14 273 200 | 21 409 800 | 25 691 760 | 28 546 400 |
| Masse de sel à apporter (kg) | | 4 449 021 | 11 585 621 | 15 867 581 | 18 722 221 |

Comme vu précédemment, afin d'augmenter la salinité de l'étang, il est possible d'ouvrir la martelière de Petit Pont lorsque le niveau du canal du midi est supérieur à celui de l'étang. Or, depuis moins d'un an, des sondes limnimétriques relèvent la hauteur du Grand Bagnas au niveau du T, et la hauteur du canal du midi au niveau du pont de Koch.

Ainsi entre le 12/12/2017 et le 19/07/2018, les niveaux relevés par les sondes indiquent que **sur 219 jours, il y aurait 20 jours ou le niveau du canal du midi (coté salé) est supérieur à celui du Grand Bagnas**. Ceci représente un **apport** moyen potentiel **de sel de 1 580 040 kg**, ce qui n'est pas suffisant pour atteindre les objectifs de salinité.

Il faut garder à l'esprit que c'est une valeur théorique et qui **entraîne une gestion au jour le jour au cours de l'année**, puisque cela nécessite d'ouvrir et de fermer la martelière en fonction des niveaux observés. De plus, cette valeur reste approximative, il faudrait coter les sondes avec certitude et calculer le volume entrant exact à chaque pas de temps.

Une autre façon possible de **resaliniser l'étang** serait de remplir le Grand Bagnas, **après un assec** partiel (-0,07 mNGF) ou total, par le canal du midi (coté salé) jusqu'à atteindre le niveau moyen du canal du midi (0,16 mNGF). Cette **méthode est beaucoup plus simple** à mettre en place en termes de gestion, mais d'autres variables rentrent en jeu comme l'intrusion possible d'eau salée supplémentaire par la nappe lorsque le niveau du Grand Bagnas est bas.

Le Tableau 11 présente la masse de sel introduite en fonction du niveau de l'étang, s'il était alimenté par Petit Pont à une salinité moyenne de 13,2 g/L. Le remplissage permettrait d'apporter :

- 15 065 188 kg de sel à partir d'un assec total
- 4 374 381 kg de sel à partir d'un d'assec partiel (-0,07mNGF)

Cependant, même si la quantité de sel apportée est grande, il y a un effet de dilution dû au volume d'eau du Grand Bagnas. Ainsi, si la salinité moyenne du Bagnas est de 7 g/L avant le remplissage par Petit Pont, la salinité de l'étang ne serait que légèrement augmentée (sauf en cas d'assec total, d'après la dernière colonne du Tableau 11). En revanche, une fois la salinité augmentée, si le volume de l'étang diminue par évaporation la concentration en sel sera plus importante.

Tableau 11: Masse de sel introduite par Petit Pont en fonction du niveau du GB

| Niveau du GB (mNGF) | Volume entrant jusqu'à atteindre 0,16 mNGF (m ³) | Masse de sel introduite (kg) | Salinité du GB à 0,16 mNGF (g/L) (Avec le seuil de petit pont) | Salinité du GB à 0,16 mNGF (g/L) (sans seuil de petit pont) |
|---------------------|--|------------------------------|--|---|
| Assec total | 1 141 302 | 15 065 188 | 13,20 | 16 |
| -0,27 | 614 365 | 8 109 622 | 10,40 | 11,9 |
| -0,17 | 473 524 | 6 250 520 | 9,65 | 10,81 |
| -0,07 | 331 392 | 4 374 381 | 8,89 | 9,7 |
| 0 | 231 201 | 3 051 850 | 8,36 | 8,92 |

La méthode de salinisation du Grand Bagnas par remplissage après un assec (par Petit Pont) est ainsi plus efficace et plus facile à mettre en place en termes de gestion. Cependant, **cela pourrait induire une salinisation partielle de la Longe voir de la demi-lune**. Au vu des bas niveaux de l'étang cela semble peu probable, mais il faudra réaliser une vérification, et fermer la martelière entre la longe et le contre canal. S'il s'avère que la salinité augmente dans cette zone, il pourrait être envisageable d'installer une martelière sur le contre canal afin d'éviter ce problème.

Notons également que la **salinisation de l'étang est limitée par la salinité** de l'eau devant **Petit Pont**, ainsi si l'étang est rempli par la martelière de Petit Pont après un assec total :

- Salinité de l'étang proche de 13,2 g/L à 0,16 mNGF
- Salinité de l'étang < 13,2 g/L si le niveau est > 0,16 mNGF (dilution par eau douce de Pont Martin)
- Salinité de l'étang > 13,2 g/L si le niveau est < 0,16 mNGF (suite à l'évaporation de l'eau)

Cette salinité pourrait être plus élevée si le seuil devant la martelière de Petit Pont été effacé ([voir annexe n°9](#)), comme le montre les valeurs de salinité de la dernière colonne du Tableau 11.

3.4.3 Tout ouvert

3.4.3.1 Marégraphe de Sète

Ce scénario traite le cas où la prise d'eau et la martelière du T resteraient ouvertes toute une année du 01/01 au 31/12 en partant d'un niveau du Grand Bagnas de 0,6 mNGF au 01/01.

L'année témoin 2013 considérée comme une année normale au niveau de la pluviométrie a été choisie pour la simulation. Les simulations tiennent compte des paramètres suivants :

- Les martelières M2B et M2A à la bascule restent constamment ouvertes
- Le marégraphe Sète a été fixé comme condition à la limite
- Le canal du midi est considéré à sec au mois de décembre (période habituelle d'entretien du canal par VNF).

Trois cas ont été testés (avec à chaque fois la différenciation entre le réseau hydraulique actuel et le réseau hydraulique dans le cas où la singularité présente sur le canal Pont Martin serait effacée) :

- L'ouverture de la prise d'eau continue
- La fermeture de la prise d'eau entre le 1^{er} juillet et le 31 août
- La fermeture de la prise d'eau entre le 1^{er} juin et le 30 septembre

Les Figure 25 et Figure 26 suivantes présentent sous forme de graphique l'évolution du niveau du Grand Bagnas au cours du temps (en mNGF). Ils montrent une diminution progressive du niveau (avec des pics dus à la pluviométrie), avec une stabilisation entre avril et octobre avant d'augmenter de nouveau. De fortes fluctuations des niveaux sont observées, qui sont dues aux conditions de marées et de pluviométrie.

Dans la configuration hydraulique actuelle, si le canal du midi était toujours en eau au mois de décembre, la différence de niveaux du Grand Bagnas ne serait pas significative. En revanche dans la configuration où la singularité du canal Pont Martin serait effacée, le niveau du Grand Bagnas varie de plus de 15 cm en décembre (Figure 25).

Les niveaux sans la singularité du canal Pont Martin restent toujours supérieurs à ceux dans la configuration hydraulique actuelle. Si la prise reste fermée 4 mois au lieu de 2 les niveaux seraient 5 à 10 cm plus bas (Figure 26).

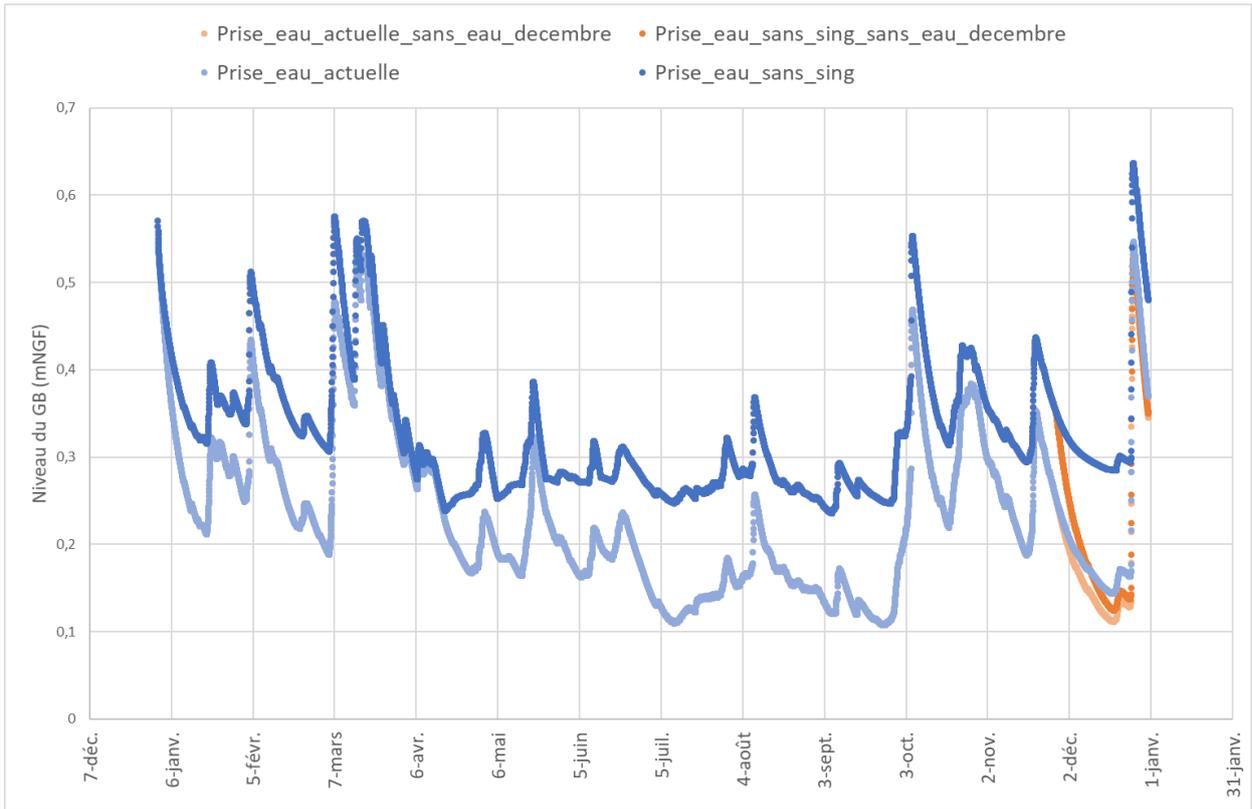


Figure 25: Niveau du GB avec et sans le canal du midi fermé en décembre

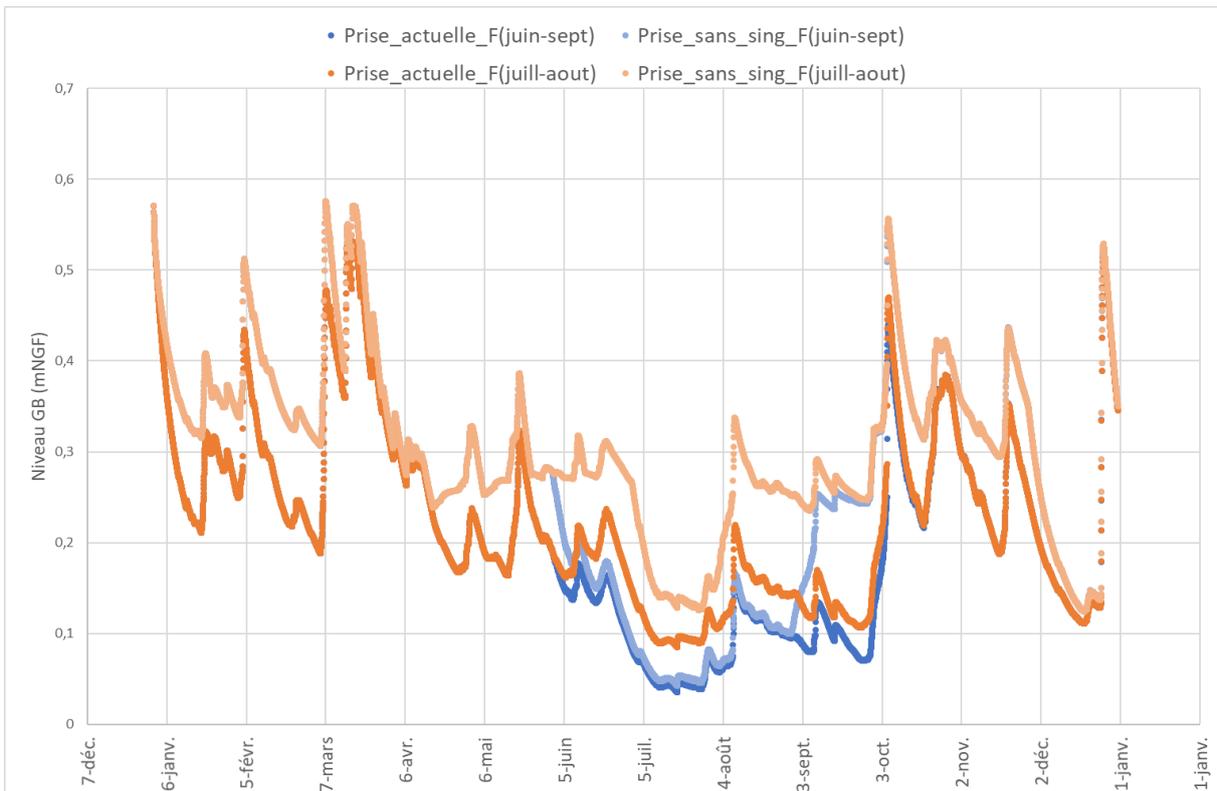


Figure 26: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau 2 ou 4 mois en été

Le Tableau 12 indique les niveaux moyens, minimums et maximums selon la période de l'année dans chaque configuration. Ainsi, les niveaux minimums de chaque configuration indiquent que **le Bagnas ne s'assècherait dans aucun cas** (au plus bas 0,04 mNGF).

Les **niveaux moyens** se situeraient aux alentours de **0,2 mNGF** dans la configuration hydraulique actuelle et de **0,3 mNGF** avec la correction de la singularité.

Les niveaux les plus bas seraient observés en été, dont les valeurs sont comprises entre 0,04 et 0,26 mNGF voir 0,33 mNGF (avec la modification du canal). Les niveaux les plus hauts seraient atteints en hiver.

Tableau 12: Niveaux du GB dans le scénario tout ouvert

| Ouverture continue | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------------|---|-------------------|----------------|
| Réseau hydraulique | Actuel (2018) | | | Modification singularité de Pont Martin | | |
| Période | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) |
| Année | 0,11 | 0,57 | 0,23 | 0,12 | 0,58 | 0,32 |
| Juin-sept | 0,11 | 0,26 | 0,16 | 0,24 | 0,37 | 0,27 |
| Oct-janv | 0,11 | 0,57 | 0,27 | 0,12 | 0,57 | 0,33 |
| Fev-mai | 0,16 | 0,53 | 0,28 | 0,24 | 0,58 | 0,35 |
| Prise d'eau fermée entre le 1 ^{er} juillet et le 31 août | | | | | | |
| Réseau hydraulique | Actuel (2018) | | | Modification singularité de Pont Martin | | |
| Période | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) |
| Année | 0,09 | 0,57 | 0,23 | 0,12 | 0,58 | 0,31 |
| Juin-sept | 0,09 | 0,24 | 0,14 | 0,13 | 0,34 | 0,24 |
| Oct-janv | 0,11 | 0,57 | 0,27 | 0,12 | 0,57 | 0,33 |
| Fev-mai | 0,16 | 0,53 | 0,28 | 0,24 | 0,58 | 0,35 |
| Prise d'eau fermée entre le 1 ^{er} juin et le 30 septembre | | | | | | |
| Réseau hydraulique | Actuel (2018) | | | Modification singularité de Pont Martin | | |
| Période | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) | Niveau min (mNGF) | Niveau max (mNGF) | Moyenne (mNGF) |
| Année | 0,04 | 0,57 | 0,21 | 0,04 | 0,58 | 0,27 |
| Juin-sept | 0,04 | 0,19 | 0,1 | 0,04 | 0,33 | 0,14 |
| Oct-janv | 0,11 | 0,57 | 0,27 | 0,12 | 0,57 | 0,33 |
| Fev-mai | 0,16 | 0,53 | 0,28 | 0,24 | 0,58 | 0,35 |

Un bilan des volumes échangés a été effectué sur les simulations précédentes, afin d'évaluer la quantité de sel apportée à l'étang par les volumes entrants par le canal du T (Tableau 13).

En sachant que la salinité moyenne du canal du T est de 5,8 g/L et à partir des débits entrants et sortants donnés par le modèle hydraulique, la masse de sel apportée a été estimée en fonction du volume entrant.

Ainsi, la simulation où la **prise d'eau resterait fermée pendant 4 mois** est celle où il y aurait **le plus gros apport de sel** (16 tonnes dans la configuration hydraulique actuelle) car la martelière du T reste ouverte et permet plus d'échanges avec le canal du T.

Concernant les simulations ou **la singularité du canal Pont Martin serait effacée, l'apport de sel est bien moindre (en moyenne divisé par 2)**. Ceci est dû au fait que beaucoup plus d'eau serait introduite par Pont Martin, ainsi le niveau de l'étang serait plus haut que celui du canal du T, ce qui limiterait les échanges.

Tableau 13: Bilan des volumes entrants/sortants dans le scénario tout ouvert

| Réseau hydraulique | Ouverture de la prise d'eau continue | | Fermeture prise d'eau (1er juill- 31aout) | | Fermeture prise d'eau (1er juin-30 sept) | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|--|
| | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin* | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin* | Actuel (2018) | Modification n singularité de Pont Martin* |
| Volume entrant à Pont Martin (m3) | 2 206 454 | 9 271 949 | 1 980 343 | 7 514 814 | 1 611 781 | 5 697 094 |
| Volume sortant au T (m3) | 5 589 123 | 10 557 717 | 5 391 275 | 10 024 414 | 5 313 727 | 8 670 436 |
| Volume entrant au T (m3) | 2 536 059 | 964 007 | 2 581 982 | 1 234 783 | 2 806 858 | 1 708 183 |
| Quantité de sel apportée (kg) | 14 709 143 | 5 591 239 | 14 975 495 | 7 161 744 | 16 279 775 | 9 907 464 |
| Salinité moyenne GB (g/L) | 4,32 | 1,73 | 4,77 | 2,64 | 4,47 | 2,08 |

Ce scénario permettrait d'avoir une gestion naturelle des niveaux d'eaux du Grand Bagnas, tout en :

- **Limitant la désalinisation** du Bagnas par l'apport d'eau salée : salinité de l'ordre de **4 g/L** si prise d'eau actuelle, ou de 2 g/L avec correction de la singularité du canal Pont Martin. (Ces valeurs pourraient être doublées si la salinité du canal du T actuellement de 5,8 g/L était augmentée à 16 g/L par l'effacement du seuil présent sur le canal ([voir annexe n°9](#))).
- **Assurant un renouvellement des eaux de 3 mois** avec la prise d'eau actuelle ou d'un mois si correction de la singularité.
- **Empêchant l'assèchement de l'étang**

Cependant, dans un tel scénario les niveaux d'eau sont **sujets aux aléas climatiques** et de grandes variations peuvent être observées lors de marée ou de pluviométrie importante, pouvant mettre en péril la nidification de certains oiseaux.

Il faut également garder à l'esprit qu'une telle gestion impacterait le niveau de GB8 qui serait en équilibre avec le Grand Bagnas ou à sec si son niveau est inférieur à 0,2 mNGF. De plus, même si ce scénario ne nécessite pas d'action du gestionnaire, les niveaux d'eau de la Longe devront quand même être gérés indépendamment par la martelière de la bascule (690 000 m³ par an sont envoyés vers la Longe/demi-lune).

Enfin, avec le marégraphe de Sète comme condition à la limite les niveaux ont pu être surestimés, la simulation devra être reconduite en remplaçant la condition à la limite par les données de la sonde limnimétrique de Koch lorsqu'un an de données seront disponibles.

3.4.3.1 Sonde de Koch

La Figure 27, présente le niveau du Grand Bagnas entre le 01/12/17 et le 19/07/18 avec la prise d'eau et la martelière du T ouvertes en continue. Les données limnimétriques de la sonde du pont de Koch ont été fixées comme condition aux limites.

On se rend compte avec cette simulation que les fluctuations du niveau de l'étang sont moins importantes qu'avec le marégraphe de Sète en condition aux limites, et que les niveaux sont également plus bas, avec un niveau moyen de 0,1 mNGF avec la prise d'eau actuelle et de 0,17 mNGF avec la correction de la singularité du canal Pont Martin.

On observe également une diminution du niveau de juin à juillet, il faudra donc vérifier, lorsque plus de données seront disponibles, si le niveau ne descend pas trop bas en été.

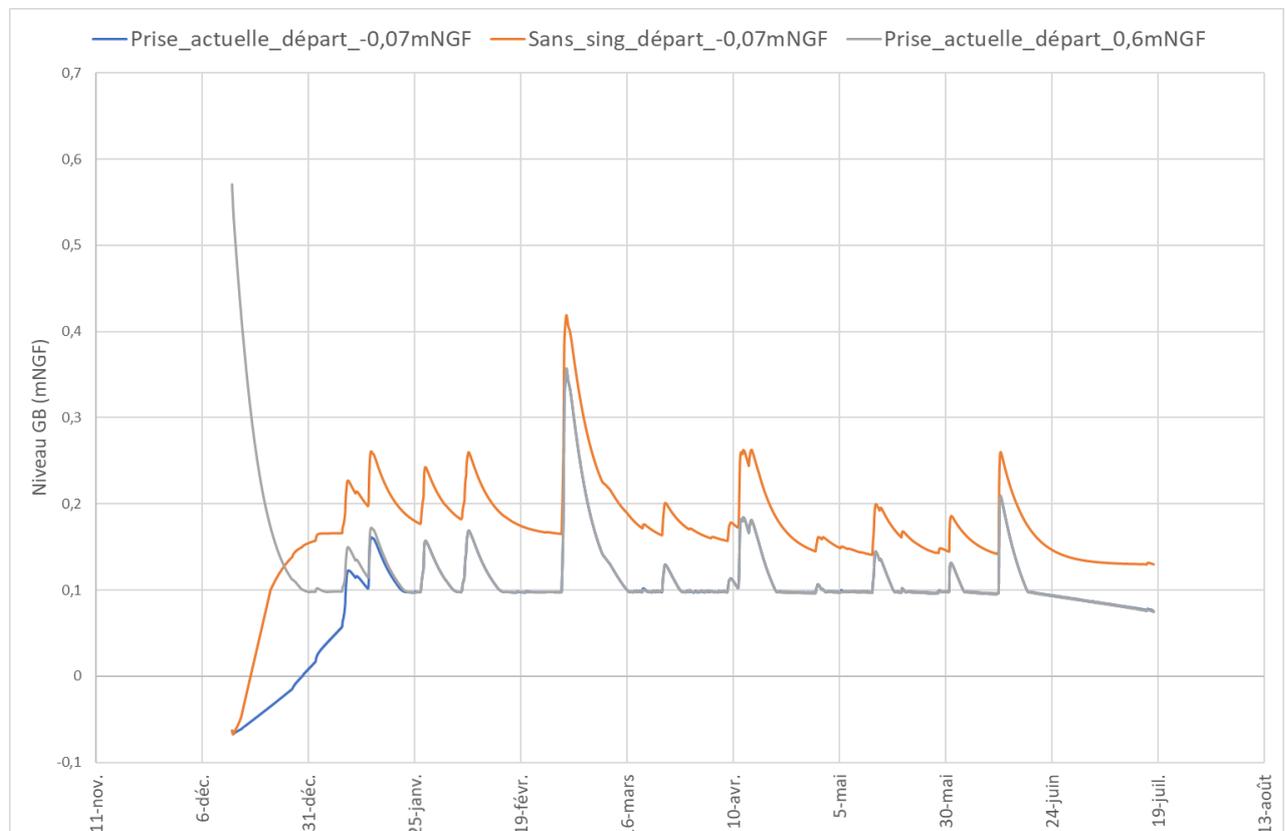


Figure 27: Niveau du GB avec les données limnimétriques de Koch dans le scénario tout ouvert

3.4.4 Renouvellement eau

Le temps de renouvellement des eaux donne le temps nécessaire pour renouveler le volume de l'étang du Grand Bagnas. Ainsi, afin de renouveler l'eau il est nécessaire d'avoir une circulation en ouvrant par exemple une martelière d'entrée et de sortie des eaux. Cette méthode ne prend pas en compte la circulation de l'eau au sein même de l'étang (renouvellement non uniforme sur toute la masse d'eau).

Ainsi, afin d'avoir une idée du temps de renouvellement sur le scénario « tout ouvert », les volumes entrants par la martelière de Pont Martin et du T ont été cumulés jusqu'à la date à laquelle le volume total entrant était équivalent au volume de l'étang à son niveau moyen (dans ce scénario 0,2 mNGF).

Il faut en moyenne 3 mois pour renouveler l'eau avec la prise d'eau actuelle et le T, ou 1 mois avec la correction singularité, à n'importe quelle période de l'année. Si on ne tenait pas compte du volume entrant par le T, il faudrait 5 mois pour renouveler les eaux du Bagnas dans ce scénario. Ceci met en évidence que sans la correction de la singularité les temps de renouvellement sont très longs.

3.4.5 Sans prélèvement l'été

Ce scénario traite le cas où il y aurait une restriction d'eau l'été et que la prise d'eau doit rester fermée 2 ou 4 mois (du 01/07 au 31/08 ou du 01/06 au 30/09).

Deux années témoins ont été choisies, 2013 considérée comme une année normale au niveau de la pluviométrie et 2015 considérée comme une année sèche (faible pluviométrie).

Les simulations présentent le niveau et le volume du Grand Bagnas au cours du temps en fonction de différents niveaux de départ au 01/06, ainsi que deux scénarios où il n'y aurait pas d'eau dans le canal du midi au mois de décembre (pour l'entretien du canal par VNF), avec une fermeture de 2 ou 4 mois en partant du niveau moyen observé en juin ou juillet.

Les Figure 28 et Figure 29 suivantes présentent sous forme de graphique l'évolution du niveau du Grand Bagnas (en mNGF) entre le 01/06 et le 15/12, pour les deux années témoins et les différents niveaux de départ (-0,07 ; 0,15 ; 0,35 et 0,6 mNGF) avec une fermeture de la prise d'eau de 4 mois.

Ils montrent une diminution progressive du niveau entre le 01/06 et le 30/09, avec quelques légères remontées dues à la pluviométrie. La prise d'eau étant rouverte à partir du 01/10, les graphiques montrent une augmentation du niveau lent et progressif en période sèche et plus rapide en période normale.

Ainsi, dans la configuration hydraulique actuelle de la réserve, au 15/12 (soit après 2,5 mois d'ouverture de la prise d'eau), le niveau ne remonte pas au niveau initial quel que soit le niveau de départ. Dans la configuration où la singularité du canal Pont Martin serait effacée, les niveaux remontent beaucoup plus rapidement et dépassent le niveau initial en moins d'un mois.

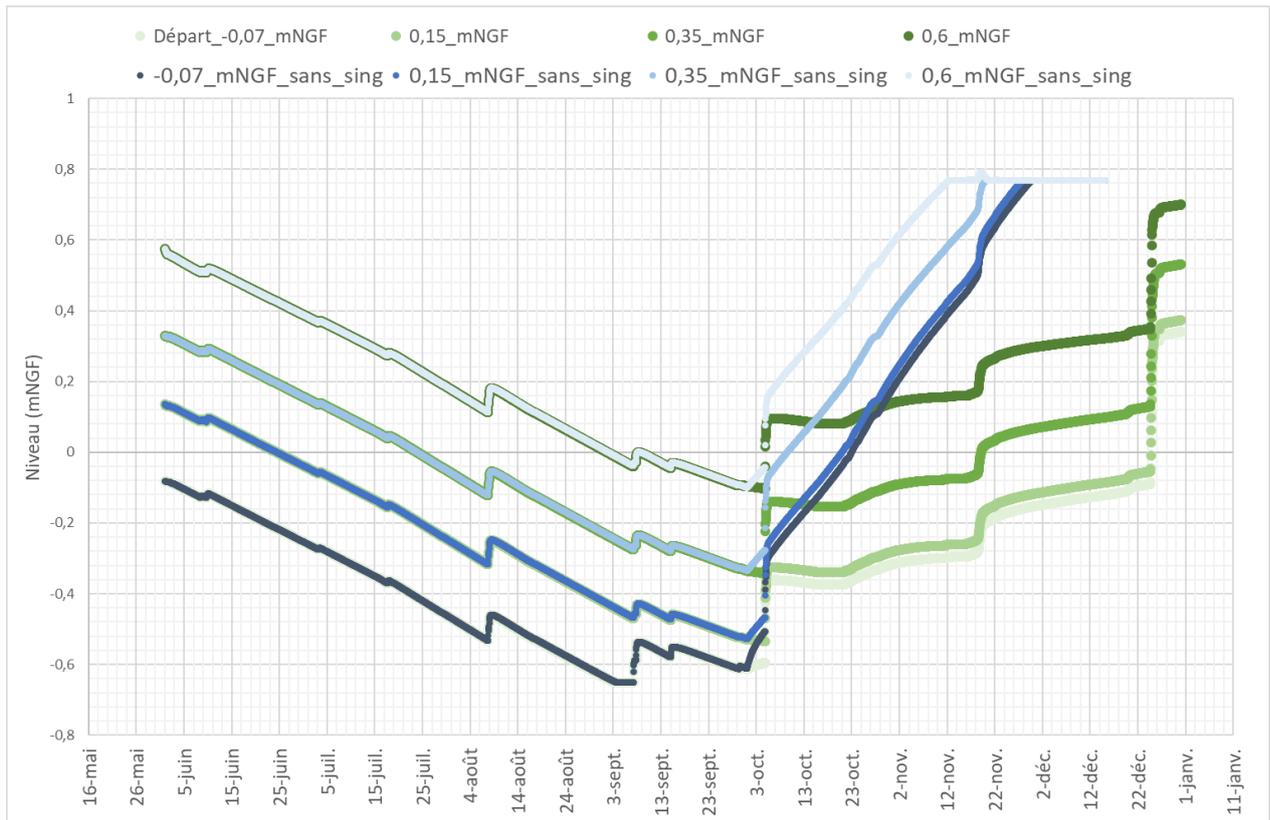


Figure 28: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau l'été en année normale

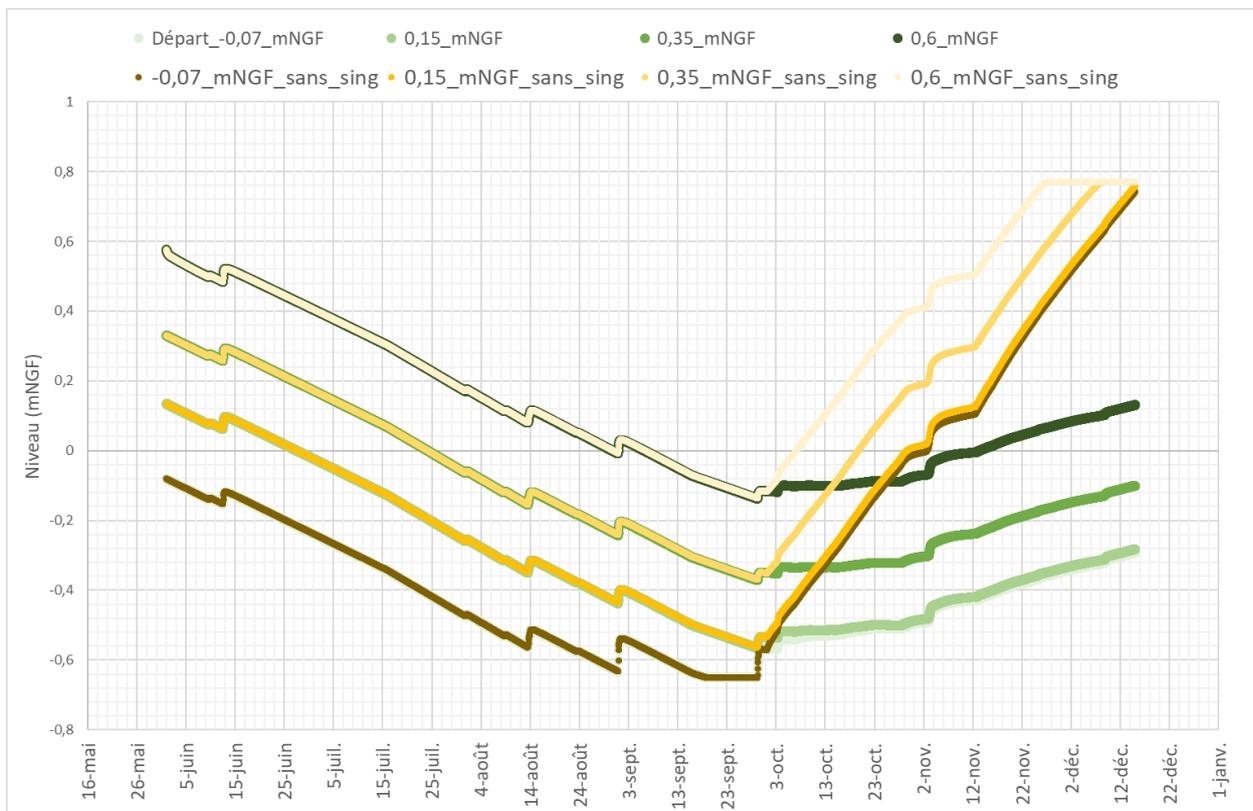


Figure 29: Niveau du GB avec fermeture de la prise d'eau l'été en année sèche

Le Tableau 14 montre les différentes modélisations effectuées. Le niveau de départ au 01/06 lors de la fermeture de la prise d'eau, et le niveau atteint au 30/09 juste avant la réouverture de la prise d'eau sont indiqués, ainsi que dans les deux configurations (réseau actuel et correction de la singularité) le niveau de l'étang atteint en hiver.

D'après les résultats, **il se produirait un assec total au T dans toutes les configurations, excepté celle où le niveau de départ est de 0,6 mNGF** ou il se produirait un **assec partiel** avant la réouverture de la prise d'eau.

De plus, dans la configuration hydraulique actuelle, les niveaux atteints en hiver seraient largement insuffisants (en dessous de 0 mNGF pour la plupart contre 0,4 mNGF voulus). En revanche, si la singularité de Pont Martin est corrigée, en moins d'un mois (ou deux en année sèche) après l'ouverture de la prise d'eau, les niveaux atteints seraient idéals (0,77 mNGF étant le niveau maximum pouvant être atteint avant surverse au niveau du T).

Tableau 14: Niveau du GB dans le scénario sans prélèvement l'été

| Année normale (2013) | | | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin | | |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|------------------------------------|
| Niveau relatif au T (m) | Niveau de départ au 01/06 (mNGF) | Niveau GB 30/09 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 01/11 (mNGF) | Date où le niveau atteint 13 cmNGF |
| 0,2 | -0,07 | -0,61 | -0,12 | 0,77 | 0,19 | 29/10 |
| 0,42 | 0,15 | -0,52 | -0,09 | 0,77 | 0,23 | 26/10 |
| 0,62 | 0,35 | -0,33 | 0,10 | 0,77 | 0,40 | 17/10 |
| 0,87 | 0,6 | -0,09 | 0,32 | 0,77 | 0,60 | 05/10 |
| Année sèche (2015) | | | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin | | |
| Niveau relatif au T (m) | Niveau de départ au 01/06 (mNGF) | Niveau GB 30/09 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 01/11 (mNGF) | Date où le niveau atteint 13 cmNGF |
| 0,2 | -0,07 | -0,57 | -0,29 | 0,74 | -0,01 | 13/11 |
| 0,42 | 0,15 | -0,53 | -0,28 | 0,76 | 0,01 | 12/11 |
| 0,62 | 0,35 | -0,35 | -0,10 | 0,77 | 0,19 | 27/10 |
| 0,87 | 0,6 | -0,12 | 0,13 | 0,77 | 0,41 | 14/10 |

Les Figure 30 et Figure 31 présentent sous forme de graphique l'évolution du niveau du Grand Bagnas (en mNGF) respectivement entre le 01/07 et le 31/12 et entre le 01/06 et le 31/12, en partant du niveau moyen observé (0,35 mNGF en juin et 0,25mNGF en juillet).

Les résultats de la fermeture durant 4 mois sont les mêmes que les résultats des simulations précédentes à l'exception des niveaux atteints en décembre qui sont plus bas du fait de la fermeture du canal du midi.

Quant à la fermeture de 2 mois, les niveaux atteints durant l'été sont plus hauts, mais cela mène quand même à un assec partiel voir total au T avant la réouverture de la prise d'eau.

De plus, dans les deux configurations les niveaux atteints l'hiver sont trop faibles. Les courbes grises qui représentent le niveau de l'étang dans le cas où il n'y aurait aucune pluie montrent **que les niveaux sont fortement dépendants de la pluviométrie**, et que sans amélioration de la prise d'eau, il serait très long de remplir l'étang sans la pluie.

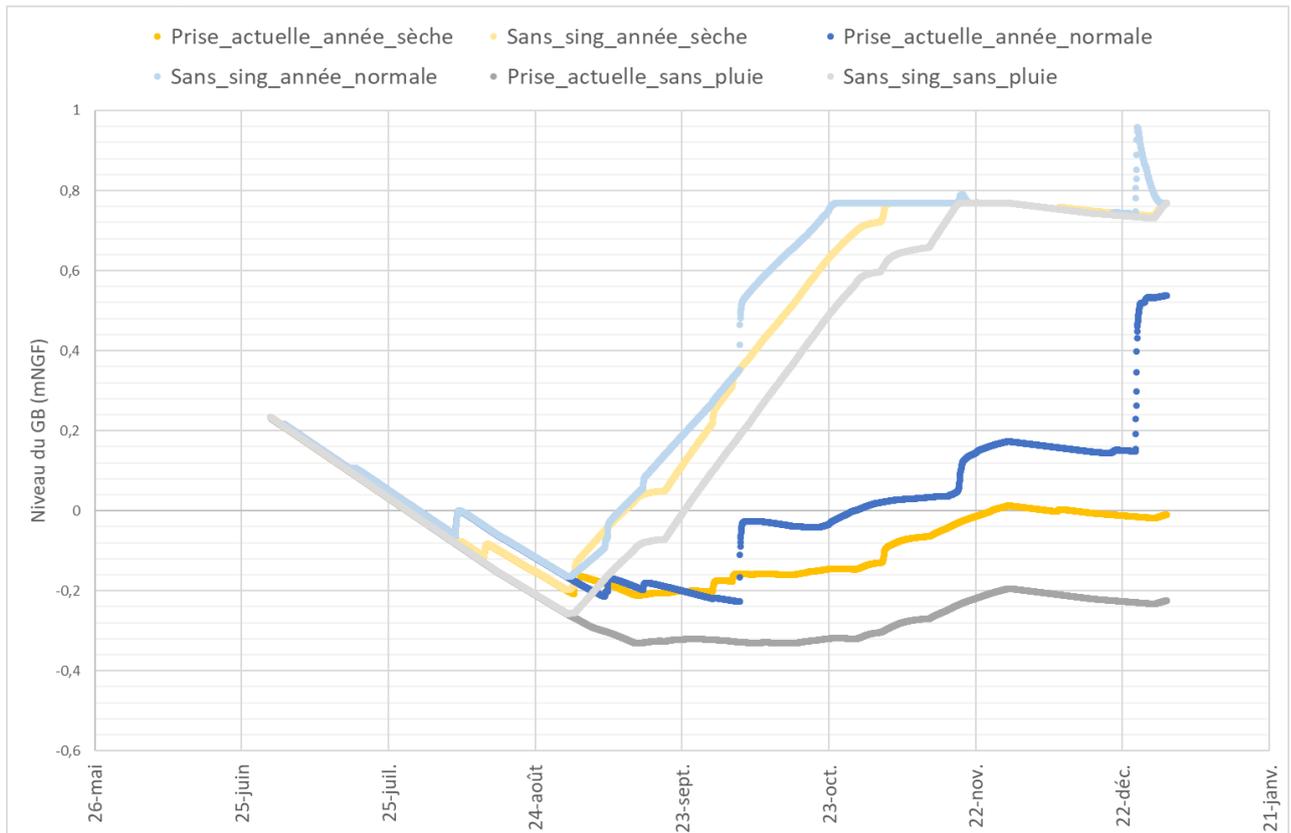


Figure 30: Niveau du GB avec fermeture de 2 mois de la prise d'eau entre juillet et août

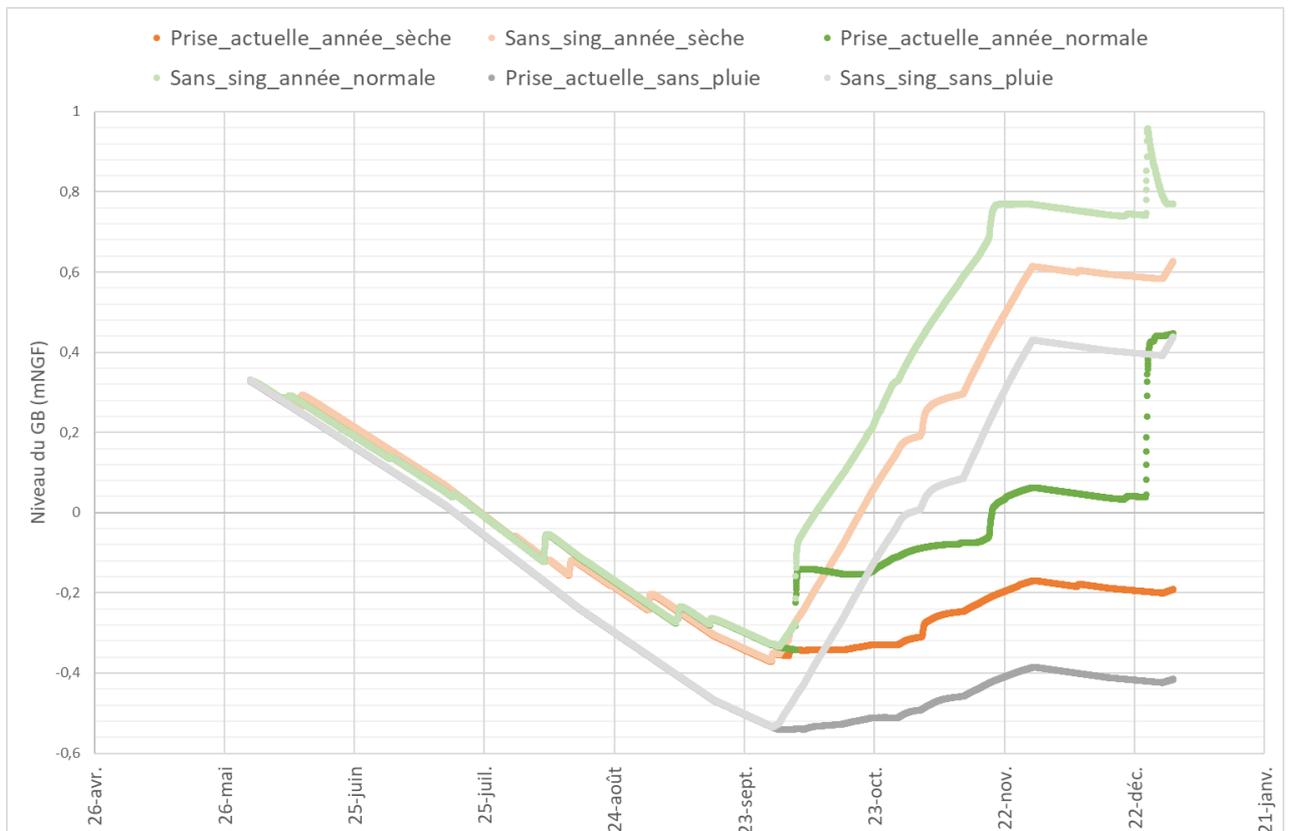


Figure 31: Niveau du GB avec fermeture de 4 mois de la prise d'eau entre juin et septembre

Le Tableau 15 montre les différentes modélisations effectuées. Le niveau de départ au 01/06 ou au 01/07 lors de la fermeture de la prise d'eau, et le niveau atteint au 30/09 ou au 31/08 juste avant la réouverture de la prise d'eau sont indiqués, ainsi que dans les deux configurations (réseau actuel et correction de la singularité) le niveau de l'étang atteint en hiver.

D'après les résultats, en partant du niveau moyen observé en juin ou juillet, il se produirait un assec total au T pour une fermeture de 4 mois (niveau en dessous de -0,3 mNGF) et un assec partiel voir total pour une fermeture de 2 mois (de -0,3 mNGF sans pluie à -0,18 mNGF).

De plus, dans la configuration hydraulique actuelle, les niveaux atteints en hiver seraient largement insuffisants : entre -0,19 et 0,04 mNGF pour 4 mois de fermeture et entre 0 et 0,15 mNGF pour 2 mois de fermeture. Or les niveaux voulus l'hiver sont d'au moins 0,4 mNGF.

En revanche, si la singularité de Pont Martin est corrigée, en moins d'un mois les niveaux de départs sont atteints et l'étang serait rempli au maximum (0,77 mNGF) fin décembre dans les deux configurations.

Tableau 15: Niveau du GB dans le scénario sans prélèvement entre 2 et 4 mois l'été

| Fermeture 4 mois de la prise d'eau | | | | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|------------------------------------|
| | Niveau relatif au T (m) | Niveau de départ au 01/06 (mNGF) | Niveau GB 30/09 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 31/12 (mNGF) | Niveau au 01/11 (mNGF) | Date où le niveau atteint 13 cmNGF |
| Année normale (2013) | 0,62 | 0,35 | -0,33 | 0,04 | 0,77 | 0,40 | 17/10 |
| Année sèche (2015) | 0,62 | 0,35 | -0,35 | -0,19 | 0,63 | 0,19 | 27/10 |
| Sans pluviométrie | 0,62 | 0,35 | -0,54 | -0,41 | 0,44 | 0,00 | 14/11 |
| Fermeture 2 mois de la prise d'eau | | | | Actuel (2018) | Modification singularité de Pont Martin | | |
| | Niveau relatif au T (m) | Niveau de départ au 01/06 (mNGF) | Niveau GB 31/08 (mNGF) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 31/12 (mNGF) | Niveau au 01/10 (mNGF) | Date où le niveau atteint 13 cmNGF |
| Année normale (2013) | 0,52 | 0,25 | -0,22 | 0,15 | 0,77 | 0,30 | 18/09 |
| Année sèche (2015) | 0,52 | 0,25 | -0,18 | 0,00 | 0,77 | 0,28 | 23/09 |
| Sans pluviométrie | 0,52 | 0,25 | -0,32 | -0,22 | 0,77 | 0,13 | 01/10 |

En conclusion, s'il venait à avoir des restrictions d'eau l'été imposant la fermeture de la prise d'eau, l'assec partiel voir total serait inévitable qu'importe la configuration. Si ce cas se produisait, il faudrait ouvrir la martelière du T ou de Petit Pont afin d'éviter l'assec, en équilibrant le niveau de l'étang avec le niveau du canal du midi.

3.4.6 Assecs partiels

Ce scénario traite le cas des assecs partiels qui vise à atteindre un niveau du Grand Bagnas de $-0,07$ mNGF pendant 1 mois en septembre avant de remplir l'étang début octobre.

Deux années témoins ont été choisies, 2013 considérée comme une année normale au niveau de la pluviométrie et 2015 considérée comme une année sèche (faible pluviométrie).

Les simulations donnent le niveau et le volume du Grand Bagnas au cours du temps en fonction de différents niveaux de départ au 01/07 pour atteindre $-0,07$ mNGF en septembre, ainsi que l'évolution du niveau d'eau après l'ouverture de la prise d'eau le 01/10. Le temps de réponse pour lequel le niveau de l'étang croît après l'ouverture de la prise d'eau a également été étudié.

Dans le cas de la réouverture de la prise d'eau, pour les deux années témoins, deux configurations ont été testées :

- Le réseau hydraulique actuel de la réserve lors de l'étude hydraulique 2018
- Le réseau hydraulique dans le cas où la singularité présente sur le canal Pont Martin serait effacée (voir profil en long)

Les Figure 32 et Figure 33 présentent sous forme de graphique l'évolution du niveau du Grand Bagnas (en mNGF) après la fermeture de la prise d'eau le 01/07, ainsi qu'après la réouverture entre le 01/10 et le 31/12.

D'après la Figure 32, si la prise d'eau est fermée au 01/07, le niveau de l'étang diminue progressivement avec quelques remontées dues à la pluviométrie. Pour arriver à $-0,07$ mNGF en septembre il faut au minimum partir de $0,4$ mNGF au 01/07. De faibles différences sont constatées entre les simulations en année sèche et normale.

D'après la Figure 33, si la prise d'eau est rouverte qu'au 1^{er} octobre, la configuration actuelle du réseau hydraulique ne permettrait pas de faire remonter le niveau assez haut avant l'hiver (au minimum $0,4$ mNGF en octobre), alors que si la singularité du canal Pont Martin est corrigée, en moins d'un mois après la réouverture de la prise d'eau, de hauts niveaux sont atteints.

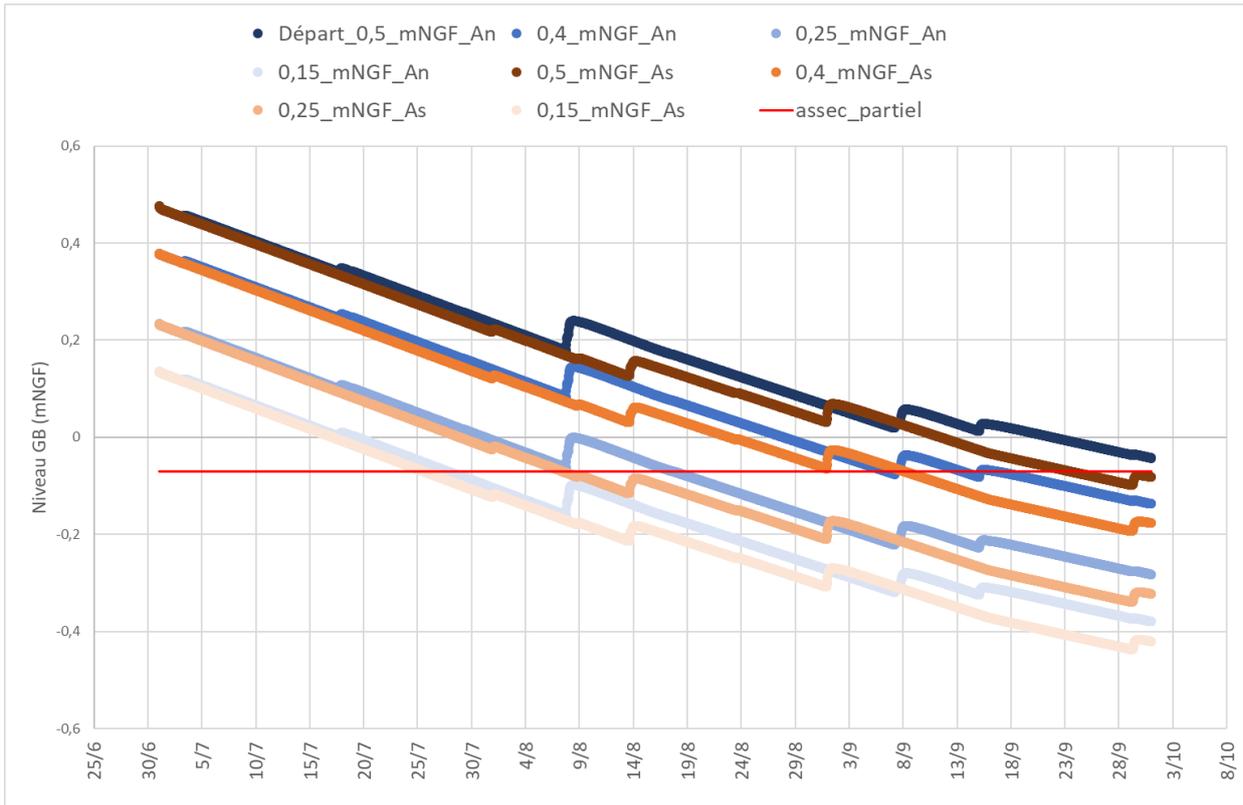


Figure 32: Vidange du GB pour atteindre l'assec

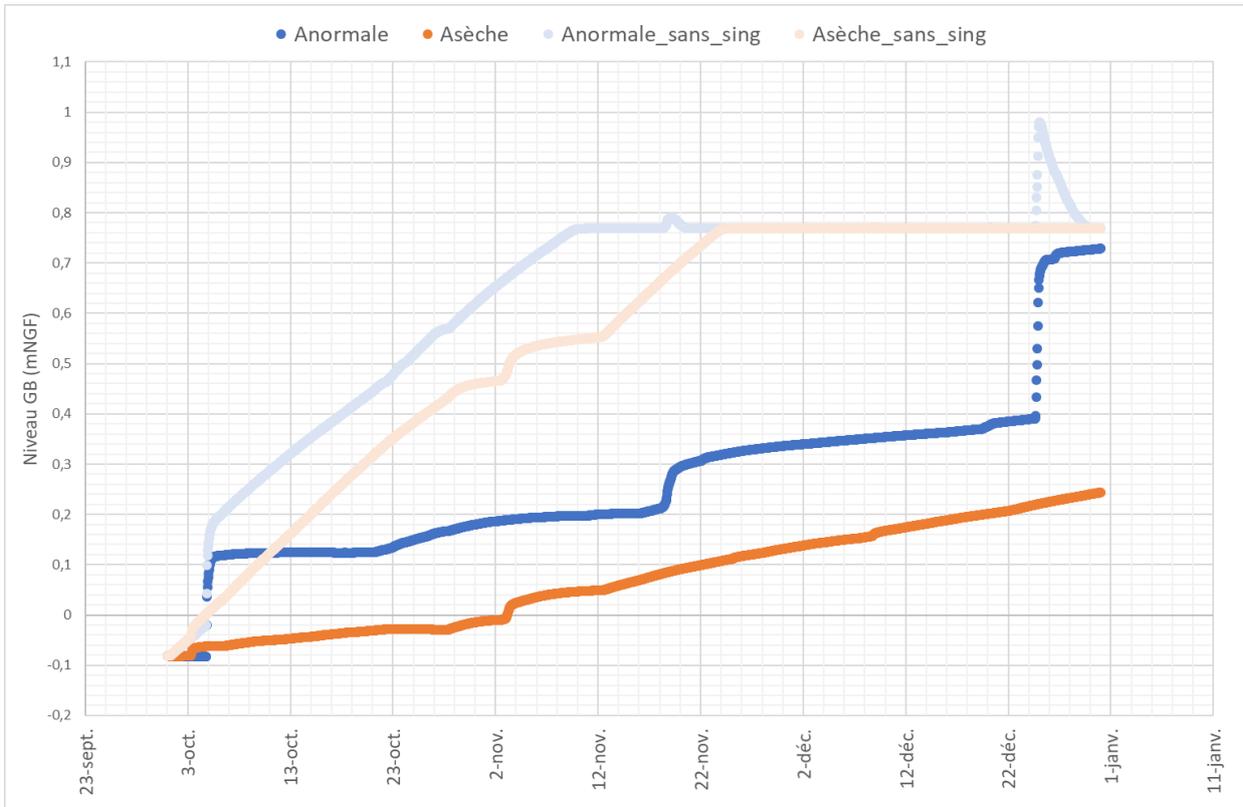


Figure 33: Remplissage du GB après assec

Les Tableau 16 et Tableau 17 indiquent le niveau de l'étang lors de la vidange et du remplissage à des périodes données.

Au niveau moyen observé de l'étang début juillet (0,25 mNGF), si la prise d'eau est fermée, l'étang met seulement un mois et demi pour atteindre l'assec partiel et se retrouverai à des niveaux bien trop bas en septembre si la prise d'eau n'est pas rouverte avant octobre.

Pour le remplissage, en partant de -0,07 mNGF début octobre, les niveaux atteints mi-décembre sont très bas (0,36 mNGF en année normale ou 0,19 en année sèche) avec la configuration hydraulique actuelle. Cela met en avant que le remplissage de l'étang est fortement dépendant de la pluviométrie, ainsi, en année sèche, l'étang pourrait mettre 1 mois de plus à se remplir à niveau égal qu'en année normale.

Tableau 16: Niveau du GB dans le scénario des assecs partiels pour la vidange

| Année normale (2013) | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|---|------------------------|------------------------|
| Hauteur relative au T (m) | Niveau de départ 01/07 (mNGF) | Temps pour atteindre -0,07 mNGF (jours) | Niveau au 01/09 (mNGF) | Niveau au 30/09 (mNGF) |
| 0,77 | 0,5 | #N/A | 0,06 | -0,04 |
| 0,67 | 0,4 | 66 | -0,03 | -0,13 |
| 0,52 | 0,25 | 46 | -0,18 | -0,28 |
| 0,42 | 0,15 | 26 | -0,27 | -0,37 |
| Année sèche (2015) | | | | |
| Hauteur relative au T (m) | Niveau de départ 01/07 (mNGF) | Temps pour atteindre -0,07 mNGF (jours) | Niveau au 01/09 (mNGF) | Niveau au 30/09 (mNGF) |
| 0,77 | 0,5 | 83 | 0,05 | -0,08 |
| 0,67 | 0,4 | 68 | -0,04 | -0,17 |
| 0,52 | 0,25 | 36 | -0,19 | -0,32 |
| 0,42 | 0,15 | 23 | -0,29 | -0,42 |

Tableau 17: Niveau du GB dans le scénario des assecs partiels pour le remplissage

| Année normale (2013) | | Actuel | | Modification singularité de Pont Martin* | | |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|--|------------------------|------------------------------|
| Niveau de départ 01/10 (mNGF) | Hauteur relative au T (m) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Date ou le niveau = 13 cmNGF | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 01/11 (mNGF) | Date ou le niveau = 13 cmNGF |
| -0,07 | 0,2 | 0,36 | 22/10/2013 | 0,77 | 0,64 | 04/10/2013 |
| Année sèche (2015) | | Actuel | | Modification singularité de Pont Martin* | | |
| Niveau de départ 01/10 (mNGF) | Hauteur relative au T (m) | Niveau au 15/12 (mNGF) | Date ou le niveau = 13 cmNGF | Niveau au 15/12 (mNGF) | Niveau au 01/11 (mNGF) | Date ou le niveau = 13 cmNGF |
| -0,07 | 0,2 | 0,19 | 29/11/2015 | 0,77 | 0,46 | 11/10/2015 |

Pour conclure, avec la prise d'eau actuelle, il n'est pas possible de concilier un assec partiel en septembre et de retrouver 50 cm d'eau en octobre pour la migration des oiseaux.

Le Tableau 18, indique les temps de réponse de la prise d'eau. Avec la correction de la singularité, l'étang réagit en 1 ou 2 jours maximum après l'ouverture de la prise d'eau. Afin d'éviter un assec partiel ou total, il suffit d'ouvrir la prise d'eau avant d'atteindre le niveau critique.

Dans la configuration hydraulique actuelle, il apparaît que la capacité de prélèvement de la prise d'eau n'est pas suffisante en été pour pallier la baisse du niveau de l'étang par évaporation. Ainsi, peu importe le niveau de l'étang auquel la prise d'eau est ouverte, ce n'est pas suffisant pour empêcher le niveau de descendre jusqu'à mi-septembre aux alentours de -0,13 mNGF. Dans le cas extrême ou il n'y aurait aucune pluie, le niveau descendrait jusqu'à mi-octobre aux alentours de -0,26 mNGF.

Tableau 18: Temps de réponse de la prise d'eau

| Actuel | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Niveau du GB à l'ouverture de la prise d'eau (mNGF) | Niveau d'eau relatif au T (m) | Avec pluie | | | Sans pluie | | |
| | | Temps réponse (jours) | Niveau min atteint (mNGF) | Date à laquelle le nvx est min | Temps réponse (jours) | Niveau min atteint (mNGF) | Date à laquelle le nvx est min |
| -0,07 | 0,2 | 38 | -0,15 | 14-sept. | 70 | -0,27 | 15-oct. |
| 0 | 0,27 | 48 | -0,14 | 14-sept. | 79 | -0,26 | 15-oct. |
| 0,05 | 0,32 | 54 | -0,14 | 14-sept. | 85 | -0,26 | 15-oct. |
| 0,1 | 0,37 | 60 | -0,13 | 14-sept. | 91 | -0,26 | 15-oct. |
| 0,15 | 0,42 | 66 | -0,13 | 14-sept. | | | |
| 0,2 | 0,47 | 72 | -0,13 | 14-sept. | | | |
| 0,25 | 0,52 | 75 | -0,12 | 14-sept. | | | |
| 0,3 | 0,57 | 75 | -0,12 | 14-sept. | | | |
| 0,35 | 0,62 | 105 | -0,11 | 14-sept. | | | |
| Modification singularité de Pont Martin | | | | | | | |
| Niveau du GB à l'ouverture de la prise d'eau (mNGF) | Niveau d'eau relatif au T (m) | Avec pluie | | | Sans pluie | | |
| | | Temps réponse (jours) | Niveau min atteint (mNGF) | Date à laquelle le nvx est min | Temps réponse (jours) | Niveau min atteint (mNGF) | Date à laquelle le nvx est min |
| -0,07 | 0,2 | 1 | -0,07 | 8-août | 2 | -0,07 | 8-août |
| 0 | 0,27 | 1 | 0,00 | 30-juil. | 1 | 0,00 | 30-juil. |

3.5 Programme d'actions proposé

3.5.1 Programme d'entretien



Figure 34: Embâcle à la buse du T

Lors de la phase de terrain plusieurs éléments ont été observés pouvant occasionner des gênes à l'écoulement et au bon fonctionnement hydraulique de la réserve. Ainsi la présence d'embâcles a été relevée au niveau du canal des 7 fonts, au niveau des deux arches, qui en hautes eaux bloquent toute sorte d'objet (déchet, branche etc) qui peuvent finir par boucher les buses de sortie par exemple. C'était le cas de la buse de la martelière du T, qui lors des relevés était partiellement obstruée par des branchages (Figure 34). C'est aussi le cas de certains canaux comme celui de la ceinture qui présente de nombreux freins à l'écoulement par la densité de la ripisylve qui empiète dans les canaux. Il est donc conseillé de rester vigilants vis-à-vis de ces aspects avec une attention particulière portée au canal de ceinture et au contre canal qui sont les plus obstrués alors qu'ils représentent un enjeu important, étant donné que l'alimentation du Grand Bagnas se fait

principalement par le biais de ces deux canaux.

Lors des relevés topographiques, un fort comblement des canaux a été observé sur l'ensemble du site, atteignant à certains endroits jusqu'à 1m de vase. La présence de nombreux seuils (formés d'agrégats de tube calcaire (Figure 35) atteignant des proportions importantes) a également été remarquée, notamment sur le canal du T et le canal de l'est, créés par un vers aquatique (le cascaïl : *Ficopomatus enigmaticus*) qui pourraient à terme être problématique. Ces éléments représentent un frein hydraulique important (perte de charges dû à la rugosité et comblement). Il serait donc important de prévoir des actions de curage régulières des canaux.



Figure 35: Tube calcaire du cascaïl

Source :

<http://www.diverosa.com/categories%20NL/ff%20wormen.htm>

Il faudrait, chaque été, lorsque les niveaux sont plus bas et donc les ouvrages plus accessibles, vérifier leur état (embâcle, sédimentation etc) et procéder à des débouchages si nécessaire ainsi qu'à l'élagage de la ripisylve pour ne pas obstruer les canaux. De même il faudrait prévoir des périodes de curages notamment lors de réalisation d'assec.

Une fiche « action » en [annexe n°10](#) présente ces actions et leurs fréquences, et localise sur une carte les différents ouvrages / canaux à contrôler.

3.5.2 Programme de travaux structurant



Figure 36: Point haut du canal Pont Martin

Un point à retenu l'attention lors du relevé du profil en long du canal Pont Martin ([voir annexe n°8](#)). Le fil d'eau de la prise d'eau sur le canal du midi se situe à 1mNGF et capte les eaux dans le canal d'amenée long de près de 500 m jusqu'à la bascule, ouvrage de répartition des eaux en entrée du Bagnas dont le radier est côté à 0,46 mNGF. Les relevés du profil en long du canal d'amenée montrent l'existence d'un point haut (à 1,6mNGF) s'ajoutant à un fort rétrécissement de la section transversale (passant de 3m à 60 cm), dû à la présence de deux arbres dans le canal (Figure 36). Un travail de recalibrage de la section sur ce point ainsi que la reprise du profil en long du canal d'amenée permettront d'augmenter la capacité de captage, comme présenter dans la partie [3.4.1 Modification de la prise d'eau](#).

Ainsi, il faudrait envisager d'effacer le point haut du canal Pont Martin pour améliorer la capacité de prise d'eau et empêcher le comblement par sédimentation de la partie amont du canal.

De même, comme expliqué dans la partie [3.4.2 Salinisation](#), il serait intéressant d'effacer les seuils de Petit Pont ou du canal du T afin d'augmenter la salinité des eaux et permettre une salinisation du Grand Bagnas plus importante. Les fiches « actions » en [annexe n°11](#) présentent les différents coûts des travaux pouvant être réalisés.

Il pourrait également être intéressant d'éclater la berge du canal ouest au niveau du Petit Pont afin de créer un accès direct des eaux au Grand Bagnas et ainsi de contourner le problème de la végétalisation des berges du canal ouest et de son comblement. Il faudrait par la suite approfondir ce scénario à l'aide du modèle hydraulique.

3.6 Schémas de gestion proposés

Trois modèles de schéma de gestion du Grand Bagnas, intégrant différents facteurs sont présentés dans cette partie. Ils indiquent les niveaux minimums et maximums de chaque mois modélisé ainsi que la salinité mensuelle et les manipulations d'ouvrages s'il y en a.

3.6.1 Gestion maîtrisée des niveaux d'eau

Tout d'abord, un schéma de gestion avec la maîtrise des niveaux de l'étang par le gestionnaire est proposé. Ce schéma implique la réalisation de travaux, notamment la modification de la singularité du canal Pont Martin, et impose une gestion annuelle des ouvrages du Bagnas.

La Figure 37, présente ce schéma de gestion :

- Il implique une gestion saisonnière des niveaux (entre 80 et 90 cm en hiver, puis baisse graduelle jusqu'à atteindre 40 cm en juillet et 20 cm en août)
- Il permet un renouvellement de 1 mois des eaux du Grand Bagnas en hiver avec le trop plein
- Il permet de maintenir une salinité moyenne de 4,07 g/L, dans la configuration actuelle de Petit Pont (et de 4,45 g/L si la salinité du canal est augmentée à 16 g/L en effaçant le seuil de petit pont ([annexe n°9](#)))
- Il permet de ne pas prélever d'eau sur le canal du midi l'été pendant les périodes de restrictions de l'eau (juin-septembre), mais de gros volumes sont prélevés en dehors de cette période (3 461 555 m³ annuel)
- Il implique la réalisation d'assec partiel annuel, chaque été aux alentours du mois d'août-septembre
- Il implique également des niveaux plus bas en GB8 voir un assèchement prolongé si le niveau de l'étang reste inférieur à 47 cm, soit au maximum 5mois dans ce schéma, de mi-mai à mi-octobre.

Ce scénario induit la réalisation de travaux comme :

- L'entretien du parc hydraulique (voir [annexe n°10](#))
- La réalisation des travaux pour augmenter la capacité de la prise d'eau (voir [annexe n°11](#))
- L'effacement du seuil devant la martelière de petit pont afin d'augmenter la salinité ([voir annexe n°11](#))
- Installation d'un trop plein au niveau du T pour ne pas dépasser 90 cm d'eau

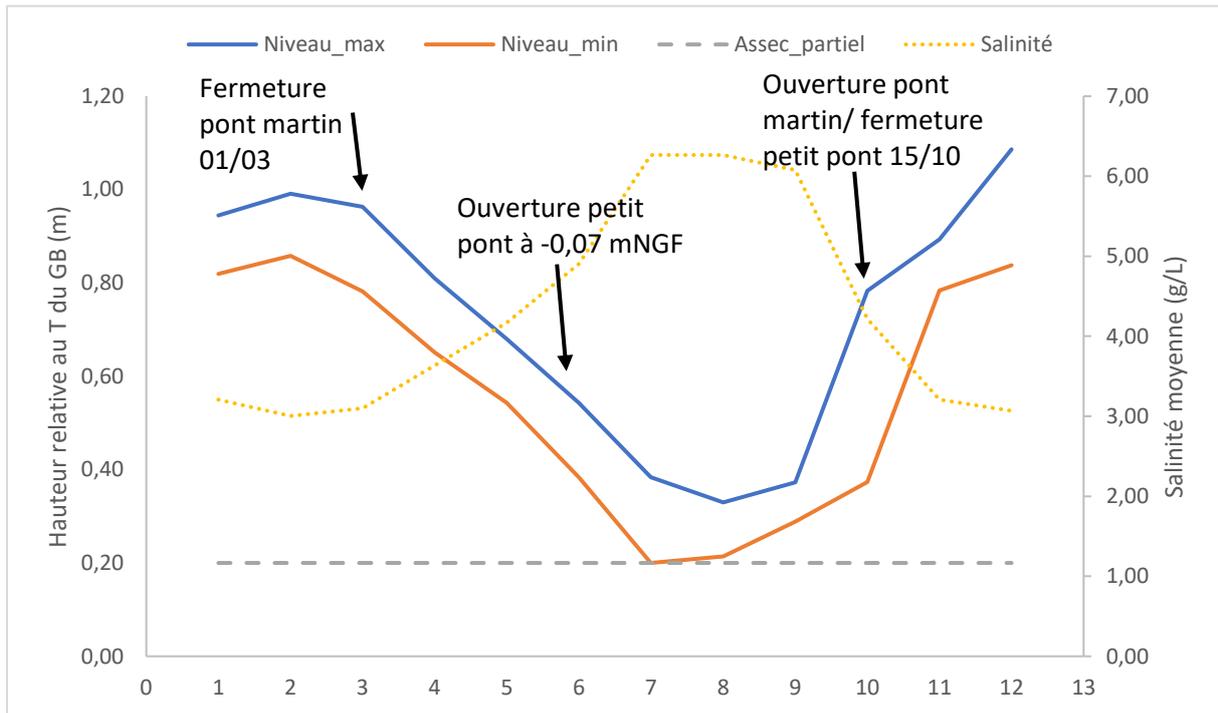


Figure 37: Schéma de gestion maîtrisée des niveaux du GB

Dans ce schéma, avec la modification de la prise d'eau il sera beaucoup plus simple d'adapter les niveaux rapidement en fonction des conditions climatiques

3.6.2 Gestion naturelle des niveaux d'eau

Deux schémas de gestion naturelle sont proposés à partir du scénario tout ouvert, avec la prise d'eau actuelle, sans modifier la singularité de Pont Martin. Ces schémas de gestion impliquent la dépendance du site aux aléas climatiques et tiennent compte de la fermeture du canal du midi pour son entretien par VNF au mois de décembre.

3.6.2.1 Tout ouvert en continu

La Figure 38, présente le schéma de gestion tout ouvert en continu :

- Il n'implique aucune gestion, excepté des niveaux de la Longe
- Il permet un renouvellement des eaux du Grand Bagnas en 3 mois
- Il permet de maintenir une salinité moyenne de 4,32 g/L, dans la configuration du canal du T actuelle (et de 8,21 g/L si la salinité du canal est augmentée à 16 g/L en effaçant le seuil du T ([annexe n°9](#)))
- Il permet d'éviter un assèchement de l'étang (assec partiel)
- Il implique également des niveaux plus bas en GB8 voir un assèchement prolongé si le niveau de l'étang reste inférieur à 47 cm, ce qui pourrait être le cas toute l'année selon les niveaux minimums.
- Il implique un prélèvement continu sur le canal du midi par Pont Martin (2 206 454 m³ annuel)

Ce scénario pourrait induire la réalisation de travaux comme :

- L'entretien du parc hydraulique (voir [annexe n°10](#))
- L'effacement du seuil sur le canal du T afin d'augmenter la salinité ([voir annexe n°11](#))
- La fermeture de la martelière entre la Longe et le contre canal

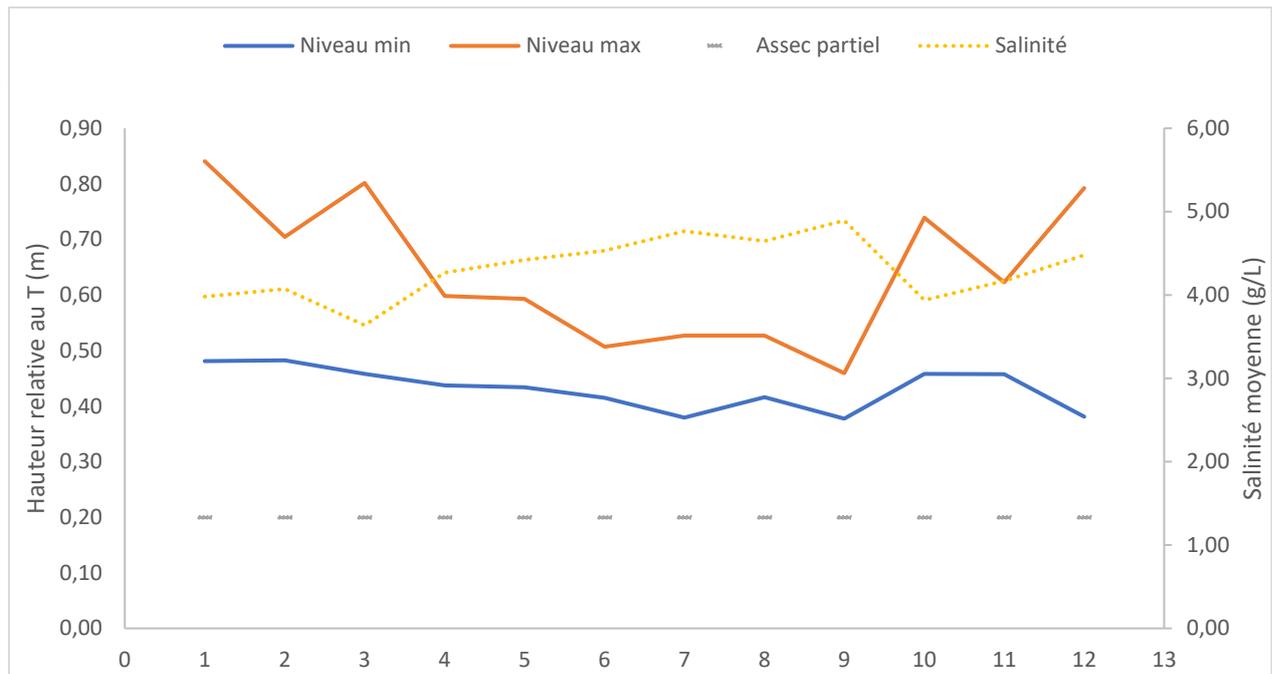


Figure 38: Schéma de gestion "tout ouvert en continu"

3.6.2.2 Tout ouvert avec fermeture de la prise d'eau 4 mois entre juin et septembre

La Figure 39 , présente le schéma de gestion tout ouvert en continu avec fermeture de la prise d'eau 4 mois de juin à septembre :

- Il n'implique aucune gestion, excepté la fermeture de la prise d'eau début juin et de son ouverture début octobre, ainsi que la gestion des niveaux de la Longe.
- Il permet un renouvellement des eaux du Grand Bagnas en 3 mois en hiver
- Il permet de maintenir une salinité moyenne de 4,47 g/L, dans la configuration du canal du T actuelle (et de 9,3 g/L si la salinité du canal est augmentée à 16 g/L en effaçant le seuil du T ([annexe n°9](#)))
- Il permet d'éviter un assèchement de l'étang (assec partiel)
- Il implique également des niveaux plus bas en GB8 voir un assèchement prolongé si le niveau de l'étang reste inférieur à 47 cm, ce qui pourrait être le cas toute l'année selon les niveaux minimums.
- Il implique un prélèvement continu en dehors de l'été sur le canal du midi par Pont Martin (1 611 781 m³ annuel)

Ce scénario pourrait induire la réalisation de travaux comme :

- L'entretien du parc hydraulique (voir [annexe n°10](#))
- L'effacement du seuil sur le canal du T afin d'augmenter la salinité ([voir annexe n°11](#))
- La fermeture de la martelière entre la Longe et le contre canal

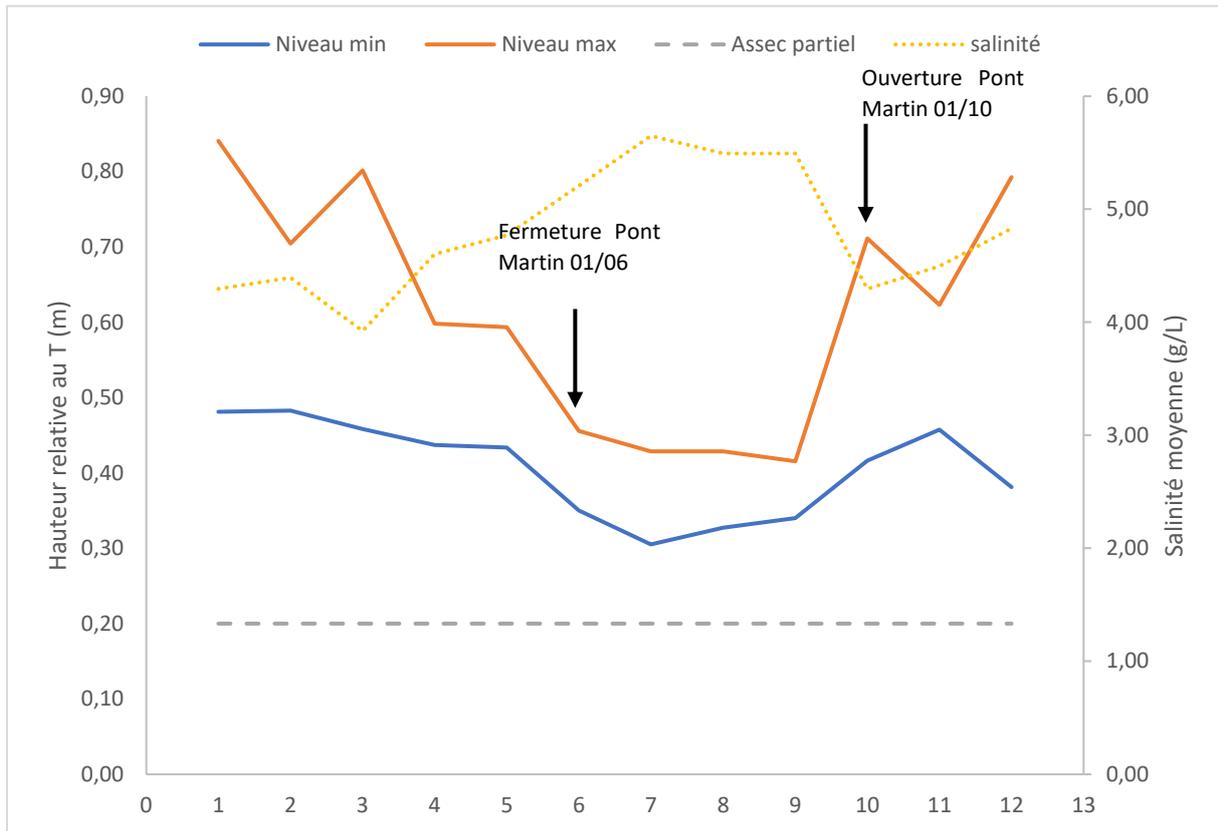


Figure 39: Schéma de gestion "tout ouvert avec fermeture de la prise d'eau 4 mois en été

Pour conclure, ces deux schémas de gestion restent théoriques et ont été modélisés avec le marégraphe de Sète en condition à la limite, dont les phénomènes de marées sont bien moins amples au niveau du canal du midi. Il convient alors d'effectuer ces modélisations avec les données limnimétriques de la sonde de Koch quand 1 an de données seront acquis car les niveaux sont surestimés dans ces schémas.

3.6.3 Salinité

La Figure 40, présente la salinité mensuelle du Grand Bagnas des différents schémas de gestion, ainsi que la salinité moyenne observée des 5 dernières années.

Le schéma de gestion maîtrisé des niveaux d'eau est celui qui permet les plus fortes concentrations en sel, notamment entre juin et octobre. La salinité observée sur les dernières années est supérieure de juin à décembre vis-à-vis des trois schémas de gestion. Cette différence peut être due à des relargages du stock sédimentaire ou des infiltrations de la nappe salée dans l'étang, qui ne sont pas pris en compte dans les schémas de gestion, où la salinité n'est calculée que par un bilan sur les volumes échangés.

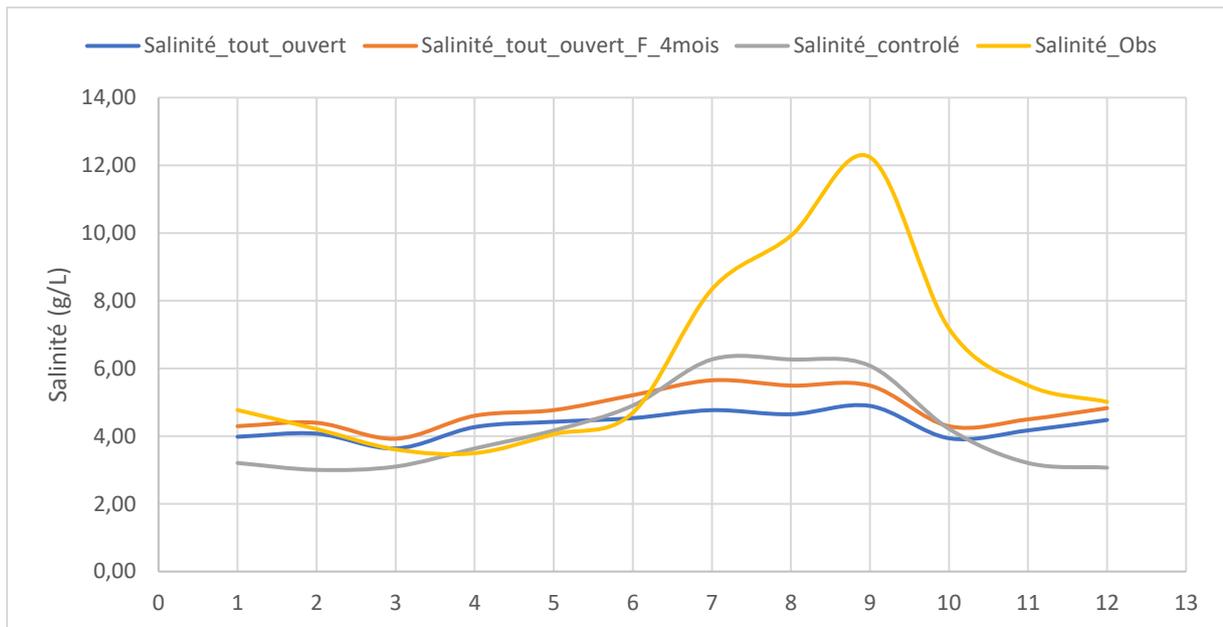


Figure 40: Salinité des différents schémas de gestion comparée à celle observée

3.6.4 Volumes prélevés

La Figure 41, présente les volumes prélevés sur le canal du midi en période d'été de l'Hérault (de juin à septembre). Les volumes prélevés de 2015 à 2017 sont comparés aux volumes prélevés dans le cas des 3 schémas de gestion, afin de voir la diminution et l'économie d'eau potentielle de ces schémas de gestion.

Les volumes prélevés en 2015 et 2017 sont proches, alors que ceux de 2016 diffèrent car un assec total a été réalisé cette année-là. Pour les deux schémas de gestion « tout ouvert avec fermeture de la prise d'eau 4 mois » et « gestion contrôlée », les économies d'eau sont réelles car seule la Longe/demi-lune seraient alimentées sur ces 4 mois pour maintenir un niveau constant. Par contre, le schéma de gestion « tout ouvert en continu » augmenterait par 3 les volumes prélevés sur cette période.

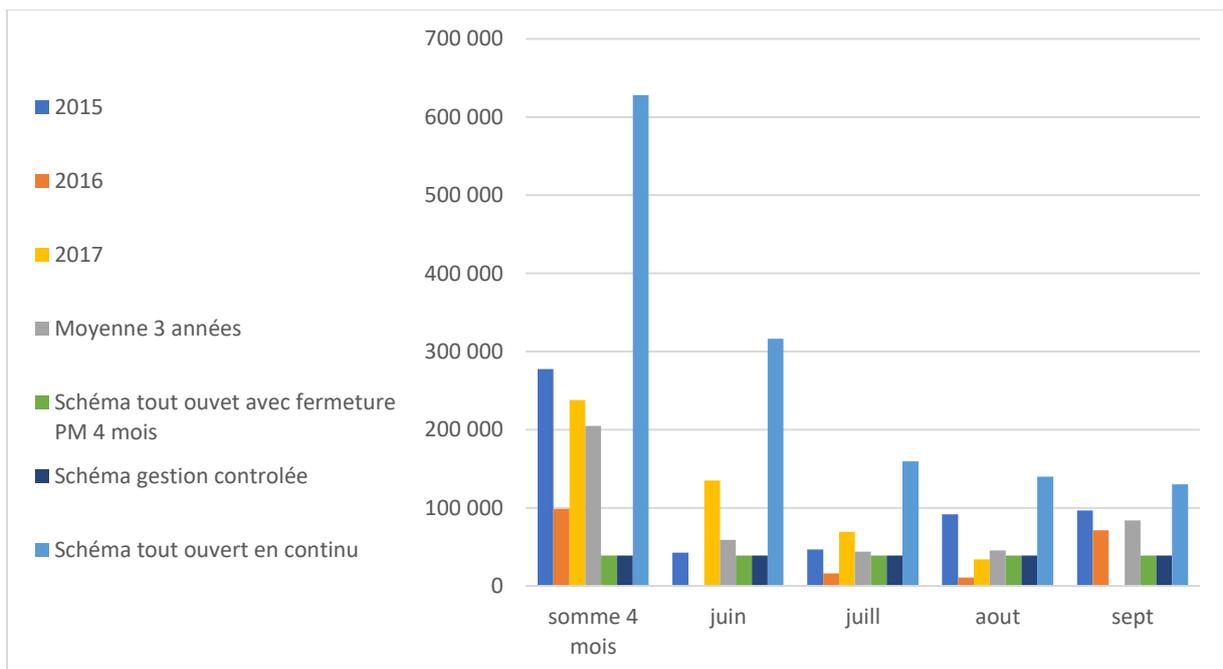


Figure 41: Comparaison des volumes prélevés sur le canal du midi des dernières années et des schémas de gestion

VI- Conclusion et perspectives

Ce stage a permis au gestionnaire d'affiner sa connaissance du fonctionnement hydraulique de la réserve du Bagnas, notamment par l'établissement d'une base de données de fiches patrimoniales recensant les ouvrages présents et leurs fonctionnalités, mais aussi de faciliter la gestion des niveaux d'eaux dans l'étang principal du Grand Bagnas par l'obtention d'abaques des différentes martelières utilisées. Le modèle hydraulique PCSWMM, construit et calé sur le suivi effectué par l'ADENA, sera un outil à disposition pour répondre à tout projet d'aménagement des ouvrages/bassins que le gestionnaire souhaitera tester par la suite. Il a également permis de répondre à des questionnements du gestionnaire vis-à-vis de la réalisation d'assec, avec l'obtention des temps de réponse lors de la réouverture de la prise d'eau, ou encore de la salinisation de l'étang, avec les moyens possibles d'y arriver.

Toutefois, l'existence de nappes souterraines d'accompagnement du canal du midi et de la lagune du Bagnas ou alors de la nappe salée de la lagune de Thau et de la mer, interfèrent avec le système et ne sont pas pris en compte dans les processus de bilan hydraulique établi par la modélisation, ce qui pourraient fausser certains résultats. De plus le modèle étant calé sur un suivi bimensuel, des phénomènes infra mensuels peuvent ne pas être visibles sur certaines masses d'eau très sensibles, comme la demi-lune, et des erreurs de lecture ou de report des données du suivi peuvent affecter la précision/validité du calage.

Par la suite le modèle pourra être amélioré (jaugeage à différentes périodes de l'année pour ajuster les rugosités, incorporation de l'évaporation mesurée in situ et des niveaux limnimétriques du pont de Koch et du Grand Bagnas). Il pourrait également être intéressant de modifier le réseau de suivi de la réserve (réduction du nombre de points suivis, augmentation de la fréquence de suivi de certains points ...) afin de représenter les phénomènes infra mensuels et d'affiner le calage du modèle. De même, un suivi piézométrique de la nappe sous-jacente au Grand Bagnas pourra être mené lors d'assecs pour évaluer les volumes d'eaux nécessaires à son remplissage avant de pouvoir remplir l'étang. Enfin, la planification de travaux et tâches d'entretien sur la réserve pourraient améliorer son fonctionnement hydraulique (curage des canaux, débouchage des ouvrages).

Bibliographie

- [1] Agende de l'eau Rhône méditerranée corse, « zones humides, zones utiles : restaurons leur fonctionnement ! (Constats et recommandations) », décembre 2016
- [2] ADENA, « Cahier des charges, étude hydraulique & qualité de l'eau, site du bagnas (34) », janvier 2012
- [3] Bagnas, « bagnas.n2000.fr »
- [4] SMBT, « smbt.fr »
- [5] Insee, DDRS, « insee.fr/fr/statistiques/1281346 »
- [6] ADENA, « Plan de gestion RNN Bagnas 2012-2016 », 2012
- [7] Carte de France, « cartesfrance.fr »
- [8] SMBT, « Etat des lieux des données, outils et des connaissances sur le fonctionnement hydraulique de la zone de l'étang du Bagnas », juin 2017
- [9] IGN, modes opératoires, « ign.fr/sites/all/files/modes_operatoires.pdf »
- [10] SDEC France, « Courantomètre FLOW PROBE - FP111 / FP211, Appareil de mesure de la vitesse de l'eau en canal ouvert »
- [11] Hydreka, « http://www.hydreka.fr/fr/produits/catalogue?task=viewproduct&produit_id=36 »
- [12] BRGM, DEPJAU, « <http://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/depjau-depouillement-jaugeages-riviere-calcul> »
- [13] HydroPraxis, présentation de PCSWMM, « hydropraxis.com »
- [14] Aqua conseils, « Etude hydraulique et de qualité d'eau, site du Bagnas », septembre 2013, rapport n°1124-1
- [15] Uclouvain, « sites.uclouvain.be/didacticiel-hydraulique/Lecons/Lecon_II_1/Tableau_n.htm »

Annexes

Annexes n°1 : Carte toponymique de la réserve [14]



Annexe n°2 : Fiches terrain

Fiche ouvrage

| | | | |
|---------------------------|--|----------------------|--|
| Nom de l'ouvrage : | | Num ouvrage : | |
| DATE : | | Opérateur : | |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|--|
| Z-absolu (mNGF) | | X (lambert-93) : | |
| <i>Fond de l'ouvrage :</i> | | Y (lambert-93) : | |
| <i>Autre 1 :</i> | | Diamètre-largeur (m) : | |
| <i>Autre 2 :</i> | | Hauteur (m) : | |
| | | Longueur (m) : | |

Secteur : GB1 - GB2 - GB3 - GB4 - GB5 - GB6 - GB7 - GB8 - ZI nord - ZI sud - PB1 - PB2 - PB3 - PB4 - PB5 - Maraval - Grau du rieu

Type d'ouvrage : Buse - Déversoir - Martelière - Ecluse - Franchissement - Prise d'eau - Autre :

Géométrie: Rectangulaire - rond - elliptique

Fonctionnement : Mécanique - Manuel - Libre - Trop-plein

Etat général : Entier - Dégradé - Rompu

Obstruction des buses : Totale - Partielle - Aucune

Perméabilité % : 100 - 75 - 50 - 25 - 0

Remise en état à prévoir : Aucune - Manuelle - Mécanique - Gros travaux

Accessibilité : Facile - Difficile - Impossible sans remise en état

Nature matériaux : Béton - PVC - acier - fonte

Remarque :

Fiche profil des canaux

| | | | |
|-------------------|--|-----------------------|--|
| Nom profil | | Nom du conduit | |
| DATE : | | Opérateur : | |

X :

Y :

Etat d'embroussaillement : Complet - modéré - nul**Nature des berges:** Béton - terre - enherbé - enrochement - sable - argile -**Hauteur de vase (cm) :** <10 10 à 30 30 à 50 50 à 75 >75

Fiche profil pour la MIRE

| | | | |
|-------------------|--|-----------------------|--|
| Nom profil | | Nom du conduit | |
| DATE : | | Opérateur : | |

| Point de référence station | N° id_GPS | Hauteur relevée | Observations |
|----------------------------|-----------|-----------------|--------------|
| | | | |
| Point relevé | N° id_GPS | Hauteur relevée | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Annexe n°3 Programme VBA pour l'écriture des règles de contrôles de PCSWMM

Option Explicit

```

Sub Rules()
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim n As Integer
Dim Tab_Ori(10, 0)
Dim Tab_Manip(225, 2)
Dim Tab_Ouverture(9, 100)
Dim Tab_Fermeture(9, 100)
Dim Tab_ref_n_o(9)
Dim Tab_ref_n_f(9)
Dim Tab_Rule_f(9)
Dim Tab_Rule_o(9)

'Enregistrement de chacun des orifices différents dans un tableau
Tab_Ori(1, 0) = "M1"
Tab_Ori(2, 0) = "M2"
Tab_Ori(3, 0) = "M2A"
Tab_Ori(4, 0) = "M2B"
Tab_Ori(5, 0) = "M3"
Tab_Ori(6, 0) = "M4"
Tab_Ori(7, 0) = "M5"
Tab_Ori(8, 0) = "M7"
Tab_Ori(9, 0) = "M9"

'Enregistrement des valeurs dans le tableau
For i = 6 To 225
  Sheets("Control rule").Select
  Tab_Manip(i, 0) = Range("I" & i) 'nom orifice
  Tab_Manip(i, 1) = Range("E" & i) 'ouverture ou fermeture
  Tab_Manip(i, 2) = Range("M" & i) ' dt nombre d'heure apres début simulation
Next

'Création règle OUVERTURE pour chaque martelière
For j = 1 To 9 'parcours les différentes martelières
  n = 1
  For i = 6 To 225 'parcours tableau des manip
    If Tab_Manip(i, 0) = Tab_Ori(j, 0) And Tab_Manip(i, 1) = "Ouverture" And Tab_Manip(i, 2) >= 0 Then 'si dans le tableau
      l'orifice = j et manip =ouverture
      If n = 1 Then
        Tab_Ouverture(j, n) = "IF SIMULATION TIME = " & Tab_Manip(i, 2)
        n = n + 1
      ElseIf n > 1 Then
        Tab_Ouverture(j, n) = "OR SIMULATION TIME = " & Tab_Manip(i, 2)
        n = n + 1
      Else: End If
    End If
  Next

  Tab_ref_n_o(j) = n

Next

'Création règle FERMETURE pour chaque martelière
For j = 1 To 9 'parcours les différentes martelières
  n = 1
  For i = 6 To 225 'parcours tableau des manip
    If Tab_Manip(i, 0) = Tab_Ori(j, 0) And Tab_Manip(i, 1) = "Fermeture" And Tab_Manip(i, 2) >= 0 Then 'si dans le tableau
      l'orifice = j et manip =ouverture
      If n = 1 Then

```

```

        Tab_Fermeture(j, n) = "IF SIMULATION TIME = " & Tab_Manip(i, 2)
        n = n + 1
    ElseIf n > 1 Then
        Tab_Fermeture(j, n) = "OR SIMULATION TIME = " & Tab_Manip(i, 2)
        n = n + 1
    Else: End If
End If
Next

Tab_ref_n_f(j) = n

Next

'Ecriture de la règle OUVERTURE en une seule par martelière
For j = 1 To 9
If Tab_ref_n_o(j) <> 1 Then
    Tab_Rule_o(j) = "RULE " & Tab_Ori(j, 0) & "_o"
    For i = 1 To Tab_ref_n_o(j)
        Tab_Rule_o(j) = Tab_Rule_o(j) & Chr(10) & Tab_Ouverture(j, i)
    Next
    Tab_Rule_o(j) = Tab_Rule_o(j) & "Then ORIFICE " & Tab_Ori(j, 0) & " SETTING = 1" & Chr(10)
End If
Next

'Ecriture de la règle FERMETURE en une seule par martelière
For j = 1 To 9
If Tab_ref_n_f(j) <> 1 Then
    Tab_Rule_f(j) = "RULE " & Tab_Ori(j, 0) & "_f"
    For i = 1 To Tab_ref_n_f(j)
        Tab_Rule_f(j) = Tab_Rule_f(j) & Chr(10) & Tab_Fermeture(j, i)
    Next
    Tab_Rule_f(j) = Tab_Rule_f(j) & "Then ORIFICE " & Tab_Ori(j, 0) & " SETTING = 0" & Chr(10)
End If
Next

'Ecriture des règles dans excel
Sheets("Résultats").Select
Sheets("Résultats").Range("B3").Value = Tab_Rule_o(1)
Sheets("Résultats").Range("B5").Value = Tab_Rule_o(2)
Sheets("Résultats").Range("B7").Value = Tab_Rule_o(3)
Sheets("Résultats").Range("B9").Value = Tab_Rule_o(4)
Sheets("Résultats").Range("B11").Value = Tab_Rule_o(5)
Sheets("Résultats").Range("B13").Value = Tab_Rule_o(6)
Sheets("Résultats").Range("B15").Value = Tab_Rule_o(7)
Sheets("Résultats").Range("B17").Value = Tab_Rule_o(8)
Sheets("Résultats").Range("B19").Value = Tab_Rule_o(9)

Sheets("Résultats").Range("B4").Value = Tab_Rule_f(1)
Sheets("Résultats").Range("B6").Value = Tab_Rule_f(2)
Sheets("Résultats").Range("B8").Value = Tab_Rule_f(3)
Sheets("Résultats").Range("B10").Value = Tab_Rule_f(4)
Sheets("Résultats").Range("B12").Value = Tab_Rule_f(5)
Sheets("Résultats").Range("B14").Value = Tab_Rule_f(6)
Sheets("Résultats").Range("B16").Value = Tab_Rule_f(7)
Sheets("Résultats").Range("B18").Value = Tab_Rule_f(8)
Sheets("Résultats").Range("B20").Value = Tab_Rule_f(9)
End Sub

```

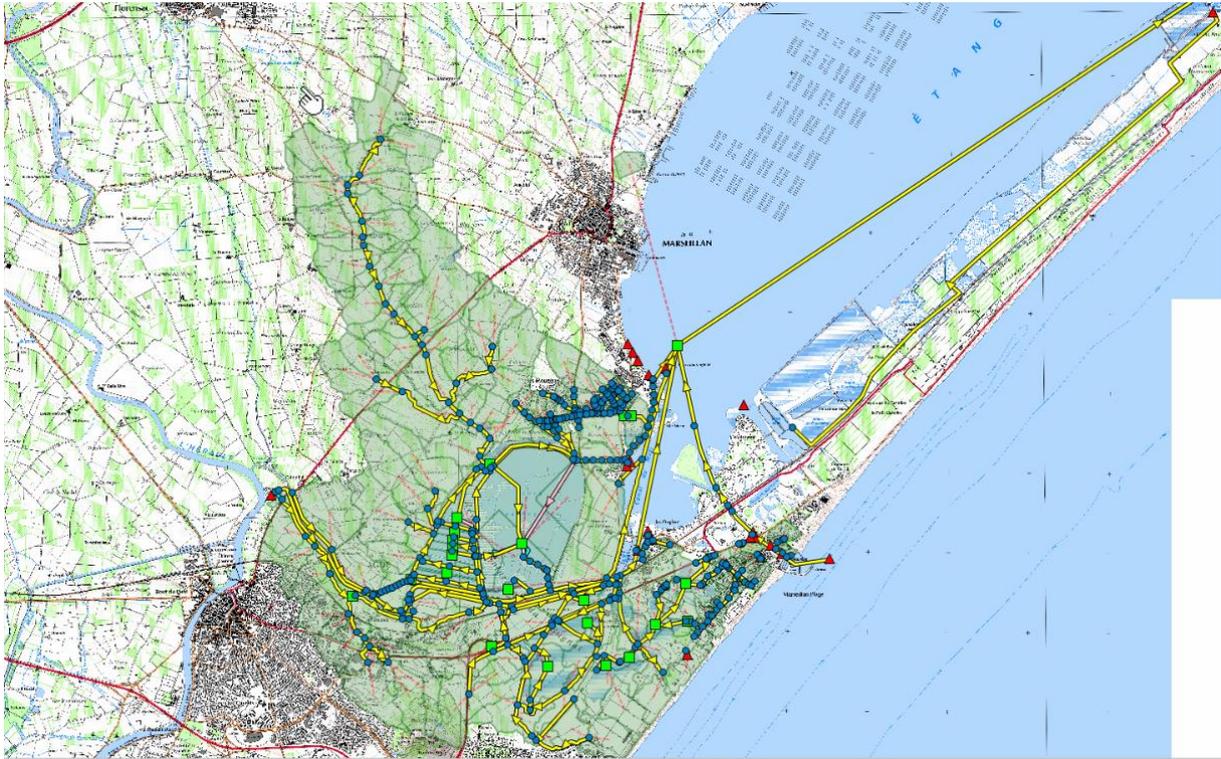
Annexe n°4 : Exemple de fiche ouvrage

| | | | | |
|--|--|--|---|---------------------------------|
| Id_ouvrage : 1_Pont martin 2 | | FICHE DESCRIPTIVE D'OUVRAGE DU RESEAU HYDRAULIQUE PATRIMONIAL DE LA RESERVE DU BAGNAS | | |
| Données | | | | |
| Nom lieu/ouvrage: M1- Pont Martin | | Rédacteur fiche : Yeelen Agbanrin | | Date édition fiche : 19/04/2018 |
| Localisation géographique | | | | |
| X(lambert-93) | Y(lambert-93) |  | | |
| 740072.447 | 6246267.927 | | | |
| Secteur | | | | |
| Pont Martin | | | | |
| Description de l'ouvrage | | | | |
| Type d'ouvrage |  |  | Etat général et fonctionnel de l'ouvrage : | |
| Martelière | | | Entier | |
| Fonctionnement | | | Nature des matériaux | |
| Manuel | | | Béton- Acier | |
| Perméabilité (%) | | | Travaux/entretiens nécessaires | |
| 50 | 16/04/2018 - 11/2017 | | Etanchéité | |
| Caractéristiques de l'ouvrage | | | | |
| Radier (mNGF) | Largeur (m) | | Hauteur (m) | |
| Fond ouverture/ marche béton: 1.061 / 1.891 Fond sous la prise d'eau: 0.496 | Ouverture prise d'eau: 0,48 | | Ouverture prise d'eau: 0,52 | |
| Identifiant/nom Fe | Canal amont | | Canal aval | |
| | Canal du midi | | Canal pont martin | |
| Profil section en travers | Trapézoïdale | | Rectangulaire | |
| Observations | | | | |
| Points de suivis/mesures/ paramètres suivis/ date chroniques | | | | |
| Rôle et gestion | | | | |
| Fonction principale | Gestion actuelle | | Gestion préconisée | |
| | | | | |
| Principaux habitats naturels | <i>extrait cartographique habitats</i> | | | |
| Principales espèces concernées | | | | |
| | | | | |

Annexe n°5 : Exemple de fiche Transect

| Id_canal: | | FICHE TRANSECTS DES CANAUX DU RESEAU HYDRAULIQUE PATRIMONIAL DE LA RESERVE DU BAGNAS | | | | | | |
|----------------------------|---------------|--|-----------------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| 3 | | | | | | | | |
| Données | | | | | | | | |
| Nom canal/lieu: Canal du T | | | Rédacteur fiche : Yeelen Agbanrin | | | Date édition fiche : 09/04/2018 | | |
| Num Point | X(lambert-93) | Y(lambert-93) | Z(lambert-93) (m) | Code Transect | Remarque | Etat d'embroussaillage | Nature des berges | Hauteur vase (cm) |
| 1 | 741931.118 | 6246788.264 | 0.740 | 1066 | Prolifération algue de | | | |
| 2 | 741930.347 | 6246788.344 | 0.641 | 1066 | | | | |
| 3 | 741929.961 | 6246788.322 | 0.239 | 1066 | | | | |
| 4 | 741929.379 | 6246788.439 | -0.269 | 1066 | | | | |
| 5 | 741927.398 | 6246788.508 | -0.403 | 1066 | | Modéré | Terre+enherbé | 30 à 50 |
| 6 | 741925.020 | 6246787.926 | -0.504 | 1066 | | | | |
| 7 | 741921.024 | 6246787.287 | -0.544 | 1066 | | | | |
| 8 | 741916.475 | 6246787.002 | -0.395 | 1066 | | | | |
| 9 | 741911.005 | 6246788.647 | -0.160 | 1066 | | | | |
| 10 | 741910.069 | 6246789.303 | 0.248 | 1066 | | | | |
| 11 | 741909.507 | 6246789.181 | 0.847 | 1066 | | Modéré | Terre+enherbé | 30 à 50 |
| 12 | 741908.909 | 6246789.289 | 0.846 | 1066 | | | | |
| 13 | 741931.042 | 6246774.445 | 0.823 | 1067 | | | | |
| 14 | 741930.690 | 6246773.692 | 0.608 | 1067 | | | | |
| 15 | 741930.630 | 6246772.965 | 0.143 | 1067 | | | | |
| 16 | 741930.513 | 6246772.619 | -0.016 | 1067 | | | | |
| 17 | 741930.362 | 6246772.150 | -1.138 | 1067 | | | | |
| 18 | 741930.248 | 6246771.788 | -1.480 | 1067 | | Modéré | Terre+enherbé | 50 à 75 |
| 19 | 741929.803 | 6246769.018 | -1.263 | 1067 | | | | |
| 20 | 741931.022 | 6246758.162 | -1.258 | 1067 | | | | |
| 21 | 741930.026 | 6246751.207 | -0.774 | 1067 | | | | |
| 22 | 741930.544 | 6246748.721 | -0.450 | 1067 | | | | |
| 23 | 741930.052 | 6246746.853 | 0.116 | 1067 | | | | |
| 24 | 741929.859 | 6246746.335 | 0.844 | 1067 | | | | |
| 25 | 742058.140 | 6246704.263 | 1.060 | 1068 | nombreux seuil créés | | | |
| 26 | 742057.686 | 6246703.247 | 0.866 | 1068 | | | | |
| 27 | 742057.530 | 6246702.834 | 0.181 | 1068 | | | | |
| 28 | 742057.128 | 6246702.247 | -0.114 | 1068 | | | | |
| 29 | 742056.095 | 6246700.958 | -0.509 | 1068 | | | | |
| 30 | 742055.942 | 6246696.042 | -1.841 | 1068 | | Complet | Terre+enherbé | 50 à 75 |
| 31 | 742053.968 | 6246692.072 | -1.259 | 1068 | | | | |
| 32 | 742053.556 | 6246690.512 | -0.710 | 1068 | | | | |
| 33 | 742051.166 | 6246690.329 | -0.328 | 1068 | | | | |
| 34 | 742050.876 | 6246688.978 | 0.023 | 1068 | | | | |
| 35 | 742050.545 | 6246688.366 | 0.742 | 1068 | | | | |
| 36 | 742050.186 | 6246687.284 | 1.292 | 1068 | | | | |
| 37 | 742185.221 | 6246632.378 | 1.012 | 1069 | | | | |
| 38 | 742184.705 | 6246631.836 | 0.772 | 1069 | | | | |
| 39 | 742184.304 | 6246631.536 | 0.088 | 1069 | | | | |
| 40 | 742183.928 | 6246631.023 | -0.119 | 1069 | | | | |
| 41 | 742183.652 | 6246629.311 | -0.673 | 1069 | | | | |
| 42 | 742182.120 | 6246624.155 | -1.954 | 1069 | | Modéré | Terre+enherbé | 50 à 75 |
| 43 | 742180.314 | 6246620.064 | -0.743 | 1069 | | | | |
| 44 | 742180.128 | 6246618.751 | -0.186 | 1069 | | | | |
| 45 | 742179.735 | 6246617.989 | -0.041 | 1069 | | | | |
| 46 | 742179.456 | 6246617.453 | 0.309 | 1069 | | | | |
| 47 | 742179.160 | 6246616.992 | 0.987 | 1069 | | | | |
| 48 | 742178.705 | 6246616.085 | 1.378 | 1069 | | | | |
| 50 | 742210.343 | 6246616.548 | 0.821 | 1070 | | | | |
| 51 | 742209.838 | 6246616.100 | 0.310 | 1070 | | | | |
| 52 | 742209.177 | 6246615.298 | -0.069 | 1070 | | | | |
| 53 | 742208.004 | 6246614.500 | -0.170 | 1070 | | Modéré | Terre+enherbé | 30 à 50 |
| 54 | 742206.388 | 6246611.783 | -0.225 | 1070 | | | | |
| 55 | 742205.509 | 6246610.151 | -0.280 | 1070 | | | | |
| 56 | 742203.748 | 6246606.822 | -0.293 | 1070 | | | | |
| 57 | 742203.046 | 6246604.503 | -0.039 | 1070 | | | | |
| 58 | 742202.316 | 6246603.660 | 0.918 | 1070 | | | | |
| 59 | 742228.065 | 6246589.915 | 1.406 | 1071 | | | | |
| 60 | 742226.920 | 6246589.644 | 1.124 | 1071 | | | | |
| 61 | 742225.517 | 6246589.832 | 0.095 | 1071 | | | | |
| 62 | 742224.526 | 6246589.315 | -0.333 | 1071 | | | | |
| 63 | 742221.168 | 6246588.451 | -0.563 | 1071 | | Modéré | Terre+enherbé | 30 à 50 |
| 64 | 742216.788 | 6246588.717 | -0.769 | 1071 | | | | |
| 65 | 742213.813 | 6246587.679 | -0.392 | 1071 | | | | |
| 66 | 742212.835 | 6246587.502 | -0.091 | 1071 | | | | |
| 67 | 742212.244 | 6246587.350 | 0.794 | 1071 | | | | |
| 68 | 742211.145 | 6246587.357 | 0.958 | 1071 | | | | |
| 69 | 742235.873 | 6246438.149 | 1.324 | 1072 | | | | |
| 70 | 742234.855 | 6246437.899 | 1.005 | 1072 | | | | |
| 71 | 742234.340 | 6246438.121 | 0.150 | 1072 | | | | |
| 72 | 742232.651 | 6246436.790 | -0.418 | 1072 | | Modéré | Terre+enherbé | 30 à 50 |
| 73 | 742228.299 | 6246438.596 | -0.551 | 1072 | | | | |
| 74 | 742222.814 | 6246440.333 | -0.591 | 1072 | | | | |
| 75 | 742221.003 | 6246439.451 | -0.101 | 1072 | | | | |
| 76 | 742220.284 | 6246439.722 | 1.197 | 1072 | | | | |

Annexe n°6 : Schéma du modèle hydraulique global



Annexe n°7 : Abaques des prises d'eau

Abaques de la prise d'eau nord (Pont Martin)

| Hauteur d'eau canal midi (mNGF) | Q (m ³ /j) à la prise d'eau | Élévation (cm/jour) au Grand Bagnas en partant d'une cote de 0mNGF avec évaporation moyenne mensuelle | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 1,6 | 2 | -0,09 | -0,10 | -0,23 | -0,40 | -0,42 | -0,46 | -0,55 | -0,49 | -0,32 | -0,19 | -0,09 | -0,06 |
| 1,65 | 374 | -0,07 | -0,07 | -0,20 | -0,38 | -0,39 | -0,43 | -0,52 | -0,46 | -0,30 | -0,16 | -0,07 | -0,03 |
| 1,7 | 3 034 | 0,12 | 0,12 | -0,01 | -0,19 | -0,20 | -0,24 | -0,33 | -0,27 | -0,11 | 0,03 | 0,12 | 0,16 |
| 1,75 | 5 068 | 0,27 | 0,26 | 0,13 | -0,04 | -0,06 | -0,09 | -0,19 | -0,12 | 0,04 | 0,17 | 0,27 | 0,30 |
| 1,8 | 6 962 | 0,41 | 0,40 | 0,27 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | -0,05 | 0,01 | 0,17 | 0,31 | 0,40 | 0,44 |
| 1,85 | 9 262 | 0,57 | 0,56 | 0,43 | 0,26 | 0,24 | 0,21 | 0,11 | 0,18 | 0,34 | 0,47 | 0,57 | 0,60 |
| 1,9 | 11 422 | 0,72 | 0,71 | 0,59 | 0,41 | 0,40 | 0,36 | 0,27 | 0,33 | 0,49 | 0,63 | 0,72 | 0,76 |
| 1,95 | 13 867 | 0,90 | 0,89 | 0,76 | 0,59 | 0,57 | 0,53 | 0,44 | 0,50 | 0,67 | 0,80 | 0,90 | 0,93 |
| 2 | 16 399 | 1,08 | 1,07 | 0,94 | 0,77 | 0,75 | 0,72 | 0,62 | 0,69 | 0,85 | 0,98 | 1,08 | 1,11 |
| 2,05 | 18 973 | 1,26 | 1,25 | 1,13 | 0,95 | 0,94 | 0,90 | 0,81 | 0,87 | 1,03 | 1,17 | 1,26 | 1,30 |
| 2,1 | 21 531 | 1,45 | 1,44 | 1,31 | 1,14 | 1,12 | 1,08 | 0,99 | 1,05 | 1,22 | 1,35 | 1,44 | 1,48 |
| 2,15 | 24 132 | 1,63 | 1,62 | 1,50 | 1,32 | 1,30 | 1,27 | 1,17 | 1,24 | 1,40 | 1,54 | 1,63 | 1,67 |
| 2,2 | 26 775 | 1,82 | 1,81 | 1,69 | 1,51 | 1,49 | 1,46 | 1,36 | 1,43 | 1,59 | 1,73 | 1,82 | 1,85 |
| 2,3 | 35 450 | 2,44 | 2,43 | 2,30 | 2,13 | 2,11 | 2,08 | 1,98 | 2,05 | 2,21 | 2,34 | 2,44 | 2,47 |
| 2,4 | 39 588 | 2,74 | 2,73 | 2,60 | 2,42 | 2,41 | 2,37 | 2,28 | 2,34 | 2,51 | 2,64 | 2,73 | 2,77 |

Abaques de la prise d'eau sud (Sept Fonts)

| Hauteur d'eau canal midi (mNGF) | Q (m3/j) | Q(L/s) |
|---------------------------------|----------|--------|
| 1,5 | 4 482 | 52 |
| 1,6 | 5 006 | 58 |
| 1,7 | 5 481 | 63 |
| 1,75 | 5 704 | 66 |
| 1,8 | 5 918 | 69 |
| 1,85 | 6 126 | 71 |
| 1,9 | 6 325 | 73 |
| 1,95 | 6 520 | 75 |
| 2 | 6 708 | 78 |
| 2,05 | 6 891 | 80 |
| 2,1 | 7 069 | 82 |
| 2,15 | 7 244 | 84 |
| 2,2 | 7 413 | 86 |
| 2,3 | 7 742 | 90 |

Vidange du Grand Bagnas par le T

| Hauteur relative d'eau GB (m) | Q (m ³ /j) | Correspondance hauteur perdue au Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---|---------|------|-------|------|------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 1,45 | 129 168 | 8,12 | 8,03 | 8,02 | 7,89 | 7,72 | 7,70 | 7,66 | 7,57 | 7,63 | 7,80 | 7,93 | 8,03 |
| 1,4 | 90 432 | 5,65 | 5,64 | 5,52 | 5,34 | 5,33 | 5,29 | 5,19 | 5,26 | 5,42 | 5,56 | 5,65 | 5,69 |
| 1,35 | 82 368 | 5,20 | 5,19 | 5,07 | 4,89 | 4,87 | 4,84 | 4,74 | 4,81 | 4,97 | 5,11 | 5,20 | 5,23 |
| 1,3 | 74 160 | 4,73 | 4,72 | 4,59 | 4,42 | 4,40 | 4,37 | 4,27 | 4,34 | 4,50 | 4,63 | 4,73 | 4,76 |
| 1,25 | 65 664 | 4,24 | 4,23 | 4,10 | 3,93 | 3,91 | 3,87 | 3,78 | 3,84 | 4,01 | 4,14 | 4,23 | 4,27 |
| 1,2 | 57 312 | 3,75 | 3,75 | 3,62 | 3,44 | 3,43 | 3,39 | 3,30 | 3,36 | 3,52 | 3,66 | 3,75 | 3,79 |
| 1,15 | 48 960 | 3,23 | 3,22 | 3,10 | 2,92 | 2,91 | 2,87 | 2,77 | 2,84 | 3,00 | 3,14 | 3,23 | 3,27 |
| 1,1 | 40 752 | 2,71 | 2,70 | 2,58 | 2,40 | 2,38 | 2,35 | 2,25 | 2,32 | 2,48 | 2,62 | 2,71 | 2,74 |
| 1,05 | 32 976 | 2,20 | 2,19 | 2,06 | 1,89 | 1,87 | 1,84 | 1,74 | 1,81 | 1,97 | 2,10 | 2,20 | 2,23 |
| 1 | 25 488 | 1,69 | 1,68 | 1,56 | 1,38 | 1,37 | 1,33 | 1,24 | 1,30 | 1,46 | 1,60 | 1,69 | 1,73 |
| 0,95 | 18 144 | 1,19 | 1,18 | 1,05 | 0,88 | 0,86 | 0,82 | 0,73 | 0,79 | 0,96 | 1,09 | 1,18 | 1,22 |
| 0,9 | 12 096 | 0,76 | 0,75 | 0,63 | 0,45 | 0,44 | 0,40 | 0,30 | 0,37 | 0,53 | 0,67 | 0,76 | 0,80 |
| 0,85 | 6 480 | 0,37 | 0,36 | 0,23 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | -0,09 | -0,03 | 0,14 | 0,27 | 0,37 | 0,40 |

Vidange du Grand Bagnas par Pioch Couguioul

| Hauteur relative d'eau GB (m) | Q (m ³ /j) | Correspondance hauteur perdue au Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---|---------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 1,45 | 42 336 | 2,66 | 2,57 | 2,56 | 2,43 | 2,26 | 2,24 | 2,21 | 2,11 | 2,18 | 2,34 | 2,47 | 2,57 |
| 1,4 | 39 888 | 2,44 | 2,43 | 2,31 | 2,13 | 2,12 | 2,08 | 1,98 | 2,05 | 2,21 | 2,35 | 2,44 | 2,48 |
| 1,35 | 37 296 | 2,30 | 2,30 | 2,17 | 1,99 | 1,98 | 1,94 | 1,85 | 1,91 | 2,07 | 2,21 | 2,30 | 2,34 |
| 1,3 | 34 560 | 2,16 | 2,15 | 2,02 | 1,84 | 1,83 | 1,79 | 1,70 | 1,76 | 1,92 | 2,06 | 2,15 | 2,19 |
| 1,25 | 28 944 | 1,82 | 1,81 | 1,68 | 1,51 | 1,49 | 1,45 | 1,36 | 1,42 | 1,59 | 1,72 | 1,81 | 1,85 |
| 1,2 | 25 056 | 1,59 | 1,58 | 1,45 | 1,28 | 1,26 | 1,23 | 1,13 | 1,20 | 1,36 | 1,49 | 1,59 | 1,62 |
| 1,15 | 21 168 | 1,35 | 1,34 | 1,21 | 1,03 | 1,02 | 0,98 | 0,89 | 0,95 | 1,12 | 1,25 | 1,34 | 1,38 |
| 1,1 | 17 424 | 1,11 | 1,10 | 0,97 | 0,80 | 0,78 | 0,74 | 0,65 | 0,71 | 0,88 | 1,01 | 1,10 | 1,14 |
| 1,05 | 14 112 | 0,89 | 0,88 | 0,75 | 0,58 | 0,56 | 0,52 | 0,43 | 0,49 | 0,66 | 0,79 | 0,89 | 0,92 |
| 1 | 10 656 | 0,65 | 0,65 | 0,52 | 0,34 | 0,33 | 0,29 | 0,20 | 0,26 | 0,42 | 0,56 | 0,65 | 0,69 |
| 0,95 | 7 920 | 0,47 | 0,46 | 0,33 | 0,16 | 0,14 | 0,10 | 0,01 | 0,07 | 0,24 | 0,37 | 0,46 | 0,50 |
| 0,9 | 4 752 | 0,24 | 0,23 | 0,11 | -0,07 | -0,08 | -0,12 | -0,21 | -0,15 | 0,01 | 0,15 | 0,24 | 0,28 |

Vidange du Grand Bagnas par Petit Pont

| hauteur d'eau relative GB (m) | Q (m³/j) | Correspondance hauteur perdue au Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 1,43 | 169 344 | 10,70 | 10,61 | 10,60 | 10,48 | 10,30 | 10,28 | 10,25 | 10,15 | 10,22 | 10,38 | 10,52 | 10,61 |
| 1,4 | 126 144 | 7,92 | 7,91 | 7,79 | 7,61 | 7,59 | 7,56 | 7,46 | 7,53 | 7,69 | 7,83 | 7,92 | 7,96 |
| 1,35 | 62 208 | 3,90 | 3,90 | 3,77 | 3,59 | 3,58 | 3,54 | 3,45 | 3,51 | 3,67 | 3,81 | 3,90 | 3,94 |
| 1,3 | 53 712 | 3,40 | 3,39 | 3,27 | 3,09 | 3,07 | 3,04 | 2,94 | 3,01 | 3,17 | 3,31 | 3,40 | 3,43 |
| 1,25 | 47 520 | 3,04 | 3,03 | 2,90 | 2,73 | 2,71 | 2,68 | 2,58 | 2,65 | 2,81 | 2,94 | 3,04 | 3,07 |
| 1,2 | 41 616 | 2,70 | 2,69 | 2,57 | 2,39 | 2,37 | 2,34 | 2,24 | 2,31 | 2,47 | 2,61 | 2,70 | 2,74 |
| 1,15 | 36 000 | 2,35 | 2,34 | 2,22 | 2,04 | 2,03 | 1,99 | 1,89 | 1,96 | 2,12 | 2,26 | 2,35 | 2,39 |
| 1,1 | 30 528 | 2,01 | 2,00 | 1,87 | 1,70 | 1,68 | 1,64 | 1,55 | 1,61 | 1,78 | 1,91 | 2,01 | 2,04 |
| 1,05 | 25 200 | 1,66 | 1,65 | 1,52 | 1,35 | 1,33 | 1,30 | 1,20 | 1,27 | 1,43 | 1,56 | 1,66 | 1,69 |
| 1 | 20 448 | 1,34 | 1,33 | 1,21 | 1,03 | 1,01 | 0,98 | 0,88 | 0,95 | 1,11 | 1,25 | 1,34 | 1,37 |
| 0,95 | 15 264 | 0,98 | 0,97 | 0,85 | 0,67 | 0,66 | 0,62 | 0,53 | 0,59 | 0,75 | 0,89 | 0,98 | 1,02 |
| 0,9 | 10 368 | 0,64 | 0,63 | 0,51 | 0,33 | 0,31 | 0,28 | 0,18 | 0,25 | 0,41 | 0,55 | 0,64 | 0,67 |
| 0,85 | 5 760 | 0,32 | 0,31 | 0,18 | 0,01 | -0,01 | -0,05 | -0,14 | -0,08 | 0,09 | 0,22 | 0,31 | 0,35 |

Remplissage du Grand Bagnas par le T

| Hauteur relative d'eau GB (m) | Q (m ³ /j) | Elévation du Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 0 | 5 251 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,05 | 5 271 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,07 | -0,17 | -0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,1 | 5 262 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,15 | 5 262 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,2 | 5 270 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,07 | -0,17 | -0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,25 | 5 270 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,07 | -0,17 | -0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,3 | 5 285 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,07 | -0,17 | -0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,35 | 5 328 | 0,29 | 0,28 | 0,16 | -0,02 | -0,03 | -0,07 | -0,17 | -0,10 | 0,06 | 0,20 | 0,29 | 0,33 |
| 0,4 | 5 184 | 0,28 | 0,27 | 0,15 | -0,03 | -0,05 | -0,08 | -0,18 | -0,11 | 0,05 | 0,19 | 0,28 | 0,32 |
| 0,45 | 5 270 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,28 | 0,32 |
| 0,5 | 5 285 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,55 | 5 299 | 0,29 | 0,28 | 0,15 | -0,02 | -0,04 | -0,08 | -0,17 | -0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,32 |
| 0,6 | 4 781 | 0,25 | 0,24 | 0,11 | -0,06 | -0,08 | -0,11 | -0,21 | -0,14 | 0,02 | 0,15 | 0,25 | 0,28 |
| 0,65 | 4 997 | 0,26 | 0,26 | 0,13 | -0,05 | -0,06 | -0,10 | -0,19 | -0,13 | 0,03 | 0,17 | 0,26 | 0,30 |
| 0,7 | 5 112 | 0,27 | 0,26 | 0,14 | -0,04 | -0,05 | -0,09 | -0,19 | -0,12 | 0,04 | 0,18 | 0,27 | 0,31 |
| 0,75 | 4 939 | 0,26 | 0,25 | 0,12 | -0,05 | -0,07 | -0,10 | -0,20 | -0,13 | 0,03 | 0,16 | 0,26 | 0,29 |
| 0,80 | 4 320 | 0,21 | 0,21 | 0,08 | -0,10 | -0,11 | -0,15 | -0,24 | -0,18 | -0,02 | 0,12 | 0,21 | 0,25 |

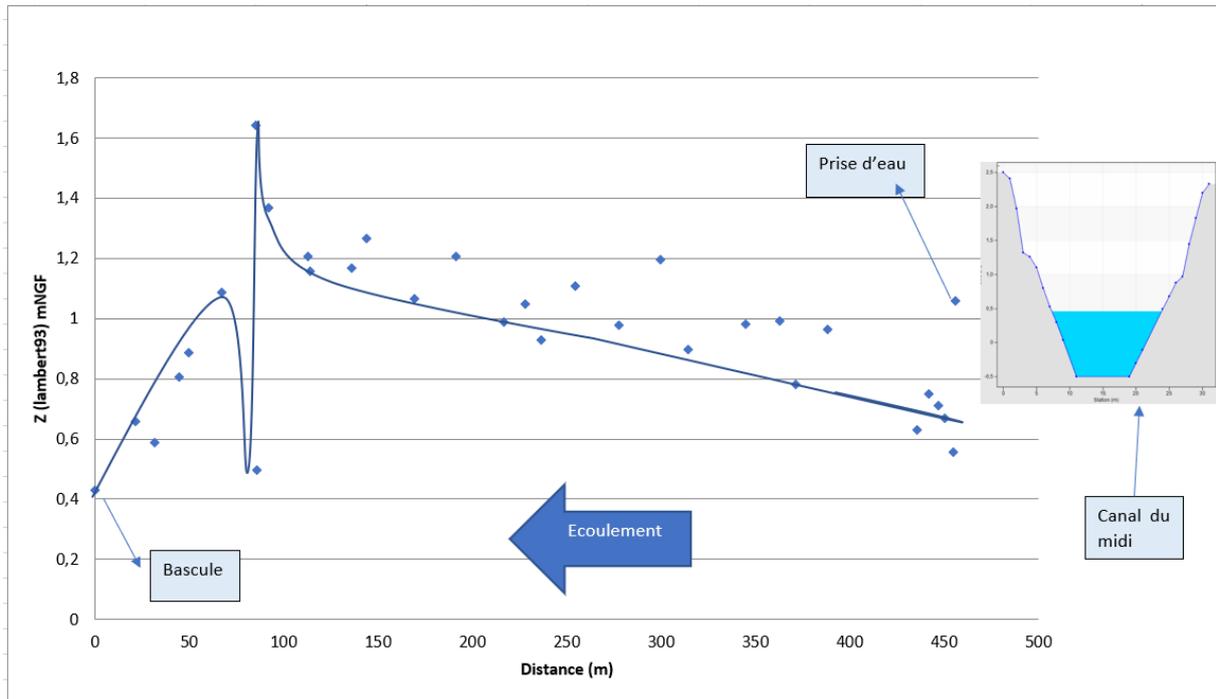
Remplissage du Grand Bagnas par Pioch Couguioul

| Hauteur relative d'eau GB (m) | Q (m ³ /j) | Élévation du Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 0 | 1 371 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,36 | -0,45 | -0,39 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,05 | 1 412 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,04 |
| 0,1 | 1 413 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,04 |
| 0,15 | 1 420 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,04 |
| 0,2 | 1 426 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,05 |
| 0,25 | 1 426 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,05 |
| 0,3 | 1 411 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,35 | 1 397 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,36 | -0,45 | -0,39 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,4 | 1 411 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,45 | 1 411 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,5 | 1 426 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,04 |
| 0,55 | 1 411 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,6 | 1 440 | 0,01 | 0,00 | -0,12 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,45 | -0,38 | -0,22 | -0,08 | 0,01 | 0,04 |
| 0,65 | 1 397 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,36 | -0,45 | -0,39 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,7 | 1 411 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,36 | -0,45 | -0,39 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,75 | 1 397 | 0,01 | 0,00 | -0,13 | -0,30 | -0,32 | -0,36 | -0,45 | -0,39 | -0,22 | -0,09 | 0,01 | 0,04 |
| 0,8 | 1 152 | -0,01 | -0,02 | -0,15 | -0,32 | -0,34 | -0,37 | -0,47 | -0,40 | -0,24 | -0,11 | -0,01 | 0,02 |

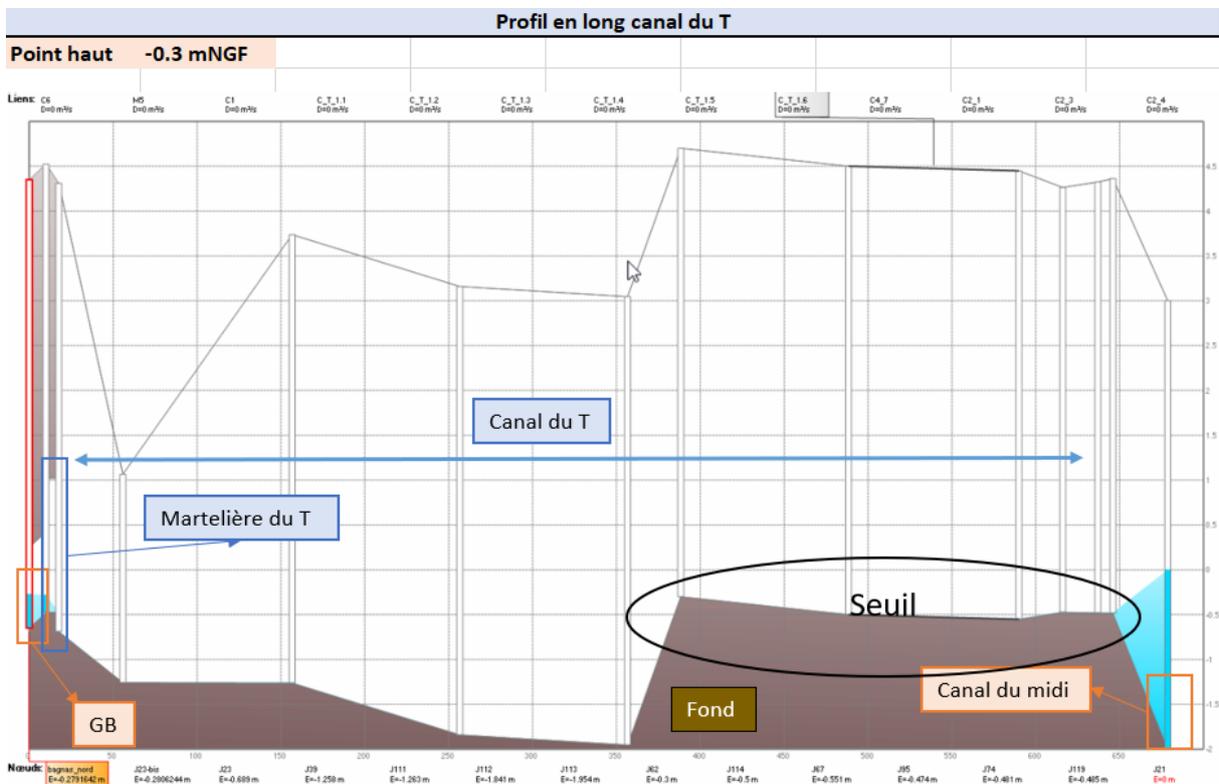
Remplissage du Grand Bagnas par Petit Pont

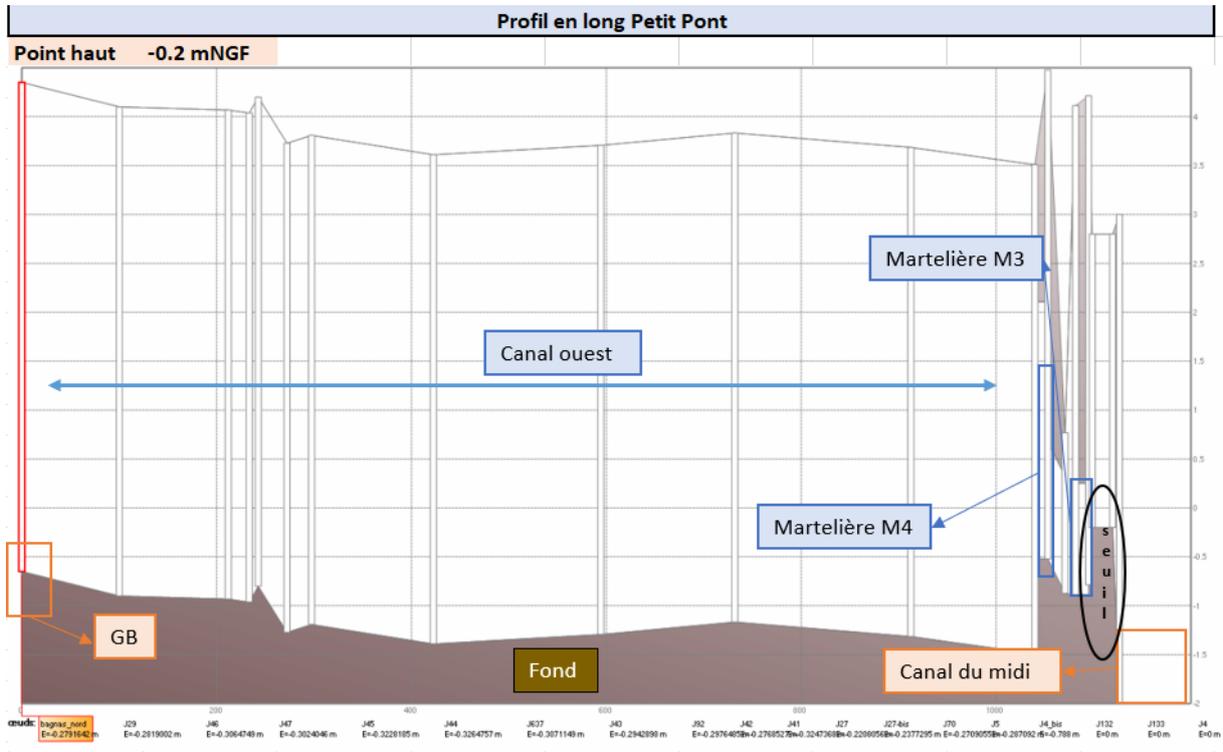
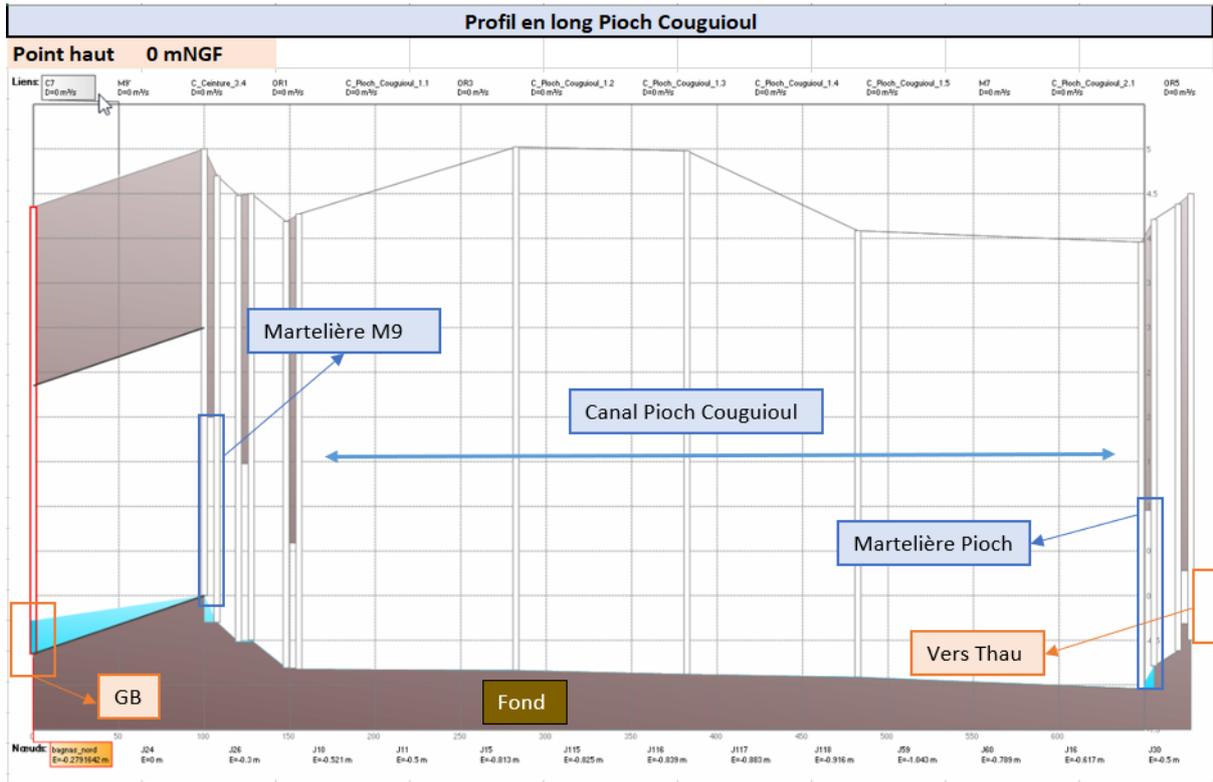
| hauteur d'eau relative GB (m) | Q (m ³ /j) | Elévation du Grand Bagnas (cm/jour) | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
| 0 | 4 182 | 0,21 | 0,20 | 0,08 | -0,10 | -0,12 | -0,15 | -0,25 | -0,18 | -0,02 | 0,12 | 0,21 | 0,24 |
| 0,05 | 4 562 | 0,24 | 0,23 | 0,10 | -0,07 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,16 | 0,01 | 0,14 | 0,24 | 0,27 |
| 0,1 | 4 700 | 0,25 | 0,24 | 0,11 | -0,06 | -0,08 | -0,12 | -0,21 | -0,15 | 0,02 | 0,15 | 0,25 | 0,28 |
| 0,15 | 4 680 | 0,25 | 0,24 | 0,11 | -0,06 | -0,08 | -0,12 | -0,21 | -0,15 | 0,02 | 0,15 | 0,24 | 0,28 |
| 0,2 | 4 464 | 0,23 | 0,22 | 0,10 | -0,08 | -0,10 | -0,13 | -0,23 | -0,16 | 0,00 | 0,14 | 0,23 | 0,27 |
| 0,25 | 4 406 | 0,23 | 0,22 | 0,09 | -0,08 | -0,10 | -0,14 | -0,23 | -0,17 | 0,00 | 0,13 | 0,22 | 0,26 |
| 0,3 | 4 450 | 0,23 | 0,22 | 0,09 | -0,08 | -0,10 | -0,13 | -0,23 | -0,16 | 0,00 | 0,13 | 0,23 | 0,26 |
| 0,35 | 4 637 | 0,24 | 0,23 | 0,11 | -0,07 | -0,08 | -0,12 | -0,22 | -0,15 | 0,01 | 0,15 | 0,24 | 0,28 |
| 0,4 | 4 594 | 0,24 | 0,23 | 0,10 | -0,07 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,15 | 0,01 | 0,14 | 0,24 | 0,27 |
| 0,45 | 4 550 | 0,24 | 0,23 | 0,10 | -0,08 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,16 | 0,01 | 0,14 | 0,23 | 0,27 |
| 0,5 | 4 594 | 0,24 | 0,23 | 0,10 | -0,07 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,16 | 0,01 | 0,14 | 0,24 | 0,27 |
| 0,55 | 4 565 | 0,24 | 0,23 | 0,10 | -0,08 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,16 | 0,00 | 0,14 | 0,23 | 0,27 |
| 0,6 | 4 550 | 0,23 | 0,22 | 0,10 | -0,08 | -0,09 | -0,13 | -0,22 | -0,16 | 0,00 | 0,14 | 0,23 | 0,27 |
| 0,65 | 4 522 | 0,23 | 0,22 | 0,10 | -0,08 | -0,10 | -0,13 | -0,23 | -0,16 | 0,00 | 0,14 | 0,23 | 0,26 |
| 0,7 | 4 709 | 0,24 | 0,23 | 0,11 | -0,07 | -0,08 | -0,12 | -0,21 | -0,15 | 0,01 | 0,15 | 0,24 | 0,28 |
| 0,75 | 4 493 | 0,23 | 0,22 | 0,09 | -0,08 | -0,10 | -0,14 | -0,23 | -0,17 | 0,00 | 0,13 | 0,23 | 0,26 |
| 0,8 | 3 024 | 0,12 | 0,11 | -0,01 | -0,19 | -0,20 | -0,24 | -0,34 | -0,27 | -0,11 | 0,03 | 0,12 | 0,16 |

Annexe n°8 : Profil en long du canal Pont Martin



Annexe n°9 : Profil en long entre le canal du midi et les trois martelières





Annexe n°10 : Fiche action d'entretien

Entretien du parc hydraulique du Grand Bagnas

Objectif à long terme

Maintenir un état hydraulique fonctionnel du site du Grand Bagnas

Gestion

| Gestion préconisée | fréquence | Avantages/Inconvénients |
|--|-----------|--|
| Curage des canaux principaux | 5 ans | Permet de maintenir un écoulement fonctionnel des eaux mais nécessite des investissements importants |
| Débouchage des ouvrages | 1 an | |
| Surveillance des ouvrages structurants | 1 an | |

Programme d'intervention

| Action | Priorité | Coûts | | | |
|------------------------------------|----------|----------------|----------|------------------|---------------|
| | | unité | quantité | Coût unitaire HT | Coût HT |
| Canal du T - Curer | 5 | m | 550 | 5 | 2750 |
| Contre canal - Curer | 2 | m | 900 | 5 | 4500 |
| Canal ouest - Curer | 3 | m | 800 | 5 | 4000 |
| Canal ceinture- Curer | 4 | m | 1800 | 5 | 9000 |
| Canal Pont Martin - Curer | 1 | m | 430 | 5 | 2150 |
| Canal du T - Débroussailler | 10 | m ² | 550 | 0,8 | 440 |
| Contre canal - Débroussailler | 7 | m ² | 900 | 0,8 | 720 |
| Canal ouest - Débroussailler | 8 | m ² | 800 | 0,8 | 640 |
| Canal ceinture- Débroussailler | 9 | m ² | 1800 | 0,8 | 1440 |
| Canal Pont Martin - Débroussailler | 6 | m ² | 430 | 0,8 | 344 |
| Total | | | | | 25 984 |

Carte de Gestion



Annexe n°11 : Fiches actions des travaux structurants

Améliorer la capacité de la prise d'eau du canal Pont Martin

Objectif à long terme

Avoir une meilleure maîtrise des niveaux d'eau du Grand Bagnas en augmentant la capacité de prélèvement de la prise d'eau sur le canal du Midi

| Gestion | | |
|--|---------------|---|
| Gestion préconisée | Avantages | Inconvénients |
| Effacement du seuil et élargissement | Qcapté * 3,8 | Déssouchage de 2 gros arbres (lieux de nidification probable de libellules) |
| Reprise de tout le linéaire du canal | Qcapté * 5,3 | Nécessite d'importants travaux |
| Agrandir la prise d'eau (cadre de 1m*1m) | Qcapté * 1,2 | Plus de restriction sur les prélèvements du fait de l'augmentation du volume pouvant être prélevé (+ de gestion de la martelière) |
| Agrandir la prise + correction seuil | Qcapté * 8,2 | |
| Agrandir la prise + reprise du canal | Qcapté * 12,5 | |

| Programme d'intervention | | | | | |
|--|--|----------------|----------|------------------|---------------|
| Action | | Coûts | | | |
| | | unité | quantité | Coût unitaire HT | Coût HT |
| Agrandir la prise d'eau (cadre de 1m*1m) | Deterrement, évacuation et remplacement buse | par unité | 1 | 30 000 | 30000 |
| | Génie civil (batardeaux/pompes/tractopelle) | par unité | 1 | 6 000 | 6000 |
| | Remplacement martelière (1m*1m) avec glissière etc | par unité | 1 | 22 000 | 22000 |
| Total | | | | | 58 000 |
| Reprise de tout le linéaire du canal | Abattage | 10/30 cm | 3 | 24 | 72 |
| | | >50 cm | 2 | 100 | 200 |
| | Déssouchage | par unité | 5 | 70 | 350 |
| | Débroussailler | m ² | 75 | 0,8 | 60 |
| | Curage + évacuation des terres | m3 | 645 | 30 | 19350 |
| Total | | | | | 20 032 |
| Effacement du seuil et élargissement | Abattage | 10/30 cm | 3 | 24 | 72 |
| | | >50 cm | 2 | 100 | 200 |
| | Déssouchage | par unité | 5 | 70 | 350 |
| | Débroussailler | m ² | 75 | 0,8 | 60 |
| | Curage + évacuation des terres | m3 | 40 | 30 | 1200 |
| Total | | | | | 1 882 |

Carte de Gestion



Améliorer la capacité de salinisation de l'étang du Grand Bagnas par Petit Pont

Objectif à long terme

Pouvoir apporter de l'eau potentiellement plus salée au Grand Bagnas par la martelière de petit pont

Gestion

| Gestion préconisée | Avantages |
|---------------------|---|
| Effacement du seuil | Permet une meilleure circulation de l'eau (remplissage/vidange) |

Programme d'intervention

| Action | Coûts | | | |
|--------------------------------|-------|----------|------------------|---------|
| | unité | quantité | Coût unitaire HT | Coût HT |
| Curage + évacuation des terres | m3 | 125 | 30 | 3 750 |

Carte de Gestion



Améliorer la capacité de salinisation de l'étang du Grand Bagnas par le T

Objectif à long terme

Pouvoir apporter de l'eau potentiellement plus salée au Grand Bagnas par la martelière du T

Gestion

| Gestion préconisée | Avantages |
|---------------------|---|
| Effacement du seuil | Permet une meilleure circulation de l'eau (remplissage/vidange) |

Programme d'intervention

| Action | Coûts | | | |
|--------------------------------|-------|----------|------------------|---------|
| | unité | quantité | Coût unitaire HT | Coût HT |
| Curage + évacuation des terres | m3 | 3750 | 30 | 112 500 |

Carte de Gestion

