

# Mise en place d'un protocole expérimental de gestion des niveaux d'eau du lac de Grand-Lieu

*Mission B – version 4*

Juillet 2014



# Mise en place d'un protocole expérimental de gestion des niveaux d'eau du lac de Grand-Lieu

## *Mission B – version 4*

**Juillet 2014**

Version	Date	Nom et signature du (des) rédacteur(s)	Nom et signature du vérificateur
1	20/01/2014	Corinne BIDAULT	Danielle LEVET
2	05/03/2014	Corinne BIDAULT	Danielle LEVET
3	15/05/2014	Corinne BIDAULT	Danielle LEVET
4	31/07/2014	Corinne BIDAULT	Danielle LEVET

# Sommaire

<b>1. PREAMBULE .....</b>	<b>6</b>
<b>2. RAPPEL DU CONTEXTE .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Grand-Lieu, un site complexe.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. ... Et propice aux antagonismes .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Histoire hydraulique et situation actuelle .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4. Les constats.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5. Les grandes questions.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6. Les enjeux .....</b>	<b>11</b>
2.6.1. Les enjeux écologiques .....	11
2.6.2. Les enjeux socio-économiques.....	12
2.6.3. Conclusion.....	12
<b>3. RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE .....</b>	<b>13</b>
<b>4. LES DONNEES EXISTANTES SUR LE SITE DE GRAND-LIEU.....</b>	<b>14</b>
4.1. Paramètre, variable, indicateur... quel vocabulaire ?.....	14
4.2. Les thématiques.....	14
4.3. De nombreuses données disponibles .....	16
<b>5. UNE PREMIERE ET LONGUE LISTE D'INDICATEURS POTENTIELS .....</b>	<b>20</b>
5.1. Qu'attend t-on des indicateurs ?.....	20
5.2. Des indicateurs de nature et de types différents .....	20
5.3. Les difficultés et contraintes - La notion de pertinence des indicateurs .....	20
5.4. Une liste d'indicateurs potentiels .....	21
5.4.1. Qualité de l'eau .....	22
5.4.2. Dynamique sédimentaire .....	23
5.4.3. Flore et groupements végétaux.....	24
5.4.4. Oiseaux .....	26
5.4.5. Poissons .....	27
5.4.6. Autres groupes faunistiques .....	28
5.4.7. Espèces invasives .....	28
5.4.8. Usages agricoles .....	29
5.4.9. Pêche professionnelle .....	29
5.4.10. Chasse .....	30
<b>6. LES AIDES A LA DECISION POUR LE CHOIX D'INDICATEURS .....</b>	<b>31</b>

<b>6.1. L'avis du Conseil Scientifique</b> .....	<b>31</b>
6.1.1. Mode de concertation .....	31
6.1.2. Les résultats de la notation .....	31
6.1.3. Discussion et commentaires .....	34
6.1.4. Les nouveaux indicateurs proposés par le Conseil Scientifique .....	35
<b>6.2. Données bibliographiques</b> .....	<b>36</b>
<b>6.3. Retours d'expérience</b> .....	<b>37</b>
6.3.1. Rétablissement d'un marnage dans le lac d'Annecy .....	37
6.3.1.1. Le contexte hydraulique .....	37
6.3.1.2. Les indicateurs choisis .....	37
6.3.1.3. Les résultats (envisagés...).....	38
6.3.2. Lac du Bourget .....	38
6.3.2.1. Le contexte hydraulique.....	38
6.3.2.2. Les éléments suivis et les observations .....	39
6.3.3. Lac de Neufchâtel .....	39
6.3.3.1. Le contexte hydraulique.....	39
6.3.3.2. Les éléments suivis et les observations .....	39
6.3.4. PNR de Brière .....	40
6.3.5. Réserve Naturelle Nationale du Maraix d'Orx .....	40
6.3.5.1. Le contexte hydraulique.....	40
6.3.5.2. Les éléments suivis et les observations .....	40
6.3.6. Lacs de Carcans-Hourtin et lac de Lacanau .....	41
6.3.6.1. Le contexte hydraulique.....	41
6.3.6.2. Les éléments suivis et les observations .....	41
6.3.7. Etang de La Pouge (Haute-Vienne) .....	41
6.3.7.1. Le contexte hydraulique.....	41
6.3.7.2. Les éléments suivis et les observations .....	42
6.3.8. Marais d'Isle de Saint-Quentin (Aisne) .....	42
6.3.8.1. Le contexte hydraulique.....	42
6.3.8.2. Les éléments suivis et les observations .....	43
6.3.9. Réserve Naturelle Nationale de Saint-Quentin-en-Yvelines.....	43
<b>6.4. Conclusion – éléments de réflexion par thématique</b> .....	<b>44</b>
6.4.1. Qualité de l'eau et dynamique sédimentaire.....	44
6.4.2. Flore et groupements végétaux.....	44
6.4.2.1. Roselières et grands hélrophytes.....	45
6.4.2.2. Macrophytes flottants .....	45
6.4.2.3. Boisements.....	45
6.4.2.4. Flore des prairies humides.....	45
6.4.2.5. Suivi global de la végétation.....	46
6.4.3. Oiseaux .....	47
6.4.4. Poissons .....	47
6.4.5. Autres groupes faunistiques .....	48
6.4.6. Espèces invasives .....	48
<b>7. PROPOSITION D'INDICATEURS</b> .....	<b>50</b>

<b>7.1. Les critères de choix .....</b>	<b>50</b>
<b>7.2. La démarche globale de constitution d'un programme de suivi .....</b>	<b>50</b>
<b>7.3. Indicateurs proposés.....</b>	<b>51</b>
7.3.1. Indicateur Qualité de l'eau du lac-eutrophisation .....	51
7.3.2. Indicateur Entrées et sorties de nutriments .....	52
7.3.3. Indicateurs concernant la dynamique sédimentaire.....	52
7.3.4. Indicateurs de la flore et des groupements végétaux .....	53
7.3.5. Indicateurs Oiseaux .....	54
7.3.6. Indicateurs concernant les poissons.....	55
7.3.7. Indicateurs sur les espèces invasives .....	56
7.3.8. Indicateurs socio-économiques .....	56
<b>7.4. Récapitulatif et classement des indicateurs.....</b>	<b>58</b>
<b>8. HIERARCHISATION DES INDICATEURS.....</b>	<b>59</b>
8.1. Rappel du principe.....	59
8.2. Critères proposés .....	59
8.3. Arbre décisionnel .....	60
8.4. Pondérations utilisées pour le calcul .....	61
8.5. Résultats des classements.....	62
8.5.1. Classement par proposition .....	62
8.5.2. Classement général.....	62
<b>9. LE PROTOCOLE DE SUIVI.....</b>	<b>65</b>

## 1. PREAMBULE

---

La DREAL des Pays-de-la-Loire, en groupement avec le Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire, a confié au groupement ISL / AQUASCOP une étude comportant 2 volets, dont les objectifs sont les suivants :

- Proposer et expérimenter de nouvelles modalités de gestion des niveaux d'eau du lac de Grand Lieu : le protocole proposé doit être borné dans le temps (mission A) ;
- Mettre en place un protocole de suivi et d'évaluation de ces modalités expérimentales de gestion des niveaux (mission B) ; c'est-à-dire évaluer les impacts sur le lac de ce nouveau protocole de gestion hydraulique ;
- Elaborer un règlement d'eau du vannage de Buzay (mission A).

La réalisation de la prestation est placée sous la maîtrise d'ouvrage de la DREAL des Pays-de-la-Loire, service *Ressources naturelles et paysages*.

Un comité technique de suivi (COTEC) a été mis en place pour suivre le déroulement de l'étude. Il est composé :

- de représentants de Services de l'Etat : DREAL Pays-de-la-Loire et DDTM 44,
- de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne,
- du Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL),
- des gestionnaires de la Réserve Naturelle Nationale de Grand-Lieu (SNPN) et de la Réserve Naturelle Régionale,
- du Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire (SAH),
- du Syndicat des agriculteurs de Grand-Lieu,
- des animateurs des SAGE du bassin versant de Grand-Lieu et de l'estuaire de la Loire,
- d'un membre du Conseil Scientifique,
- de la société coopérative des pêcheurs de Grand-Lieu,
- de la fédération de pêche de Loire-Atlantique
- de la fédération de chasse de Loire-Atlantique.

## 2. RAPPEL DU CONTEXTE

---

### 2.1. GRAND-LIEU, UN SITE COMPLEXE...

Le lac de Grand-Lieu, situé à 14 km au Sud-ouest de Nantes en Loire-Atlantique, s'insère dans un vaste complexe de zones humides, entre l'estuaire de la Loire, le marais Breton, la Brière, l'Erdre et le marais de Goulaine.

Le lac est alimenté principalement par l'Ognon et la Boulogne, et le bassin versant de ces 2 tributaires couvre une superficie de 830 km<sup>2</sup>, lac compris, répartie sur 42 communes. Le lac a pour exutoire l'Acheneau, qui rejoint ensuite la Loire.

La superficie du lac est très variable en fonction des conditions hydrologiques, la surface en eau, restreinte à environ 2 500 ha en été, pouvant atteindre 6 300 ha en hiver.

Le site de Grand-Lieu ne se cantonne pas à une cuvette lacustre, mais intègre une multitude de milieux naturels diversifiés qui déterminent sa richesse biologique, ainsi que son intérêt écologique, patrimonial et scientifique. Parmi ces milieux, les ceintures de végétation, généralement agencées, comme leur nom l'indique, de manière concentrique autour de l'eau libre, sont parmi les plus remarquables.

Les grands types de milieux et d'habitats présents à Grand-Lieu sont donc les suivants :

- **l'eau libre**, à l'Est du lac, qui couvre une surface d'environ 650 ha, et qui constitue la zone la plus profonde du site (2,5 à 3,5 m en hiver) ;
- **les herbiers à macrophytes flottants** : ils se développent plutôt à l'Ouest, et couvrent une superficie d'environ 1 600 ha ; on distingue les herbiers à châtaigne d'eau (*Trapa Natans*), à limnanthème jaune (*Nymphoïdes peltata*), à nénuphars, blanc (*Nymphaea alba*) ou jaune (*Nuphar lutea*) ;
- **des herbiers de grands héliophytes (qui ont quasiment disparu)** : *Typha sp.* et *Scirpus lacustris* ;

Ces deux milieux forment un ensemble de 2 250 ha en eau toute l'année.

- **les roselières boisées** : elles couvrent une superficie d'environ 1 650 ha ; elles entourent la zone centrale en eau, surtout à l'Ouest du site ; la encore, cette entité recouvre plusieurs typologies de milieux : phragmitaie, saulaie, et aulnaie plus ou moins imbriquées (*Phragmites australis*, *Alnus glutinosa*, *Salix sp.*) ;
- enfin, **les prairies humides** couvrent, en périphérie du site, une superficie d'environ 2 400 ha ; ces prairies, dont les périodes et durées d'immersion dépendent directement des niveaux d'eau, peuvent être pâturées et fauchées.

La variété et la nature de ces milieux déterminent la présence d'une faune et d'une flore riches et diversifiées, avec la présence d'espèces végétales et animales parfois remarquables ; les peuplements et groupements floristiques, ainsi que les oiseaux, sont symptomatiques de cette richesse biologique, et constituent, historiquement et assez logiquement, les groupes les plus étudiés et les mieux connus ; même si, au fil des années, les différents inventaires ont été étendus à l'ensemble des groupes faunistiques et floristiques présents à Grand-Lieu. Avec, depuis plusieurs années, non plus le seul objectif de la connaissance en tant que telle, mais le souci qu'elle serve la conservation du site.

En effet, la richesse de sa faune et de sa flore font de Grand-Lieu un site majeur qui fait l'objet, à juste titre, de multiples classements ou protections : Natura 2000, ZNIEFF de type 1, Site Inscrit, Site Classé, Zone de Protection Spéciale, Directive Habitats, réserve de chasse, Site Ramsar, Réserve Naturelle Nationale, Réserve Naturelle Régionale, application de la Loi Littoral...

Le site de Grand-Lieu, son statut et ses usages résultent aussi d'un historique complexe : sans rentrer dans le détail de cette histoire somme toute relativement récente, il est utile, pour la compréhension d'un certain nombre de faits, de rappeler, dans les grandes lignes, quelques étapes :

- 1947 : création de la SCI (Société Civile Immobilière) du Domaine de Grand-Lieu, qui achète 2700 ha sur la partie centrale du lac ; l'objectif était d'installer des cultures horticoles ;
- Dans les années 50, l'échec de la vocation horticole entraîne la vente des parts à Jean-Pierre GUERLAIN (le grand parfumeur) qui devient donc l'actionnaire majoritaire de la SCI ; la vocation du site devient alors cynégétique, avec une pratique réservée à J-P GUERLAIN et sa famille.
- 1977 : J-P GUERLAIN fait donation à l'Etat de plus de 56 % de ses parts ; cette donation est assortie de plusieurs conditions :
  - o Maintien de l'activité chasse pour J-P GUERLAIN et son épouse, et ce ad vitam ;
  - o Classement des terrains en Réserve Naturelle Nationale (RNN) ;
  - o Gestion confiée à la SNPN (Société Nationale de Protection de la Nature) ;
  - o Maintien du droit de pêche au profit de la Société Coopérative des pêcheurs du Lac de Grand-Lieu ;
- 1979 puis 1980, donation complémentaire par J-P GUERLAIN à l'Etat de 1672 puis 7 autres parts ; l'Etat devient ainsi propriétaire de 98,4 % des parts sociales de la SCI ;

- 1980 : création de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) ;
- 1984 : gestion effective de la RNN par la SNPN ;
- 2008 : classement de 650 ha de marais en Réserve Naturelle Régionale (RNR) ; sa gestion est assurée par la fondation pour la protection des habitats et de la faune sauvage. C'est la fédération de chasse de Loire-Atlantique qui, par délégation de compétence, en assure l'entretien.

Enfin, le Syndicat de Bassin Versant de Grand-Lieu (SBVGL) est chargé de l'entretien d'une partie du réseau de douves et des cours d'eau qui aboutissent au lac de Grand-Lieu.

De nombreux autres acteurs interviennent dans la gestion et/ou l'entretien et/ou la connaissance/protection d'une partie du site de Grand-Lieu :

- Société du canal du Buzay : regroupement de propriétaires fonciers ; en charge de l'entretien de marais situés autour du lac et non entretenus par le SBVGL ;
- Syndicat d'Aménagement Hydraulique du Sud Loire (SAH) et Compagnie d'Exploitation des Ports (CEP) : assurent la gestion des niveaux d'eau (voir paragraphe 2.3) ;
- ADASEA : Association départementale pour l'Aménagement des Structures d'exploitation Agricole : structure dépendante de la chambre d'agriculture et missionnée pour élaborer le document d'Objectifs Natura 2000 ;
- AAPPMA « le Martin pêcheur philibertin » ;
- Plusieurs associations de protection du lac et/ou de protection de l'environnement : « Association de sauvegarde des marais », « Les amis du lac et marais », la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO)...

Aujourd'hui, le site de Grand-Lieu est morcelé en terme de propriétaires, de gestionnaires et de statuts. Il est le siège d'activités ou d'usages socio-économiques : l'agriculture tout d'abord, notamment sur les alentours du lac, les prairies riveraines, avec la pratique de la fauche et du pâturage, mais aussi la pêche professionnelle et la chasse.

Cet espace, vaste et complexe à plus d'un titre, présente ainsi de multiples intérêts et enjeux sur les plans écologique, esthétique, paysager et socio-économique.

## 2.2. ... ET PROPICE AUX ANTAGONISMES

Il ressort du paragraphe précédent que différents enjeux écologiques, déjà en interaction, coexistent ou doivent co-exister avec des activités et usages socio-économiques. Alors que, déjà, les espèces de la faune et de la flore n'ont pas toutes les mêmes besoins, les mêmes exigences pour se développer et perdurer, voire ont des besoins contradictoires ou antagonistes.

Le déterminisme de la faune et de la flore présentes à Grand-Lieu, et plus largement le déterminisme de l'écosystème Grand-Lieu, résulte en effet de la combinaison d'un ensemble de facteurs, naturels ou non, et plus ou moins maîtrisables.

Le relief, la nature des sols, le climat, l'hydrologie... sont un premier jeu, prépondérant, de facteurs naturels et donc « imposés » au site de Grand-Lieu.

La qualité des eaux des tributaires est un autre élément déterminant, l'un des plus importants sans doute avec la dynamique sédimentaire, sur lequel l'Homme « a la main », mais qui s'impose aux gestionnaires et/ou aux utilisateurs du site de Grand-Lieu, et sur lequel ils n'ont éventuellement qu'un poids contestataire.

L'hydrologie naturelle du site a, au fil des années, des travaux et des aménagements, quasiment laissé la place à des modalités d'apports artificielles, puis à une gestion hydraulique artificielle, même si cette dernière doit parfois prendre en compte les « excès » de la première et s'y adapter...

Le facteur « niveau d'eau » est, tout comme les autres facteurs précédemment identifiés, déterminant sur le plan écologique ; mais pas seulement : l'activité agricole, mais aussi la pêche professionnelle et la chasse ont chacune leurs contraintes en terme de niveaux d'eau, avec des exigences parfois différentes ou opposées, entre elles, ou avec celles de l'écosystème ; ces besoins pouvant d'ailleurs être incompatibles.

Et de l'incompatibilité au conflit, il n'y a qu'un pas... les niveaux d'eau, et a fortiori la gestion des niveaux d'eau, sont donc, depuis longtemps maintenant, au cœur de toutes les discussions relatives à Grand-Lieu et en font un site propice aux conflits d'usages, où le consensus reste à trouver.

Le rappel de l'histoire hydraulique de Grand-Lieu est intéressante, non seulement parce qu'elle a déterminé progressivement la situation actuelle de l'écosystème, et l'explique, mais aussi parce qu'elle justifie, quasiment à elle seule, de se poser de nouvelles questions.

### 2.3. HISTOIRE HYDRAULIQUE ET SITUATION ACTUELLE

Depuis plus de 2 siècles, le fonctionnement hydraulique du lac de Grand-lieu a été fortement modifié par de nombreux aménagements, qui eux même ont permis d'instaurer des modalités de gestion hydraulique, celles-ci ayant évolué au fil du temps en fonction des besoins, des attentes, des contraintes, des enjeux et des conflits...

Les principaux aménagements réalisés sont rappelés ci-dessous :

- creusement du canal du Buzay à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, avec construction du vannage éponyme ; l'objectif était de stopper les remontées du front de marée vers le lac ;
- construction, en 1840, de la digue reliant les villages de Bouaye et de Saint-Mars-de-Coutais (actuelle RD 264) : le lac perd une partie de sa superficie et son troisième affluent, le Tenu, qui rejoint alors directement l'Acheneau, en aval du lac. A cette période également, le canal de l'Etier est creusé afin de concentrer les flux sortants sous le pont de Bouaye ;
- suppression des seuils rocheux situés sous l'Acheneau, entre 1954 et 1962 ; et construction du vannage de Bouaye ; ces travaux signent le début de l'artificialisation du fonctionnement hydraulique du lac en permettant notamment la maîtrise des niveaux ;
- creusement du canal Guerlain en 1962, qui devient alors le principal exutoire du lac, au détriment du canal de l'Etier ;
- de 1984 à 1986, la société du canal de Buzay rectifie et agrandit la douve de ceinture du lac, ce qui accélère l'écoulement des prairies humides du Sud-Ouest.

La gestion des niveaux d'eau du lac de Grand-Lieu est donc artificielle depuis le début des années 60. Cette gestion est régie par la réglementation, et notamment par un arrêté préfectoral, qui définit actuellement 3 périodes sur le cours de l'année, chaque période étant affectée d'un niveau d'eau à respecter au barrage de Bouaye. Il s'agit là d'une gestion expérimentale qui a été mise en place en 2002 et qui est encore d'actualité. C'est le Syndicat d'Aménagement Hydraulique (SAH) qui gère les cotes du lac et applique la réglementation.

Rappelons cependant que les premières prescriptions de gestion hydraulique du lac datent d'un arrêté de 1996.

Dans les grandes lignes, l'hydrologie artificielle actuelle du lac de Grand lieu se caractérise par :

- une baisse des niveaux au printemps moins rapide que celle due à l'hydrologie naturelle,
- une augmentation des cotes estivales (plus élevées que ce qui serait « la normale »),
- de moindres variations intra annuelles (au printemps et en été notamment) et interannuelles.

On assiste donc à une réduction de la période et de l'intensité des étiages (étiage plus tardif, moins long, et moins fort).

Une gestion hydraulique aussi simpliste qu'artificielle appliquée à un site aussi complexe fait que l'une des problématiques récurrentes du site de Grand-Lieu est de déterminer un niveau d'eau (une cote) ou plus précisément des niveaux d'eau (par périodes) qui soient compatibles avec un maximum d'enjeux écologiques et d'usages ou du moins ceux qui seront jugés prioritaires.

## 2.4. LES CONSTATS

S'il est possible / vraisemblable (et reconnu ?) que le site de Grand-Lieu ait, à une période donnée, atteint un certain équilibre sur le plan écologique<sup>1</sup>, les gestionnaires et scientifiques dressent plusieurs constats indiquant un certain niveau de dégradation de l'écosystème ou du moins ce qu'ils appellent une rupture d'équilibre :

- une **dégradation de la qualité de l'eau**, avec l'eutrophisation du site, qui se traduit notamment par des conditions d'oxygénation peu favorables, avec des périodes d'anoxie ; la présence dans l'eau et les sédiments de micropolluants organiques et minéraux a par ailleurs déjà été mise en évidence (suivi 2010 des masses d'eau plans d'eau Loire-Bretagne). L'eutrophisation du site résulterait et/ou serait favorisée par :
  - o les apports d'azote et de phosphore du bassin versant, via les tributaires,
  - o la faible lame d'eau,
  - o le faible temps de séjour / l'absence de renouvellement des eaux du lac,
  - o ... induisant une forte productivité endogène
- certains types **d'habitats sont en régression**, plus ou moins marquée :
  - o la roselière boisée notamment,
  - o la ceinture d'hélophytes, avec la disparition des grands hélophytes (petit Typha et scirpe lacustre)
  - o les herbiers à châtaigne d'eau : il semblerait cependant que cette espèce évolue aussi de manière défavorable dans d'autres sites que Grand-Lieu, d'où la nécessité de nuancer les interprétations locales,
  - o La disparition d'herbiers à characées ou à potamots.
- la présence voire la prolifération **d'espèces invasives** (écrevisse, ragondin, ibis, jussie) ;
- **l'envasement du lac** est également souvent cité comme symptomatique de la dégradation du lac, même si le constat s'avère aujourd'hui contesté (voir paragraphe 2.6).

Il existe bien évidemment des liens factuels ou fonctionnels entre ces différents constats : ainsi, l'eutrophisation serait responsable ou favoriserait :

- les évolutions au sein des communautés végétales, notamment la disparition des herbiers à characées et potamots,
- la disparition des grands hélophytes (en plus du relèvement du niveau d'eau),
- la modification des peuplements de poissons, avec notamment une hypercyprinisation du lac (les évolutions de la pratique de la pêche professionnelle sont également mentionnées),

---

<sup>1</sup> Concept qui est difficile à définir, car très subjectif et multicritères

- une augmentation de la productivité des macrophytes flottants,
- une augmentation de la productivité du phytoplancton,
- l'envasement du lac, ou du moins de certains secteurs du lac.

Face à ces différents constats, la gestion des niveaux pourrait être un des leviers d'actions les plus importants.

## 2.5. LES GRANDES QUESTIONS

L'hypothèse de l'envasement du lac, généralement admise jusqu'à une période bien récente, comme étant l'unique processus sédimentaire en cours à Grand-Lieu depuis des décennies voire des siècles, est actuellement remise en cause ; ou, tout du moins mériterait d'être nuancée.

Il y aurait en fait une évolution dans l'espace et dans le temps des zones de sédimentation / décantation. Le lac aurait connu plusieurs phases régressives, d'assez longues durées, certes entrecoupées de périodes d'envasement. Ces phases d'évolutions contraires seraient à mettre en relation directe avec les évolutions hydrauliques du site (aménagement, travaux, modes de gestion...); les phases d'érosion auraient notamment été favorisées par des travaux et modes de gestion (augmentation des débits de pointe de vidange du lac) qui visaient à évacuer rapidement les crues en fin d'hiver.

Ainsi, il semblerait que, actuellement, certaines zones du lac subissent une érosion par remise en suspension et exportation de matériaux fins et ce lors d'épisodes venteux.

*(voir à ce sujet l'article « Trois siècles d'histoire hydrosédimentaire et écologique du lac de Grand-Lieu, conséquence pour la gestion hydraulique » ; Eric MERCIER, Martin SANCHEZ, Pierre VACHER).*

Cette question de la dynamique sédimentaire n'est pas qu'une querelle d'experts : il est nécessaire de rappeler que c'est l'hypothèse unique de l'envasement du lac qui a orienté jusqu'à ce jour la quasi-totalité des modes et opérations de restauration et de gestion du site, notamment le Plan de Sauvetage du lac en 1992.

## 2.6. LES ENJEUX

### 2.6.1. Les enjeux écologiques

Un des enjeux écologiques du site de Grand-Lieu répond à une exigence réglementaire de la DCE, notamment l'atteinte du bon état à l'échéance 2027 ; sachant que la définition du « bon état » pour ce type de lac n'est pas encore une évidence.

Au-delà de la réglementation, les éléments qui ont fait ou font la richesse écologique actuelle et passée du site doivent être retrouvés ou maintenus. La diversité floristique et faunistique du site, la présence d'habitats rares ou remarquables, ainsi que celle d'espèces patrimoniales, restent donc des objectifs intrinsèques au site.

Les enjeux de conservation et de connaissance portent donc sur la qualité de l'eau/le niveau d'eutrophisation, la sédimentation, et plus précisément la dynamique sédimentaire, la végétation, les oiseaux, les poissons, etc... Ces enjeux majeurs doivent permettre de proposer des objectifs de gestion d'une manière générale, et des objectifs de gestion hydraulique en particulier.

## 2.6.2. Les enjeux socio-économiques

Aux enjeux écologiques s'ajoutent des enjeux économiques et sociaux :

- L'activité agricole : les éleveurs exerçant sur le site de Grand-Lieu demandent à ce que les prairies soient exondées tôt au printemps pour permettre le pâturage ;
- Les pêcheurs professionnels souhaitent des niveaux plutôt hauts pour la circulation dans les canaux et la pratique de la pêche ;
- Les chasseurs souhaitent des niveaux d'eau plutôt hauts à l'automne.

## 2.6.3. Conclusion

Il ne s'agit pas ici de remettre en cause la nature des actions mises en place à ce jour, et leurs résultats sur le milieu ; mais plutôt de rappeler que Grand-Lieu, vénérable lac vieux de 120 millions d'années, mérite des certitudes ; seul un diagnostic et partagé permettra de définir une gestion, hydraulique notamment mais pas seulement, adaptée au site et à ses enjeux.

### 3. RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE

---

L'étude confiée au groupement ISL / AQUASCOP revêt 2 missions parallèles et complémentaires (missions A et B) dont les objectifs sont les suivants :

- **Expérimenter de nouvelles modalités de gestion des niveaux d'eau du lac de Grand Lieu : le protocole proposé doit être borné dans le temps (mission A),**
- **Mettre en place un protocole de suivi et d'évaluation de ces modalités expérimentales de gestion des niveaux (mission B) : quels effets sur le lac ?**
- **Elaborer un règlement d'eau du vannage de Buzay (mission A).**

Les futures modalités de gestion hydraulique doivent permettre :

- **de raisonner en débits et non plus en niveaux,**
- **de favoriser les manoeuvres progressives des ouvrages,**
- **d'amplifier les variations interannuelles** (parce que, à titre d'exemple, une plus grande variabilité interannuelle pourrait favoriser la végétation),
- **de favoriser la circulation des poissons.**

Le protocole expérimental de gestion hydraulique proposé devra être basé sur les orientations définies par le Conseil Scientifique, garantir les objectifs de conservation de la Réserve Naturelle Nationale, et du site de Grand-Lieu en général, tout en tenant compte des usages.

Concernant la mission B, qui vise à évaluer la gestion expérimentale des niveaux d'eau, un protocole de suivi basé sur des « indicateurs » doit être proposé. Ce protocole de suivi doit (conformément au CCTP de l'étude) :

- **permettre d'observer l'évolution de tous les compartiments de l'écosystème**, notamment :
  - o La qualité de l'eau
  - o la qualité des peuplements végétaux aquatiques, subaquatiques et terrestres
  - o la qualité des peuplements d'oiseaux
- **s'appuyer sur le suivi existant**
- **permettre de suivre l'envasement / l'érosion du lac (thèses divergentes)**

Il s'agit donc dans un premier temps de proposer des orientations en termes d'indicateurs à développer, et dans un second temps, de détailler techniquement le protocole de suivi et d'évaluation de la nouvelle gestion expérimentale des niveaux d'eau.

Au vu de ces éléments, il est donc important d'insister sur le fait que l'approche retenue est la suivante : proposer et appliquer de nouvelles modalités de gestion hydraulique, et en évaluer les effets sur le milieu.

Il ne s'agit donc pas de déterminer **a priori** un état souhaité de l'écosystème, et ensuite de définir la gestion hydraulique permettant d'atteindre ce résultat. Cette remarque est cependant à nuancer : en effet, il est assez logique et aisé de déterminer ce que l'on ne veut pas, par exemple la dégradation de la qualité de l'eau. Dans ce cas précis bien évidemment, cet objectif est un élément à prendre en compte pour définir de nouvelles modalités. Par contre, la complexité de Grand-Lieu, les interactions, parfois antagonistes, entre les différents habitats et les groupes biologiques font qu'il semble très difficile voire périlleux de déterminer un état souhaité de l'écosystème sur lequel serait basée la nouvelle gestion hydraulique. Et que l'autre difficulté, non des moindres, serait ensuite de définir une gestion hydraulique permettant d'atteindre cet état souhaité.

## 4. LES DONNEES EXISTANTES SUR LE SITE DE GRAND-LIEU

### 4.1. PARAMETRE, VARIABLE, INDICATEUR... QUEL VOCABULAIRE ?

Au sens commun, un **paramètre** est défini comme « un élément important dont la connaissance explicite les caractéristiques essentielles d'un ensemble, d'une question ».

En physicochimie et biologie des milieux aquatiques, les termes paramètres et variables sont souvent utilisés indistinctement, sans vraiment de nuance, alors qu'en fait, **la variable** représente un **paramètre fluctuant et mesurable** comme la température, le temps, la vitesse ou l'intensité....

Dans le cadre de cette étude, on emploiera le terme **indicateur** pour désigner tout objet susceptible d'être intégré dans le protocole de suivi et d'évaluation et donc susceptible de donner une indication d'effet de la nouvelle gestion expérimentale des niveaux d'eau.

Il pourra donc s'agir de paramètres ou de variables, ou d'un ensemble de paramètres et de variables, comme les quelques exemples ci-dessous peuvent l'illustrer :

- des variables mesurables *in situ* ou non, à l'aide d'appareils de mesure : ex la température de l'eau,
- des variables quantifiables en laboratoire : par exemple une concentration en nitrates,
- du résultat d'observations : par exemple, le nombre de nids de guifette moustac,
- de résultats de calculs, donc des données élaborées : par exemple une biomasse végétale, ou un indice biologique type Indice Planctonique Lacustre,
- d'éléments factuels : par exemple, une date (date de la mise en pâture) ou une durée d'exercice d'une activité...

...

### 4.2. LES THEMATIQUES

S'intéresser à Grand-Lieu, c'est potentiellement s'intéresser à une multitude de sujets ; les données relatives au lac et ses environs sont nombreuses, et portent sur les thématiques citées dans le tableau ci-dessous. Les intérêts intrinsèques de ces thématiques qui ont conduit à les étudier par le passé ou justifient de les suivre encore actuellement, sont par ailleurs précisés.

Nous avons pris le parti d'ajouter les raisons de s'y intéresser dans un futur proche, ne serait-ce que par rapport à la problématique (de gestion) des niveaux d'eau.

THEMATIQUE	POURQUOI S'Y INTERESSER ?
QUALITE DE L'EAU	C'est un élément déterminant de la composition des biocénoses. Objectif DCE : bon état à l'échéance 2027.
DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	La dynamique sédimentaire du lac conditionne son évolution. Elle permet de comprendre le fonctionnement du lac. 2 hypothèses s'affrontent : envasement ou érosion du lac ? A-t-on les mêmes processus dans l'espace et dans le temps ?

THEMATIQUE	POURQUOI S'Y INTERESSER ?
<p><b>FLORE</b></p>	<p>Intérêt floristique intrinsèque du site.                      Participe à la biodiversité du site.                      Présence d'espèces patrimoniales.                      Présence de groupements végétaux constituant des habitats rares et remarquables (voir ligne suivante du tableau).</p>
<p><b>TYPES DE MILIEUX</b></p> <p><u>- Groupements végétaux</u>                      Macrophytes flottants (zone ouest - 1 600 ha environ)</p> <p>Roselières boisées (zone Ouest – 1650 ha environ)</p> <p>Prairies humides (2400 ha environ)</p> <p>Zones d'hélophytes</p> <p><u>- Vasières</u></p> <p><u>- Eau libre (zone est – 650 ha environ)</u></p>	<p>Diversité des milieux – richesse écologique.                      Intérêt paysager et esthétique.                      Habitats uniques en Europe de l'Ouest.                      Sites d'alimentation, de reproduction, d'abris / stationnement.                      Superficie et fonctionnalité / satisfaction des usages en lien direct avec les niveaux d'eau.</p> <p><b><u>Macrophytes flottants</u></b>                      Intérêt paysager et esthétique.                      Habitat majeur.                      Sites de nidifications (guifette moustac, grèbe huppé et à cou noir) (nids flottants).                      Sites d'abris et d'alimentation (grèbe castagneux, cygne tuberculé, fuligule milouin, foulque macroule...).</p> <p>Habitat unique en Europe de l'Ouest à cette échelle.</p> <p><b><u>Roselières boisées</u></b>                      Intérêt paysager et esthétique.                      Habitat majeur.                      Des espèces y sont inféodées (ex Butor étoilé).</p> <p><b><u>Prairies humides</u></b>                      Siège d'activités agricole (fauche et pâturage).                      Intérêt cynégétique.</p> <p><b><u>Vasières</u></b>                      Site d'alimentation (oiseaux)</p>
<p><b>OISEAUX</b></p>	<p>Grande richesse avifaunistique du site (tous milieux concernés).                      Intérêt écologique majeur.                      Ont fait la réputation du lac.                      Site d'accueil, d'alimentation, de nidification.</p>
<p><b>POISSONS</b></p>	<p>Intérêt écologique faunistique.                      Intérêt / enjeu économique (pratique de la pêche professionnelle).                      Indicateur de fonctionnalité du milieu (circulation, reproduction).                      Site de reproduction du brochet.                      Site de vie de l'anguille</p> <p>Indicateur permettant une approche globale longitudinale (amont-lac-aval) du fait de la mobilité.</p> <p>Lien fort entre niveaux d'eau printaniers et efficacité du recrutement des brochets (reproduction, nurserie, retour au lac).</p>
<p><b>AUTRES GROUPES FAUNISTIQUES (mammifères, insectes...)</b></p>	<p>Participent à la biodiversité du site.                      Groupes encore peu connus (premiers inventaires assez récents).</p>

THEMATIQUE	POURQUOI S'Y INTERESSER ?
<b>ESPECES INVASIVES</b>	Constituent une menace pour la faune et la flore en place. Compromettent / gênent certaines activités (écrevisse / pêche professionnelle).
<b>USAGES AGRICOLES</b>	Utilisation agricole (fauche et pâture) des prairies humides.
<b>PÊCHE PROFESSIONNELLE</b>	Activité économique sur le lac
<b>CHASSE</b>	Activité de loisirs sur les terrains riverains (prairies humides notamment)

### 4.3. DE NOMBREUSES DONNEES DISPONIBLES

Ce chapitre propose de lister l'ensemble des paramètres ou variables qui ont, à un moment donné, été suivis, ou sont encore suivis, au niveau du site de Grand-Lieu. Cela permet d'appréhender le volume et la nature des données disponibles, ce qui a d'autant plus d'intérêt que le protocole de suivi et d'évaluation de la gestion expérimentale des niveaux devra s'appuyer, autant que possible, sur l'existant.

Pour des raisons pratiques, les paramètres sont présentés par thématique.

Rappelons cependant que lors d'une étude précédente sur le site de Grand-Lieu, Aquascop a listé l'ensemble des variables pour lesquelles il existait des données ; selon l'origine et l'auteur des documents, des intitulés très différents avaient été utilisés, parfois pour le même objet ; l'ensemble des intitulés rencontrés, ainsi que les regroupements qui avaient été faits à ce moment-là pour les besoins de l'étude, figurent en annexe. Les tableaux présentés ci-dessous proposent une présentation simplifiée des données disponibles, qui ont été regroupées par nature ou par effet.

#### QUALITE DE L'EAU

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Temps de séjour de l'eau	Données ponctuelles : bases de calculs ?
Teneurs en micropolluants organiques (herbicides notamment)	Suivi masses d'eau plans d'eau 2010– Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; autres campagnes ponctuelles ?
Qualité de l'eau entrante et sortante (macropolluants ; concentrations et flux)	Nombreuses données ponctuelles ou campagnes de suivi (1996-97 ; 1998-99 ; 1999-2000 ; 2002-2003)
Qualité de l'eau du lac (macropolluants)	Nombreuses données ponctuelles : 1981-82 ; 1990-91
Transparence / turbidité	Suivi quasi mensuel dans la zone centrale de la RNN (40 points) par la SNPN
T°, Oxygène, pH	
Production algale (carbone)	Données ponctuelles - 1996 (3 points)
% des grands groupes de phytoplancton	Données ponctuelles -1981 ; 1996 (3 points) - 2010 (1 point)
Biomasse de phytoplancton et périphyton	Données ponctuelles 1981 et 1982
Pigments chlorophylliens	Données mensuelles de mai à octobre, en 1981 et 1982
	Données ponctuelles 1990-1991 ; 1996 (3 points) – 2010 (1 point)
IP lacustre	Données ponctuelles : suivi masses d'eau plans d'eau 2010– Agence de l'Eau Loire-Bretagne

## DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Hauteur d'eau	Très nombreuses données ponctuelles, parfois très anciennes  Tous les 5 ans environ dans la zone centrale (RNN et RNR) par la SNPN  3 campagnes de bathymétrie réalisées à ce jour : 1997-98 ; 2000 ; 2005-2006
Epaisseur de vase	Données ponctuelles (septembre 1990)  Données SNPN lors des campagnes de bathymétrie
Taux de sédimentation	Plusieurs études ponctuelles (en lien avec la productivité des macrophytes) Etudes ponctuelles : 1990-91-92
Matières en suspension	Nombreuses données ponctuelles
Caractéristiques chimiques et physiques des sédiments et vases	Nombreuses données ponctuelles (1990 ; 1991 ; 1992 1994 ; 1995-1996)

## FLORE ET GROUPEMENTS VEGETAUX

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Surface de recouvrement de 7 taxons	1945-50 ; 1950-73 ; 1973-79 ; 1979-89
Surface de recouvrement par les herbiers flottants (par type)	Nombreuses données : 1993 ; 1999 ; 2000 ; 2001 ; 2002 ; 2003  Cartographie tous les 2-3 ans en zone centrale par la SNPN (par photographies aériennes et campagnes sur le terrain)
Diversité/Densité/superficie des herbiers de macrophytes flottants (par type)	Suivi annuel dans la RNN par la SNPN (72 pts de mesure)
Production, productivité et biomasses des herbiers à macrophytes	Campagnes ponctuelles (Marion-Paillisson : 1981, 1982, 1990, 1995 à 2003...)
Phragmitaie (roselière boisée à <i>Phragmites</i> )	Suivi annuel (REZO ROZO de la RNN) avec 7 transects de 10 points de mesure (densité, croissance) dans la roselière boisée.
Roselières boisées	Etude phytosociologique en cours sur la RNN ; la SNPN a prévu de mettre en place un suivi après l'état des lieux.
Prairies humides	Relevés phytosociologiques en 1999 et 2006  Etude phytosociologique en cours sur la RNN ; la SNPN a prévu de mettre en place un suivi après l'état des lieux.
Surface des roselières boisées (et évolution)	1945-50 ; 1950-73 ; 1973-79 ; 1979-89
Surface des typhaies (et évolution)	1945-50 ; 1950-73 ; 1973-79 ; 1979-89
Superficie couverte par le Scirpe lacustre, et le Typha à feuilles étroites	Données ponctuelles ?
Liste d'espèces ou groupements présents par époque	Relevés Dupont 2003
Espèces floristiques patrimoniales (nombre de pieds ? surface ?)	Quelques stations suivies annuellement dans la RNN ; pas de protocole précis de suivi mis en place

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Superficie colonisée par la Jussie Nombre de foyers	Cartographie annuelle RNN (SNPN)
% des grands groupes de phytoplancton, dont cyanophycées	Données ponctuelles -1981 ; 1996 (3 points) - 2010 (1 point)

## OISEAUX

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Diversité du peuplement d'oiseaux sur les prairies inondables	Suivi annuel (SNPN)
Effectifs de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides	Comptages annuels réguliers entre février et juin sur les prairies inondables
Effectifs des oiseaux nicheurs dans les herbiers flottants, les roselières boisées, les prairies inondées.	Données 1970-75 ; 1990-95 ; 1996 ; 1997 (SNPN) Suivi régulier (SNPN)
Effectifs de limicoles en migration	Données 1973-75 ; 1996-97
Effectifs et répartition des grands échassiers nicheurs	Suivi annuel par la SNPN sur tout le lac, et dans la roselière boisée de la RNN
Taux de reproduction / Nombre de nids de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides (efficacité de la reproduction) : limicoles, guifettes...)	Suivi annuel (SNPN)
Diversité du peuplement et effectifs fréquentant les vasières (sites d'alimentation, abri, repos)	Suivi annuel (SNPN)
Effectifs des oiseaux communs	Suivi annuel par échantillonnages ponctuels sur tout le site : 121 points d'écoute
Recensement des populations nicheuses de grèbes, ansériformes et laro-limicoles	Suivi annuel sur tout le lac par la SNPN (surtout zone centrale de la RNN et de la RNR)
Effectifs de rapaces diurnes nicheurs	Tous les 5 ans, sur l'ensemble du site (zone humide et sa bordure)
Effectif des oiseaux d'eau hivernants, migrateurs et estivants	Comptages mensuels pendant toute l'année, sur tout le lac, avec campagnes complémentaires en fonction d'évènements particuliers (vague de froid)
Effectif ? des passereaux paludicoles en migration post nuptiale	Suivi annuel dans la roselière (partie RNN)
Suivi du botulisme (nombre de cadavres)	Campagnes ponctuelles de ramassage par la SNPN

## POISSONS

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Effectif journalier de civelles et petites anguilles au niveau de la passe (efficacité de la montaison)	Suivi régulier (au niveau de la passe)
Structure de la population (relation taille-âge) des anguilles Biomasses et effectifs d'anguilles	Données 1993 à 1996 Données 1994 à 1998
Effectifs et poids des civelles et jeunes anguilles remontant vers le lac (au niveau des passes à civelles de Bouaye et de la maison Blanche)	Tous les ans : comptages et pesages une nuit sur 2 entre mars et juin, en fonction des conditions hydrologiques
Liste d'espèces	1909 (Gadeceau) ; 1970-1975 (Marion et Marion) ; 1990-1991 (Adam et Elie) ; 1985-1997 (Boret) ; 2003 ;
Effectifs et biomasse (total ou par hectare)	1990-91 ; 2000 ; 2001 ; 2003
Effectifs (CPUE) et occurrences de plusieurs espèces	Données ponctuelles 1999 à 2002

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Superficie de frayères à brochet	Biomasse, reproduction, stock ; Campagne 2004 (Carpentier)
Effectifs de brochets	
Indice de qualité d'accueil de GL pour le brochet	

### AUTRES GROUPES FAUNISTIQUES

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Effectif ? de loutre	Pas de suivi mis en place, mais données ponctuelles
Effectif ? Diversité ? de chiroptères	Uniquement sous la maison Guerlain, par la SNPN
Effectifs ? Diversité ? des odonates, orthoptères et lépidoptères	Pas de suivi mis en place ; premier travail d'inventaire des lépidoptères rhopalocères en cours Données à actualiser pour les autres groupes

### ESPECES INVASIVES

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Surface de recouvrement par la Jussie	Cartographie annuelle dans la RNN par la SNPN
Effectif ? Densité ? Biomasse ? Ecrevisse de Louisiane	Pas de suivi réel, mais quelques travaux effectués en 2009-2010 par la SNPN
Effectif ? Densité ? Rat musqué, ragondin	Effectifs et densités de ragondins : données ponctuelles de 1995 à 1997  Suivi annuel par la SNPN dans la RNN (protocole précis avec comptage, sexage et pesage des individus piégés). Suivi annuel (depuis 3 ans) des traces de rat musqué, notamment dans les roselières boisées, en complément des piégeages

### USAGES AGRICOLES

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Valeur fourragère (productivité et rendement) des prairies inondables	Données ponctuelles 1996 (dispositif expérimental)
Données socio-économiques	Données ponctuelles de 1994

### PÊCHE PROFESSIONNELLE

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Superficie de plans d'eau (non) accessibles aux pêcheurs professionnels (tirant d'eau)	Données non disponibles ?
Nb de jours de pêche sur une période de basses eaux	Données non disponibles ?

### CHASSE

VARIABLES	Suivi actuel ou récent
Nb de jours de pratique de la chasse sur la période de chasse au gibier d'eau	Données non disponibles ?

## 5. UNE PREMIERE ET LONGUE LISTE D'INDICATEURS POTENTIELS

### 5.1. QU'ATTEND T-ON DES INDICATEURS ?

La première qualité attendue d'un indicateur est par définition **qu'il serve l'objectif** : à savoir qu'il permette a minima de juger des résultats de la gestion expérimentale des niveaux d'eau et donc à renseigner de manière fiable l'évolution du site de Grand-Lieu.

Idéalement il pourrait aussi servir à juger des résultats de la gestion passée et surtout orienter les objectifs de la gestion hydraulique future.

Il doit aussi être :

- mesurable simplement
- **représentatif** du milieu étudié, d'une situation ou d'une problématique ;
- **synthétique, voire intégrateur**
- incontestable, afin d'interpréter les résultats dans un contexte consensuel,
- reproductible : qualité indispensable dans un contexte de suivi,
- précis et affecté de son incertitude : elle doit être connue pour interpréter correctement les résultats

### 5.2. DES INDICATEURS DE NATURE ET DE TYPES DIFFERENTS

Une première analyse des indicateurs possibles permet de voir rapidement qu'ils n'appartiennent pas tous aux mêmes types, qu'ils sont par nature différents, et renseignent sur des aspects différents.

On pourra donc essayer de retenir des indicateurs qui soient le plus intégrateurs possible, qui traduisent par exemple le fonctionnement du lac de Grand-Lieu, son niveau d'eutrophisation, la biodiversité du site, etc...

Par ailleurs, de façon à couvrir la diversité des milieux et les évolutions interannuelles, il semble nécessaire de retenir plusieurs indicateurs complémentaires, de types différents, et répondant différemment dans le temps et dans l'espace. L'idée n'est pas de regarder à la loupe et en particulier un indicateur jugé très pertinent, mais plusieurs de manière globale afin de bien appréhender les évolutions et juger des liens entre elles.

### 5.3. LES DIFFICULTES ET CONTRAINTES - LA NOTION DE PERTINENCE DES INDICATEURS

Parmi les indicateurs susceptibles d'être étudiés voire retenus, on imagine qu'un certain nombre devrait permettre de renseigner la faune et la flore. Or, une des difficultés de l'exercice est que les facteurs limitants ne sont pas bien connus pour tous les groupes biologiques d'une part, et que, d'autre part, ils ne sont pas figés dans le temps.

Les espèces n'ont pas toutes les mêmes besoins, voire ont des besoins contradictoires / antagonistes. Le nombre, la diversité et la nature des facteurs externes non contrôlables conditionnent en grande partie les biocénoses en place. Et celles-ci connaissent déjà, intrinsèquement, une variabilité naturelle interannuelle, en lien avec les maladies, l'efficacité de la reproduction, le recrutement, la compétition intra et interspécifique...

Au vu de la problématique de l'étude, de son objectif (trouver une cote compatible avec un maximum d'enjeux écologiques et d'usages) et de la complexité du site, l'idéal serait de pouvoir déterminer des indicateurs réagissant directement aux (variations de) niveaux d'eau, voire ne réagissant qu'à ce facteur...

Il apparaît cependant assez clairement et rapidement qu'il s'agit là d'une requête peu réaliste, et que la plupart des paramètres réagissent à une combinaison de facteurs externes ou non ; et que la difficulté sera alors de faire la part des choses entre les différents facteurs intervenants, difficulté d'autant plus grande que les facteurs seront nombreux ; le niveau de difficulté sera aussi lié aussi à la nature des facteurs intervenants.

Une approche pourrait aussi consister à rechercher des situations témoins (des « blancs » en quelque sorte), des secteurs géographiques par exemple, où l'impact du niveau d'eau et de ses variations ne se ferait pas sentir, ou dans une moindre mesure, ce qui permettrait de mettre en évidence les variations « naturelles », plus exactement hors influence des niveaux.

#### 5.4. UNE LISTE D'INDICATEURS POTENTIELS

Les tableaux ci-dessous proposent une liste la plus large possible de différents indicateurs ou variables susceptibles d'être pris en compte dans le cadre de la problématique, sans aucune sélection, quelle qu'elle soit. Ils sont présentés par thématique.

Cette première liste a été dressée à partir de l'examen de la bibliographie, particulière à Grand-Lieu ou plus générale, de l'expérience d'Aquascop, et d'une réflexion progressive sur la thématique.

Afin, dans la continuité de l'étude, d'établir une première sélection d'indicateurs, il est proposé de renseigner chaque indicateur potentiel par des précisions sur les informations qu'il apporte, le niveau de connaissance sur sa sensibilité au niveau d'eau ou à la gestion hydraulique, ses limites, et les autres facteurs déterminants, c'est-à-dire les autres paramètres qui influent sur le résultat, l'évolution ou la variation de l'indicateur.

Précisons que l'établissement de cette liste d'indicateurs potentiels a aussi permis de recueillir l'avis du conseil Scientifique sur leur intérêt ou leur pertinence (voir paragraphe 5.5 à ce sujet).

### 5.4.1. Qualité de l'eau

Objectif recherché	Variable	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Comprendre le fonctionnement hydrique du lac	Temps de séjour de l'eau	Peu abordé Peu connu ?	N'a de sens que s'il est défini par période : connaître un temps de séjour moyen n'a que peu d'intérêt	Volume du lac, débits d'entrée et de sortie, superficie du lac
Déterminer le niveau trophique du lac	Transparence / turbidité	Nombreuses données  Peu d'interprétation en lien avec les niveaux d'eau	Nombreuses campagnes / mesures nécessaires  Forte variabilité journalière et saisonnière de certains paramètres (ex température, oxygène)	Teneur en MES, densité du phytoplancton,
	Température, Oxygène, pH			Météorologie, Eutrophisation, Production Consommation par les organismes
	Teneurs en N et P			Concentrations en entrée du lac Assimilation par la flore aquatique Relargage du sédiment Conditions d'oxydo-réduction
	Teneurs en COD / COT		Nombreux facteurs explicatifs	Production biologique, apports externes
	Teneur en chlorophylle	Assez peu de données ; lien entre niveaux d'eau et productivité algale peu ou pas traité	Nécessité d'avoir une fréquence a minima hebdomadaire pour conclure, compte tenu de la vitesse d'évolution des peuplements algaux	Densité et nature du phytoplancton Conditions saisonnières météorologiques
	% des grands groupes de phytoplancton, dont cyanophycées	Les données, relativement ponctuelles, ne sont pas reliées au temps de renouvellement (et donc le niveau d'eau)	Evolution marquée et rapide des peuplements sur un cycle annuel (quelques jours en été)	Météorologie, hydrologie, concentration en MES, concentrations en N et P, compétition spatiale avec les autres groupes
	IP lacustre			
Mettre en évidence les effets de la gestion hydraulique sur le potentiel (risque) trophique	Flux en N et P		Flux très variables selon les périodes /hydrologie saisonnière et les années (sèches ou humides) ; la part prépondérante est en général concentrée sur une courte période	Occupations des sols et usages / bassin versant <b>Hydrologie</b>
Connaître les micropolluants de l'eau du lac – évaluer l'impact potentiel sur les peuplements végétaux	Teneurs en micropolluants organiques (pesticides notamment)	Sujet peu abordé ?  Données a priori rares et ponctuelles ?	Multiplicité des campagnes et des conditions de déclenchement (pluviométrie) nécessaires en entrée	Concentrations en entrée du lac (usages bassin versant et pluviométrie)

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Connaître le niveau de minéralisation des sédiments du lac	Rapport C/N	Les données portent surtout sur les zones à macrophytes, considérées dans la bibliographie comme en grande partie responsables de l'envasement du lac	Nécessité de multiplier les campagnes et les sites de mesures pour bien appréhender les processus de minéralisation à l'échelle du lac	Concentration en matières organiques Conditions d'oxydo-réduction
	Conductivité eau interstitielle			
	Concentration en minéraux de l'eau interstitielle			
	Concentration en matières organiques			Apports extérieurs Production endogène Conditions de sédimentation

### 5.4.2. Dynamique sédimentaire

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Déterminer le sens de la dynamique sédimentaire	Forme de la cuvette	Campagnes régulières de bathymétrie	Méthodologie adoptée et précision des appareils utilisés	<i>La forme de la cuvette est ce qu'elle est, elle n'est pas déterminée par l'hydrologie (c'est le niveau d'eau qui l'est)</i>
	Epaisseur de vase	Campagnes régulières (lors de la bathymétrie)	Méthode adoptée et précision des appareils utilisés Micro-variabilité spatiale ?	Entrées/sorties MO Production endogène Capacités de sédimentation (courantologie-vent) Capacités de minéralisation
	Taux de sédimentation	Estimation initialement basée sur des campagnes de mesures limitées dans le temps et dans l'espace, et extrapolée entre autres à l'ensemble du site (sans prise en compte de variations interannuelles) Hypothèse récemment controversée	Variabilité spatiale ? Variabilité temporelle (par périodes) ? Sensibilité au vent Sensibilité au débit de sortie ?	Nature et granulométrie des particules Capacités de sédimentation (courantologie-vent)
Etablir un bilan sédimentaire amont / aval	Taux de matières en suspension	Suivi régulier dans le lac	Composition : proportion minérale / organique	Entrée et sorties MES Densité du phytoplancton
Déterminer la nature de la sédimentation ou de l'export de particules	Caractéristiques chimiques et physiques des vases	Données concernant le lac Pas de données en sortie de lac	Imprécision analytique (peu gênante) Variabilité temporelle	Caractéristiques des vases entrantes Nature de la production endogène Intensité et modalités de minéralisation Conditions d'oxydo-réduction au fond du lac

### 5.4.3. Flore et groupements végétaux

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Déterminer l'évolution des <b>herbiers flottants</b> en lien avec la gestion des niveaux d'eau	Cartographie des herbiers flottants	Bibliographie fournie	Liées à la précision de la carte	<p>Niveau d'eau (et variabilité) Courantologie Nature et stabilité des fonds Qualité de l'eau / Pesticides / Eutrophisation / anoxie</p> <p>Qualité/Diversité des habitats</p> <p>Météorologie Compétition interspécifique Prédation (ragondin-écrevisse) / Compétition (jussie-Phalaris)</p>
	Densité/superficie des herbiers de macrophytes flottants (par type)	Cartographie, surfaces, densités, biomasses, productivité... Gestion de la végétation par les niveaux d'eau abordée dans quelques documents	Nombreux autres facteurs déterminants	
	Productivité des herbiers	Plusieurs documents suite à campagnes ponctuelles font le lien entre productivité et niveau d'eau « <i>La baisse des niveaux d'eau favorise l'eutrophisation qui entraîne une augmentation de la productivité des macrophytes flottants</i> »	<p>Nature de l'indicateur à choisir ?</p> <p>Représentativité de l'échantillonnage sur une surface aussi vaste</p> <p>Nombreux autres facteurs déterminants</p> <p>Difficulté d'Interprétation des données</p>	
Suivre l'évolution des <b>roselières boisées</b> , si possible en lien avec la gestion hydraulique	<p>Cartographie/densité des phragmitaies (roselière boisée à <i>Phragmites</i>)</p> <p>Cartographie/densité des roselières boisées</p>	<p>Lien avec gestion hydraulique plutôt étroit</p> <p><i>L'homogénéisation des niveaux d'eau favoriserait la régression des roselières boisées par élimination de la végétation pionnière (fixatrice des sédiments) sur les vasières<sup>2</sup></i></p>	<p>Liées à la précision de la carte</p> <p>Nombreux autres facteurs déterminants</p> <p>Difficulté d'Interprétation des données</p>	<p>Niveau d'eau (et variabilité) Courantologie Nature et stabilité des fonds Qualité de l'eau / Eutrophisation/anoxie</p> <p>Qualité/Diversité des habitats</p> <p>Météorologie Compétition interspécifique Prédation (ragondin-rat musqué-écrevisse) / Compétition (jussie-Phalaris)</p>
<p>Suivre l'évolution de certains <b>grands hélrophytes</b>, si possible en lien avec la gestion hydraulique</p> <p>Comprendre les motifs de leur régression ; tester l'hypothèse de l'érosion</p>	Superficie couverte par le Scirpe lacustre, le Typha à feuilles étroites, la grande Glycérie...	<i>Certains documents évoquent le relèvement du niveau d'eau comme une des causes de la régression des grands hélrophytes</i>	<p>Liées à la précision de la carte</p> <p>Nombreux autres facteurs déterminants</p> <p>Difficulté d'Interprétation des données</p>	<p>Niveau d'eau (dont variabilité) Courantologie Nature et stabilité des fonds Qualité de l'eau / Eutrophisation/anoxie Météorologie Compétition interspécifique ? Prédation (ragondin)</p>

<sup>2</sup> A contrario, il est souvent admis que les variations de hauteur d'eau, notamment au printemps, pénalisent la croissance des Phragmites

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Suivre l'évolution des grands types de milieu si possible en lien avec la gestion hydraulique	Superficie des vasières à un moment donné	Pas d'interprétation faisant le lien avec le niveau d'eau ?	Précision de la méthode de mesure (distinguer les vasières végétalisées ?)	Niveau d'eau (et variabilité)
	Superficie des boisements		Identifier les autres facteurs déterminants ?	
Faire un lien entre variabilité intra et inter annuelle des niveaux d'eau et diversité floristique	Diversité taxonomique des hydrophytes (cuvette) Superficie par taxon (characées, potamots...)	Données ponctuelles, sans lien avec les niveaux d'eau ?	Exhaustivité de l'échantillonnage Nombreux autres facteurs déterminants Difficulté d'un échantillonnage représentatif de plantes aquatiques, d'autant qu'elles ne sont pas uniformément réparties	Niveau d'eau (et variabilité) Courantologie Nature et stabilité des fonds Turbidité / Qualité de l'eau / eutrophisation Qualité/Diversité des habitats
	Diversité taxonomique des prairies inondables		Exhaustivité de l'échantillonnage Nombreux autres facteurs déterminants Indicateur peu sensible à de faibles variations de niveau d'eau ?	
Connaître le niveau trophique du lac	% des grands groupes de phytoplancton, dont cyanophycées	L'aspect est abordé en terme de compétition macrophytes / microphytes	Evolution marquée et rapide des peuplements au cours d'un cycle annuel	Météorologie, hydrologie, teneur en MES, teneurs en N et P, compétition spatiale avec les autres groupes
	IP lacustre	Peu de données Pas de lien avec niveau d'eau		

### 5.4.4. Oiseaux

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
<p>Déterminer l'influence de la gestion des niveaux sur certains peuplements</p> <p>Déterminer l'impact du retard d'exondation des prairies inondables</p>	Diversité du peuplement d'oiseaux sur les prairies humides	<p>Bibliographie fournie (important suivi)</p> <p>Quelques documents abordent explicitement la relation entre peuplement et gestion hydraulique / niveaux d'eau</p> <p>(Marion-Reeber, 1997 ; Reeber 2004)</p> <p>Sensibilité forte de certains groupes dans certains milieux (prairies inondables notamment)</p>	<p>Très nombreux autres facteurs déterminant l'évolution des peuplements d'oiseaux</p>	<p>Niveau d'eau (période et durée d'immersion)</p> <p>Conditions de migration</p> <p>Recrutement, maladie, climat, situation dans d'autres régions, notamment les régions voisines...</p>
	Effectifs de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides			
	Effectifs de certaines espèces d'oiseaux par type de milieux			
	Taux de reproduction / Nombre de nids de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides (efficacité de la reproduction) : limicoles, guifettes...)			
	Diversité du peuplement et effectifs fréquentant les vasières (sites d'alimentation, abri, repos)			
Canards, limicoles (bécasseaux, gravelots, bécassines chevaliers)				

### 5.4.5. Poissons

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Suivre la circulation des anguilles (montaison) et l'améliorer par la gestion hydraulique	Effectif journalier de civelles et petites anguilles au niveau de la passe (efficacité de la montaison)	Bibliographie peu fournie mais riche	Forte influence de l'hydrologie générale en aval du lac (Acheneau Tênu, Marais Breton)  Besoin de pondération par rapport au contexte ligérien local (remarque CS)	Niveaux d'eau Positions et manœuvres des ouvrages Courantologie-remontées de la Loire Météorologie - conditions de lumière et de température de l'eau Qualité de l'eau/eutrophisation Recrutement
Déterminer les modalités de reproduction du brochet en lien direct avec la gestion hydraulique	Superficie de frayères potentielles à brochet accessibles en période de reproduction	Bibliographie peu fournie mais riche		Niveau d'eau Température
	Durée d'immersion des prairies sur une année	Lien fort entre efficacité du recrutement du brochet et niveaux d'eau notamment sur la période février-mai (Carpentier, 2006)	Trouver un mode d'expression synthétique (jour-surface ?)	
	Efficacité de la reproduction Nombre de brochetons		Nombreux facteurs influençant (remarque CS)	Niveau d'eau Période et durée d'immersion Modalités de retrait de l'eau
	Indice de qualité d'accueil de Grand-Lieu pour le brochet			
Connaître le peuplement pisciaire et son évolution dans le lac	Diversité globale du peuplement de poissons  Biomasse par espèce	Plusieurs documents abordent explicitement le sujet (Carpentier, Paillisson, Marion 2003 ; Carpentier 2005)  Selon Carpentier (2005) l'impact des variations de niveau d'eau concerne les espèces se reproduisant sur les sites inondables (brochet sur les prairies humides) ou vivant quasi exclusivement en rive (bouvière, épinochette, carpe)	La méthode d'échantillonnage ainsi que les modalités d'extrapolation restent à déterminer – nécessité de coupler les techniques de pêches (filet, pêche électrique...)  Nécessité d'un suivi long et régulier pour bien appréhender les évolutions significatives des peuplements	Gestion hydraulique Qualité de l'eau Types et densités des habitats disponibles Conditions de circulation Ressources alimentaires Prédation Compétition
Connaître le peuplement pisciaire et son évolution, en lien avec l'évolution des types d'habitats.	Diversité du peuplement de poissons par type d'habitats	Peu de données disponibles ?	Les limites sont liées à la mobilité des poissons, qui ne sont pas « affectés » à un habitat	

### 5.4.6. Autres groupes faunistiques

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Connaître la biodiversité de Grand-Lieu	Effectif de loutre	Données ponctuelles, sans lien avec les niveaux d'eau	Niveau actuel de connaissance très faible - Protocole à déterminer	Vraisemblablement nombreux

### 5.4.7. Espèces invasives

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Suivre l'évolution des espèces envahissantes/ invasives	Superficie colonisée par la Jussie Nombre de foyers Densité Répartition (cCartographie)	Pas de lien fait dans la bibliographie entre les espèces et les niveaux d'eau ?	Exhaustivité de l'échantillonnage (formes aquatiques et terrestres de la plante) Evolution fortement liée à la dynamique intrinsèque de l'espèce	Capacité de bouturage Microclimat Compétition (et broutage)
Déterminer si la gestion hydraulique est un mode de gestion des espèces envahissantes	Ecrevisse de Louisiane (effectifs, densité...)		Evolution fortement liée à la dynamique intrinsèque de l'espèce	
	Rat musqué, ragondin (effectifs piégés...)		Evolution fortement liée à la dynamique intrinsèque de l'espèce	

### 5.4.8. Usages agricoles

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Principaux facteurs déterminants
Connaître les possibilités d'utilisation des prairies en lien avec les niveaux d'eau	Date de début d'exondation	Un document (Chambre d'agriculture, date ?) aborde les conséquences (préjudices financiers) du relèvement du niveau d'eau selon le « scénario 2 »	A déterminer par secteurs, toutes les parcelles ne subissant pas le même régime hydraulique et les pratiques agricoles pouvant être différentes	Niveau d'eau
	Date de début de la fauche			Niveau d'eau Ressuyage ? Portance des terrains ?
	Date de début du pâturage			Niveau d'eau Ressuyage ? Portance des terrains ? Qualité fourragère
	Nombre de jours de fauche/pâturage sur l'année			Niveau d'eau Ressuyage ? Portance des terrains ?
	Superficie de prairies exondées (donc utilisables) à une date donnée supposée idéale			Variabilité de la date selon les années (indépendamment du niveau d'eau) ?
	Valeur fourragère (productivité et rendement) des prairies inondables	Données ponctuelles (1997) acquises dans un cadre expérimental ; pas d'élément fiable par rapport à la problématique niveau d'eau	Contrôlée par d'autres facteurs (trophie, usages)  Nombre et localisation des sites de mesures à préciser	Climat de l'année écoulée Intrants (pratiques agronomiques) Durée et période d'inondation

### 5.4.9. Pêche professionnelle

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Facteurs déterminants
Connaître les conditions d'exercice de la pêche professionnelle en lien avec la gestion hydraulique ...	Superficie de plans d'eau (non) accessibles aux pêcheurs professionnels (tirant d'eau)	Les professionnels demandent des niveaux plutôt hauts		Niveaux d'eau Topographie et sédimentation
	Nb de jours de pêche sur une période de basses eaux			Niveaux d'eau

### 5.4.10. Chasse

Objectif recherché	INDICATEURS	Niveau de connaissance (bibliographie - sensibilité / niveaux d'eau)	Limites de l'indicateur	Facteurs déterminants
Connaître les conditions d'exercice de la chasse en lien avec la gestion hydraulique ...	Nb de jours de chasse sur une période de basses eaux	Les chasseurs demandent des niveaux plutôt hauts		Niveaux d'eau
	Nb de jours de pratique de la chasse sur la période de chasse au gibier d'eau			

## 6. LES AIDES A LA DECISION POUR LE CHOIX D'INDICATEURS

### 6.1. L'AVIS DU CONSEIL SCIENTIFIQUE

#### 6.1.1. Mode de concertation

Dans le cadre de cette étude, une réunion a été organisée le 3 décembre 2013 avec les membres du Conseil Scientifique de Grand-Lieu, ainsi qu'avec des représentants des services de l'Etat et des gestionnaires du site de Grand-Lieu.

Lors de cette réunion de travail, le contenu de l'étude, ainsi que ses tenants et aboutissants, ont été rappelés. Mais cette réunion avait aussi et surtout un objectif de concertation : il s'agissait en effet d'associer les membres du Conseil Scientifique à la réflexion sur les indicateurs. Le temps disponible pour réaliser ce travail de concertation, relativement restreint (d'autres sujets étaient à l'ordre du jour), a obligé à adapter la méthode, car la discussion « libre » risquait de conduire à des digressions, des débats très techniques de spécialistes, et donc de se focaliser sur certaines thématiques au détriment d'autres.

Nous avons donc choisi de présenter une liste de paramètres, autant d'indicateurs potentiels dans l'absolu, sous la forme des tableaux donnés dans le paragraphe 5.4.

Il a ensuite été demandé à chaque participant de se prononcer et de noter les indicateurs proposés sur une échelle de 1 à 3 :

0 = Indicateur sans intérêt ni pertinence par rapport à la problématique de gestion hydraulique

1 = Indicateur à la pertinence plutôt limitée

2 = indicateur dont la pertinence vis-à-vis de la gestion hydraulique reste à confirmer

3 = Indicateur indiscutable

Il était aussi possible de ne pas se prononcer sur un indicateur (pas de note).

Dans la même logique de réflexion collective, chacun avait la possibilité d'apporter des commentaires sur les tableaux, mais surtout d'ajouter des indicateurs (appel à idées) ; le temps total disponible affecté à la notation était de 30 minutes.

Dix personnes ont participé à cette notation.

#### 6.1.2. Les résultats de la notation

Le tableau ci-dessous présente les résultats de la notation, avec les indicateurs classés selon les scores décroissants : les plus pertinents, ou consensuels, figurent donc en tête de tableau.

INDICATEUR PROPOSE	Nb de résultats	Répartition des résultats					Score total	Valeur moyenne
		nsp (1)	0	1	2	3		
Cartographie des herbiers flottants	10	0	0	1	1	8	27	2,70
Cartographie des phragmitaies (roselière boisée à Phragmites)	10	0	0	1	2	7	26	2,60
Cartographie des roselières boisées	10	0	0	1	2	7	26	2,60
Transparence / turbidité	9	0	0	1	0	8	25	2,78
Flux de N et P	9	0	0	0	2	7	25	2,78
Date de début d'exondation	9	1	0	0	2	7	25	2,78
Date de début de la fauche	9	1	0	0	3	6	24	2,67
Date de début du pâturage	9	1	0	0	3	6	24	2,67
Teneurs en N et P	9	0	0	2	0	7	23	2,56
Bathymétrie	8	1	0	0	1	7	23	2,88
Concentration de matières en suspension	8	1	0	0	1	7	23	2,88
Densité/superficie des herbiers de macrophytes flottants (par type)	10	0	0	1	5	4	23	2,30
Productivité des herbiers	10	0	0	1	5	4	23	2,30
Epaisseur de vase	9	0	0	0	5	4	22	2,44
Superficie couverte par le Scirpe lacustre et le Typha à feuilles étroites	9	1	0	1	3	5	22	2,44
Durée d'immersion des prairies sur une année	9	0	1	0	2	6	22	2,44
Superficie des vasières à un moment donné	8	2	0	0	3	5	21	2,63
Superficie colonisée par la Jussie	10	0	1	1	4	4	21	2,10
Nombre de foyers de Jussie	10	0	1	1	4	4	21	2,10
Diversité globale du peuplement de poissons	9	0	0	2	2	5	21	2,33
Biomasse par espèce	9	0	0	2	2	5	21	2,33
Superficie de prairies exondées (donc utilisables) à une date donnée supposée idéale	8	2	0	1	1	6	21	2,63
% des grands groupes de phytoplancton, dont cyanophycées	9	0	0	1	5	3	20	2,22
Teneurs en matière organique dans les sédiments	8	0	0	1	2	5	20	2,50
Effectif journalier de civelles et petites anguilles au niveau de la passe (efficacité de la montaison)	9	0	0	2	3	4	20	2,22
Superficie de frayères potentielles à brochet accessibles sur une période donnée	9	0	0	1	5	3	20	2,22
Taux de sédimentation	9	0	0	2	4	3	19	2,11

INDICATEUR PROPOSE	Nb de résultats	Répartition des résultats					Score total	Valeur moyenne
		nsp (1)	0	1	2	3		
Superficie par taxon (characées, potamots...)	9	1	0	1	6	2	19	2,11
Diversité taxonomique des prairies inondables	9	1	1	0	5	3	19	2,11
Pourcentage des grands groupes de phytoplancton, dont cyanophycées	9	1	0	2	4	3	19	2,11
T°, Oxygène, pH	8	1	0	2	2	4	18	2,25
Rapport C/N	8	1	0	1	4	3	18	2,25
Teneur en Chlorophylle	9	0	0	4	1	4	18	2,00
Caractéristiques chimiques et physiques des vases	8	1	0	1	4	3	18	2,25
Diversité taxonomique des hydrophytes (cuvette)	9	1	0	2	5	2	18	2,00
Nombre de jours de fauche/pâturage sur l'année	8	2	0	1	4	3	18	2,25
Teneurs en COT/COD	9	0	0	3	4	2	17	1,89
Diversité du peuplement d'oiseaux sur les prairies inondables	8	1	0	2	3	3	17	2,13
Diversité du peuplement de poissons par type d'habitats	9	0	0	4	2	3	17	1,89
Temps de séjour de l'eau	9	0	1	2	4	2	16	1,78
Effectifs de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides	8	1	1	1	3	3	16	2,00
Taux de reproduction / Nombre de nids de certaines espèces d'oiseaux sur les prairies humides (efficacité de la reproduction) : limicoles, guifettes...)	8	1	0	3	2	3	16	2,00
Diversité du peuplement et effectifs fréquentant les vasières (sites d'alimentation, abri, repos)	8	1	1	0	5	2	16	2,00
Valeur fourragère (productivité et rendement) des prairies inondables	8	2	0	3	2	3	16	2,00
Superficie de plans d'eau (non) accessibles aux pêcheurs professionnels (tirant d'eau)	7	0	0	0	5	2	16	2,29
Superficie des boisements	7	3	1	0	3	3	15	2,14
Jussie (superficie, densité...)	9	0	2	2	2	3	15	1,67
Teneurs en micropolluants organiques (herbicides notamment)	8	1	2	1	2	3	14	1,75
MES (voir dynamique sédimentaire)	5	4	0	0	1	4	14	2,80

INDICATEUR PROPOSE	Nb de résultats	Répartition des résultats					Score total	Valeur moyenne
		nsp (1)	0	1	2	3		
Effectifs de certaines espèces d'oiseaux par type de milieux	7	2	1	1	2	3	14	2,00
Ecrevisse de Louisiane (effectifs, densité...)	9	0	2	3	1	3	14	1,56
Conductivité eau interstitielle	7	2	0	3	3	1	12	1,71
Teneur en minéraux dans l'eau interstitielle	7	2	0	4	2	1	11	1,57
Nombre de brochetons	5	4	0	1	2	2	11	2,20
Effectif de loutres	6	3	1	1	2	2	11	1,83
Nb de jours de pratique de la chasse sur la période de chasse au gibier d'eau	6	1	1	1	2	2	11	1,83
Efficacité de la reproduction	6	3	1	2	1	2	10	1,67
Nb de jours de pêche sur une période de basses eaux	5	2	0	1	3	1	10	2,00
Indice de qualité d'accueil de GL pour le brochet	5	4	1	0	3	1	9	1,80
Rat musqué (effectifs piégés...)	9	0	3	4	1	1	9	1,00
Ragondin (effectifs piégés)	9	0	3	4	1	1	9	1,00
IP lacustre	3	6	0	1	1	1	6	2,00

(1) nsp : ne se prononce pas

Couleurs par thématique :

Qualité de l'eau	Oiseaux	Espèces invasives
Dynamique sédimentaire	Poissons	Usages agricoles
Flore et groupements végétaux	Autres groupes faunistiques	Pêche professionnelle et chasse

### 6.1.3. Discussion et commentaires

Les résultats de la notation et les discussions qui ont suivi la restitution globale des résultats ont montré que les intervenants avaient surtout évalué et noté l'importance d'une thématique, l'intérêt de suivre certains paramètres (certains groupes, certains milieux...) en lien avec ce qui fait l'intérêt de Grand-Lieu : d'une manière globale, ce sont donc surtout les grands enjeux qui ont été notés, plus que la pertinence à proprement parler de l'indicateur par rapport à la problématique des niveaux d'eau.

Par ailleurs, les intervenants ont formulé quelques remarques, qu'il est intéressant de reprendre ici pour la suite de la réflexion.

- Les facteurs sont de types et de niveaux différents : ils traduisent des états, des pressions, renseignent sur la qualité du milieu, sur sa fonctionnalité... une typologie des indicateurs pourrait être utilisée ;
- Certains indicateurs (notamment les paramètres de l'eutrophisation) sont jugés redondants ;

- Certains indicateurs sont jugés trop intégrateurs : par exemple l'indice de qualité d'accueil de Grand-Lieu pour le brochet, la diversité globale du peuplement de poissons, la diversité du peuplement de poissons par type d'habitat...
- Concernant l'indicateur « durée d'immersion des prairies (reproduction du brochet) », il est demandé d'ajouter la notion de continuité de l'inondation ;
- Il serait nécessaire d'intégrer la notion de qualité dans l'approche sur la diversité globale du peuplement de poissons ;
- Les facteurs liés à l'agriculture sont jugés très importants en terme d'impact des niveaux d'eau sur la profession agricole, mais aussi en terme d'intégration des exploitants à l'expérimentation ;
- Enfin, il ne semble pas pertinent de traiter pêche professionnelle et chasse (activité de loisirs) sur le même plan (les 2 thèmes sont maintenant traités séparément) ; la chasse pourrait être abordée sous l'angle d'un indice de satisfaction des chasseurs riverains vis-à-vis de la gestion pratiquée sur le lac ; mais dans ce cas, il a aussi été indiqué qu'il n'y a pas de raison pour que l'on ne retienne pas aussi un indice de satisfaction des promeneurs, des naturalistes...

#### 6.1.4. Les nouveaux indicateurs proposés par le Conseil Scientifique

Globalement, il n'a pas été proposé, lors de cette séance collective de travail, beaucoup d'autres indicateurs réellement innovants ; mais plutôt quelques adaptations, voire des compléments en terme de modalités d'approche ou de fréquence. Les propositions formulées sont les suivantes :

- Turbidité : à mesurer en continu en amont et en aval pour connaître les flux de MES<sup>3</sup> ;
- Etudier la végétation sous la forme de transects de végétalisation afin de bien appréhender les zonations spatiales ;
- Rechercher la proportion de carbonates (CaCO<sub>3</sub>) et celui de carbone organique sur les MES ;
- Utiliser un indice poisson et de mesure de la continuité piscicole au sens DCE ; s'intéresser à l'ensemble des populations de poissons indicateurs d'un milieu (approche biotypologique) ; ne pas se limiter à l'anguille pour l'aménagement des ouvrages de franchissement ;
- Trouver des indicateurs de pathologie et de suivi de micropolluants pour évaluer l'état de santé des populations de poissons<sup>4</sup> ;
- Effectifs et/ou biomasses de silure glane ;
- Plutôt que « superficie de prairies exondées à une date donnée supposée idéale », utiliser l'indicateur « Date à laquelle les prairies sont totalement exondées » ;
- Suivre les populations de castor ;
- Suivre l'évolution du myriophylle du Brésil (espèce invasive)
- Suivre la proportion de prairies inondables par rapport à la surface totale prairiale par SAU ;
- Définir un indicateur « Densité du bétail » ;
- Utiliser un indicateur « Nombre de journées et nombre de chasseurs (nombre d'hommes-journées) » pour mesurer la pression de chasse en fonction de la gestion hydraulique.

<sup>3</sup> Rappelons que la turbidité permet une évaluation, et non une mesure, des MES ; établir une corrélation préalable est nécessaire

<sup>4</sup> Des bio-marqueurs écotoxicologiques de terrain existent, mais les analyses sont très coûteuses

## 6.2. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Dans le cadre de l'étude relative au « rétablissement d'un marnage sur le lac d'Annecy » (SILA, SAGE Environnement, Compagnie Nationale du Rhône, Conseil Général Haute-Savoie, Agence de l'Eau RMC), et dont les tenants et aboutissants seront donnés au chapitre 6.2.1., une recherche bibliographique a été réalisée. Il en ressort que la régulation du niveau d'eau d'un lac a des effets négatifs sur 3 compartiments (WANTZEN et Al, 2008) :

- Les roselières : par concentration de l'énergie de la houle sur une même tranche d'eau, érosion de la beine lacustre (support physique des roselières), fragilisation des tiges, réduction de la surface potentiellement colonisable...
- L'épuration du lac : limitation de la dépollution des sédiments ;
- Le peuplement piscicole : par diminution de la productivité de bordure (CISALB 2007).

Concernant les roselières, il est à noter que d'autres facteurs de régression que la régulation du niveau d'eau ont été identifiés (OSTENDOOORP, 1989) :

- La destruction directe,
- Les dommages mécaniques (vagues et débris flottants),
- La pression de pâturage (oiseaux d'eau, rats musqués, ragondins...),
- La qualité de l'eau et des sédiments (eutrophisation).

Il semble admis que le déclin des roseaux est engendré par une combinaison de facteurs (Van der Putten, 1997) parmi lesquels un régime hydrique stabilisé semble être l'élément précurseur, en impactant notamment la dynamique de croissance des roseaux.

Il faut noter que le temps de réponse de l'habitat roselière à une modification de régime hydrologique est rarement inférieur à 4 ou 5 ans, mais que l'inertie peut être plus élevée encore en fonction de l'état de dégradation des roselières (G. Blake, 2011).

Par ailleurs, Hill et Al (1998) ont observé que les communautés végétales rivulaires des lacs canadiens régulés étaient moins diversifiées que celles des lacs canadiens non régulés ; elles contiennent des espèces plus exotiques, et **les espèces rares y sont généralement absentes.**

Malgré quelques observations ponctuelles, il n'existe pas d'expérimentation concrète menée dans le cadre d'un retour à un marnage, expérimentation qui aurait pu permettre de constater des impacts à une échelle appropriée à l'aide d'indicateurs biologiques. Les exemples donnés dans les chapitres qui suivent ouvrent cependant quelques pistes de réflexion.

Cependant, la plupart de la documentation disponible relative à la gestion ou l'évolution de milieux naturels en lien avec la gestion hydraulique concerne les roselières : les objectifs premiers sont par exemple la restauration, l'entretien, le maintien, la création, ou au contraire la réduction voire l'élimination de la roselière ; et la gestion hydraulique est un moyen, parmi d'autres éventuellement, d'atteindre cet objectif.

Bien évidemment, les retours de ces approches peuvent être intéressants, car la problématique « roselières » existe à Grand-Lieu. Cependant, notre étude porte sur une échelle plus globale et moins restrictive, et surtout, il ne s'agit pas véritablement d'utiliser la gestion hydraulique comme moyen d'arriver à une situation donnée, connue et souhaitée ; au contraire, c'est presque la démarche inverse : appliquer une gestion hydraulique et en évaluer les résultats. Et sur cette approche, la bibliographie est peu prolifique.

Il est noté cependant, dans cette même étude, que si « la plupart des grands lacs possédant historiquement des roselières aquatiques ont vu une régulation des niveaux s'installer au cours des années, aucun n'a fait l'objet d'un véritable « retour en arrière » en terme de rétablissement de marnage basé sur les besoins de cet habitat ».

## 6.3. RETOURS D'EXPERIENCE

D'autres sites du territoire national sont ou ont été confrontés à une problématique de gestion artificielle des niveaux d'eau ; dans certains cas, les modalités hydrauliques ont été modifiées avec l'objectif d'impacter, dans un sens jugé favorable, les peuplements biologiques. S'il est évident qu'il n'y a pas d'équivalent de Grand-Lieu sur notre territoire, il semble cependant pertinent de s'intéresser aux expériences ou approches similaires afin d'en tirer des enseignements susceptibles de nous aider dans le cas présent.

### 6.3.1. Rétablissement d'un marnage dans le lac d'Annecy

#### 6.3.1.1. Le contexte hydraulique

Le Lac d'Annecy est principalement alimenté par 4 affluents, l'Eau Morte, l'Ire, la Bornette et le Laudon, concentrés au sud du Lac. Le Thiou lui sert de déversoir naturel vers le Fier, affluent du Rhône.

Le niveau du lac est régulé depuis 1874. Les travaux de modernisation des ouvrages de régulation réalisés en 1965 ont eu pour effet d'augmenter la stabilisation de la cote. La Ville d'Annecy est responsable des manoeuvres de vannes : le niveau du lac doit être maintenu le plus près possible de la "cote légale de retenue" qui a été fixée à 80 cm à une échelle de lecture située au Pont de la Halle. Cependant, les risques d'inondation d'une part, et d'étiage sévère d'autre part, ont conduit à l'établissement de seuils de sécurité à respecter, avec des cotes minimales et maximales propres à chaque période, l'hiver et l'été.

D'après l'étude des régimes hydrauliques du lac, on constate les points suivants :

- pour les crues, une plus faible fréquence d'événements forts depuis les travaux de calibrage et bétonnage des canaux d'Annecy entre 1906 et 1914 ;
- pour les étiages : moins d'évènements extrêmes. Ce phénomène s'est renforcé avec la modernisation des ouvrages de régulation en 1965.

La simulation hydraulique réalisée fait apparaître un marnage annuel naturel de la cote moyenne mensuelle du lac de 50 cm alors que seulement 11 cm existent en régime régulé comme actuellement.

#### 6.3.1.2. Les indicateurs choisis

La stabilisation du niveau d'eau du lac par la régulation des débits de sortie a été identifiée comme un des facteurs responsables de la régression des roselières au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

Dans ce contexte et à l'issue de la réalisation de plusieurs études, le Syndicat d'Initiative du Lac d'Annecy (SILA) a initié en 2011 une réflexion sur les possibilités et l'opportunité de modifier la gestion du niveau du lac à des fins environnementales, dans un objectif de restauration des roselières, en termes de surface notamment. L'évaluation des impacts écologiques du rétablissement du marnage (3 scénarios hydrauliques ont été proposés, avec un marnage compris entre 50 et 74 cm) fait partie des objectifs, et les indicateurs biologiques retenus sont les suivants :

- Végétation hélophytique, en particulier les phragmitaies,
- Avifaune,
- Ichtyofaune,
- Castor,
- Invertébrés, odonates notamment.

La réflexion étant relativement centrée sur les roselières, ces indicateurs faunistiques ont été choisis notamment parce qu'ils l'utilisent comme habitat ; ils caractérisent par ailleurs l'écosystème lacustre et littoral.

### 6.3.1.3. Les résultats (envisagés...)

S'agissant d'une étude récente et d'une expérimentation en cours, le rapport ne fait état que d'une simulation d'impacts en fonction de différents scénarios hydrologiques. Les évolutions des indicateurs ne sont pas encore connues. Les principaux impacts envisagés (tous scénarios confondus) sont cependant les suivants :

- Gain écologique (en termes d'habitats) pour les oiseaux, notamment certaines espèces spécialisées comme les rousserolles et certains anatidés, en lien avec la restauration qualitative et quantitative des roselières aquatiques ;
- Augmentation de la fréquentation de certains limicoles ou Ardéidés, du fait de l'exondation printanière ou post estivale de certaines zones, liée au changement de régime hydrologique ;
- Risque potentiel d'exondation de certains nids ;
- Impact positif sur le castor, du fait d'une augmentation de l'habitat roselières ; cette espèce s'adapte d'ailleurs facilement aux variations de niveau d'eau ;
- Impact positif sur les odonates, du fait de l'extension des roselières et de leur capacité d'accueil (ressources alimentaires disponibles) ;
- Impact positif sur les poissons, notamment sur les espèces dont les alevins fréquentent les roselières (abri et nourriture) ;
- Pas d'impact négatif sur les espèces de poisson lithophiles de bordure et/ou se nourrissant en berge ; du fait notamment de leur mobilité et donc de leur capacité d'adaptation aux modifications physiques de leur milieu ;
- Impact positif sur le brochet lié à l'augmentation de la surface de roselière (abri) ;
- Impact potentiel sur la connectivité lac/affluents avec risque de ralentir ou d'entraver l'accès des truites à leur site de fraie.

Rappelons que l'un des scénarios hydrauliques a été construit sur la base d'un objectif de restauration de la roselière.

## 6.3.2. Lac du Bourget

*Source : la régulation du lac du Bourget (France) : nouveau fonctionnement hydraulique, impacts environnementaux ; in revue de géographie alpine – 1997, Tome 85 N°2 ; pp.11-21*

### 6.3.2.1. Le contexte hydraulique

En temps normal, le lac du Bourget se déverse dans le Rhône. Ce courant «s'inverse» lors des crues, le lac constituant un « bassin d'écêtement » naturel. Suite à des aménagements, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a instauré par convention en 1982 un fonctionnement bimodal, avec une cote basse d'hiver et une cote haute d'été. Il en a résulté :

- Une augmentation de la cote minimale annuelle
- Une diminution de la cote maximale annuelle
- Une diminution de 73 cm du marnage annuel.

Dans le détail, on constate aussi un abaissement du niveau pendant la saison de végétation, un rehaussement du niveau automnal, un écrasement du marnage mensuel moyen, la disparition des mini-crues...

### 6.3.2.2. Les éléments suivis et les observations

Des relevés ont été réalisés de 1952 (30 ans avant la régulation) à 1992 (10 ans après). Les impacts identifiés comme probables ou avérés sont les suivants :

- Impacts sédimentologiques : modification de la courantologie et de l'énergie érosive de la houle, avec remaniements bathymétriques ;
- Impacts pédologiques : altération de la structure (tassement) de sols hydromorphes (tourbeux notamment) du fait de leur exondation ;
- Réchauffement de l'eau près des berges, du fait de l'amincissement de la lame d'eau (impact sur la qualité de l'eau) ;
- Impacts sur la végétation : la baisse du niveau pendant la saison de végétation entraîne un recul du plan d'eau et donc une diminution directe de la roselière ; la végétation immergée et flottante est également menacée par disparition de la protection physique offerte par les roselières ; on note aussi un embroussaillage des zones terrestres. Les groupements arbustifs progressent aux dépens de la végétation herbacée ;
- Impact sur la faune et la flore avec perte d'habitats (roselières, prairies humides, vasières exondées à l'automne), impact sur la reproduction de certains oiseaux, frai du brochet aléatoire.

MIQUET conclut que « les différents impacts de la régulation du lac, tous négatifs pour le milieu naturel, interviennent rarement seuls, mais le plus souvent en synergie avec d'autres facteurs dont la part reste difficile à évaluer ».

### 6.3.3. Lac de Neuchâtel

#### 6.3.3.1. Le contexte hydraulique

Le niveau du Lac de Neuchâtel a subi 2 étapes de régulation principales :

- l'une durant la période 1868-1891 : elle a conduit à un abaissement d'environ 3 mètres du niveau, sans modification du régime annuel moyen, basses eaux plutôt en hiver et hautes eaux plutôt en été, avec une amplitude d'environ 2 m ;
- l'autre durant la période 1962-1973 : pas de modification du régime annuel moyen, mais diminution de l'amplitude de variation des niveaux d'eau (0,7 m).

#### 6.3.3.2. Les éléments suivis et les observations

La première période a généré la formation, par exondation de hauts-fonds, de ceintures marécageuses plus ou moins végétalisées et boisées ;

La seconde période a eu des effets différents selon les secteurs :

- dans la marge la plus proche du lac : disparition des cordons littoraux sableux régulièrement exondés et avec eux d'espèces telles que la renoncule radicante ou encore la littorelle, disparition des ceintures de nénuphars, recul localisé du marais non-boisé compensé par le développement de certains massifs de roselière lacustre ;
- dans la marge la plus éloignée du lac : densification généralisée des ligneux, particulièrement des ligneux à feuilles caduques dans les pinèdes alluviales, colonisation de ceintures marécageuses non-boisées par les ligneux.

### 6.3.4. PNR de Brière

Le Parc naturel régional de Brière est confronté à un phénomène d'atterrissement, et envisage entre autres un « renforcement de la gouvernance de la gestion hydraulique ».

L'objectif est donc de mieux comprendre l'évolution du marais, en lançant dans les années à venir, des programmes de recherche pour la caractérisation et l'évaluation des fonctions biogéochimiques, écologiques et hydrologiques. In fine, il s'agit d'éclairer les décideurs sur les conséquences des choix de gestion du marais et des niveaux d'eau.

### 6.3.5. Réserve Naturelle Nationale du Maraix d'Orx

#### 6.3.5.1. *Le contexte hydraulique*

D'un point de vue hydraulique, le site du marais d'Orx est composé de 4 casiers inter-dépendants. Une gestion hydraulique assez fine de ces casiers est possible grâce à un ensemble d'ouvrages (vannes, batardeaux, buses, pompes...). Les modalités de gestion hydraulique ont d'ailleurs été modifiées à partir de 2001, une nouvelle approche ayant été rendue nécessaire par des événements hydrauliques « extrêmes » (rupture de digue et inondation du site).

En terme écologique, le marais présente un intérêt ornithologique élevé.

La « nouvelle » gestion hydraulique n'a pas (ou très peu) modifié les variations intra ou inter annuelles, hormis lors des épisodes de crue, n'ayant pour objectif que l'obtention de niveaux d'eau globalement plus bas ; elle a ainsi permis d'améliorer la capacité à gérer les crues et les inondations.

#### 6.3.5.2. *Les éléments suivis et les observations*

Les gestionnaires ont adapté et/ou complété leurs outils internes (tableau de bord, scénarios de gestion en situation de crise) afin de suivre finement les variations et le fonctionnement hydrauliques du site. Mais il n'a pas été mis en place de protocole de suivi permettant de suivre finement l'évolution du site. En fait, ce sont plutôt les observations du milieu et des biocénoses (notamment les oiseaux) et le retour d'expériences en la matière qui permettent d'adapter la gestion hydraulique. Ce qui correspond à une démarche différente de celle suivie à Grand-Lieu (même si bien évidemment les observations du passé ont enrichi la réflexion sur le choix de nouvelles modalités de gestion hydraulique).

Un certain nombre de constats a cependant été dressé par les gestionnaires, le premier, rapidement, portant sur le milieu physique, avec la diminution des phénomènes de batillage et une moindre érosion des berges.

Sur le plan biologique, les gestionnaires du site ont constaté :

- un développement des habitats rivulaires ;
- le développement des jonçaias et/ou phragmitaies, ce qui, par le biais de la compétition interspécifique, a permis de « contenir » le développement de la jussie au niveau des rives ;
- une amélioration de l'état de santé des roselières ;
- une amélioration de la capacité d'accueil du site pour l'avifaune, en particulier des limicoles, des ardéidés et spatules ; l'augmentation de la superficie des vasières est un des éléments ayant contribué à cette évolution.

Ces incidences des nouvelles modalités de gestion hydraulique sur la faune et la flore ont été constatées dans un délai relativement court après leur mise en œuvre, de 1 à 2 ans.

La nouvelle gestion hydraulique concernant les évènements « extrêmes » induit des nuisances sur le plan environnemental :

- l'excès d'eau durant l'hiver oblige à mettre les casiers à contribution pour délester d'autres sites, et les cotes initialement prévues ne peuvent pas être respectées ;
- le déficit d'eau durant l'été peut conduire à des épisodes d'anoxie préjudiciables.

Il est intéressant de souligner à propos de ce site que le gestionnaire a une double approche : une approche par casier, et une approche globale à l'échelle du site et du bassin versant.

### 6.3.6. Lacs de Carcans-Hourtin et lac de Lacanau

#### 6.3.6.1. Le contexte hydraulique

Les niveaux d'eau des lacs résultent principalement des conditions météorologiques, mais un ouvrage hydraulique est présent sur l'exutoire de chaque lac.

Les gestionnaires envisagent de modifier la gestion des niveaux d'eau, pour tenir davantage compte des habitats Natura 2000 et de la continuité écologique. L'objectif est d'augmenter le marnage, avec si possible un niveau d'eau plus haut en hiver et au printemps, sans accroître pour autant le risque d'inondation.

Cependant, la météorologie étant déterminante sur les niveaux d'eau, les possibilités de modifications de la gestion hydraulique paraissent assez limitées.

#### 6.3.6.2. Les éléments suivis et les observations

Ces lacs font actuellement l'objet de plusieurs types de suivi, certains ayant été instaurés dans le contexte de modification de gestion des niveaux d'eau.

- Suivi de la végétation amphibie et aquatique des rives du lac, avec 2 méthodes jugées complémentaires :
  - o Réalisation de 11 transects perpendiculaires par le Conservatoire Botanique (depuis 2012 - fréquence 6 ans). Cette méthode étant jugée « chronophage », le nombre de sites suivis est restreint ;
  - o Description exhaustive de la végétation tous les 100 m de berge, réalisée en 2011 par l'IRSTEA (réalisée en 2011) ;
- Suivi des limicoles nicheurs sur les rives du lac : cet indicateur est considéré comme « dépendant des niveaux d'eau, mais surtout de l'entretien des rives du lac » ;
- Suivi des plans d'eau selon la circulaire DCE (l'Agence de l'Eau étant maître d'ouvrage) : le gestionnaire précise que « **le lien n'est pas simple et assez indirect entre la gestion des niveaux d'eau et l'état des masses d'eau DCE** » ;
- Bathymétrie des lacs en 2005, topographie des berges avec le LIDAR (télé-détection par laser) en 2011 ; prochaine campagne prévue dans une dizaine d'années, sachant que, selon le gestionnaire, « la topographie de ces lacs varie très lentement et qu'il n'est pas sûr que l'on puisse visualiser des évolutions sur un pas de temps si court ».

### 6.3.7. Etang de La Pouge (Haute-Vienne)

#### 6.3.7.1. Le contexte hydraulique

Une gestion des niveaux d'eau de cet étang est possible grâce à l'existence d'un moine et la possibilité d'enlever des madriers, ce qui permet d'augmenter encore le marnage.

Des travaux d'abaissement permanent du niveau d'eau de 50 cm ont été entrepris en début d'année 2012. Il s'agissait en fait de retrouver des niveaux proches de ceux des années 80 : en effet, des travaux consécutifs à une rupture de digue avaient engendré une augmentation des niveaux d'eau, avec pour conséquence l'enneigement des berges en pente douce et la perte d'habitat rivulaires.

### **6.3.7.2. Les éléments suivis et les observations**

Même s'il est constaté que la végétation colonise à nouveau les berges exondées, les travaux sont encore trop récents pour évaluer les évolutions du milieu. Sachant que les résultats attendus portent sur les gazons amphibiens vivaces et annuels, ainsi que sur les mégaphorbiaies.

En termes de suivi, il est prévu :

- une cartographie des habitats basée sur des relevés phytosociologiques ; elle a été réalisée juste après les travaux ;
- des transects au niveau de 4 stations, pour suivre l'évolution des gazons amphibiens ;
- 2 stations de suivi des mégaphorbiaies ;
- Un suivi photographique.

## **6.3.8. Marais d'Isle de Saint-Quentin (Aisne)**

### **6.3.8.1. Le contexte hydraulique**

Ce site a fait l'objet de modalités bien différentes en termes de gestion hydraulique, et qui se sont succédées ces dernières décennies :

- avant 1965 : gestion manuelle par les pêcheurs professionnels ;
- de 1965 à 1998 : gestion manuelle « désordonnée » ;
- de 1998 à 2007 : gestion automatique selon une seule cote ;
- de 2007 à 2011 : gestion automatique selon 2 cotes saisonnières ;
- depuis 2011 : gestion automatique selon 3 cotes saisonnières : les périodes étant 1<sup>er</sup> novembre - 30 avril (cote d'hiver) ; 1<sup>er</sup> - 20 mai (cote de printemps) ; 21 mai - 31 octobre (cote d'été).

La gestion automatique est possible grâce à une vanne située en aval et télé-gérée.

Les objectifs des nouvelles modalités étaient les suivants :

- avoir des variations saisonnières des niveaux d'eau ;
- favoriser une inondation hivernale ;
- intégrer une décrue ;
- permettre un étiage favorable à la germination sur les vases exondées ainsi que leur minéralisation par le contact avec l'oxygène atmosphérique.

Par ailleurs, les gestionnaires envisagent des tests de réduction du marnage quotidien « afin d'améliorer la qualité hydraulique du site ».

### 6.3.8.2. Les éléments suivis et les observations

Selon le gestionnaire, les observations principales sont les suivantes :

Indicateurs mis en place	Observations	Commentaires du gestionnaire
	Consolidation des tremblants tourbeux en lien avec la redynamisation des hélophytes (l'inondation n'étant plus permanente et le marnage quotidien ayant disparu).	Observations empiriques récentes
Mise en place de repères d'érosion des rives à partir de 2013		L'objectif est de suivre l'évolution des ceintures végétales et des profils bathymétriques au niveau des rives. En effet, la disparition ou régression des ceintures végétales amphibies entraîne une érosion des berges et une eutrophisation des pièces d'eau. Cet indicateur est jugé pertinent et le gestionnaire regrette de ne pas l'avoir mis en œuvre dès 1994, quand a débuté la gestion du site.
Cartographie des unités végétales « lacustres » depuis 1994, fréquence 5 ans	Réaction rapide et favorable de la flore dans les secteurs périphériques ; ce n'est pas le cas en pleine eau, où le gestionnaire constate une poursuite de la dégradation en raison des conditions anoxiques au fond et des perturbations des cycles azote et phosphore.	Cet indicateur est considéré comme « essentiel » par le gestionnaire
Suivi de la répartition des herbiers aquatiques depuis 2000 (tous les ans avec 3 passages)		Indicateur également jugé essentiel mais coûteux (il est possible de réduire le nombre de passages)
	Faune aquatique rare et peu diversifiée, du fait d'un déficit de supports de vie lié à la faible dynamique des herbiers aquatiques.	
Suivi IBGN tous les ans		Commentaire Aquascop : indicateur non adapté au site de Grand-Lieu
Suivi des oiseaux piscivores nicheurs ou hivernants		Cet indicateur « décrit la tendance de la dynamique de la faune piscicole sur le moyen terme à minima ». Il est jugé « très facile et très explicite ». La régression des poissons n'est d'ailleurs pas enrayée, et encore moins résorbée : la faune piscivore poursuit son déclin.
Suivi bathymétrique selon quelques transects en travers, tous les 5-10 ans depuis 1991.		Cet indicateur, jugé essentiel, « peut nuancer ou éclairer les notions d'érosion ou d'envasement »
Suivi de la qualité physico-chimique et recherche de polluants métalliques dans les eaux interstitielles (mêmes transects et même fréquence que la bathymétrie)		Indicateur jugé également essentiel, car il permet « de démontrer que le principal moteur de la dégradation aquatique est relatif à une mauvaise gestion hydraulique qui engendre l'anoxie et/ou l'eutrophisation ».

### 6.3.9. Réserve Naturelle Nationale de Saint-Quentin-en-Yvelines

Le site de Saint-Quentin fait l'objet d'une convention de gestion et d'un arrêté préfectoral. Des ajustements sont réalisés chaque année. L'existence d'une vanne, d'un batardeau et d'une pompe de relevage permet un contrôle des niveaux.

L'évolution du milieu est jugée positive, avec une préservation de la faune et de flore. Les temps de réaction dépendent bien évidemment des espèces concernées.

La mise en place d'indicateurs est à l'étude...

## 6.4. CONCLUSION - ELEMENTS DE REFLEXION PAR THEMATIQUE

### 6.4.1. Qualité de l'eau et dynamique sédimentaire

Le CCTP de l'étude demande explicitement que le protocole d'évaluation proposé à Grand-Lieu permette « d'observer l'évolution de tous les compartiments de l'écosystème », notamment la qualité de l'eau et l'envasement / l'érosion du lac.

Cette nécessité est d'autant plus grande que le niveau de connaissance de ces sujets reste encore insuffisant, malgré un certain nombre d'études ou de suivis plus ou moins ponctuels mis en place. Or, la qualité de l'eau est un des paramètres déterminants dans l'évolution de l'écosystème et notamment de celle des peuplements floristiques et faunistiques.

D'autre part, l'hypothèse de l'eutrophisation du lac, et de son envasement, qui a largement prévalu jusqu'à présent, est remise en cause, au moins partiellement, avec des variantes possibles à la fois dans l'espace et dans le temps.

Une qualité d'eau peut s'évaluer à partir d'un très grand nombre de variables, selon que l'on recherche un diagnostic sur la charge organique ou minérale, sur l'eutrophisation, sur la pollution métallique, sur les micropolluants organiques (pesticides)...

Si une connaissance la plus exhaustive possible reste en elle-même intéressante, il nous semble utile, dans le présent contexte, de se limiter à quelques paramètres permettant de statuer autant que possible sur le niveau d'eutrophisation du lac et sur la dynamique sédimentaire.

Au-delà de la qualité intrinsèque du lac, il semble également pertinent de pouvoir raisonner en terme de bilan entrées / sorties, afin de :

- bien identifier les apports et quantifier leur part dans l'état du lac ; mais aussi avoir des éléments permettant le cas échéant d'agir en amont ;
- de quantifier les exportations éventuelles, en lien notamment avec le fonctionnement hydraulique ; ce qui peut aussi permettre de fournir des éléments d'aide à la définition de modalités de gestion hydraulique susceptibles de participer à une amélioration de la qualité des eaux et des sédiments du lac.

Le suivi proposé portera donc principalement sur les paramètres azote, phosphore, matières organiques et MES, et intégrera une logique amont/aval.

### 6.4.2. Flore et groupements végétaux

Comme pour la qualité de l'eau, le CCTP de l'étude demande explicitement que le protocole d'évaluation s'intéresse à tous les compartiments de l'écosystème, notamment les peuplements végétaux aquatiques, subaquatiques et terrestres.

Sans revenir sur l'enjeu et le caractère emblématique des groupements végétaux de Grand-Lieu, la problématique niveau d'eau justifie pleinement que l'on s'intéresse tout particulièrement à la flore.

On sait déjà qu'il existe un lien étroit entre gestion hydraulique et roselière. D'autant que, contrairement à la faune, la flore n'est pas mobile : elle n'a donc pas la même capacité de réaction face à des changements brutaux de niveaux d'eau par exemple, et ne peut mettre en œuvre de mécanismes d'adaptation à court terme. Entre autres facteurs, les conditions d'immersion et d'émersion, en termes de fréquence, de rapidité et de niveau d'eau, sont déterminantes dans l'installation, le maintien ou la disparition de certaines espèces.

Le suivi végétal répond donc directement à la problématique hydraulique. Les pistes proposées sont précisées ci-dessous par grand type de peuplements.

#### **6.4.2.1. Roselières et grands hélophytes**

Les éléments bibliographiques disponibles mettent assez bien en évidence le lien entre régime hydraulique et état des roselières, sur les plans qualitatif et quantitatif. De nombreuses expérimentations ou démarches visant d'ailleurs à utiliser la gestion hydraulique comme une technique de gestion de la roselière ont été réalisées ou sont en cours.

A Grand-Lieu, la régression des roselières boisées est considérée comme un point négatif d'évolution du milieu. S'y ajoute la disparition de la ceinture d'hélophytes. La gestion actuelle des niveaux d'eau étant considérée comme un des facteurs prépondérants responsables de cette double évolution, les indicateurs retenus doivent permettre de suivre leur évolution dans le temps et dans l'espace.

Il faut noter que les roselières sont susceptibles d'avoir un temps de réponse aux variations de milieu assez long, du fait d'une certaine inertie vis-à-vis du régime hydrologique ; le temps de réponse est par ailleurs potentiellement variable selon les secteurs en fonction du niveau de dégradation de la roselière.

Il nous semble donc nécessaire de distinguer les différents types de roselières : roselières boisées, cariçaies, phragmitaies à touradons, phragmitaies inondées... car elles ne répondent pas à la même dynamique et peuvent présenter des évolutions différentes.

Le suivi pourra être quantitatif (superficie par type de roselière par exemple) mais aussi qualitatif : densité, taille et/ou diamètre des tiges... Une vigilance particulière s'impose aussi sur les espèces accompagnatrices présentes, notamment les espèces patrimoniales, les espèces invasives (jussies...).

#### **6.4.2.2. Macrophytes flottants**

Groupement végétal et habitat majeur de Grand-Lieu, les herbiers à macrophytes flottants jouent un rôle écologique, esthétique et paysager très fort. Au cours des dernières années, plusieurs évolutions ont été constatées ; le lien avec les niveaux d'eau est souvent avancé, même si d'autres facteurs sont identifiés, notamment les aspects sédimentaires. Là-encore, le suivi est indispensable, et doit s'intéresser à la fois aux aspects :

- quantitatifs : surfaces des herbiers à macrophytes flottants,
- qualitatifs : en distinguant et qualifiant (espèces, densité..) les types d'herbiers, qui ont évolué différemment, peut-être en lien avec une sensibilité différente aux différents facteurs identifiés, notamment la qualité de l'eau et la dynamique sédimentaire.

Le suivi devra donc porter sur les herbiers à châtaigne d'eau, à nénuphars blanc et jaune, à limnanthème...

Nous proposons par ailleurs de nous en tenir à un nombre limité d'indicateurs, et de les choisir autant que possible simples (dans la mise en œuvre et/ou dans l'interprétation) : il ne nous paraît ainsi pas utile de retenir des paramètres de type productivité par exemple.

#### **6.4.2.3. Boiselements**

Les roselières sont susceptibles d'être remplacées par des forêts inondables (évolution naturelle) ; les aulnes, frênes ou saules s'installent plus favorablement lors des périodes de bas niveaux d'eau. Le suivi des boiselements et du ratio roselières / boiselements constitue donc un élément d'information intéressant.

#### **6.4.2.4. Flore des prairies humides**

La flore des prairies humides résulte d'une combinaison de facteurs :

- pédologiques ;
- hydriques : les modifications des conditions d'exondation ou d'inondation des zones rivulaires peuvent entraîner des modifications du cortège floristique,
- agricoles (mode d'exploitation).

Le suivi devra donc porter sur des prairies bien évidemment soumises au régime hydraulique, mais faisant aussi l'objet de modes d'exploitation différents :

- sans exploitation : ni fauche ni pâturage,
- avec fauche,
- avec pâturage,
- avec fauche et pâturage.

Dans la mesure du possible, les paramètres de l'inondation devront être identiques sur les différents sites : hauteur d'eau, période et durée d'inondation et d'exondation...

La méthode des transects décrite dans le paragraphe suivant est tout à fait adaptée au suivi des prairies humides. Mais s'agissant du milieu le plus exposé aux variations de niveau d'eau, il est proposé, afin d'affiner le diagnostic, de compléter cette méthode par une approche phytosociologique.

#### 6.4.2.5. Suivi global de la végétation

Au-delà des grands groupements végétaux, il est important de connaître la diversité globale de la flore présente sur l'ensemble du site de Grand-Lieu, toutes caractéristiques physiques et habitationnelles confondues.

D'un point de vue méthodologique, la méthode des transects de végétation proposés par M. LACROIX (botaniste faisant partie du Conseil Scientifique) paraît tout à fait adaptée et pertinente. Cette approche permet notamment d'intégrer tous les milieux présents de manière centripète, de la prairie humide vers l'eau libre, et donc de couvrir l'ensemble des situations en termes de réponse à de nouvelles modalités de gestion hydraulique.

Cette méthode permettra aussi de suivre la zone intermédiaire située entre les roselières boisées et les herbiers flottants, autrefois occupée par une ceinture végétale constituée de plantes pionnières, capables de s'adapter à de brusques variations des conditions de milieu : cette ceinture végétale qui évolue normalement naturellement vers la phragmitaie a disparu, peut-être en lien avec une certaine uniformisation des niveaux d'eau, même si d'autres facteurs semblent également jouer un rôle important, comme l'eutrophisation de l'eau par exemple.

Les taxons recensés devront être quantifiés (utilisation de **coefficients d'abondance**) mais une approche qualitative devra compléter cet inventaire : la prise en compte de caractéristiques particulières sera recherchée, telles que :

- rapidité de colonisation (**espèces pionnières** ou non),
- coefficient de **sténocéie** (prise en compte de l'amplitude écologique, avec une échelle de 1 à 3),
- coefficient d'**oligotrophie** (affinité plus ou moins grande pour des eaux chargées en nutriments, note de 1-eutrophe à 20-oligotrophe),

Ces deux derniers coefficients, spécifiques à chacun des taxons, sont intégrés dans l'indice IBMR utilisé dans les cours d'eau et dans le futur IBML dans les lacs. Précisons qu'ils ont été établis pour les espèces strictement aquatiques.

L'interprétation des résultats pourrait par exemple comporter le nombre d'espèces par valeurs ou gammes de valeurs des coefficients (notamment les valeurs extrêmes les plus indicatrices). A titre d'illustration, la présentation des informations pourrait se faire sous la forme suivante :

Transect 1 : coordonnées début et fin (voir carte)

		<b>Milieu 1</b>	<b>Milieu 2</b>	<b>Milieu 3</b>		<b>Milieu n</b>	<b>Total transect</b>
<b>Type de milieu (Corine Biotope)</b>							
<b>Longueur</b>							
<b>Hauteur d'eau</b>							
<b>Nature des fonds</b>							

		<i>Milieu 1</i>	<i>Milieu 2</i>	<i>Milieu 3</i>		<i>Milieu n</i>	<i>Total transect</i>
<b>Nombre de taxons</b>							
<b>STENOECIE</b>	1						
Nb de taxons par catégorie	2						
	3						
<b>OLIGOTROPHIE</b>	1-5						
Nb de taxons par catégorie	6-10						
	11-15						
	16-20						

Des indicateurs globaux de sténoécie et d'oligotrophie pourraient être construits à partir de la combinaison des résultats par catégorie.

La position et la largeur des transects devront être définies dans un second temps, dans le cadre de l'élaboration du programme. On peut cependant d'ores et déjà préciser que le positionnement des transects devra prendre en compte des fonctionnements hydrauliques différents, de façon à mieux distinguer la part de ce facteur lors de l'analyse des résultats.

### 6.4.3. Oiseaux

Le suivi des peuplements d'oiseaux est une demande explicite du cahier des charges de l'étude, car il s'agit d'un des groupes biologiques qui ont le plus participé à la réputation de Grand-Lieu.

Toutes autres conditions égales par ailleurs, les niveaux d'eau sont un facteur prépondérant et/ou limitant dans la fréquentation, l'installation et le succès de la reproduction de certains groupes d'oiseaux. Par exemple, en fin d'hiver, les niveaux d'eau doivent être compatibles avec les besoins de certaines espèces : ni trop bas, ni trop hauts, pour éviter risques de prédatons et risques de submersion...

Le suivi réalisé tous les ans par la SNPN est très complet, avec de nombreuses campagnes portant sur l'ensemble des milieux et des groupes, ce qui permet d'avoir régulièrement une image extrêmement précise de la situation.

Il ne parait donc pas utile d'ajouter un nouvel indicateur « oiseaux ; mais nécessaire d'intégrer les résultats du suivi de la SNPN dans l'analyse globale des évolutions de l'écosystème, sans doute à une échelle de temps plus large. En effet, ce sont surtout les évolutions constatées sur une période continue et après plusieurs années qui pourront éventuellement être mises en relation avec une gestion hydraulique différente.

La difficulté concernant les peuplements d'oiseaux réside dans l'analyse des résultats, rendue complexe par la multiplicité des facteurs régissant leurs évolutions.

### 6.4.4. Poissons

Les poissons, situés au sommet de l'écosystème aquatique, constituent un indicateur précieux de son état de fonctionnement. Leur étude permet de comprendre comment la qualité de l'eau et des sédiments ainsi que l'état physique du milieu influencent les communautés aquatiques. Notons que quelques éléments bibliographiques mettent en évidence l'impact de certaines modalités de gestion hydraulique sur le peuplement de poissons, avec par exemple une diminution de la productivité de bordure (CISALB 2007).

La difficulté réside dans le fait de replacer ces phénomènes dans les évolutions inter-annuelles habituelles constatées dans tous les milieux.

En termes d'indicateurs, il est proposé dans un premier temps de retenir **la diversité et l'équilibre** des peuplements, et donc de s'intéresser aux effectifs et aux classes d'âge des poissons.

La zone littorale étant la plus impactée par les modifications de régime hydraulique, il pourrait donc être pertinent de s'intéresser plus particulièrement au **peuplement de bordure**. La mobilité des poissons laisse cependant penser qu'ils sauront réagir et s'adapter aux variations de niveau, du moins si celles-ci ne sont pas trop brutales.

Sans aller jusqu'à retenir un indicateur propre au peuplement de bordure, l'analyse de la diversité globale du peuplement intégrera tout particulièrement les espèces fréquentant les zones rivulaires. En se limitant, par exemple, aux espèces déjà recensées au moins une fois à Grand-Lieu :

- les espèces lithophiles de bordure : le goujon (recensé au début du XXe siècle à Grand-Lieu, mais déjà considéré en déclin !)
- les espèces présentant des juvéniles en berge : la perche, le gardon ;
- les espèces qui se nourrissent, au moins partiellement, en berge : la carpe, la tanche, la brème.

Comme pour d'autres groupes biologiques, les indicateurs du peuplement pisciaire devront être analysés à une échelle de temps adaptée, de l'ordre de plusieurs années.

Outre la diversité globale du peuplement, on ne peut s'intéresser au peuplement pisciaire de Grand-Lieu sans prendre en compte 2 espèces phares et emblématiques du site : **le brochet et l'anguille**. Leur sensibilité aux niveaux d'eau et à la gestion hydraulique, en terme de production pour l'un et en terme de circulation pour l'autre, suffit par ailleurs à les retenir comme indicateurs : pour le brochet, l'accent sera mis sur la connectivité entre les sites de reproduction (prairies humides) et le lac pour le retour des brochetons après la fraie ; pour l'anguille, on s'intéressera en particulier à la dévalaison des adultes et à la remontée des juvéniles (civelles).

#### 6.4.5. Autres groupes faunistiques

L'analyse de la bibliographie, les retours d'expérience et la réflexion sur le sujet n'ont pas permis d'identifier d'autres indicateurs relatifs à la faune indispensables dans le cadre de la problématique niveaux d'eau et gestion hydraulique. D'autant que les données concernant un certain nombre de groupes faunistiques sont rares.

#### 6.4.6. Espèces invasives

Les quelques espèces allochtones invasives qui prolifèrent à Grand-Lieu constituent une menace forte pour l'écosystème, au même titre que la dégradation de la qualité de l'eau. Il s'agit notamment de l'écrevisse de Louisiane, du ragondin et de la jussie.

**L'écrevisse de Louisiane** est agressive et prolifique, et présente une grande plasticité écologique. Elle supporte les eaux peu oxygénées et turbides. Elle participe d'ailleurs à la turbidité de l'eau par son comportement fouisseur (elle creuse des galeries dans les berges). Enfin, elle supporte des périodes d'assèchement prolongées et est capable de coloniser de nouveaux milieux aquatiques par la voie terrestre. Une étude réalisée en 2012 par F. FONTENEAU (université de Rennes 1) a montré que les prairies humides de Grand-Lieu jouaient un rôle de nourricerie des écrevisses.

**Le ragondin** est considéré comme l'espèce invasive qui a provoqué les plus forts déséquilibres sur l'écosystème de Grand-Lieu. Entre autres, il est notamment accusé d'être responsable de la disparition des grands hélophytes (petit typha et scirpe lacustre), de la raréfaction de la châtaigne d'eau et de favoriser la propagation du botulisme : un bilan déjà bien négatif pour une espèce qui aurait atteint son extension maximale à Grand-lieu, site qui ne lui serait pas pleinement favorable !

Ces différents effets et les menaces que cette espèce fait peser sur le milieu justifient de suivre l'état et l'évolution des populations, ne serait-ce que pour les mettre en parallèle avec ceux des autres groupes biologiques.

**Concernant la jussie**, les éléments bibliographiques disponibles montrent que, malgré les moyens de lutte actuellement mis en oeuvre, les phénomènes de proliférations s'accroissent et réduisent la diversité végétale des milieux envahis ainsi que les capacités d'accueil de la faune, plus particulièrement aquatique. Les usages, notamment agricoles, peuvent également être entravés.

L'impact négatif des espèces invasives sur l'évolution de l'écosystème de Grand-Lieu est avéré, mais pas réellement quantifié, du fait, là-aussi, d'une synergie de facteurs. Le fait que la menace soit réelle justifie de fait la nécessité de suivre l'évolution de ces espèces en parallèle de l'évolution des espèces autochtones.

Il s'agit notamment d'appréhender l'impact éventuel d'une modification de la gestion hydraulique sur ces espèces : a minima de s'assurer que les nouvelles modalités ne les favorisent pas.

## 7. PROPOSITION D'INDICATEURS

---

### 7.1. LES CRITERES DE CHOIX

Au-delà des éventuelles difficultés ou freins, scientifiques, techniques ou économiques, susceptibles d'être identifiés par la suite (et qui feront l'objet de la hiérarchisation multicritères), nous proposons dans un premier temps de retenir les éléments suivants comme premiers critères de choix d'un indicateurs :

- il permet de **mieux comprendre le fonctionnement du site** (d'accroître les connaissances) ;

Notons d'ailleurs que certains sujets encore mal connus pourraient justifier la réalisation d'une étude spécifique.

- il renseigne sur **l'état actuel et l'évolution du lac** : notamment en terme **d'eutrophisation** ;
- il est **intégrateur** ;
- il renseigne sur la **bonne fonctionnalité du site** ;
- il renseigne sur la **biodiversité du site**.

Par ailleurs, définir des indicateurs qui soient, dans la mesure du possible, « DCE compatibles » aurait pu être considéré comme utile ; rappelons à ce sujet que le lac de Grand-Lieu, malgré ses particularités, a, comme toutes les autres masses d'eau plans d'eau du bassin Loire-Bretagne, un objectif DCE qui lui a été assigné : bon état à l'échéance 2027.

Cependant, nous ne considérons pas ce critère comme devant être retenu : de notre point de vue, les investigations DCE, conçues pour un rapportage européen, sont relativement minimalistes, notamment en nombre de points de suivi et fréquence. Elles ont par ailleurs été élaborées pour être appliquées au plus grand nombre de types de masses d'eau plans d'eau du territoire national, et non aux exceptions. Elles ne nous paraissent donc pas adaptées, en l'état actuel, à la taille du site de Grand-Lieu, à ses vraisemblables hétérogénéités spatiales en termes de qualité d'eau notamment, ainsi qu'à la complexité et l'unicité du site.

### 7.2. LA DEMARCHE GLOBALE DE CONSTITUTION D'UN PROGRAMME DE SUIVI

Au vu des nombreux indicateurs ou variables susceptibles d'être suivis d'une part, et de la multiplicité des facteurs régissant l'évolution du milieu d'autre part (et donc des vraisemblables difficultés d'analyse des résultats), il nous paraît nécessaire de rationaliser la démarche autant que possible.

Aussi est-il proposé de retenir des indicateurs pertinents, demandés notamment par le cahier des charges ; et ce en un nombre restreint, mais de :

- multiplier les sites de suivi et avoir un témoin parmi les sites : par exemple, pour un même indicateur, identifier des sites plus ou moins soumis au facteur hydraulique, de façon à favoriser une analyse des résultats par comparaison plutôt que dans l'absolu.
- choisir des échelles de temps appropriées au sujet suivi : plus que les « micro » variations à l'échelle de l'année, ce sont les variations pérennes sur plusieurs années (ou les oscillations autour d'une nouvelle moyenne) qui traduiront une évolution avérée (mais pas forcément irréversible) du milieu.
- choisir la bonne fréquence, au vu de la remarque ci-dessus, et cibler les périodes les plus pertinentes en fonction des indicateurs retenus (ce qui sera pris en compte dans le protocole de suivi).

## 7.3. INDICATEURS PROPOSES

Il est proposé de retenir, et de soumettre à la hiérarchisation multicritère, cette première liste d'indicateurs :

### 7.3.1. Indicateur Qualité de l'eau du lac-eutrophisation

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>QUALITE D'EAU DU LAC-EUTROPHISATION</b>	Elément de connaissance de l'état du lac	A réaliser le cas échéant dans des secteurs de fonctionnement hydraulique différent (casiers)
<b>Paramètres</b> Temps de séjour	Donnée d'entrée pour comprendre le fonctionnement du lac (phénomènes physiques et biologiques)	A calculer : paramètre indispensable pour comprendre le fonctionnement et interpréter les résultats
Transparence Et/ou turbidité  Et/ou concentration en MES (et proportion minérale/organique)	Paramètre indicateur de la densité algale et/ou de la (re)mise en suspension	Fréquence a minima hebdomadaire ou mesures en continu  Nécessité de corrélérer transparence / teneur en MES / Turbidité  Plusieurs points de mesure  A noter que la transparence est un élément de qualité DCE, dont l'évaluation est basée sur une moyenne estivale (3 mesures)  Noter en parallèle force et vitesse de vent, facteur influençant les paramètres transparence/turbidité
Concentrations en COD / COT	COD : est surtout fonction des apports du bassin versant	Fréquence hebdomadaire
Concentrations en N et P (et formes)	Paramètres de l'eutrophisation	Nécessité d'une fréquence élevée pour le calcul des flux, au moins aux périodes d'apports prépondérants
Composition des peuplements algaux – pourcentage des grands groupes (dont cyanophycées) et calcul de l'Indice Planctonique Lacustre (IPL)	Informe sur le niveau d'eutrophisation Paramètre intégrateur, <b><u>indicateur d'un état</u></b>	La forte variabilité et l'évolution rapide des peuplements justifient une fréquence a minima hebdomadaire  A noter que l'IPL (ou prochainement l'IPLAC) est un élément de qualité DCE, dont l'évaluation est basée sur la moyenne des 4 mesures (une par saison), ce qui est notablement insuffisant dans la présente problématique
Concentration en chlorophylle a	Renseigne sur la biomasse algale	Cet indicateur n'est pertinent qu'avec une fréquence de suivi a minima hebdomadaire  A noter que la chlorophylle a est un élément de qualité DCE, dont l'évaluation est basée sur une moyenne estivale (3 mesures), ce qui est insuffisant dans le cas présent.

### 7.3.2. Indicateur Entrées et sorties de nutriments

INDICATEUR	Justification	Remarque
<p><b>ENTREES ET SORTIES NUTRIMENTS</b></p> <p>Concentrations en azote et phosphore des tributaires – débits concomitants</p>	<p>Calculer les flux entrants en azote et phosphore pour connaître le potentiel d'eutrophisation du milieu</p>	<p>Raisonner en flux. Réaliser un suivi avec des prélèvements asservis aux débits</p> <p>2 à 3 stations amont (1 par tributaire : Ognon et Boulogne ; éventuellement ru de la Chaussée) et 1 station aval (Acheneau)</p> <p>En faire un sujet d'étude à part entière ?</p> <p><b>Stations de suivi existantes :</b></p> <p><b>Entrées :</b> <b>Ognon</b> aux Sorinières, au pont de Viais (04148587), suivie depuis 2002 ; fréquence 6. A coupler avec la station hydro M8205020</p> <p><b>Boulogne</b> à St-Philbert-de-Grand-Lieu, pont LD La Viègue (04148590), suivie depuis 2008 ; fréquence 6 ; pas de station hydro correspondante (station M8144010 située 3 km plus en amont mais sur la Logne)</p> <p><b>Ru de la Chaussée</b> (04682000) : suivi physico-chimique à partir de 2014 – fréquence ?</p> <p><b>Sortie :</b> <b>Acheneau</b> à Bouaye, pont de la D264 (04148250), suivie depuis 1999 ; fréquence 6 ; pas de station hydro sur l'Acheneau.</p> <p>NB : les fréquences actuelles sont insuffisantes pour étudier la problématique en cause</p>

### 7.3.3. Indicateurs concernant la dynamique sédimentaire

INDICATEUR	Justification	Remarque
<p><b>ENTREES ET SORTIES MES</b></p>		<p>Raisonner en flux</p> <p>2 à 3 stations amont (1 par tributaire : Ognon et Boulogne ; éventuellement ru de la Chaussée) et 1 station aval (Acheneau)</p>
<p>MES entrantes MES sortantes Concentration + composition (fraction organique/minérale)</p>	<p>Appréhender la dynamique sédimentaire Estimer les flux entrant et sortant Calculer le stockage</p>	<p>Fréquence bimensuelle + journalière en crue</p> <p>En faire un sujet d'étude à part entière ?</p>
<p><b>BATHYMETRIE</b> : hauteur d'eau et hauteur/nature de sédiment</p>	<p>Suivre l'évolution intra et interannuelle</p>	<p>Utiliser une méthode « moderne » moins fastidieuse que celle, au demeurant très précise, utilisée jusqu'à présent</p> <p>Fréquence à déterminer (par période de niveau d'eau constant)</p>
<p><b>CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SEDIMENTS</b></p> <p>Paramètres ci-dessous</p>	<p>Impact des variations de niveau sur les capacités de minéralisation des sédiments</p>	<p>A suivre si possible dans différents secteurs dont des secteurs soumis à exondation (possibilité de comparer la qualité des sédiments soumis à des conditions différentes)</p> <p>2 périodes de prélèvement par an (en fonction des pics de production) ; fréquence à revoir après quelques années de mesures.</p>

	Justification	Remarque
Granulométrie-épaisseur	Connaître la nature et la vitesse de la sédimentation	Plusieurs points de suivi répartis dans des secteurs différents (en terme d'habitats notamment).
Phosphore assimilable, azote total	Connaître les stocks en azote et phosphore	
COT	Connaître les stocks en matière organique	
Rapport C/N	A calculer Renseigne sur la capacité de dégradation / accumulation de matière organique	
NH4/PO4 dans eau interstitielle	Connaître l'intensité du relargage	

### 7.3.4. Indicateurs de la flore et des groupements végétaux

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>HERBIERS FLOTTANTS</b> Localisation et surface des herbiers flottants (cartographie par type)	Suivre l'évolution des milieux Un des habitats majeurs de Grand-Lieu Accusés d'être en partie responsables de l'envasement du lac	Réalisé régulièrement par la SNPN  Photographies aériennes + campagnes sur le terrain  Attention particulière portée à la châtaigne d'eau et au limnanthème, herbiers ayant le plus régressé  Fréquence d'observation : tous les 2 ans
<b>GRANDS HELOPHYTES</b>	Suivre l'évolution des milieux  Milieu considéré comme quasiment disparu	Voir si méthode des photographies aériennes pertinente sur les grands hélophytes  Nécessité de préciser la méthode : peuplements épars et peu denses, donc bien réfléchir au paramètre suivi : densité des tiges, surface ?
<b>ROSELIERES</b> Localisation, surface et fractionnement (par type)	Suivre l'évolution des milieux  Habitat majeur en régression	Réalisé régulièrement par la SNPN  Utilisation de quadrats ? pour les caractéristiques (hauteur, nombre d'espèces accompagnatrices ?)  Identifier des secteurs témoins moins impactés (plus au large ?)  Fréquence d'observation : tous les 4 ans
<b>BOISEMENTS</b>	La colonisation par les ligneux est souvent une conséquence indirecte d'une modification de gestion ;  La régression des roselières se fait souvent au profit des ligneux.  Une baisse des niveaux d'eau se traduit généralement par une colonisation par les ligneux, saules notamment	Fréquence d'observation : tous les 4 ans  Suivre l'évolution du ratio roselières / boisements

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>DIVERSITE FLORISTIQUE</b>	<p>Appréhender la diversité floristique globale et les caractéristiques du peuplement</p> <p>Suivre l'évolution des milieux les uns par rapport aux autres</p> <p>Appréhender la flore présente entre les groupements (herbiers immergés notamment)</p> <p>Appréhender la <b>biodiversité</b> végétale du site de Grand-Lieu</p>	<p>Utiliser la méthode des transects végétaux (de la rive vers le centre du lac) sur toute la colonne d'eau</p> <p>Approche proposée par un botaniste membre du CS de Grand-Lieu (P. Lacroix), relativement nouvelle quant au suivi de la végétation : N transects suivis à l'identique (coordonnées, repères) 1 fois par an et tous les 2 ou 3 ans</p> <p>Compléter les transects par un suivi de n points répartis à chaque fois de manière aléatoire sur l'ensemble du site (nombre de points proportionnel à la surface par type de milieu) ; même fréquence</p>
<p><b>COMPOSITION FLORISTIQUE</b></p> <p>Nombre d'espèces floristiques :</p> <p><b>-patrimoniales</b> et/ou <b>rares</b> (inscrites sur certaines listes).</p> <p><b>-invasives</b> / allocthones</p>	<p>Compléter l'approche quantitative (nombre de taxons) par une approche qualitative (quels types de taxons ? quelles indications ?)</p>	<p>Il s'agit de réaliser une analyse qualitative de la flore à partir des relevés réalisés selon la méthode précédente (pas d'investigations supplémentaires sur le terrain)</p> <p>Identification des espèces les plus indicatrices (coefficients de <b>sténocécie</b> et d'<b>oligotrophie</b>)</p>
<b>FLORE DES PRAIRIES HUMIDES</b>	<p>Par définition, milieu le plus soumis aux variations de niveau d'eau : la flore y est donc particulièrement exposée.</p>	<p>Approche phytosociologique à préciser</p> <p>Identifier des prairies exploitées différemment (fauche et/ou pâturage) ou non exploitées.</p> <p>Dans des secteurs de fonctionnement hydraulique différent</p>

### 7.3.5. Indicateurs Oiseaux

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>OISEAUX</b>	<p>Indicateur de <b>biodiversité</b> et de <b>fonctionnalité</b> du milieu</p>	<p>Utiliser les données acquises dans le cadre du suivi actuel très complet SNPN (à conserver tel quel). Prendre en compte notamment :</p> <p>Nombre total d'espèces d'oiseaux fréquentant le site</p> <p>Nombre total d'espèces d'oiseaux nicheurs</p>

### 7.3.6. Indicateurs concernant les poissons

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>DIVERSITE ET EQUILIBRE DU PEUPEMENT DE POISSONS</b>	Indicateur de biodiversité et d'équilibre des peuplements (à préciser)  Indicateur de fonctionnalité  Indicateur patrimonial	Effectifs et classes d'âge par espèce, permettant de disposer d'éléments sur la réalité et l'efficacité de la reproduction  Protocole à définir (nombre, étendue et localisation des sites de pêche) Pêches électriques à coupler avec pêches aux filets ?  1 campagne annuelle (à une période à définir) tous les 2 ou 3 ans ?  Lors de l'analyse des résultats, une attention particulière sera portée aux espèces les plus sensibles aux niveaux d'eau (brochet, perche franche).  Et mise en évidence des espèces patrimoniales (Liste Rouge ; arrêté du 8/12/1988)
<b>CONNECTIVITE FRAYERES / LAC</b>	Indicateur étroitement lié aux niveaux d'eau et à la gestion hydraulique  Indicateur de fonctionnalité du lac	A suivre pour le brochet principalement, mais aussi pour les autres espèces susceptibles d'utiliser les prairies humides pour la reproduction
<b>Indice CSP d'accueil du brochet</b>	Lien fort entre peuplement de brochet et niveau d'eau Indice intégrateur traduisant la fonctionnalité du milieu	Indice prenant en compte les conditions de reproduction, la capacité d'accueil pour les juvéniles, la capacité d'accueil pour les adultes, et donc différents types d'habitats de Grand-Lieu : prairies-roselières, canaux, cuvette lacustre
<b>Index américain INSKIP (=index de conformité des habitats)</b>	Indice complémentaire de l'indice CSP du fait d'une approche différente	Est basé sur 3 évaluations essentielles : surface des frayères, variations de niveaux d'eau sur les frayères, surface occupée par la végétation en été sur la zone de croissance des adultes
<b>MONTAISON CIVELLES</b>	Indicateur étroitement lié aux niveaux d'eau et à la gestion hydraulique  Indicateur de fonctionnalité du lac	Nécessité d'une surveillance constante : a minima des comptages quotidiens durant la période pertinente ; ou par vidéo ?
<b>DEVALAISON ANGUILLES</b>	Indicateur étroitement lié aux niveaux d'eau et à la gestion hydraulique (manœuvres des ouvrages)  Indicateur de fonctionnalité du lac (logique amont/aval)	

### 7.3.7. Indicateurs sur les espèces invasives

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>JUSSIE</b> Recouvrement-nouveaux foyers	La jussie représente une menace forte pour l'écosystème	Une attention particulière doit être portée aux prairies humides
<b>ECREVISSE DE LOUISIANE</b> Effectif et biomasse	L'écrevisse de Louisiane représente une menace forte pour l'écosystème	
<b>RAGONDIN</b> Effectif (densité)	Cette espèce est tenue pour responsable de la disparition des grands héliophytes et de la raréfaction de la châtaigne d'eau	

### 7.3.8. Indicateurs socio-économiques

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>CONDITIONS D'EXONDATION DES PRAIRIES</b>	Elément objectif, factuel, facile à suivre  Concerne l'usage agricole et intègre la profession agricole	<b>Variables à recueillir :</b>  Date de début d'exondation  Date à laquelle les prairies sont totalement exondées  Durée d'immersion des prairies et hauteur d'eau associée  A définir par grands secteurs selon conditions homogènes ou non d'exondation
<b>CONDITIONS D'EXPLOITATION AGRICOLE DES PRAIRIES HUMIDES</b>	Elément objectif, factuel, facile à suivre  Concerne l'usage agricole et intègre la profession agricole	<b>Variables à recueillir :</b>  Date de première fauche et nombre de fauches (ou biomasse)  Date de début de pâturage  Nombre de jours de pâturage (équivalent jour bétail)  A définir par grands secteurs selon conditions homogènes ou non d'exondation
<b>QUALITE FOURRAGERE DES PRAIRIES HUMIDES</b>	Paramètre étroitement lié aux conditions d'émersion/inondation des prairies	Variables à préciser
<b>ACTIVITE PÊCHE</b>	Concerne un usage professionnel/une activité économique  Il y a-t-il un lien entre niveau d'eau et efficacité de la pêche professionnelle ?	Nombre de journées de pêche professionnelle  Nombre et biomasse des captures par les pêcheurs professionnels  Superficie de plans d'eau accessibles aux pêcheurs professionnels (en terme de tirant d'eau) pour un niveau donné  Nécessite la coopération des pêcheurs professionnels

INDICATEUR	Justification	Remarque
<b>ACTIVITE CHASSE</b>	Prendre en compte un usage (activité de loisirs) du site Indicateur à <b>fonction sociale</b>	Nombre de journées et nombre de chasseurs  Indicateur à définir (nombre d'hommes-journées ?) Nécessite la coopération des chasseurs

En complément de ce tableau, il nous paraît utile de préciser que les éléments de qualité biologiques DCE, proposés habituellement pour le suivi des masses d'eau plans d'eau, ne nous paraissent pas pertinents à suivre pour les raisons suivantes :

- **Bilan d'oxygène** : non adapté aux plans d'eau peu profonds et non stratifiés ;
- **IMOL** (indice mollusques) : indice biologique qui, par sa conception et son domaine d'application, n'est pas adapté au lac de Grand-Lieu
- **IOBL** : notre expérience de son utilisation nous a montré les limites de l'interprétation des résultats.

Enfin, dans le cadre de cette étude, il ne nous paraît pas indispensable de retenir comme indicateurs des paramètres tels que la température, le pH et l'oxygène, qui présentent de grandes variabilités intra journalières. Même si la connaissance fine de l'évolution de ces paramètres (ce qui sous-entend un suivi en continu) reste dans l'absolu très importante dans la compréhension du fonctionnement de l'écosystème.

Enfin, cette liste ne traduit pas directement la complétude des indicateurs à suivre, mais reprend ceux qu'il paraît indispensable de suivre par rapport aux enjeux écologiques de Grand-Lieu, et/ou qui ont un lien relativement étroit avec la gestion hydraulique.

Il faut par ailleurs garder à l'esprit la nécessité, lors du travail d'interprétation, de faire un lien entre d'une part la future gestion hydraulique et les évolutions du milieu et, d'autre part, les observations historiques.

Il est évident, qu'au-delà de cette liste, il sera nécessaire de poursuivre les efforts de connaissance, en continuant les suivis en cours, et en en initiant d'autres, de façon à bien appréhender la biodiversité actuelle et future du site (à ce titre, l'ensemble des groupes faunistiques et floristiques mérite d'être étudié et inventorié) mais aussi de façon à bien évaluer la menace que font peser sur elle l'apparition, le développement et la prolifération des espèces invasives.

## 7.4. RECAPITULATIF ET CLASSEMENT DES INDICATEURS

INDICATEURS	Indicateurs LES PLUS ETROITEMENT LIES AUX NIVEAUX D'EAU / GESTION HYDRAULIQUE	Indicateurs ETAT, FONCTIONNEMENT ET FONCTIONNALITE (meilleure connaissance)	Indicateurs PATRIMOINE ET BIODIVERSITE	Indicateurs SOCIO-ECONOMIQUES
Qualité d'eau du lac- eutrophisation		X		
Entrées et sorties Nutriments	(X)	X		
Entrées et sorties MES	(X)	X		
Bathymétrie	X			
Caractéristiques chimiques des sédiments		X		
Herbiers flottants	X		X	
Grands hélophytes			X	
Roselières	X		X	
Boisements			X	
Diversité floristique	X	X	X	
Composition floristique	X	X	X	
Flore des prairies humides	X		X	
Oiseaux			X	
Diversité et équilibre du peuplement de poissons		X	X	
Connectivité frayères / lac	X	X		
Indice CSP d'accueil du brochet	X	X		
Index américain inskip (=index de conformité des habitats)	X	X		
Montaison civelles	X	X		
Dévalaison anguilles	X	X		
Jussie	X			
Ecrevisse de Louisiane		X		
Ragondin		X		
Conditions d'exondation des prairies	X			
Conditions d'exploitation agricole des prairies humides	X			
Qualité fourragère des prairies humides	X			X
Activité pêche				X
Activité chasse				X

Soit un total de 27 indicateurs, qu'il sera nécessaire de hiérarchiser pour retenir éventuellement une liste plus restreinte des indicateurs les plus pertinents sur laquelle reposera le protocole de suivi.

## 8. HIERARCHISATION DES INDICATEURS

---

### 8.1. RAPPEL DU PRINCIPE

Le cahier des charges de l'étude demande de classer les indicateurs par ordre d'importance. Nous proposons de le faire à l'aide de la méthode de hiérarchie multicritère (**MHM**), qui permet un classement objectif à partir de mêmes critères, qui ont été au préalable déterminées par l'argumentation. A cet effet, Aquascop utilise en routine le logiciel d'aide à la décision « Descriptor ».

L'utilisation de ce logiciel requiert la conception d'un modèle d'analyse comportant :

- un objet à chiffrer : dans le cas présent, il s'agit de la pertinence de l'indicateur,
- des paramètres qualitatifs ou quantitatifs permettant d'en juger : objectif, phénomène représenté (cause ou conséquence), fiabilité de l'information, représentativité, facilité d'acquisition, portée, utilité DCE, coût de mise en œuvre...
- autant de paramètres descriptifs et constitutifs de ces critères que nécessaire,
- des échelles d'appréciation de ces paramètres, chiffrées si c'est opportun (exemple : le coût), qualitatives autrement : par exemple, l'utilisation peut être réservée au spécialiste, accessible à tous ...

### 8.2. CRITERES PROPOSES

Afin de classer les indicateurs par ordre de pertinence, un certain nombre de critères peuvent être utilisés :

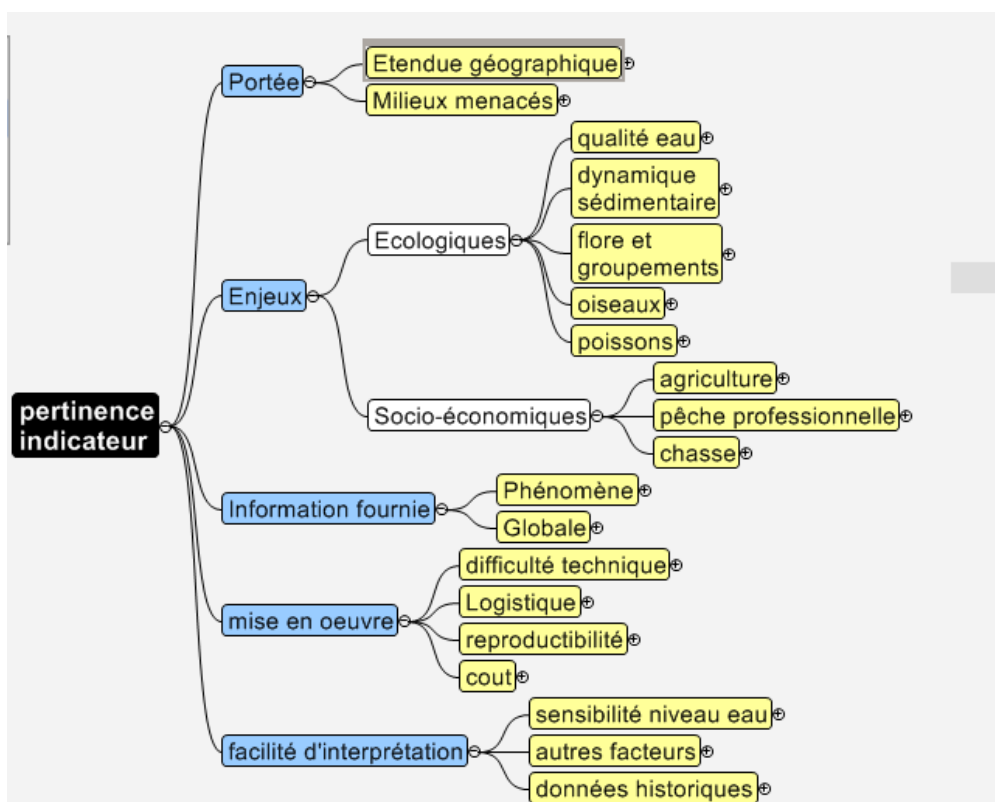
- Niveau d'intégration de l'indicateur (est-il synthétique ?)
- A-t-il une grande portée géographique ? Concerne t-il un milieu menacé ?
- S'agit-il d'une donnée d'entrée en terme de fonctionnement et de connaissance ?
- Renseigne t-il sur le niveau d'eutrophisation ? Sur l'état du lac ?
- Quelle est la nature de l'enjeu : écologique - économique – social ?
- Quel est son niveau de sensibilité au niveau d'eau (pertinence par rapport à la problématique de l'étude) ?
- Il y a-t-il d'autres facteurs déterminants (et combien) ?
- Il y a-t-il une difficulté technique ou logistique à la collecte des données ?
- Le coût, annuel ou autre, d'acquisition ou de suivi est-il élevé ?
- Est-il facile à interpréter ?
- Il y a t-il des données historiques et sera-t-il possible de faire un lien avec les résultats ?
- Est-il facilement reproductible ?
- Est-il affecté d'une incertitude connue ?
- Est-il consensuel ?
- Existe-t-il un maître d'ouvrage potentiel pour le suivi ?

...

Il apparaît nettement que ces différents critères peuvent être regroupés en 5 catégories : ceux qui concernent la **portée géographique** de l'indicateur retenu ; la **nature des enjeux** qu'il renseigne ; le **type d'informations** fournies ; la **mise en œuvre** ; la **facilité d'interpréter les résultats**.

### 8.3. ARBRE DECISIONNEL

Sur la base des critères et de la catégorisation proposés, l'arbre de hiérarchisation ci-dessous a été soumis au Comité Technique de suivi et a été utilisé pour quantifier la pertinence des indicateurs :



## 8.4. PONDERATIONS UTILISEES POUR LE CALCUL

Plusieurs séries de pondérations ont été proposées par des membres du Comité Technique :

PROPOSITION 1			
	%		%
PORTEE	15	Etendue	30
		Mlieux menacés	70
ENJEU	20	Ecologiques	70
		Socio-économiques	30
INFORMATION FOURNE	35	Phénomène	50
		Globalité	50
MISE EN ŒUVRE	15	Difficulté technique	30
		Logistique	10
		Reproductibilité	30
		Coût	30
FACILITE D'INTERPRETATION	15	Sensibilité niveau d'eau	60
		Autres facteurs déterminants	20
		Données historiques	20

PROPOSITION 2			
	%		%
PORTEE	10	Etendue	50
		Mlieux menacés	50
ENJEU	25	Ecologiques	50
		Socio-économiques	50
INFORMATION FOURNE	15	Phénomène	47
		Globalité	53
MISE EN ŒUVRE	30	Difficulté technique	33
		Logistique	17
		Reproductibilité	33
		Coût	17
FACILITE D'INTERPRETATION	20	Sensibilité niveau d'eau	50
		Autres facteurs déterminants	25
		Données historiques	25

PROPOSITION 3			
	%		%
PORTEE	15	Etendue	40
		Mlieux menacés	60
ENJEU	25	Ecologiques	50
		Socio-économiques	50
INFORMATION FOURNE	25	Phénomène	30
		Globalité	70
MISE EN ŒUVRE	10	Difficulté technique	20
		Logistique	30
		Reproductibilité	30
		Coût	20
FACILITE D'INTERPRETATION	25	Sensibilité niveau d'eau	50
		Autres facteurs déterminants	25
		Données historiques	25

PROPOSITION 4			
	%		%
PORTEE	25	Etendue	50
		Mlieux menacés	50
ENJEU	30	Ecologiques	40
		Socio-économiques	60
INFORMATION FOURNE	25	Phénomène	70
		Globalité	30
MISE EN ŒUVRE	10	Difficulté technique	40
		Logistique	10
		Reproductibilité	30
		Coût	20
FACILITE D'INTERPRETATION	10	Sensibilité niveau d'eau	50
		Autres facteurs déterminants	20
		Données historiques	30

PROPOSITION 5			
	%		%
PORTEE	10	Etendue	30
		Mlieux menacés	70
ENJEU	40	Ecologiques	50
		Socio-économiques	50
INFORMATION FOURNE	20	Phénomène	70
		Globalité	30
MISE EN ŒUVRE	10	Difficulté technique	40
		Logistique	10
		Reproductibilité	30
		Coût	20
FACILITE D'INTERPRETATION	20	Sensibilité niveau d'eau	60
		Autres facteurs déterminants	20
		Données historiques	20

PROPOSITION 6			
	%		%
PORTEE	5	Etendue	50
		Mlieux menacés	50
ENJEU	20	Ecologiques	80
		Socio-économiques	20
INFORMATION FOURNE	50	Phénomène	30
		Globalité	70
MISE EN ŒUVRE	5	Difficulté technique	30
		Logistique	30
		Reproductibilité	30
		Coût	10
FACILITE D'INTERPRETATION	20	Sensibilité niveau d'eau	80
		Autres facteurs déterminants	10
		Données historiques	10

Une hiérarchisation des indicateurs a donc été réalisée à partir de chacune de ces 6 propositions de pondérations. Les résultats sont donnés dans le paragraphe suivant.

## **8.5. RESULTATS DES CLASSEMENTS**

### **8.5.1. Classement par proposition**

Les scores obtenus par chacun des indicateurs selon les 6 propositions de pondération sont donnés page suivante.

### **8.5.2. Classement général**

Les 6 scores ont ensuite été additionnés afin d'obtenir un résultat global par indicateur. Le tableau correspondant est également donné 2 pages plus loin.



INDICATEUR	SCORE
ENTREES SORTIES NUTRIMENTS	414,0
QUALITE EAU EUTROPHISATION	410,1
EXONDATION PRAIRIES	390,5
ENTREES SORTIES MES	385,3
BATHYMETRIE	369,5
CHIMIE SEDIMENTS	341,2
EXPLOITATION AGRICOLE PRAIRIES HUMIDES	300,4
CONNECTIVITE FRAYERES LAC	291,4
ACTIVITE PECHE	289,3
HERBIERS FLOTTANTS	286,3
ACTIVITE CHASSE	278,0
ROSELIERES	265,8
ECREVISSE LOUISIANE	265,6
JUSSIE	245,7
GRANDS HELOPHYTES	245,3
DIVERSITE POISSONS	225,7
QUALITE FOURRAGERE PRAIRIES HUMIDES	206,9
MONTAISON CIVELLES	206,5
COMPOSITION FLORISTIQUE	199,8
DIVERSITE FLORISTIQUE	199,8
RAGONDIN	195,0
FLORE PRAIRIES HUMIDES	189,3
BOISEMENTS	175,3
OISEAUX	162,6
DEVALAISON ANGUILE	157,9

Il est intéressant de constater que les mêmes indicateurs apparaissent en tête du classement effectué, quelle que soit la série de pondérations. Pour la plupart, ces indicateurs portent sur la qualité physico-chimique de l'eau et du milieu :

- Entrées et sorties de nutriments
- Qualité de l'eau et eutrophisation
- Entrées et sorties de MES
- Chimie des sédiments.

L'exondation des prairies et la bathymétrie apparaissent également comme des indicateurs pertinents selon les critères retenus.

Sur le plan floristique, 2 indicateurs ressortent également : les herbiers flottants et les roselières, 2 habitats emblématiques à Grand-Lieu, et considérés comme menacés.

Les indicateurs relatifs aux usages sont bien classés : exploitation agricole des prairies humides, activité pêche, activité chasse.

En ce qui concerne les poissons, seul l'indicateur concernant la connectivité entre les zones de frayères potentielles et le lac obtient un score lui octroyant une bonne place dans le classement général.

Les indicateurs relatifs aux espèces invasives obtiennent des scores moyens (écrevisse de Louisiane, Jussie) voire assez bas (ragondin). En effet, le lien avec le niveau d'eau apparaît indirect.

## 9. LE PROTOCOLE DE SUIVI

---

Le protocole de suivi doit être aussi précis que possible pour déceler une évolution rapide, mais suffisamment large pour fournir une vision globale à terme.

Il est aussi demandé à ce qu'il utilise l'existant : il s'agit donc, dans la mesure du possible et de la pertinence, d'adapter et d'optimiser les suivis en place.

Un protocole de suivi basé sur les indicateurs considérés comme les plus pertinents selon la hiérarchisation multicritères est proposé ci-après. Les localisations des points de suivi sont illustrées sur une carte du site, mais, données à titre indicatif, elles pourront être affinées par la suite.

Ce protocole de suivi doit être mis en œuvre sur une durée d'au moins 10 ans, afin de prendre en compte les différentes échelles de temps dans les réponses écologiques d'un milieu à une modification de gestion.

Objectifs et justification	Indicateurs	Nombre de sites à suivre	Localisation des sites de suivi proposés (voir carte également)	Paramètres à suivre	Fréquence de suivi proposée	Suivis actuels en cours	Commentaires
Calculer les flux entrants en azote et phosphore pour connaître le potentiel trophique du milieu	<b>Entrées et sorties nutriments</b>	4 points	3 points sur les tributaires (Ognon, Boulogne et Ruisseau de la Chaussée)  1 point sur l'exutoire, l'Acheneau	NO <sub>3</sub> , NKj, PO <sub>4</sub> , P total  Débit (pour les points non équipés de station hydrométrique)	Fréquence 12 ou 24 + épisodes de crue	Pas de suivi, mais des résultats ponctuels acquis dans le cadre des réseaux de mesure :  <b>Stations de suivi existantes :</b>  <b>Entrées :</b> Ognon aux Sorinières, au pont de Viais (04148587), suivie depuis 2002 ; fréquence 6. A coupler avec la station hydro M8205020  <b>Boulogne</b> à St-Philbert-de-Grand-Lieu, pont LD La Viègue (04148590), suivie depuis 2008 ; fréquence 6 ; pas de station hydro correspondante (station M8144010 située 3 km plus en amont mais sur la Logne)  <b>Ru de la Chaussée</b> (04682000) : suivi physico-chimique à partir de 2014 – fréquence ?  <b>Sortie :</b> Acheneau à Bouaye, pont de la D264 (04148250), suivie depuis 1999 ; fréquence 6 ; pas de station hydro sur l'Acheneau.	Utiliser les stations de suivi existantes (réseau Agence de l'eau) et adapter les fréquences pour les paramètres concernés  Réaliser des prélèvements moyens journaliers asservis aux débits.
Elément de connaissance de l'état du lac et de son niveau d'eutrophisation	<b>Qualité de l'eau-eutrophisation</b>	12 points	Répartis dans le lac Eau libre (3), herbiers (3), roselières (3), autres (3)	Transparence, COD, COT, NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NKj, PO <sub>4</sub> , P total, chlorophylle-a, Peuplements algaux-IPL	Hebdomadaire	Suivi quasi mensuel de la transparence et de la turbidité dans la zone centrale de la RNN par la SNPN (40 points)	Prévoir une étude pour déterminer le temps de séjour  Le nombre de points pourra être revu à la baisse en fonction des résultats
Concerne l'usage agricole et intègre la profession agricole  Elément objectif, factuel, facile à suivre	<b>Conditions d'exondation des prairies</b>	Ensemble du lac	N sites en prairies pâturées  N sites en prairies fauchées  N sites en prairies non exploitées	Date de début d'exondation pour chacun des sites  Date à laquelle l'ensemble des prairies est totalement exondé  Durée d'immersion des prairies sur l'ensemble de l'année et hauteur d'eau associée	Tous les ans	Pas de suivis en cours à notre connaissance	Autant de sites de suivi que de secteurs homogènes en termes de conditions d'exondation
Appréhender la dynamique sédimentaire  Estimer les flux entrants et sortants  Calculer le stockage	<b>Entrées et sorties MES</b>	4 points	3 points sur les tributaires (Ognon, Boulogne et Ruisseau de la Chaussée)  1 point sur l'exutoire, l'Acheneau	MES – composantes organique et minérale	Fréquence 12 ou 24 + épisodes de crue (fréquence journalière en crue)	Pas de suivi, mais des résultats ponctuels acquis dans le cadre des réseaux de mesure (voir stations de l'indicateur « entrées et sorties nutriments »)  Quelques campagnes anciennes de suivi	Utiliser les stations de suivi existantes (réseau Agence de l'eau) et adapter les fréquences pour les paramètres concernés
Suivre les évolutions intra et inter annuelles	<b>Forme de la cuvette Bathymétrie</b>	Ensemble du lac	Ensemble du lac	Hauteur d'eau et hauteur de sédiments meubles (distinguer les sables et les vases)	Tous les 4 ans	Suivi bathymétrique tous les 5 ans par la SNPN dans la RNN et la RNR 3 campagnes réalisées à ce jour (1997-98 ; 2000 ; 2005-2006)	Méthode identique à celle utilisée jusqu'à lors (précise mais fastidieuse) : perche et GPS Ou bathymétrie + Imagerie sonar avec prélèvements et analyses pour identifier et caractériser les zones

Objectifs et justification	Indicateurs	Nombre de sites à suivre	Localisation des sites de suivi proposés (voir carte également)	Paramètres à suivre	Fréquence de suivi proposée	Suivis actuels en cours	Commentaires
<p>Appréhender l'impact des variations de niveau sur les capacités de minéralisation des sédiments</p> <p>Connaître la nature et la vitesse de la sédimentation, les stocks en azote et phosphore, matière organique</p> <p>Appréhender les phénomènes de relargage</p>	<b>Caractéristiques chimiques des sédiments</b>	6 points	Répartis dans le lac (communs à certains points de suivi de la qualité de l'eau)	<p>Granulométrie</p> <p>Phase solide : Phosphore assimilable (PO<sub>4</sub>), azote total, COT, rapport C/N,</p> <p>Phase liquide (eau interstitielle) : NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub></p>	2 fois par an	<p>Suivi bathymétrique tous les 5 ans par la SNPN dans la RNN et la RNR permettant de connaître la hauteur de vase</p> <p>3 campagnes réalisées à ce jour (1997-98 ; 2000 ; 2005-2006)</p>	Fréquence à revoir par la suite en fonction des résultats
<p>Concerne l'usage agricole et intègre la profession agricole</p> <p>Elément objectif, factuel, facile à suivre</p>	<b>Conditions d'exploitation agricole des prairies humides</b>		<p>N sites en prairies pâturées</p> <p>N sites en prairies fauchées</p> <p>(identiques aux précédents)</p>	<p>Date de première fauche, nombre de fauches et biomasse totale par fauche</p> <p>Date de début du pâturage</p> <p>Nombre de jours de pâturage (en équivalent jours bétail)</p>	Tous les ans	<p>Pas de suivis en cours à notre connaissance</p> <p>Données ponctuelles anciennes (1996)</p>	Autant de sites de suivi que de secteurs homogènes en termes de conditions d'exondation
<p>Indicateur lié aux niveaux d'eau et à la gestion hydraulique</p> <p>Indicateur de fonctionnalité du lac</p>	<b>Connectivité frayères-lac</b>	5 sites	Milieux connexes aux prairies avec présence de végétation en bordure		Tous les ans, pendant la période ad hoc (février à juin)	<p>Pas de suivis en cours à notre connaissance</p>	Sondages piscicoles dans les milieux connexes aux prairies ; suivi thermique préalable pour « repérer » la période d'éclosion (fin hiver-début printemps).
<p>Concerne un usage professionnel / une activité économique</p> <p>Etablir le cas échéant un lien entre niveau d'eau et efficacité de la pêche professionnelle</p>	<b>Activité pêche</b>	Ensemble du lac	Ensemble du lac	<p>Nombre de journées de pêche professionnelle</p> <p>Superficie de plans d'eau accessibles aux pêcheurs professionnels, en termes de tirant d'eau, pour un niveau donné</p>	Données à recueillir tous les ans	<p>Pas de suivis en cours à notre connaissance</p>	Collaboration des pêcheurs indispensable
<p>Suivre l'évolution des milieux</p> <p>Un des habitats majeurs de Grand-Lieu</p> <p>Accusés d'être en partie responsables de l'envasement du lac</p>	<b>Herbiers flottants</b>	Ensemble du lac	<p>Ensemble du lac</p> <p>4 quadrats pour 10 ha d'herbiers</p>	<p>Localisation, recouvrement (carte) et surface par taxon</p> <p>Biomasse moyenne (poids sec et poids frais) par taxon pour un quadrat de 0,25 m<sup>2</sup>, sur la base de 4 quadrats (soit 1 m<sup>2</sup>) pour 10 ha d'herbiers</p>	Tous les 2 ans pendant au moins 10 ans	<p>Cartographie tous les 2-3 ans en zone centrale par la SNPN (photographies aériennes et campagnes sur le terrain) pour les recouvrements</p> <p>Suivi annuel dans la RNN de la diversité et de la densité (72 points de mesures)</p>	A réaliser dans la mesure du possible sur des herbiers monospécifiques

Objectifs et justification	Indicateurs	Nombre de sites à suivre	Localisation des sites de suivi proposés (voir carte également)	Paramètres à suivre	Fréquence de suivi proposée	Suivis actuels en cours	Commentaires
Prendre en compte u usage (activité de loisirs) du site  Indicateur à fonction sociale	<b>Activité chasse</b>	Toutes les prairies humides	Toutes les prairies humides	Nombre d'hommes-journées de chasse pendant la saison de chasse	Données à recueillir tous les ans	Pas de suivis en cours à notre connaissance	Collaboration des chasseurs indispensable
Suivre l'évolution des milieux  Habitat majeur en régression	<b>Roselières</b>	Ensemble du lac	Ensemble du lac  Une cinquantaine de quadrats de 25 m <sup>2</sup> répartis sur le site	Localisation, recouvrement (carte) et surface par type de roselière Etat (fragmentation en îlots / touradons, densité, envahissement par les ligneux) Nombre et liste d'espèces accompagnatrices sur chacun des 50 quadrats	Tous les 4 ans	Suivi annuel des roselières boisées par la RNN (ROZO) avec 7 transects de 10 points de mesures (densité et croissance)	Autres paramètres spécifiques aux <i>Phragmites</i> : pourcentage de tiges fertiles, hauteur des tiges





### Mise en place d'indicateurs sur le site de Grand Lieu Localisation des points de suivi proposés

