
ETANG DE BIGUGLIA

*Etude hydrologique sur le périmètre
du Schéma d'Aménagement et de
Gestion des Eaux*

Rapport de phase 2

GRI 30224L

JANVIER 2006

1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'élaboration du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'étang de Biguglia, le Département de la Haute Corse souhaite dans un premier temps améliorer sa connaissance du fonctionnement de l'étang, afin de disposer ensuite d'un outil de suivi et de gestion de la lagune.

L'étude du fonctionnement de l'étang est basée sur des campagnes de mesures in situ et sur une modélisation mathématique du fonctionnement hydrodynamique, et de sa salinité.

Par ailleurs une expertise sédimentologique est menée afin de définir le fonctionnement du grau et ses conditions d'ouverture.

Cette étude a fait ainsi l'objet d'une importante campagne de mesures de niveaux d'eau et de salinité, réparties sur quatre périodes de l'année, et d'une modélisation hydrodynamique fine grâce à la mise en œuvre du logiciel bidimensionnel Télémac2D.

L'étude est menée en deux phases :

- **1^{ère} phase** : acquisition et traitement des données dans l'optique d'établir un bilan hydrique de l'étang, et d'étudier l'hydrodynamique de l'étang et l'évolution de la salinité par modélisation 2D,
- **2^{ème} phase** : élaboration d'un outil d'aide à la gestion opérationnelle de l'étang et du grau, et définition de scénario d'aménagement ou de gestion permettant d'améliorer le fonctionnement de l'étang.

La **phase 1** a pour objet le diagnostic de l'état actuel, basé sur la mise en œuvre de campagnes de mesures et d'une modélisation hydrodynamique du fonctionnement de l'étang. Cette phase comporte plusieurs volets :

- Etat physique des cours d'eau
- Etablissement d'un bilan hydrique
- Etude du fonctionnement du grau
- Modèle hydrodynamique et de salinité de l'étang

La description détaillée de cette phase fait l'objet d'un rapport spécifique, seules la méthodologie et les principales conclusions de cette phase sont reprises dans ce dossier.

La **phase 2** a pour finalité la fourniture d'un outil de gestion du grau et du fonctionnement de l'étang, ainsi que la proposition de scénarios d'action et de gestion. Cette phase comporte deux volets présentés dans ce dossier :

- outil de gestion du grau
- Scénarios d'actions et de gestion de l'étang

2. SYNTHESSES ET CONCLUSIONS DE LA PHASE 1

2.1. METHODOLOGIE

En préalable à l'étude, une enquête de terrain, le recueil des données et l'analyse bibliographique ont été réalisés, ainsi que les levés bathymétriques et topographiques de l'étang.

Quatre campagnes de mesure ont été menées sur 4 périodes réparties sur l'année. Lors de ces campagnes, 3 limnigraphes enregistrant les niveaux d'eau et 3 sondes mesurant les salinités ont été installés pendant 1 mois pour chaque campagne.

Ces campagnes de mesures ont été confiées au bureau d'étude **Burgéap- Corse**, ainsi que le **volet hydrogéologique** de l'étude.

Les levés **topographiques et bathymétriques** ont été réalisés par un cabinet de géomètre expert.

L'étude du diagnostic concerne les 3 aspects :

- 1. l'hydrologie : bilan des apports et des pertes de l'étang
- 2. le fonctionnement hydro-sédimentaire du grau
- 3. le fonctionnement de l'étang du point de vue hydrodynamique et de la salinité

1. L'hydrologie :

IL s'agit de faire une synthèse annuelle des apports hydrologiques au niveau du bassin versant de l'étang et des pertes par les écoulements hydrogéologiques ou par évapotranspiration.

Cette synthèse est réalisée par compilation des données de :

- Pluie et évapotranspiration (station Météo France de Bastia),
- débits de cours d'eau (stations hydrométriques du Bévinco et du Golo gérées par la DIREN),
- volume de pompage des stations de pompage gérées par le SDACO

Les écoulements hydrogéologiques ont été estimés par BURGEAP et sont décrits dans le rapport de phase 1.

2. le fonctionnement hydro-sédimentaire du grau :

Le fonctionnement hydro-sédimentaire du grau est appréhendé par l'expertise d'un sédimentologue, à partir de :

- l'enquête de terrain
- la comparaison dans le temps de photos aériennes
- l'analyse des houles
- les données sédimentologiques existantes
- les résultats en courant calculés par le modèle hydrodynamique

Les données sédimentologiques existantes utilisées (granulométrie des sables issues de l'étude d'impact pour le dossier d'autorisation de dragage du grau) sont suffisantes pour l'expertise réalisée dans le cadre de l'étude.

3. la modélisation hydrodynamique et de la salinité :

La modélisation mise en œuvre sur l'étang permet de représenter le fonctionnement hydrodynamique de l'étang sous l'effet des apports hydrologiques du bassin versant, des marées et du vent.

La modélisation hydrodynamique est couplée à une modélisation de l'évolution de la salinité de l'étang sous l'effet des apports de débits d'eau douce, de la marée et du vent.

Le modèle ne représente pas le fonctionnement hydro-sédimentaire du grau lié au transport côtier par la houle, phénomène qui nécessite d'autres types d'outil de modélisation et d'autres échelles de temps et d'espace (modèle de transport côtier).

La modélisation est réalisée grâce à un logiciel bidimensionnel calé sur 4 campagnes de mesures réalisées dans le cadre de l'étude.

La modélisation bidimensionnelle prend en compte la totalité de l'étang, ainsi que le Fossone, et le débouché en mer du Golo.

Elle a été réalisée à partir de **données bathymétriques récentes actualisées** par des levés récents dans la zone au nord du Bévinco jusqu'au grau.

La modélisation a permis de simuler une **dizaine de scénarios hydro-météorologiques** types faisant varier les conditions aux limites du modèle, à savoir la marée, le vent et les apports d'eau douces, en état actuel.

Le débouché du Golo en mer est représenté partiellement ouvert sur 50 m, à partir de la topographie existante, sachant que son ouverture en mer peut effectivement se refermer par les apports sédimentaires marins, mais qu'une petite crue du Golo ouvre probablement rapidement son débouché en mer.

Ce qui n'est pas le cas pour le grau de l'étang, qui ferme fermé une grande partie de l'année.

Le modèle représente donc deux **configurations « figées » du grau de l'étang : une ouverte, représentative du jour des levés bathymétriques, et une fermée.**

Les résultats en terme d'échanges par la mer dépendent donc de la configuration du grau testée, et ne représentent pas toutes les situations qui peuvent être observées sur l'année, qui peuvent être cependant déduites par extrapolation des résultats des modélisations.

2.2. SYNTHÈSE HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique des apports d'eau douces et pertes annuels de l'étang est résumé dans le tableau suivant pour une année hydrologique moyenne.

Les échanges avec la mer ou avec le Golo sont traités dans le chapitre suivant (modèle hydrodynamique) et ne sont pas cumulés sur l'année, car ils sont trop variables en fonction des configurations du grau et des conditions hydro-météorologiques (vent, débit, marée). Ces échanges sont donc donnés dans le chapitre suivant pour des situations hydro-météorologiques et des configurations du grau types.

Les **apports** hydrologiques dans le bassin versant de l'étang sont constitués par :

- les apports superficiels des cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant (180 km², dont 68 km² pour le Bévinco), y compris les apports des 5 stations de pompage qui drainent la partie basse du bassin versant
- les apports pluviométriques de l'impluvium de l'étang (14.5 km²)
- les apports hydrogéologiques de la nappe souterraine
- les apports du Golo, via le Fossone (traité dans le chapitre suivant)
- les apports de la mer par le grau (traité dans le chapitre suivant)

Les **pertes** dans le bassin versant de l'étang et dans l'étang directement sont constituées par :

- les prélèvements superficiels dans le bassin versant (prise d'eau sur le Bévinco pour l'AEP)
- les prélèvements dans la nappe pour l'AEP
- l'évapotranspiration de l'étang
- les infiltrations vers la mer par le lido
- les débits vers le Golo, via le Fossone, (traité dans le chapitre suivant)
- les débits sortant en mer par le grau (traité dans le chapitre suivant)

Rappelons que le volume de l'étang est d'environ **10.2 Mm³**.

Les chiffres sont des ordres de grandeur donnés à titre indicatif et estimés à partir :

- des stations de mesures de débit et de pluie sur le bassin versant pour les apports hydrologiques sur une année moyenne
- de l'analyse BURGEAP pour les échanges avec la nappe et par le lido

Tableau : bilan annuel des apports et pertes de l'étang (en Mm3)

(Hors échanges avec la mer ou le Golo, donnés dans la modélisation hydrodynamique pour des situations types)

Apports annuels dans l'étang	Mm3
Eaux superficielles du bassin versant total (dont pompage)	+ 66 (20)
Impluvium étang	+ 12
Apport de la nappe dans étang	+ 2.3
Pertes annuelles dans le bassin versant de l'étang	Mm3
Prélèvement AEP dans bassin versant	- 1.7
Prélèvement AEP dans nappe	- 2.6
Pertes annuelles de l'étang	Mm3
évapotranspiration	- 16
Infiltration vers la mer par lido et le grau	- 1.2

Les échanges hydrogéologiques sont les plus faibles par rapport au fonctionnement hydrologique de l'étang.

Les apports superficiels en eaux douces sont, quant à eux, importants. En théorie, l'étang reçoit des apports hydrologiques suffisants pour permettre le renouvellement des eaux, par contre la modélisation hydrodynamique révèle que le renouvellement est très inégal selon les secteurs de l'étang (cf modélisation hydrodynamique).

2.3. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDRO-SEDIMENTAIRE DU GRAU

La synthèse concerne les 3 aspects :

- l'évolution temporelle du grau
- le fonctionnement actuel du grau
- les facteurs influant sur la sédimentation du grau

Il faut rappeler que l'analyse du fonctionnement hydro-sédimentaire du grau n'est pas traitée par la modélisation hydrodynamique de l'étang, réalisée dans le cadre de l'étude, car elle fait intervenir d'autres phénomènes liés au transport côtier des sédiments par la houle, et fait donc l'objet d'une expertise qualitative.

2.3.1. L'évolution temporelle du grau

L'analyse des photographies aériennes à différentes époques montre très nettement que la **position du grau favorisant les échanges hydrauliques entre l'étang et la mer n'a pas évolué significativement depuis plus de cinquante ans.**

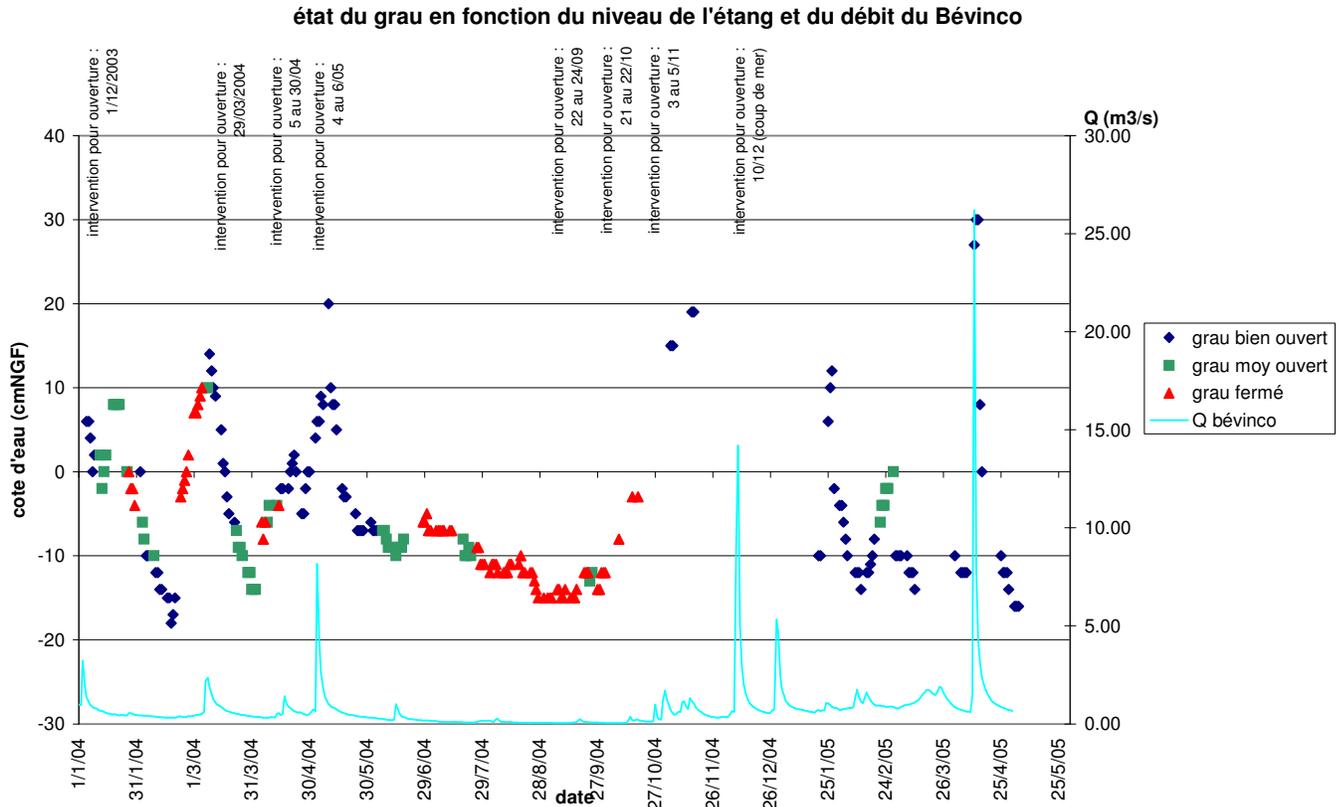
On peut donc considérer que les conditions hydrauliques et hydro-sédimentaires qui régissent le fonctionnement de l'embouchure du grau de Biguglia n'ont pas entraîné d'évolution significative de la position du grau depuis plus d'un demi-siècle. Sa position actuelle est en équilibre avec les facteurs environnementaux du site.

2.3.2. Le fonctionnement actuel du grau

Aujourd'hui, le grau de l'étang est ouvert périodiquement à l'aide d'un engin de terrassement. Lors des travaux d'ouverture, la pelle hydraulique s'installe sur la rive nord du grau et régale ensuite sur la plage le sable prélevé.

Comme le montre le graphique ci-dessous, **il ne semble pas y avoir de relation très simple et immédiate entre le débit du Bévinco, le niveau des eaux dans l'étang et le maintien ouvert du grau artificiellement ou naturellement.**

Graphique : état du grau en fonction du niveau dans l'étang et des apports du Bévinco



Lorsque le grau est ouvert (mécaniquement ou naturellement) et que le débit du Bévinco n'est pas nul sur une période suffisamment longue, celui-ci se maintient a priori ouvert, **sauf en cas de tempête** qui favorise un transport sédimentaire important, entraînant alors une fermeture très rapidement du grau.

Lorsque le grau est ouvert et que les niveaux d'eau sont équilibrés entre l'étang et la mer, en situation normale c'est à dire avec de très faibles apports d'eau du Bévinco, le grau **se bouche progressivement par les apports sédimentaires de la mer**.

Une fois bouché, le grau ne **peut plus s'ouvrir naturellement** sauf si le niveau des eaux derrière le cordon est nettement supérieur à l'altimétrie du cordon (donc après une crue suffisamment importante du Bévinco).

2.3.3. Facteurs influant sur la sédimentation du grau

Les vitesses de courant dans le grau, hors période de crue, sont du même ordre de grandeur que les vitesses nécessaires au début d'entraînement des sédiments. Seules les vitesses de flot en période de crue sont suffisamment significatives pour favoriser l'entraînement des sédiments dans le grau et donc favoriser un maintien de son ouverture.

Par contre une houle annuelle génère des vitesses capables de mettre en mouvement et de transporter les sables de la plage.

Cette analyse montre que ce **sont les courants de houle qui ont la plus grande capacité de transport des sédiments comparativement aux courants généraux**. En conséquence, cela peut expliquer que :

- **dès que les débits du Bévinco sont faibles à nuls, le grau se referme par suite du transport sédimentaire par suite de l'effet de la dérive littorale,**

- **même pour un débit élevé du Bévinco et une mise en charge potentielle de l'étang assurant de plus forte vitesse dans le grau, une tempête, même de période de retour annuelle, a une capacité de transport suffisante pour favoriser la fermeture du grau.**

2.3.4. Conclusion sur le fonctionnement hydro-sédimentaire du grau

La position générale du grau n'a pas varié depuis plus de cinquante ans.

L'ouverture du grau, naturellement ou artificiellement, semble pouvoir se maintenir tant que les débits du Bévinco sont suffisants pour favoriser des vitesses d'écoulement permettant l'entraînement des sédiments de fonds à l'embouchure sauf si un coup de mer vient ponctuellement se surimposer à ces derniers.

En effet les conditions hydrodynamiques marines lors des coups de mer favorisent un transport sédimentaire le long du littoral supérieur à la capacité d'entraînement des courants dans le grau.

Lorsque les débits du Bévinco sont faibles à nuls, le transit littoral dont la résultante est orientée Sud-Nord, favorisent la fermeture très rapide du grau et ne permet pas sa réouverture sans action anthropique et exceptionnellement, peut être, en cas de surcote importante dans l'étang.

2.4. SYNTHÈSE DU FONCTIONNEMENT DE L'ÉTANG DU POINT DE VUE HYDRODYNAMIQUE ET SALINITE

Cette phase d'étude est basée sur la réalisation de campagnes de mesures et d'une modélisation numérique.

2.4.1. Les campagnes de mesures

4 campagnes ont été réalisées entre avril 2004 et mars 2005.

Pour chaque campagne, les niveaux d'eau et les salinités en 3 points de l'étang implantés sur la figure ci après (S1 : sud du chenal du grau, S2, centre de l'étang, S3, milieu de l'étang sud) ont été enregistrés en continu sur une durée de 1 mois (cf exemples sur les graphiques suivants).

Ces mesures ont permis dans un premier temps d'analyser le fonctionnement de l'étang et ensuite sont utilisées pour le calage du modèle numérique.

Elles ont permis en effet d'identifier les facteurs influant sur l'hydrodynamique de l'étang :

- impact du vent sur les niveaux d'eau (montée ou baisse d'une dizaine de cm selon la direction du vent et la position dans l'étang)
- réduction très forte du marnage dans l'étang, à cause de la forte perte de charge dans le chenal du grau
- évolution du niveau moyen de l'étang qui suit celles du niveau marin lorsque le grau est ouvert
- montée des niveaux d'eau de l'étang (de 10 à 30 cm) en cas d'apport du bassin versant
- diminution brutale des niveaux d'eau avec l'ouverture mécanique du grau.

Du point de vue salinité, on note :

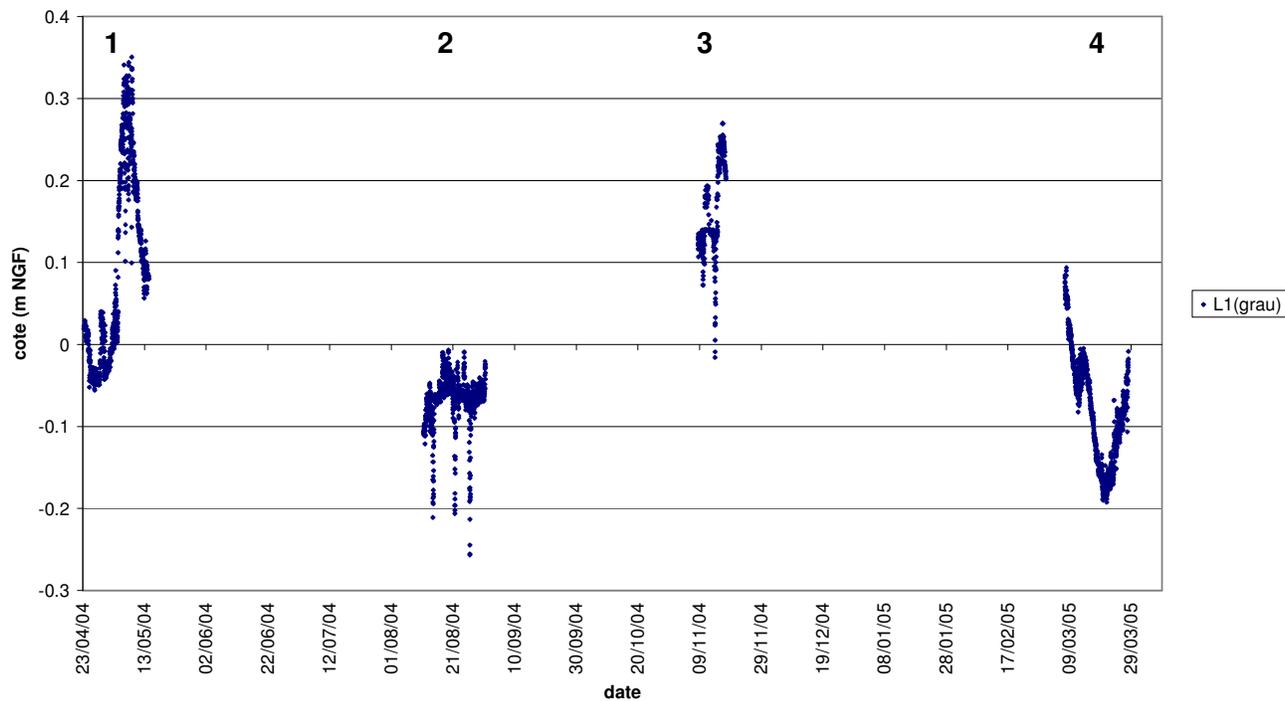
- des pics de salinité au sud du chenal du grau lorsque la marée est forte et le grau ouvert
- une baisse importante de la salinité au sud du chenal du grau (partie de l'étang située au nord de l'arrivée du Bévinco) en cas d'apports du bassin versant, la salinité pouvant même devenir inférieure à celle mesurée au centre et au sud de l'étang
- des salinités stables au centre et au sud sur chaque campagne, ne variant que faiblement, par rapport à l'extrémité nord de l'étang, avec des faibles variations sur l'année visibles entre les campagnes (salinité autour de 8 g/l aux 2 premières campagnes, et entre 10 et 15 g/l aux 2 dernières campagnes)

Trois jaugeages du Fossone ont de plus été réalisés. Les courants et débits mesurés sont très faibles, au maximum de quelques centaines de l/s.

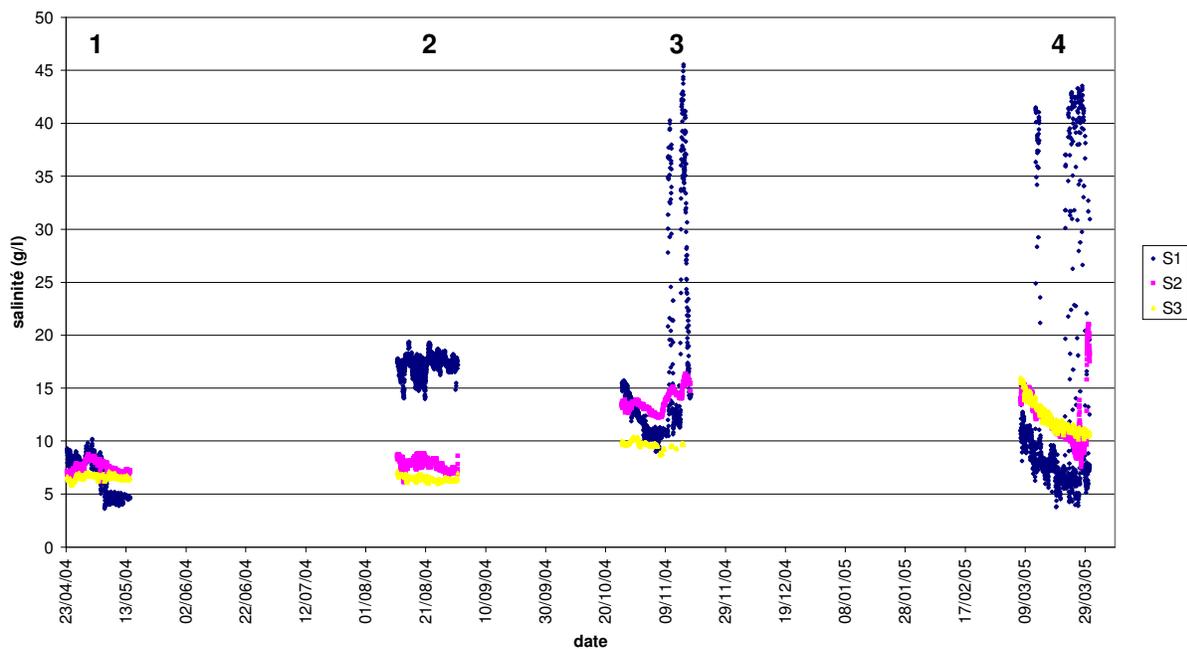
Figure 1: implantation des points de mesure

graphiques : exemple de résultats de mesures des campagnes

évolution des niveaux de l'étang sur les 4 campagnes



évolution de la salinité sur les 4 campagnes



2.4.2. La construction du modèle et les scénarios testés

La modélisation bidimensionnelle prend en compte la totalité de l'étang, ainsi que le Fossone, et le débouché en mer du Golo.

Elle a été réalisée à partir de données bathymétriques récentes actualisées par des levés récents dans la zone au nord du Bévinco jusqu'au grau.

Le modèle représente deux configurations « figées » du grau de l'étang : une ouverte, et une fermée.

Le modèle permet de calculer les courants et la salinité dans l'étang, sous l'effet :

- des apports de débits d'eau douce (ruisseaux et pompage)
- de la marée
- du vent

Les conditions aux limites du modèle sont représentées sur la figure ci après :

- deux frontières maritimes (grau de l'étang et débouché du Golo)
- 10 points d'apports de débits (cours d'eau ou pompage), **y compris le Golo.**

Les données de débit sont issues des mesures réalisées par la DIREN aux stations du Bévinco à Olmeta (bassin versant à la station : 54 km²) et du Golo à Volpajola (bassin versant à la station : 926 km²), situées en aval des bassins versants et donc représentatives des cours d'eau.

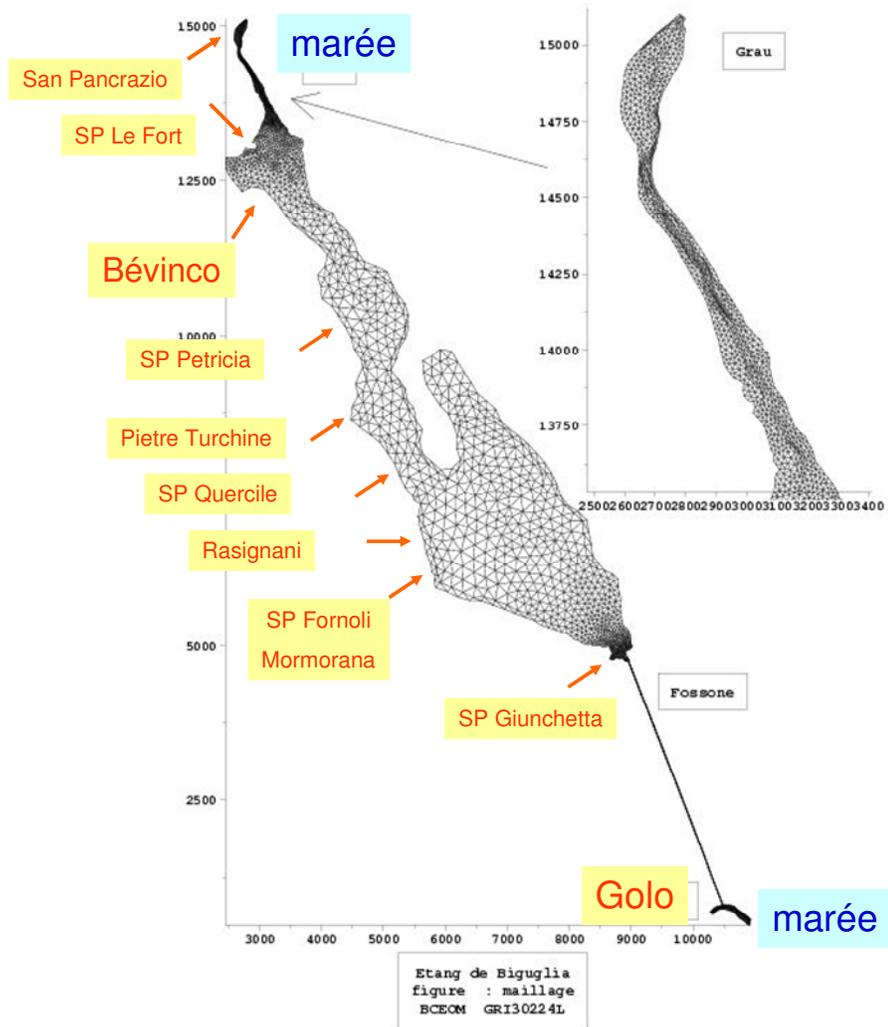
Les débits des différents cours d'eau entrés dans le modèle sont donc extrapolés à partir des mesures à ces deux stations, au prorata de la superficie des bassins versants.

Les débits des pompages sont fournis par les données du SDACO.

Les données de vent sont issues de la station Météo-France située à proximité à l'aéroport de Bastia Poretta.

Les données de marée sont issues des marées prévisionnelles fournies par le SHOM recalée en cote NGF à partir des mesures ponctuelles de niveaux d'eau aux échelles du port, qu'a réalisé la Capitainerie du Port de Bastia pour les besoins de l'étude.

Figure 2 : zone modélisée et conditions aux limites



Des événements hydro-météorologiques types faisant varier les conditions de débits, vent et marée, sont simulés sur une journée.

Le tableau suivant résume les scénarios hydro-météorologiques qui ont été modélisés.

Tableau : définition des scénarios modélisés

Numéro du scénario	du	grau	marée	débits	vent
1. étiage-ouvert	grau	ouvert	moyenne	faibles	sans
2. étiage-fermé	grau	fermé	moyenne	faibles	sans
3. étiage-faible	marée	ouvert	faible	faibles	sans
4. étiage-vent NE	vent NE	ouvert	moyenne	faibles	NE 20° 10 m/s
5. étiage-vent SE	vent SE	ouvert	moyenne	faibles	SE 140° 10 m/s
6. étiage-vent SW	vent SW	ouvert	moyenne	faibles	SW 240° 10 m/s
7. étiage soutenu		ouvert	Moyenne	Faibles + soutien Bévinco	sans
8. débits moyens-grau ouvert		ouvert	moyenne	moyens	sans
9. crue annuelle-grau ouvert		ouvert	moyenne	Crue annuelle	sans

Concernant les apports d'eau douce, 3 situations hydrologiques représentatives de l'état actuel sont testées :

- étiage (correspondant au QMNA5)
- module (débit moyen annuel)
- crue annuelle

Une situation supplémentaire représentant un étiage soutenu sur le Bévinco est simulée afin d'identifier l'impact d'un débit d'étiage augmenté de 150 l/s (équivalent approximativement au débit prélevé pour l'AEP).

Les débits caractéristiques du Bévinco et du Golo aux stations hydrométriques pris en compte pour ces situations sont les suivants :

Tableau : débit caractéristiques du Bévinco et du Golo aux stations hydrométriques (m3/s)

Situation hydrologique	Bévinco	Golo
débit d'étiage (QMNA 5)	0.035	1.1
débit moyen journalier (module)	0.620	14.4
débit de crue annuelle moyen journalier	8	80

Concernant la marée, deux situations de marnage sont testées :

- marnage moyen d'environ 20/25 cm, le plus fréquent sur l'année
- marnage faible, d'environ 10/15 cm, observable quelques jours par mois.

2.4.3. Les résultats de la modélisation

Les résultats des 9 scénarios sont détaillés dans le rapport de phase 1.

Nous rappelons ici uniquement les tableaux de synthèse concernant les résultats des échanges hydrodynamiques et des salinités pour les cas types testés.

Tableau : synthèse des résultats de vitesses et débit

scénario	Vitesse maximale étang (m/s)	Vitesse maximale grau (m/s)	Débit maximal Grau (m3/s)	Débit maximal Fossone (m3/s)	Volume échangé par le grau en 24h (m3)	Volume échangé par le Fossone en 24h (m3)
1. étiage	0.02	0.3 à 0.6	+27/-17	+0.6/-0.6	538 000 / -769 000	28 000 / -11 000
2. étiage grau fermé	0.001	0.01	0	+0.8/-0.25	0	48 000 / -1 500
3. marée faible	0.02	0.2 à 0.5	+18/-12	+0.4/-0.3	331 000 / -459 000	17 000 / -7 000
4. vent NE	0.05	0.2 à 0.6	+28/-16	+0.8/-0.15	626 000 / -689 000	50 000 / -500
5. vent SE	0.05	0.3 à 0.5	+24/-19	+0.3/-0.9	390 000 / -880 000	5 000 / -33 000
6. vent SW	0.04	0.2 à 0.6	+26/-18	+0.6/-0.5	530 000 / -760 000	30 000 / -10 000
7. étiage soutenu	0.02	0.25 à 0.6	+27/-17	+0.6/-0.6	532 000 / -773 000	30 000 / -10 000
8. débit moyen	0.03	0.25 à 0.6	+25/-18	+0.5/-0.6	466 000 / -836 000	21 000 / -14 000
9. crue annuelle	0.04	0.3 à 0.7	+20/-22	-1.8	260 000 / -1 125 000	-148 000

Conventions de signe :

- le débit d'échange au **grau** est **positif** lorsqu'il est **entrant** dans l'étang, négatif sinon
- le débit d'échange au canal de **Fossone** est **positif** lorsqu'il est nord-sud, c'est à dire **sortant** de l'étang, négatif sinon

Tableau : synthèse des résultats de salinité

scénario	Salinité maximale Chenal du grau (g/l)	Salinité maximale Nord (g/l)	Salinité maximale Centre (g/l)	Salinité maximale Sud (g/l)
1. étiage	35	15	9	9
2. étiage grau fermé	17	16	10	9
3. marée faible	15	15	9	9
4. vent NE	37	20	9	9
5. vent SE	17	14	9	9
6. vent SW	32	15	9	9
7. étiage soutenu	34	15	9	9
8. débit moyen	27	14	9	9
9. crue annuelle	5	5	8	9

Les résultats de ces simulations ont permis de dégager les principales conclusions sur le fonctionnement hydrodynamique de l'étang et sur l'évolution de la salinité :

En terme de niveau d'eau dans l'étang :

- le marnage en mer est réduit de façon importante dans l'étang du fait de la forte perte de charge dans le chenal du grau
- les vents de Nord Est et Sud Est, d'intensité supérieure à 6-7 m/s, ont une incidence sur les niveaux dans l'étang, induisant des montées ou baisses de niveau de l'ordre de la dizaine de cm (montée au nord et baisse au sud avec un vent du sud est et inversement avec un vent de nord est), un vent de Sud Ouest a un impact plus négligeable.
- l'augmentation des débits des bassins versants entraîne une augmentation des niveaux dans l'étang de 10 cm maximum pour une crue annuelle, avec le grau ouvert

En terme de débits échangés :

- les échanges journaliers avec la mer par le grau représentent environ 5% du volume de l'étang, pour une marée moyenne, ils diminuent avec le marnage de la marée et en cas de vent de Sud Est et de crue (diminution de moitié des volumes marins entrants pour une crue annuelle). Les débits maximum entrant ou sortant au grau varient entre 10 et 30 m³/s.
- les débits échangés par le Fossone sont très faibles : de l'ordre de 1 à 2 % du débit échangé par le grau (soit un débit maximum de 0.5 m³/s dans les deux sens, en situation normale). Les seuls échanges importants par le Fossone se

produisent en cas de crue du Golo qui apporte du débit du Golo dans l'étang (débit entrant maximum de 1.8 m³/s).

Les débits dans le Fossone sont significatifs en cas de crue du Golo. Si le débouché du Golo était fermé lors d'une crue, le débit entrant dans le Fossone serait augmenté. Cependant cette situation est peu probable, étant donné qu'une crue même faible du Golo a la capacité d'ouvrir le débouché en mer.

En terme de vitesses des écoulements :

- les vitesses dans l'étang sont très faibles (de l'ordre du cm/s quand le grau est ouvert, et du mm/s lorsque le grau est fermé) ; elles sont augmentées sur les bords de l'étang en cas de vent
- les vitesses dans le grau ouvert (dans la configuration testée) permettent en théorie le transport des sédiments, surtout pour le jusant en cas de crue annuelle. Ces vitesses restent cependant très inférieures à celles générées par les courants de houle (cf chapitre précédent), hors situation de forte crue, ce qui explique la fermeture du grau.

En terme de salinité, on distingue trois zones de salinité différente :

- le chenal du grau, avec une salinité élevée lorsque le grau est ouvert (variation entre 5 et 40 g/l),
- la partie de l'étang située au nord du Bévinco, où la salinité subit une forte variation temporelle, sous influence de la mer en cas de forte marée, grau ouvert, et des apports d'eau douce du Bévinco (variation entre 5 et 20 g/l),
- le reste de l'étang, c'est à dire la plus grande partie, y compris le Fossone, de faible variation spatiale et temporelle, avec des évolutions par diffusion, beaucoup plus lentes, sur l'année (variation entre 8 et 12 g/l).

Pour le Fossone, il n'y a pas d'entrée d'eau marine même en situation d'étiage du Golo.

Les temps de variation de la salinité sont très rapides dans le chenal du grau (en fonction de la marée, si le grau est ouvert) et la partie de l'étang au nord du Bévinco (temps de réaction de l'ordre de la journée en cas de pluie), par contre ils sont très lents dans tout le reste de l'étang (temps de réaction de l'ordre de plusieurs semaines à mois).

En terme de renouvellement des eaux, on retrouve les 3 même zones que pour la salinité :

- le chenal du grau, très bien renouvelé avec les apports marins (quand le grau est ouvert)
- la partie de l'étang au nord du Bévinco, assez bien renouvelée, à la fois avec les apports marins pour les marées fortes, et les apports d'eau douce du Bévinco,
- le reste de l'étang, très mal renouvelé, uniquement par les apports d'eau douce en cas de crue.

3. PHASE 2 : SCENARIOS D'ACTION ET DE GESTION

Cette phase s'articule en 2 temps :

- définition de scénarios d'action et de gestion de l'étang et du grau
- élaboration d'un outil d'aide à la gestion de l'étang et du grau

Les scénarios d'action et de gestion concernent les deux principaux aspects suivants :

- la gestion du grau
- l'amélioration des échanges et du renouvellement des eaux.

3.1. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DU GRAU

3.1.1. Solutions d'aménagement du grau

Comme cela est déjà énoncé dans les rapports antérieurs, tout ouvrage comportant des digues en mer perpendiculaires au rivage, dans le but de maintenir ouvert de manière permanente le débouché du grau, est à proscrire compte tenu des impacts négatifs que ce type d'aménagement entraînerait sur la dynamique sédimentaire littorale : recul du rivage à l'aval transit.

Par ailleurs, sauf si les digues rejoignent des fonds au large suffisant important, la section d'écoulement pour être maintenue nécessiterait également des dragages d'entretien au fil du temps pour éviter sa fermeture. Et de manière concomitante, plus les ouvrages seraient longs plus les impacts sur le littoral se feraient sentir loin en aval transit.

Il nous semble par contre pertinent de **délimiter l'amorce d'un chenal à travers le cordon de haut de plage et très légèrement en avancée sur le haut de plage** (tout en évitant de devenir un point dur en cas de tempête associée à un haut niveau des eaux marines). Cette amorce de chenal pourrait favoriser un auto-curage du grau de plus longue durée (lorsqu'il est ouvert) qu'en situation actuelle même si à terme le grau finira par se fermer par suite de la prédominance des conditions hydrodynamiques marines.

En conséquence, dans un premier temps, il semble opportun de **conserver l'ouvrage existant qui délimite la rive nord du grau**, ouvrage qui pourrait être conforter localement et rallonger de quelques mètres. Ensuite, un **ouvrage équivalent serait à créer en rive sud du grau afin de limiter la berge** et cet ouvrage devrait prendre son origine à une distance suffisante de la plage pour ne pas être contourné par les eaux de l'étang en cas de haut niveau des eaux associé à une période de crue. Compte tenu de l'orientation moyenne du chenal en fonctionnement d'après les photographies aériennes et les plans topographiques existant, **l'axe du chenal devrait être orienté au N40° environ. Le chenal ainsi créé d'une profondeur de l'ordre du mètre devrait avoir une largeur comprise entre 15 et 20 m** afin de favoriser un courant au minimum de l'ordre **du mètre par seconde** pour un événement courant de haut niveau dans l'étang ou de débit de crue annuelle du Bevinco. Les caractéristiques des

ouvrages de protection (nature et profondeur d'assise) du chenal devraient également permettre d'évacuer les eaux apportées par les crues plus fortes du Bevinco.

On peut donc penser qu'un tel aménagement aura une section suffisante pour favoriser des courants élevés en présence d'une charge supérieure dans l'étang par rapport à la mer. La vitesse des courants aura un effet érosif suffisant pour maintenir le grau ouvert en empêchant le sable apporté par le jet de rive lors des petits coups de mer de se déposer à son embouchure.

La figure ci après donne l'implantation des aménagements.

Les caractéristiques sont données à titre indicatif au stade faisabilité.

Le dimensionnement précis des aménagements pourrait être optimisé par modélisation hydrodynamique, en intégrant l'aménagement projeté dans le modèle.

Figure 3 : schéma d'aménagement possible du grau

3.1.2. Entretien des fonds

Même si l'ensablement du grau peut être atténué par la mise en place d'une amorce de chenal et la fréquence des opérations de dragage ainsi réduite, il sera toujours nécessaire de l'ouvrir lorsqu'il sera obstrué si les conditions environnementales l'exigent (alevinage, sortie des adultes, vidange rapide de l'étang etc..).

L'ouverture du grau et le dragage du chenal peuvent se faire au moyen d'une pelle mécanique (comme aujourd'hui) ou d'une dragline. Les engins mécaniques capables d'effectuer ce type de travaux ne manquent pas. Par contre, il est primordial que le sable prélevé soit :

- **déposé sur la plage au nord du grau** car la résultante du transit sédimentaire est orientée sud –nord ; il faut donc favoriser potentiellement son retour en aval transit,

- **étalé sur la partie haute de la plage**, sans empiéter sur le cordon dunaire que l'on peut rencontrer en haut de plage. En effet, dans la mesure où la résultante du transit sédimentaire est orientée du Sud vers le Nord, il faut laisser la possibilité au sable de revenir dans le transit en cas de tempêtes de Sud Est associées à de haut de la mer sans toutefois être repris par les mers de vent de Nord Est dont les périodes plus courtes et une cambrure plus faible, associées à une moindre élévation du niveau des eaux ont une action érosive moindre. L'absence de plage large et longue également au Nord du grau limitera également le volume de sable disponible pour le transport sédimentaire par les mers de vent de Nord Est.

Ces dispositions sont prévues dans le dossier de demande d'autorisation préfectorale du dragage au titre du Code de l'Environnement.

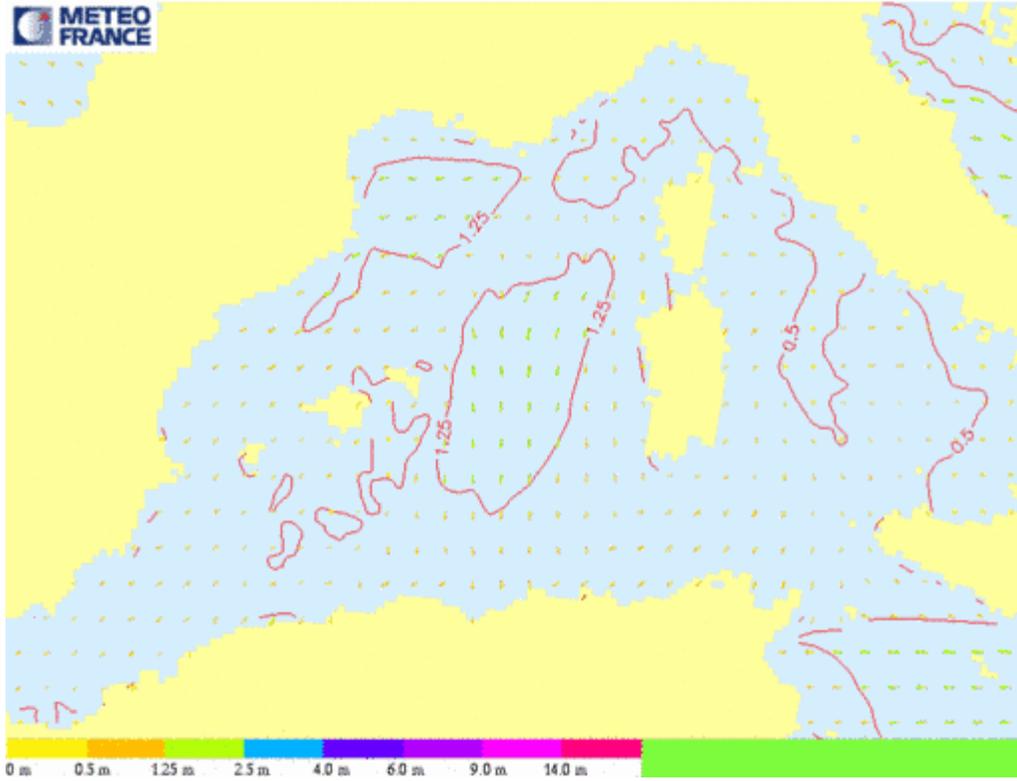
3.1.3. Périodes favorables à l'ouverture du grau

Les périodes favorables à l'ouverture du grau sont liées à l'état de la mer, puisque c'est le transport littoral (transit littoral des sables par les houles obliques) le principal responsable de la fermeture du grau. Pour anticiper les périodes favorables à l'ouverture, il conviendrait donc de disposer de prévisions fiables de houle. Les prévisions de houle peuvent être obtenues auprès de Météo France (site internet <http://www.meteofrance.com/FR/mer/carteVagues> ou [carteHoules](http://www.meteofrance.com/FR/mer/carteHoules)).

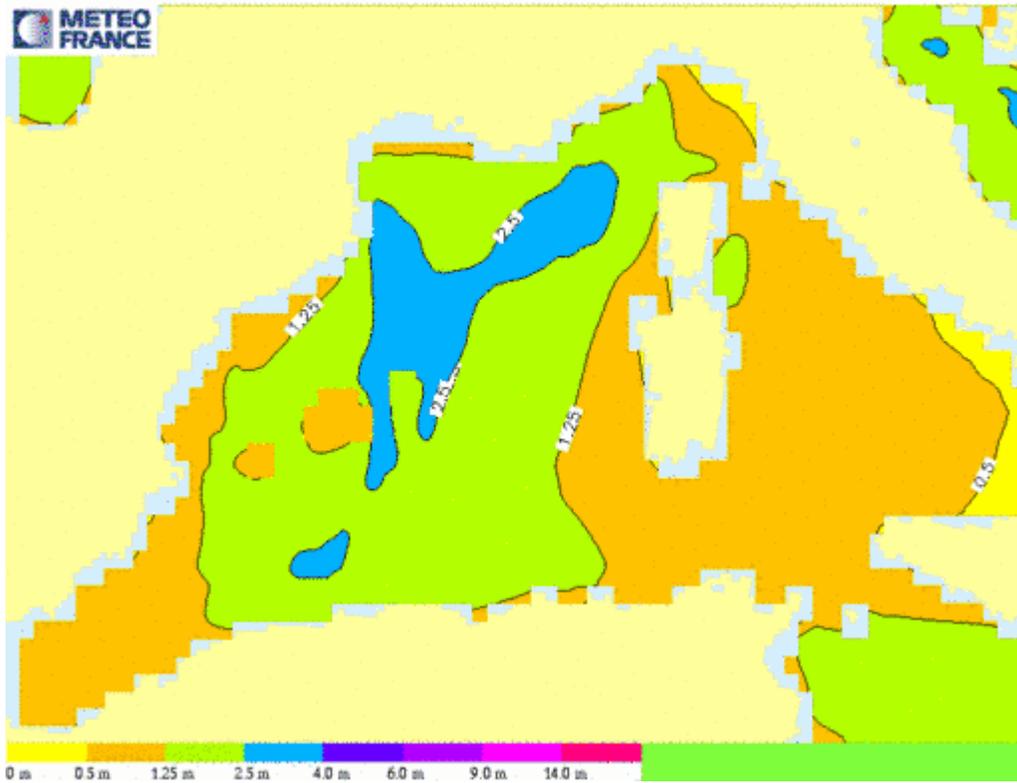
La houle est aussi mesurée en temps réel au niveau de différentes bouées implantées en Méditerranée et dont les résultats sont centralisés par le Centre d'Archivage National de données de houles in situ (CANDHIS) mais la bouée de mesures la plus proche est implantée au Cap Corse. Elle ne peut donc être représentative des houles au droit du site et ne sont pas utilisables à l'heure actuelle.

Les seules données utilisables sont donc celles fournies par Météo France dont un exemple issu du site internet est donné ci après.

Houle1 : iso H1/3 + direction pour le 12/12/05 19H00loc



Mer totale : iso H1/3 pour le 12/12/05 19H00loc



Ces cartes permettent d'avoir accès aux prévisions de la hauteur significative de houle (notée Hs ou H1/3) sur le littoral, paramètre principal pour la gestion du grau.

Le deuxième paramètre déterminant pour la gestion du grau est le débit des apports dans l'étang, dont une mesure est réalisée sur le Bévinco à la station hydrométrique d'Olméa gérée par la DIREN.

Le troisième paramètre pouvant intervenir dans la gestion du grau est le niveau d'eau dans l'étang, représentatif du fonctionnement de l'étang sur la période antérieure, puisqu'il est fonction des apports de débits arrivés dans l'étang les jours passés, et de l'état antérieur du grau (le niveau de l'étang monte avec des apports en crue du bassin versant et le grau fermé).

Ce niveau d'eau peut être connu en direct à l'échelle du grau située sous le pont, gérée par la Réserve.

Les conditions les plus favorables à l'ouverture du grau et à son maintien sont obtenues avec un niveau haut de l'étang et en l'absence de houle.

En cas de houle faible à moyenne qui favorise un transit littoral le long du rivage (donc un transport de sédiments parallèlement au rivage), l'ouverture ne peut se maintenir naturellement sauf si les vitesses de courant liées à une vidange de l'étang sont suffisantes pour favoriser le transport des sables accumulés dans le grau (par saltation ou suspension), c'est-à-dire si les apports du bassin versant sont importants.

Une houle de tempête exceptionnelle associée à une surcote qui submergerait le littoral et donc aplanirait la plage pourrait permettre une ouverture du grau mais cela reste du domaine de l'exceptionnel (cela est certainement arrivé dans le passé comme semble le montrer le rivage au Sud du grau où une amorce de grau est très nette).

Le schéma suivant résume ainsi les conditions d'ouverture du grau.

On peut a priori observer les trois situations suivantes :

L'ouverture naturelle du grau, possible si :

- le niveau dans l'étang est haut et la houle faible
- les apports dans l'étang sont importants (crue forte) et supérieurs à la houle
- la houle est très forte (tempête exceptionnelle)

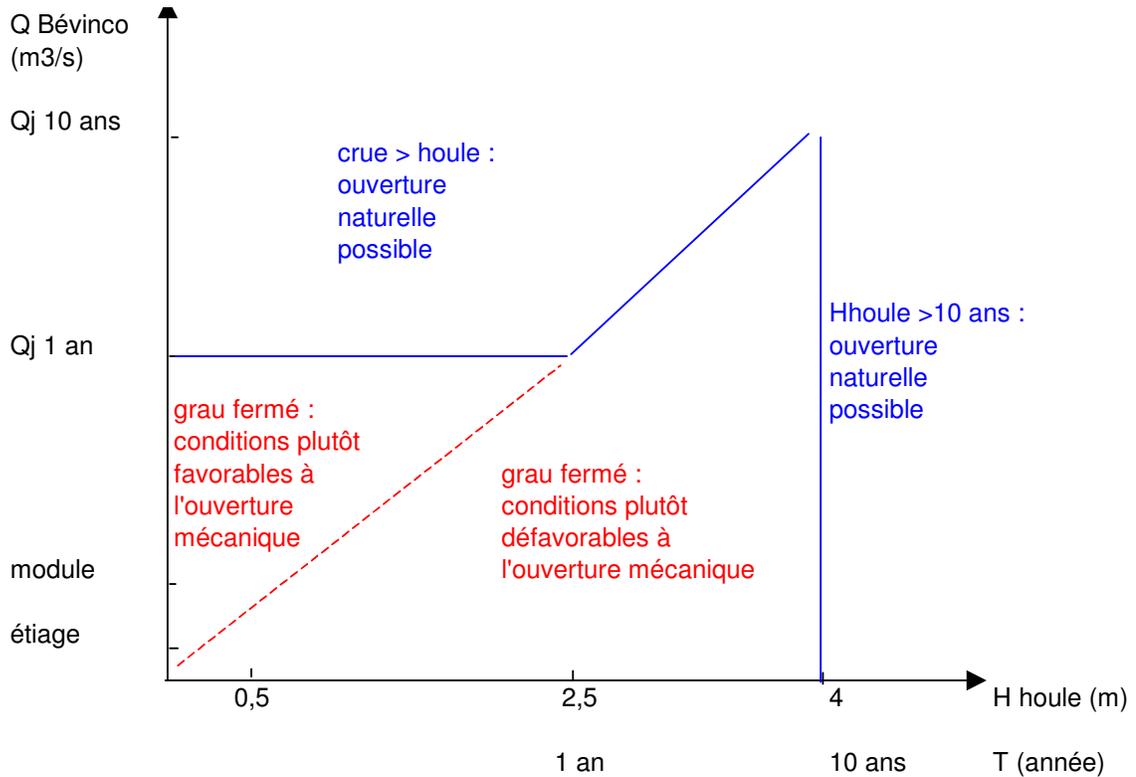
Le grau est a priori **fermé avec des conditions favorables à son ouverture** mécanique, si :

- les apports dans l'étang sont plus importants que la houle (période de retour de la crue supérieure à celle de la houle)

Le grau est a priori **fermé avec des conditions défavorables à son ouverture** mécanique, si :

- la houle est plus importante que les apports dans l'étang (période de retour de la houle supérieure à celle de la crue)

Graphique : consignes de gestion du grau



3.1.4. Outil de gestion du grau

Un outil de gestion du grau est proposé sous la forme de fichier excel, sur la base du graphique précédent, avec une programmation en visual-basic des conditions d'ouverture.

Les seuils actuellement entrés dans le logiciel sont donnés ci après. Ces seuils étant définis de façon empirique, il conviendra de les affiner si besoin en fonction des observations futures. Ils sont modifiables dans le logiciel.

Actuellement les seuils pris en compte sont les suivants.

Houle :

Hauteur significative (m) donnée par Météo France

- début d'action de la houle H₀ = 0.3 m
- houle annuelle H₁ = 2.5 m
- houle décennale H₁₀ = 4 m

Débit :

débit journalier (m³/s) à la station du Bévinco à Olmeta de la DIREN

- crue annuelle : 8 m³/s
- crue décennale : 27 m³/s

Niveau de l'étang :

Niveau d'eau à l'échelle du grau sous le pont mesuré par la Réserve

- niveau haut déclenchant l'ouverture naturelle en cas d'absence de houle : 0.5 m NGF

3.1.5. Conclusions sur l'aménagement et la gestion du grau

Afin de favoriser son ouverture le plus longtemps possible, une amorce de chenal pourrait être mise en place au travers du cordon de haut plage afin de canaliser les écoulements toujours au même endroit et faciliter l'entretien des fonds du grau.

Cet aménagement pourrait limiter l'ensablement du grau mais pas le supprimer. Des opérations d'entretien sont donc nécessaires.

Elles peuvent être optimisées en respectant les consignes de l'outil de gestion proposé dans le cadre de l'étude, et qu'il conviendra d'adapter en fonction des observations de terrain.

Lors des opérations de dragage, les sédiments doivent être déposés en rive nord du grau et régalez sur la partie haute de la plage afin de ne pas être repris par les mers de vent de Nord Est de faible amplitude et au contraire pouvoir être repris pour les coups de mer de Sud Est (de plus forte amplitude en général) qui véhiculeront les sables vers le Nord.

3.2. AMELIORATION DES ECHANGES ET DU RENOUELEMENT DES EAUX

L'amélioration de la qualité de l'eau de l'étang est un enjeu majeur pour le devenir de l'étang.

Cette étude ne traite pas directement de la qualité de l'eau de l'étang, qui n'est pas modélisée, seuls les aspects hydrodynamiques et la salinité ayant été modélisés.

Si l'amélioration de la qualité de l'eau de l'étang, qui passe impérativement par la **réduction des apports polluants dans l'étang**, n'est pas traitée ici, néanmoins l'étude en cours peut permettre d'apporter des réponses concernant l'amélioration du renouvellement des eaux.

3.2.1. Echanges par le grau

Le grau est le principal vecteur des échanges avec la mer permettant un renouvellement des eaux de l'étang minimum indispensable, tout au moins dans la partie nord, puisque environ 5% du volume de l'étang est échangé par le grau s'il est ouvert.

Cependant les apports marins restent principalement dans la zone au nord du Bévinco, du fait des très faibles vitesses dans l'étang.

Dans la partie centrale et sud, les eaux sont renouvelées beaucoup plus lentement sous l'effet de la diffusion, en particulier en cas de vent, et grâce aux apports d'eau douce.

Le grau ayant tendance à se fermer naturellement sous l'effet des apports sédimentaires marins, une intervention mécanique est donc nécessaire selon les modalités préconisées dans les fiches d'actions décrites dans le paragraphe suivant.

L'ouverture du grau s'avère souhaitable ou nécessaire dans les situations suivantes :

- pour permettre l'alevinage
- pour éviter l'eutrophisation en période estivale
- pour éviter une submersion en cas de crue avec houle empêchant l'ouverture naturelle.

3.2.2. Echanges par le bassin versant

Les apports d'eaux douces sont importants pour le renouvellement des eaux de la partie centre et sud de l'étang, surtout en période estivale, favorable à l'eutrophisation.

Dans cet objectif, des aménagements permettant le soutien des débits d'étiage du Bévinco, principal apport du bassin versant, permettent d'améliorer le renouvellement des eaux en été, d'après les simulations réalisées sur modèle.

Rappelons en effet que les simulations réalisées avec un débit d'étiage soutenu du Bévinco (augmenté de 150 l/s par rapport au QMN5), permettent d'augmenter le renouvellement de l'étang au débouché du Bévinco de 30%.

Les débits des stations pompages en période estivale entraînent une re-circulation d'eau favorable à la réduction de l'eutrophisation, cependant le fonctionnement des pompages hors apport pluvieux, est susceptible de provoquer des remontées de biseau salé et d'altérer la qualité des eaux de la nappe.

La remontée du biseau salé pourrait être identifiée par l'installation de piézomètre sur le pourtour de l'étang, entre l'étang et les stations de pompage, avec un suivi de la conductivité pour la salinité, en été.

Si le risque de remontée du biseau salé est alors avéré avec ce suivi, les pompes pourraient être arrêtés en cas d'absence de pluie sur les deux jours précédents par exemple, ou bien les seuils de déclenchement des pompes pourraient être relevés. Cette procédure devrait faire l'objet d'une concertation avec les usagers locaux au regard des autres contraintes du secteur (démoustication, agriculture...).

3.2.3. Echanges par le Fossone

Dans la partie sud de l'étang, le principal facteur de renouvellement des eaux est le Fossone, même si ces apports sont faibles en état actuel, au regard de ce qui transite par le grau ouvert.

D'autre part, l'augmentation des apports par le Fossone peut permettre d'améliorer le renouvellement des eaux de la partie, sans remettre en cause l'équilibre de la salinité de cette zone, puisque le Fossone véhicule des eaux douces dans l'étang, de même nature que la salinité de cette partie d'étang.

Le Fossone apporte ainsi à la partie sud de l'étang des eaux provenant du Golo et des différents fossés qui rejettent dans le Fossone entre le Golo et l'étang. Ces apports sont bénéfiques sur le renouvellement des eaux, mais une surveillance doit être néanmoins réalisée devant les risques d'apports polluants par les complexes pétroliers au sud, et les rejets pluviaux de l'aéroport (qui arrivent dans l'ancien canal de colmatage et non directement dans le Fossone). Ce risque de pollution susceptible de se produire dans certaines conditions hydrométéorologiques est identifié dans les fiches d'actions décrites dans le chapitre suivant.

Les échanges par le Fossone ont été quantifiés en état actuel dans la phase 1 d'étude, pour plusieurs configurations de débits des apports de l'étang et du Golo. Les volumes échangés pour différentes situations météorologiques sont rappelés dans le tableau récapitulatif page suivante.

Il s'agit ici d'estimer les incidences d'aménagement possibles du Fossone ou bien d'évolution du Golo, sur les échanges par le Fossone.

Ces incidences n'ont pas fait l'objet de modélisation, mais sont quantifiées par des calculs sommaires, sachant qu'une modélisation des scénarios en état aménagé pourrait permettre ensuite d'affiner les impacts.

3.2.3.1. Aménagement d'une vanne

La mise en œuvre d'une vanne sur Le Fossone a été envisagée afin de pouvoir limiter les échanges de débit entre l'étang et le Golo.

Le tableau suivant récapitule les échanges par le Fossone et le grau calculés par le modèle en état actuel pour différentes situations hydro-météorologiques.

Tableau : débit maximal échangés par le Fossone et le grau en état actuel

scénario	Débit maximal entrant dans l'étang par le Fossone (m3/s)	Débit maximal sortant de l'étang par le Fossone (m3/s)	Débit maximal entrant dans l'étang par le Grau (m3/s)	Débit maximal sortant de l'étang par le Grau (m3/s)
1. étiage	0.6	0.6	27	17
2. étiage -grau fermé	0.25	0.8	0	0
3. marée faible	0.3	0.4	18	12
4. vent NE	0.15	0.8	28	16
5. vent SE	0.9	0.3	24	19
6. vent SW	0.5	0.6	26	18
7. étiage soutenu	0.6	0.6	27	17
8. débit moyen	0.6	0.5	25	18
9. crue annuelle	1.8	0	20	22

Tableau : volume échangés par le Fossone et le grau en état actuel

scénario	Volume entrant dans l'étang par le Fossone en 24h (m3)	Volume sortant de l'étang par le Fossone en 24h (m3)	Volume entrant dans l'étang par le grau en 24h (m3)	Volume sortant de l'étang par le grau en 24h (m3)
1. étiage	11 000	28 000	538 000	769 000
2. étiage - grau fermé	1 500	48 000	0	0
3. marée faible	7 000	17 000	331 000	459 000
4. vent NE	500	50 000	626 000	689 000
5. vent SE	33 000	5 000	390 000	880 000
6. vent SW	10 000	30 000	530 000	760 000
7. étiage soutenu	10 000	30 000	532 000	773 000
8. débit moyen	14 000	21 000	466 000	836 000
9. crue annuelle	148 000	0	260 000	1 125 000

L'analyse du fonctionnement actuel révèle que les débits et volumes sortants de l'étang par le Fossone sont faibles par rapport aux échanges par le grau, du fait de la perte de charge importante dans le Fossone (due à la longueur importante du Fossone, plus de 4 km, à l'encombrement des berges, et aux dépôts de matériaux dans le canal)

L'aménagement d'une vanne sur le Fossone interdisant les débits sortants, aurait donc peu d'incidence sur le fonctionnement global de l'étang et du grau, en état actuel.

Par contre cet aménagement pourrait être envisagé afin d'éviter les remontées dans l'étang de pollution accidentelle qui pourrait se produire dans le Fossone.

3.2.3.2. Incidence d'une augmentation de niveau d'eau dans le Golo

L'évolution du Golo à son débouché en mer peut avoir des répercussions sur les niveaux d'eau dans le Golo, et donc sur les débits transités via le Fossone, entre l'étang et le Golo.

Cette évolution peut être due à deux phénomènes :

- ensablement du débouché par les apports sédimentaires marins
- évolution géomorphologique à moyen ou long terme

Concernant l'ensablement du débouché par les apports marins, les simulations ont été réalisées dans le cas d'un grau ouvert sur environ 50 m de large. Il est certain que le grau se bouche par les apports marins hors période de crue du Golo. Cependant, les crues du Golo, même faibles, auront tendance à ouvrir le débouché, car le Golo en crue, a des vitesses suffisantes en aval pour évacuer les sédiments (contrairement au grau de l'étang).

Concernant l'évolution géomorphologique du débouché du Golo, la tendance naturelle des cours d'eau à leur exutoire est généralement un exhaussement des fonds par les apports sédimentaires du bassin versant. Cependant concernant le Golo, cette évolution n'est a priori pas décelable aujourd'hui, étant donné l'aménagement d'une retenue réalisée sur le Golo en amont, susceptible de modifier les apports solides et le régime hydrologique.

Une hypothèse de surélévation des niveaux d'eau dans le Golo est néanmoins étudiée pour estimer son impact sur les débits d'échange avec l'étang, via le Fossone.

A titre d'exemple, une surélévation de l'ordre de 10 cm des niveaux d'eau dans le Golo, entraînerait une diminution des débits sortants (étang vers Golo) de moitié (0.3 m³/s au lieu de 0.6 m³/s en étiage), et une augmentation des débits entrants (Golo vers étang) de moitié (0.75 m³/s au lieu de 0.5 m³/s en étiage).

Pour un scénario de débit moyen les tendances sont les mêmes.

Pour un scénario de crue, les débits seraient toujours dans le sens Golo vers étang et augmentés d'un peu plus de 10% (2 m³/s au lieu de 1.8 m³/s).

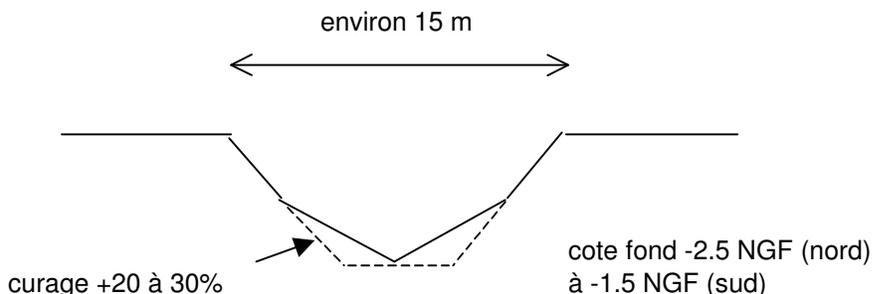
Les conséquences sur l'année d'une augmentation des niveaux dans le Golo, seraient donc une augmentation sensible des débits d'apports dans l'étang par le Golo, ce qui permettrait de favoriser le renouvellement des eaux de la partie sud (sous réserve de la qualité des eaux apportées).

3.2.3.3. Incidence d'un curage et nettoyage du Fossone

Le Fossone présente aujourd'hui une débitance limitée du fait de son encombrement des berges par la végétation, et par des dépôts de sédiments ou de marco-déchets au fond, consécutives aux faibles vitesses.

Un entretien des berges et la suppression des dépôts en fond permettant par exemple de doubler sa débitance permettrait de **doubler les débits d'échanges** dans les deux sens, en supposant que les niveaux d'eau dans l'étang et le Golo restent les mêmes.

Le doublement de la débitance du Fossone pourrait être obtenu par un curage dont le profil type est donné ci après qui permettrait de regagner 20 à 30 % de la section, associé à un nettoyage des berges qui permettrait d'augmenter le coefficient d'écoulement de 50 à 60 %.



Les conséquences d'une amélioration de la débitance du Fossone, seraient une augmentation des débits d'échange dans les deux sens : étang vers Golo et Golo vers étang. Elle entraînerait donc une amélioration du renouvellement des eaux de la partie sud par des eaux plutôt douces (sous réserve de la qualité des eaux apportées). Par contre, l'augmentation des débits d'échanges d'eaux douces par le Fossone, entraînerait une légère diminution des débits d'eau de mer échangés par le grau, et donc une légère dessalure de l'étang. Cette diminution devrait cependant rester faible étant donné la prédominance des échanges par le grau, si le grau est maintenu ouvert.

Ces tendances pourraient être quantifiées plus précisément par modélisation des scénarios d'aménagement, si ces principes d'aménagement s'avèrent retenus.

3.2.4. Nouvelles solutions envisageables

Deux solutions nouvelles sont envisageables pour améliorer le renouvellement des eaux dans l'étang.

3.2.4.1. Nouvelle ouverture avec la mer

La première consisterait à créer une nouvelle ouverture avec la mer (comme cela était a priori le cas par le passé). Cette ouverture serait à envisager plutôt dans la partie nord de l'étang si on veut conserver le gradient de salinité actuel, car elle induirait une augmentation notable de la salinité à proximité du nouveau grau.

Par contre l'amélioration du renouvellement des eaux serait optimum avec une ouverture au sud, qui créerait des courants transversaux dans l'étang, mais qui changerait complètement la salinité et donc les milieux écologiques de la partie sud de l'étang.

Cet aménagement aurait donc un fort impact à la fois sur le fonctionnement hydrodynamique de l'étang et sur l'équilibre actuel de la salinité, qui ne peut être quantifié que par la modélisation des scénarios futurs si ce principe était retenu.

3.2.4.2. Ouverture dans la presqu'île

L'aménagement d'un chenal dans la presqu'île permettrait de limiter l'eutrophisation de la partie sud est de l'étang, la moins bien renouvelée.

Ce chenal, de longueur environ 400 m, permettrait de relier la partie sud enclavée de l'étang à la partie nord. Un ancien chenal existe mais il est alimentée par des buses de faibles dimensions et partiellement obstruées.

Il permettrait de créer une circulation hydrodynamique entre les deux parties de l'étang, favorable au renouvellement des eaux.

Ce chenal, pour avoir une efficacité sur les courants, devrait avoir des dimensions suffisantes à calculer par la modélisation 2d (les pertes de charges sont faibles, et un calcul sommaire ne permettrait pas de rendre compte de la précision des écoulements).

Il faut noter cependant que la création d'un chenal dans la presqu'île entraînerait une salinisation, même faible, de la partie sud est de l'étang (zone de roselière actuellement qui pourrait être affectée par une arrivée supérieure d'eau salée).

L'impact d'un tel aménagement ne peut être quantifié qu'avec la modélisation des scénarios d'aménagement futur.

3.3. OUTIL DE GESTION DE L'ETANG

Deux outils de gestion sont proposés :

- un premier outil pour améliorer la gestion du grau
- un deuxième outil permettant de représenter le fonctionnement hydrodynamique de l'étang.

Le premier outil, sans lien direct avec la modélisation hydrodynamique de l'étang, puisque faisant intervenir la sédimentation du grau par les apports marins, est présenté dans le chapitre lié au fonctionnement hydro-sédimentaire du grau.

Le deuxième outil proposé consiste à constituer une base de données accessible à tous, représentant le fonctionnement de l'étang du point de vue hydrodynamique et de la salinité, à partir des résultats de la modélisation, pour les différentes situations hydro-météorologiques types.

L'analyse du fonctionnement pour les situations hydro-météo types permet ensuite d'identifier des actions à mener pour améliorer si besoin le fonctionnement de l'étang.

Afin de définir cet outil de gestion, il convient donc au préalable d'identifier les paramètres physiques principaux et leurs effets sur l'étang.

A partir de cette analyse, des actions de gestion peuvent être définies en fonctions des principaux enjeux définis dans le cadre du SAGE.

3.3.1. Paramètres physiques

Les principaux paramètres physiques ayant une action sur l'étang sont :

- la marée
- les débits
- les vents

La houle n'a pas d'action directe sur l'étang, par contre en favorisant la fermeture du grau elle a une action indirecte sur le fonctionnement de l'étang.

En utilisant les résultats de la modélisation, on peut identifier les effets de ces différents paramètres sur le fonctionnement de l'étang, qui peut être décrit par :

- les niveaux d'eau dans l'étang
- les débits d'échange par le grau et le Fossonne
- les vitesses dans le grau et dans l'étang
- les salinités de l'étang
- les taux de renouvellement des eaux.

Les tableaux suivants donnent les effets des différents scénarios hydro-météo sur le fonctionnement de l'étang représenté par ses niveaux d'eau, les débits échangés, les vitesses dans l'étang, la salinité et le renouvellement des eaux de l'étang.

Tableau : synthèse des paramètres physiques et leur effet sur l'étang (par rapport à une situation de marée moyenne et de débit d'étiage)

scénario	Effet sur Niveau d'eau	Effet sur débit d'échange par grau	Effet sur débit d'échange par Fossone	Effet sur vitesses dans l'étang	Effet sur vitesse dans le grau	Effet sur vitesse dans le Fossone	Effet sur salinité	Effet sur renouvellement des eaux
Fermeture du grau	↗ (risque submersion)	↘ (suppression des entrées marines)	↗ Q sortant étang vers Golo Q entrant Golo vers étang nul	↘ risque eutrophisation	↘	↗ V étang vers Golo	↘ dans chenal	Risque eutrophisation
Marée faible	↘	↘ (diminution des entrées marines)	↘ des débits dans les 2 sens	↘ risque eutrophisation	↘ risque fermeture	↘	↘ dans chenal	Risque eutrophisation
Vent de NE	↗ au sud	↗ Q entrant ↘ Q sortant (augmentation des entrées marines)	↗ Q sortant étang vers Golo Q entrant nul	↗	=	↗ V étang vers Golo	↗ dans chenal + nord étang	↗ nord étang
Vent de SE	↘ au sud	↘ Q entrant ↗ Q sortant (diminution entrées marines)	↗ Q entrant Golo vers étang Q sortant nul	↗	↘ V entrant	↗ V Golo vers étang (risque de remontée pollution)	↘ dans chenal	↘ nord étang
Vent de SW	=	=	=	↗	=		=	=

scénario	Effet sur Niveau d'eau	Effet sur débit d'échange par grau	Effet sur débit d'échange par Fossone	Effet sur vitesses dans l'étang	Effet sur vitesse dans le grau	Effet sur vitesse dans le Fossone	Effet sur salinité	Effet sur renouvellement des eaux
Etiage soutenu Bévinco	=	↘ Q entrant ↗ Q sortant (diminution entrées marines)	↗ Q sortant ↘ Q entrant	=	=	↗ V étang vers Golo ↘ V Golo vers étang	=	↗ nord étang
Débit moyen (du bassin versant de l'étang et du Golo)	↗	↘ Q entrant ↗ Q sortant (diminution entrées marines)	↘ Q sortant ↗ Q entrant	↗	↗ V sortant ↘ V entrant	↘ V sortant ↗ V Golo vers étang	↘ chenal nord étang +	↗ nord étang centre et sud
Débit fort (crue annuelle du bassin versant de l'étang et du Golo)	↗ (risque submersion)	↘ Q entrant ↗ Q sortant (forte diminution des entrées marines)	↗ Q entrant Golo vers étang Q sortant nul	↗	↗ V sortant ↘ V entrant	↗ V Golo vers étang (fort risque remontée pollution)	↘ chenal nord étang +	↗ nord étang centre et sud

En résumé, on peut synthétiser l'effet sur l'étang des 3 paramètres principaux, marée, vent, débit, dans le tableau suivant.

Tableau : effet des paramètres physiques sur l'étang

paramètre	scénario	effet sur l'étang
la marée	diminution du marnage	risque d'eutrophisation diminution de la salinité diminution du renouvellement augmentation du risque de fermeture du grau
le vent	Nord Est	augmentation des entrées marines augmentation de la salinité augmentation du renouvellement
	Sud Est	augmentation du débit du Fossone vers Golo diminution des entrées marines diminution de la salinité diminution du renouvellement augmentation du débit du Fossone du Golo vers l'étang risque de remontée de pollution par le Fossone
Le débit	augmentation Bévinco + Golo	diminution des entrées marines Diminution de la salinité augmentation du renouvellement augmentation du débit du Fossone du Golo vers étang risque de remontée de pollution par le Fossone ouverture du grau (sans houle) risque de submersion (avec houle)

3.3.2. Actions de gestion

Las actions de gestion de l'étang sont définies par rapport aux enjeux définis dans le rapport de diagnostic du SAGE.

Les principaux enjeux identifiés sont :

- 1. Le maintien de l'ouverture du grau
- 2. l'amélioration de la qualité de l'eau de l'étang et la lutte contre la pollution
- 3. la maîtrise de la salinité
- 4. la diminution des submersions des terres en crue
- 5. la préservation de la qualité des eaux de la nappe

Les différentes actions possibles sont identifiées pour chaque enjeu.

Les fiches d'action et de gestion sont données en annexe permettant d'identifier les actions locales à engager (hors aménagements globaux à l'échelle du bassin versant ou mesures structurelles définies ci avant), à partir de la surveillance de paramètres hydro-météorologiques.

Enjeu n°1 : maintien de l'ouverture du grau

L'ouverture du grau est nécessaire à la fois pour maintenir des conditions naturelles d'alevinage de l'étang, et pour assurer un échange avec la mer, lorsque la situation hydrodynamique le nécessite, le grau étant le principal vecteur de renouvellement.

La seule action possible pour maintenir une ouverture lorsque la situation le nécessite est une intervention mécanique, comme cela se passe actuellement, rendue nécessaire par le transport sédimentaire littoral non maîtrisable.

Enjeu n°2 : amélioration de la qualité de l'eau de l'étang et la lutte contre la pollution

C'est un enjeu prioritaire du SAGE. Plusieurs actions sont envisageables pour l'atteindre :

- réduction des apports polluants (action à l'échelle globale de bassin versant)
- amélioration des échanges avec le bassin versant (action à l'échelle globale de bassin versant : soutien étiage du Bévinco)
- amélioration des échanges avec le Fossone (mesures structurelles : curage et entretien)
- amélioration des échanges avec la mer (ouverture mécanique du grau)
- surveillances des risques de pollution (action de surveillance locale)

Certaines actions relèvent d'aménagements globaux à l'échelle du bassin versant ou de mesures structurelles à réaliser en préalable (soutien d'étiage, réduction des apports polluants, amélioration des échanges avec le Fossone...) et ont été abordées au chapitre précédent.

Les autres actions locales pouvant être gérées en temps réel font l'objet de fiche descriptive (ouverture mécanique du grau, surveillance des pollutions par le Fossone).

Concernant l'amélioration des échanges avec la mer, il s'agit de préconiser l'ouverture du grau, en cas de risque d'eutrophisation.

Concernant la surveillance des risques de pollution, il s'agit d'identifier les situations hydrologiques pénalisantes par rapport aux risques de remontée de pollution par le Fossone en particulier.

Enjeu n°3 : maîtrise de la salinité

Dans le rapport de diagnostic du SAGE il est spécifié que des gradients de salinité dans l'espace et dans le temps sont souhaitables par rapport à la diversité écologique de l'étang.

Le gradient dans l'espace existe à l'heure actuelle, avec deux zones :

- une zone du nord du Bévinco, jusqu'à la mer, de salinité élevée en cas d'apport marin mais pouvant varier rapidement dans le temps en cas d'apport pluvieux par le Bévinco ou de fermeture du grau,
- une zone centre et sud de l'étang avec une salinité beaucoup plus faible, et variant lentement dans le temps, favorable au maintien des roselières.

Mais l'existence de ces deux zones est conditionnée par l'ouverture du grau.

Le gradient dans le temps est de la même façon important dans le chenal du grau et la partie de l'étang au nord du Bévinco (de l'ordre de la marée ou de la journée), sous réserve bien sûr que le grau soit ouvert.

Par contre dans tout le reste de l'étang, c'est-à-dire la plus grande partie, les gradients dans le temps sont très faibles (de l'ordre de plusieurs semaines ou mois), puisque les vitesses dans l'étang sont très faibles, et que la salinité évolue dans cette partie sous l'effet lente de la diffusion. Par exemple, après une période sans pluie la salinité de la partie sud de l'étang augmente légèrement en fin de saison estivale.

Enjeu n°4 : diminution des submersions en crue

Un risque de submersion est possible en cas de crue moyenne à forte du bassin versant, si le grau est fermé.

Une crue annuelle du bassin versant est susceptible de provoquer naturellement l'ouverture du grau, sauf en cas de houle ramenant les matériaux sableux au nord.

Une surveillance de l'état du grau est donc nécessaire en prévision des crues qui peut être anticipée par les prévisions météo et la surveillance des débits du Bévinco (station DIREN).

Enjeu n°5 : préservation de la qualité des eaux de la nappe

Une partie des débits pompés semble provenir de la nappe en été (sur certaines périodes estivales, il n'y a pas de pluie identifiée à la station météo de Bastia, par contre on note des fonctionnements des pompes).

Pour quantifier précisément cette part, qui reste quand même faible au regard des volumes annuels, il faudrait disposer de piézomètres entre les stations de pompages et l'étang, et faire des mesures de niveaux et de salinité en plusieurs profondeurs en été.

Cette situation est susceptible de favoriser une remontée du biseau salé en été, et il est alors préférable d'arrêter les pompages en dehors des périodes pluvieuses, ou de remonter les niveaux de déclenchement des pompes.

Le tableau suivant résume ainsi les actions à engager en fonction des enjeux.

Tableau : synthèse des actions

enjeux	Action
1. Maintien de l'ouverture du grau (alevinage, renouvellement, salinité)	ouverture mécanique du grau
2. Amélioration de la qualité de l'eau	réduction des apports polluants soutien d'étiage du Bévinco nettoyage, curage du Fossone ouverture mécanique du grau surveillance des remontées de pollution par le Fossone
3. Maitrise de la salinité (gradient temps et espace)	ouverture mécanique du grau
4. Diminution des risques de submersion	surveillance et ouverture du grau en cas de montée des niveaux et conditions défavorables à son maintien (houle)
5. Préservation de la qualité des eaux de la nappe (remontée biseau salé)	Mise en place de piézo entre l'étang et les stations de pompage et suivi du biseau salé surveillance et arrêt des pompages en été, sans pluie les jours précédents

ANNEXES

ANNEXE : Fiches d'action et de gestion

action	ouverture mécanique du grau
objectifs	maintenir les échanges avec la mer pour : - l'alevinage - assurer le renouvellement des eaux - assurer le gradient de salinité (+ fort au nord)
quand la réaliser?	période d'alevinage (février-avril) en cas d'eutrophisation (été) dessalure au nord préjudiciable sur les milieux biologiques en cas de crue débordante (automne)
paramètres à surveiller	niveau de l'étang (échelles réserve) houle en mer (Météo France) débit Bévinco (station DIREN) mesures salinité (réserve) qualité des eaux (apparition d'algues)
seuils approximatifs de mise en vigilance	Risque fermeture du grau par la houle : $H_s > 0.3$ m (cf outil de gestion) Risque submersion : niveaux eau échelles > 0.3 m NGF (début de vigilance) 0.5 m NGF (risque identifié) risque eutrophisation : débit Bévinco < 0.1 m ³ /s (débit étiage) Risque crue : débit journalier Bévinco > 8 m ³ /s (débit journalier de crue annuelle) Risque dessalure (hors crue Bévinco) : salinité au nord < 20 g/l (à valider par enjeux biologiques)
moyen de prévisions	houle en mer (Météo France) débit Bévinco (station DIREN)
comment la réaliser?	engin mécanique dépôts étalés sur la partie haute de la plage côté nord cf préconisations dans rapport
contraintes, effets négatifs, mesures compensatoires	risque de fermeture immédiate en cas de houle faible à moyenne ($H_s > 0.3-0.5$ m et débit faible < 8 m ³ /s) (pour le détail se référer à l'outil de gestion du grau)

action	surveillance des remontées de pollution accidentelle par le Fossone
objectifs	améliorer la qualité de l'eau de l'étang éviter les rejets polluants accidentels dans l'étang
quand la réaliser?	- en cas de risques de pollution par zones pétrolières au sud : période de vent du sud période de crue du Golo - en cas de risque pollution pluviale par zone aéroport dans canal de colmatage : pluie sur secteur aéroport
paramètres à surveiller	débit du Golo (station DIREN) vent (station Météo France de Bastia-Poretta) pluie (station Météo France de Bastia-Poretta)
seuils approximatifs de mise en vigilance	débit Golo > 50 m ³ /s (crue du Golo) vent du sud ou sud est > 8 m/s pluie > Pj annuelle (ruissellement pluvial aéroport)
moyen de prévisions	prévisions de vent (Météo France) prévisions de pluie (Météo France) débit Golo (station DIREN)
comment la réaliser?	- mise en place de barrages flottants sur le Fossone à proximité immédiate du rejet polluant - aménagement d'une vanne sur le Fossone
contraintes, effets négatifs, mesures compensatoires	rapidité d'intervention (temps de propagation rapide pour arriver à l'étang)

action	gestion des stations de pompage
objectifs	préserver la qualité des eaux de la nappe
quand la réaliser?	éviter la remontée du biseau salé en été par pompage en temps sec Vérifier la position du biseau et de la nappe par installation de piézo et mesures de conductivité entre l'étang et les stations de pompage
paramètres à surveiller	débit des pompages (SDACO) pluie sur le bassin versant (station Météo France de Bastia) Piézomètres et mesures de conductivité à suivre entre l'étang et les stations de pompage
seuils approximatifs de mise en vigilance	pluie nulle sur plusieurs jours précédents (> 2 jours)
moyen de prévisions	prévisions de pluie (Météo France)
comment la réaliser?	arrêt des pompages ou seuil de déclenchement supérieur
contraintes, effets négatifs, mesures compensatoires	- démoustication - usages agricoles

