



ETUDE PROSPECTIVE DE LA NEUTRALITE ENERGETIQUE

Version n° 2

2 mai 2011



Ingénierie

75 boulevard Mac Donald

75 019 Paris

Téléphone 33 (0)1 55 26 99 99

www.isl.fr

SAS au capital de 300 000 € - RC Paris B 337 609 622
SIRET 337 609 622 00036 - APE 7112B

Sommaire

1	L'INTEGRATION DES PREOCCUPATIONS ENERGETIQUES AU PROJET DE LA BASSEE	5
2	NOTION DE NEUTRALITE ENERGETIQUE	6
2.1	Définition de la neutralité énergétique	6
2.2	Dimension temporelle de la neutralité énergétique	6
2.3	Périmètre de la neutralité énergétique	7
2.4	Précisions d'ordre méthodologique	8
3	PRISE EN COMPTE DES RETOURS D'EXPERIENCES	9
3.1	Objectifs.....	9
3.2	Mise en œuvre.....	9
3.3	Stratégies recensées pour maîtriser les consommations d'énergie	10
3.4	Synthèse des enseignements issus des retours d'expériences	12
3.4.1	Le questionnement précurseur et novateur des Grands Lacs de Seine.....	12
3.4.2	Les raisons explicatives de la non prise en compte de l'enjeu énergétique	12
3.4.3	Les contraintes induites par la mitigation énergétique	13
3.4.4	Conséquences des enseignements issus du retour d'expérience sur la réflexion mise en place dans le cadre du projet de la Bassée	14
4	ESTIMATION DE LA DEPENSE ENERGETIQUE DU PROJET DE LA BASSEE	14
4.1	Définition du scénario 0	14
4.2	Résultats et enseignements du scénario 0	15
5	SOLUTIONS ET SCENARIOS POUR TENDRE VERS LA NEUTRALITE ENERGETIQUE	20
5.1	Actions de réduction des consommations énergétiques	20
5.2	Quid de l'action d'équilibre.....	23
5.3	Actions de compensation	24
5.3.1	Implantation de panneaux photovoltaïques	24
5.3.2	Implantation d'éolienne	27
5.3.3	Effacement diffus.....	28
5.3.4	Production de biomasse énergie.....	30
5.3.5	Opportunité économique des solutions de compensation	32
5.3.6	Intérêt de la mutualisation des maîtrises d'ouvrage	32
6	BESOINS EN ETUDES COMPLEMENTAIRES	33
7	SCENARIOS COMPARES	33
8	REFERENTIEL D'EVALUATION DE LA NEUTRALITE ENERGETIQUE	35
8.1	Indicateurs de suivi en phase de conception	36
8.1.1	Management du projet	36
8.1.2	Etudes d'ingénierie du projet.....	36
8.2	Indicateurs de suivi en phase de travaux	36
8.2.1	Energie consommée pour le transport des matériaux d'emprunt	37
8.2.2	Energie consommée pour le transport des palplanches	37

8.2.3	Energie consommée pour la mise en remblais des digues.....	38
8.3	Indicateurs de suivi en phase de fonctionnement	38
8.3.1	Energie consommée pour le fonctionnement de l'aménagement.....	38
8.3.2	Energie produite dans le cadre des mesures de compensation	39
8.4	Indicateur de synthèse	39
9	SYNTHESE.....	39
10	ANNEXE : COMPTES-RENDUS DES RENCONTRES.....	42
10.1	Institution Interdépartementale des Wateringues	42
10.2	Eau de Paris	43
11	ANNEXE : EXTRAIT DE L'OUTIL D'AIDE A LA DECISION	44
12	ANNEXE : HYPOTHESES DE CALCUL DU SCENARIO 0.....	45

Table des tableaux

Tableau 1 : origines des consommations énergétiques du projet	7
Tableau 2 : liste des personnes sollicitées dans le cadre de l'identification de dispositifs à examiner	10
Tableau 3 : liste des maîtres d'ouvrages et des aménagements identifiés	10
Tableau 4 : prise en compte de la maîtrise des consommations d'énergie par les maîtres d'ouvrages interrogés	11
Tableau 5 : données d'entrée prises en compte pour la définition du scénario 0	14
Tableau 6 : règle de choix des incertitudes associées aux hypothèses du scénario 0	15
Tableau 7 : synthèse des consommations énergétiques du projet Bassée (scénario 0)	16
Tableau 8 : impact d'un surcoût du baril de pétrole par phase du projet	19
Tableau 9 : émissions de gaz à effet de serre par phase du projet	20
Tableau 10 : actions retenues et économies réalisables associées	21
Tableau 11 : caractéristiques de l'action de turbinage des eaux des casiers	23
Tableau 12 : estimation du productible photovoltaïque par casier	25
Tableau 13 : estimation du linéaire de digues à équiper en panneaux photovoltaïques pour différents scénarios de consommations à compenser	26
Tableau 14 : estimation du nombre d'éolienne pour différents scénarios de consommations à compenser	28
Tableau 15 : estimation du nombre de boîtiers à installer pour différents scénarios de consommations à compenser	29
Tableau 16 : estimation du nombre d'hectares de TTCR de saules nécessaires pour différents scénarios de consommations à compenser	31
Tableau 17 : coûts de mise en œuvre des actions de compensation	32
Tableau 18 : temps d'atteinte de la neutralité énergétique des scénarios prédéfinis	34
Tableau 19 : équivalence des actions de compensation de la phase de fonctionnement	41

Table des figures

Figure 1 : périmètre de la neutralité énergétique de l'aménagement de la Bassée	8
Figure 2 : répartition des consommations énergétiques par phase du projet	18
Figure 3 : répartition des consommations énergétiques pour les phases de travaux et de fonctionnement	19
Figure 4 : analyse énergétique comparative des modes de transport des matériaux	22
Figure 5 : schéma de principe d'implantation des panneaux photovoltaïques	24
Figure 6 : orientation des panneaux photovoltaïques par digue	25
Figure 7 : cartographie de la densité d'énergie à 60 mètres de hauteur	27
Figure 8 : localisation des chaufferies bois d'Ile de France	31
Figure 9 : diagramme des scénarios étudiés	34
Figure 10 : comparaison des scénarios menant à la neutralité énergétique	35
Figure 11 : comparaison des scénarios menant à la neutralité énergétique et temps d'atteinte	40

1 L'intégration des préoccupations énergétiques au projet de la Bassée

L'objectif général de l'aménagement de la Bassée est de lutter contre les effets dommageables des crues de l'Yonne. Au-delà de cette attente centrale, la conception du projet s'inscrit dans une stratégie plus globale en réponse à différentes préoccupations environnementales.

Le secteur de la Bassée est composé de milieux naturels à fort potentiel écologique qui confèrent à ce territoire une importante valeur patrimoniale. Le projet prévoit pour cette raison un fonctionnement des ouvrages intégrant les enjeux de la reconquête et de la gestion des zones humides existantes (inondations « écologiques » annuelles).

En cohérence avec la volonté affichée d'un projet intégrant les critères du développement durable, les réflexions préalables à l'aménagement concernent également la dimension énergétique. Ce sujet est intégré très en amont, dès les réflexions d'avant projet (phases d'opportunité et de faisabilité) au travers de la notion de « neutralité énergétique ».

L'intégration au projet d'une dimension énergétique est tout à fait pertinente pour répondre aux exigences introduites depuis 2009 par les lois Grenelle en matière d'enjeux énergétiques et climatiques. Le volet « neutralité énergétique » des études préliminaires est également de nature à faciliter le dialogue lors des étapes de concertation.

2 Notion de neutralité énergétique

2.1 Définition de la neutralité énergétique

La neutralité énergétique peut être définie comme la combinaison de toutes les actions mises en œuvre pour réduire l'impact du projet en termes de consommations d'énergies.

Le stockage des eaux dans les casiers peut être associé à une production d'énergie lors de la vidange. Cette possibilité élargit la nature des actions susceptibles d'être mises en œuvre dans le cadre de la neutralité énergétique. En cohérence avec cette possibilité les actions susceptibles d'être engagées pour atteindre la neutralité peuvent englober toutes solutions permettant de réduire le bilan consommation-production.

Il est dès lors important de faire la distinction entre, d'une part, les actions qui se traduisent par une diminution des consommations et, d'autre part, celles de nature à contrebalancer le montant des énergies consommées (cas des productions d'énergies). Trois catégories d'actions sont ainsi distinguées pour atteindre la neutralité énergétique :

- L'optimisation des consommations dont l'objectif est de réduire le montant global des énergies consommées par le projet. Les actions d'optimisation se décomposent entre :
 - Des actions de sobriété visant à supprimer les consommations superflues¹ ;
 - Des actions d'efficacité visant à réduire les consommations pour un service rendu équivalent² (appelée efficacité énergétique par abus de langage) ;
- L'équilibre des consommations obtenu par diminution arithmétique des montants consommés par ceux qui pourraient être produits (turbinage des eaux stockées dans les casiers) ;
- La compensation des consommations. Elle s'applique aux consommations résiduelles une fois mises en place les actions d'optimisation et d'équilibre.

2.2 Dimension temporelle de la neutralité énergétique

La neutralité énergétique vise, comme indiqué ci-dessus, à réduire l'impact du projet en termes de consommations d'énergies. La variabilité temporelle des consommations énergétiques de l'aménagement complexifie l'exercice et impose des précisions en la matière.

D'importantes consommations sont tout d'abord à prévoir lors des travaux d'aménagement de l'ouvrage mobilisant en particulier des transports de matériaux et le fonctionnement d'engins pour le terrassement. Concentrées sur la durée du chantier, ces consommations peuvent faire l'objet d'actions d'optimisation. Leur compensation doit être envisagée sur plusieurs années.

La phase de fonctionnement se caractérise par l'addition de consommations énergétiques en période de crue et hors période de crue. Les premières sont en première approximation les plus importantes. La fréquence de mise en service des équipements hydrauliques de l'ouvrage pour réduire l'impact des crues est évaluée à 1 fois tous les 5,6 ans par les études hydrologiques. Ainsi, lissées sur une année, ces consommations sont d'un ordre de grandeur tout à fait comparable à celui des consommations observées hors période de crue (entretien des pompes, hors gel, entretien, maintenance et renouvellement des ouvrages, inondations écologiques, etc.).

Au-delà des aspects intrinsèques au fonctionnement de l'aménagement en lui-même, la dimension temporelle de la neutralité énergétique est également la conséquence de plusieurs des mesures envisagées pour l'atteindre. Ainsi, qu'il s'agisse des actions d'équilibre ou de compensation (cf. §2.1), leurs bénéfices sont variables dans le temps :

¹ Les actions de sobriété sont des actions sans regret permettant d'éviter les consommations inutiles. Elles procurent un retour sur investissement immédiat.

² Les actions d'efficacité permettant d'obtenir le même service avec des consommations moindres ou davantage de service avec les mêmes consommations.

- S'agissant du fonctionnement des équipements hydrauliques en crue, des optimisations sont possibles avec un bénéfice immédiat ;
- S'agissant de l'équilibre des consommations pour le pompage, la quantité d'énergie susceptible d'être produite par turbinage est la conséquence directe des volumes stockés. La production d'énergie est liée à la fréquence de fonctionnement de l'ouvrage ;
- S'agissant des actions de compensation, si certaines apportent des bénéfices immédiats (production d'énergie éolienne par exemple), d'autres procurent une réduction du bilan énergétique après plusieurs années (valorisation énergétique du bois par exemple).

La durée de vie du projet de la Bassée prise en compte distingue les aménagements de génie civil (50 ans) et les équipements hydromécaniques (15 à 30 ans).

2.3 Périmètre de la neutralité énergétique

Les précisions apportées ci-dessus, au sujet de la dimension temporelle de la neutralité énergétique, introduisent une distinction entre la phase de travaux et la phase d'exploitation de l'ouvrage. Cette distinction des différentes séquences de mise en œuvre du projet constitue le principe de la schématisation de la neutralité énergétique appliquée de la Bassée.

La neutralité énergétique doit être envisagée pour chacune des 3 grandes phases du projet :

- Conception de l'ouvrage ;
- Travaux ;
- Fonctionnement du dispositif et des équipements.

Le Tableau 1 précise l'origine des consommations énergétiques associées à chacune des 3 phases du projet.

Tableau 1 : origines des consommations énergétiques du projet

Phase du projet	Sources de consommations	Types d'énergies		
		Electricité	Gaz	Carburant
Conception	Déplacements dans le cadre des études			●
	Déplacements dans le cadre des réunions de concertation			●
	Accueil des réunions (chauffage et éclairage des salles de réunion)	●	●	
Travaux	Terrassement et fonctionnement des engins de génie civil			●
	Transport des matériaux d'emprunt			●
	Transport des approvisionnements du chantier			●
	Déplacements des ouvriers			●
Fonctionnement	Energies des bâtiments (usages chauffage, éclairage et fonctionnement des équipements informatiques)	●	●	
	Déplacements des agents en charge du suivi et de la maintenance (prévisions et entretien)			●
	Fonctionnement des pompes	●		●

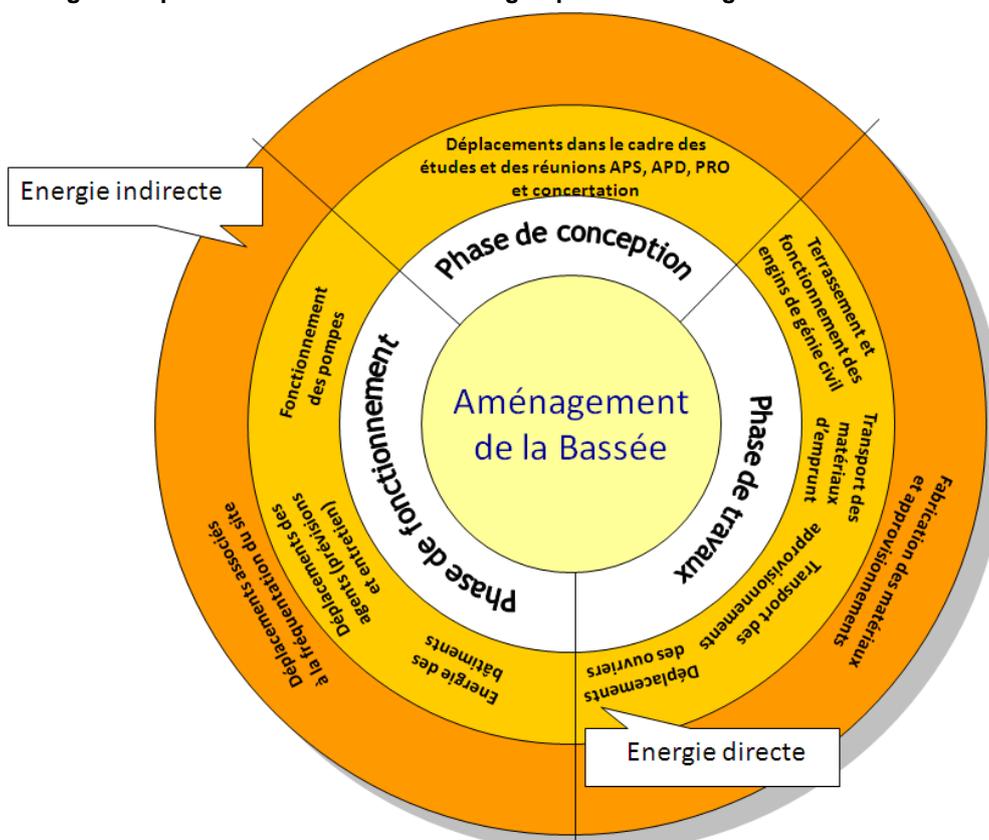
Source : ISL, 2011

Il convient de différencier énergies directes et indirectes. Les premières dépendent directement du projet, de ses équipements, des moyens matériels et humains qu'il mobilise lors de sa conception, de sa mise en œuvre, de son fonctionnement et de son entretien. Les secondes correspondent aux dépenses énergétiques externes au périmètre du projet ; elles incluent :

- Les dépenses énergétiques pour la production des équipements et des matériaux consommés lors de la mise en œuvre de l'aménagement et de ses équipements ;
- Les consommations énergétiques induites par l'aménagement (cas des déplacements sur site liés à son attractivité écologique par exemple).

La Figure 1 schématise le périmètre de la neutralité énergétique appliquée au cas de la Bassée en distinguant les différentes phases du projet, les sources des consommations, les énergies directes et indirectes.

Figure 1 : périmètre de la neutralité énergétique de l'aménagement de la Bassée



Source : ISL, 2011

2.4 Précisions d'ordre méthodologique

La présente étude se veut prospective. Elle doit également apporter des éléments d'aide à la décision pour orienter les choix d'actions à retenir pour tendre vers la neutralité énergétique. L'utilité du document réside donc dans sa capacité à hiérarchiser les solutions possibles. Une évaluation des gains obtenus par mise en place des actions est donc nécessaire. Différentes règles sont fixées pour réaliser les calculs. Elles doivent être précisées pour une bonne compréhension des résultats présentés :

- Deux unités sont retenues pour chiffrer les consommations et les productions énergétiques : kWh et tonne équivalent pétrole³ (tep). L'unité « tep » est généralement retenue pour présenter les bilans énergétiques. Son utilisation facilite ainsi les comparaisons avec d'autres bilans exprimés dans la même unité. L'unité « kWh » (unité couramment associée à l'énergie électrique) est cohérente avec le poids de l'électricité dans le bilan énergétique global du projet. Scientifiquement, le Joule est l'unité la plus appropriée pour les mesures énergétiques. Peut utilisée, elle complexifie l'interprétation des résultats ;
- La notion de neutralité énergétique est élargie à celle de neutralité carbone par transformation des quantités d'énergies consommées en tonnes équivalent CO₂ (émises ou évitées selon que l'on considère des consommations ou des substitutions énergétiques par recours aux énergies renouvelables) ;
- La forme d'énergie prise en compte pour mesurer les consommations est l'énergie finale. La notion de neutralité énergétique imposant, dans le cas de la Bassée, un raisonnement sous la forme d'un

³ Une tep correspond au pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole. Par convention, l'équivalence énergétique entre la tep et le kWh est donnée par la relation : 1 tep = 11 628 kWh.

bilan, les éventuelles énergies produites (habituellement présentées comme des énergies secondaires) sont quantifiées en énergie finale⁴ ;

- Les sources de consommations prises en compte pour atteindre la neutralité énergétique se limitent aux énergies directes (cf. § 2.3). En conséquence, les énergies nécessaires à la production des matériaux et des équipements ne sont pas prises en compte. Ce choix répond à la volonté de cibler les actions maîtrisables par les Grands Lacs de Seine ;
- Les chiffres présentés (consommations et productions d'énergies, GES émis ou évités) sont associés à des incertitudes afin de s'adapter aux méthodes de calcul basées sur des hypothèses et sur l'utilisation de ratios. Les estimations de consommations énergétiques ont été réalisées à partir des données actuelles fournies (niveau étude de faisabilité). Une mise à jour pourra éventuellement être effectuées lors des phases ultérieures de l'étude (études complémentaires, études MOE et/ou études de détail) ;
- Ne sont pas intégrés au périmètre de l'analyse :
 - Les impacts énergétiques à l'aval associés à la maîtrise des crues. Les dommages occasionnés par les crues provoquent des reports de consommations en situations de crise et de retour à la normale (substitutions de modes de transports, arrêt des consommations dans les secteurs inondés, travaux de remises en état, ...). Le bilan énergétique d'une crue reste très difficile à évaluer, notamment dans le cas de l'Île de France, du fait de la multiplicité et de l'interdépendance des activités à prendre en compte. L'ouvrage de la Bassée, réduisant les dommages des crues à l'aval, permet très vraisemblablement d'éviter des consommations énergétiques. Cet avantage devrait, en toute rigueur, être pris en compte dans le bilan de l'aménagement. Il ne l'est pas de part la complexité des investigations qu'il serait nécessaire d'entreprendre. Le modèle ALPHEE croise les données hydrauliques et socio-économiques pour aider à l'évaluation du rapport coût/bénéfice du projet Bassée. Il est susceptible d'apporter des enseignements sur le coût énergétique des crues ;
 - Les impacts énergétiques associés à l'attractivité du site (éco-tourisme et visites scolaires par exemple). A la différence du cas précédent, des statistiques de fréquentation sont suffisantes pour envisager une évaluation des consommations énergétiques associées aux déplacements sur le site. Ces consommations énergétiques restent malgré tout des consommations externes au projet. Lesquelles ne sont pas prises en compte (cf. supra) ;
 - L'énergie associée aux travaux de pose des réseaux EDF.

3 Prise en compte des retours d'expériences

3.1 Objectifs

La réflexion sur la neutralité énergétique du projet de la Bassée a débuté par une analyse des dispositifs comparables. L'idée était de capitaliser l'expérience détenue par d'autres maîtres d'ouvrages confrontés à des préoccupations similaires. Les dispositifs examinés pouvaient concerner des aménagements en fonctionnement ou dont la mise en œuvre est proche.

La recherche des retours d'expériences n'a pas été limitée aux seuls dispositifs de lutte contre les inondations. Elle a été étendue à tout aménagement hydraulique similaire ou d'ampleur comparable à celui de la Bassée quelles que soient les fonctions associées (production d'eau potable, irrigation, navigation, etc.).

3.2 Mise en œuvre

L'analyse des retours d'expériences a été effectuée en trois temps :

- Identification des dispositifs intéressants à examiner ;
- Prise de contact avec les maîtres d'ouvrages afin de les interroger sur leur stratégie en matière de maîtrise des consommations énergétiques ;

⁴ La quantité d'énergie finale est inférieure à la quantité d'énergie secondaire (du fait des pertes associées notamment au transport de l'énergie), elle même issue de la transformation de l'énergie primaire disponible dans l'environnement.

- Pour les dispositifs les plus avancés sur le sujet, rencontre des maîtres d'ouvrages pour échanger sur les actions engagées, leurs avantages et leurs inconvénients, celles qu'il convient d'encourager ou, à l'inverse, d'éviter.

Le Tableau 2 présente les personnes contactées lors de la recherche des dispositifs intéressants à examiner. Elles sont sollicitées pour bénéficier de leurs connaissances et de leur expertise des aménagements hydrauliques en France et en Europe.

Tableau 2 : liste des personnes sollicitées dans le cadre de l'identification de dispositifs à examiner

Personnes sollicitées	Organismes
Véronique Barre	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
Nicolas-Gérard Camphuis	Centre Européen de Prévention des Risques d'Inondation
Sylvie Charron	Anciennement au Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
Bernard Chastan	Cemagref Lyon
Arnaud de Bonviller	ISL Angers
Luc Deroo	ISL Paris
Pierre-François Fayel	ISL Paris
Frédéric Hendrickx	EDF Recherche & Développement
Claudine Jost	Grands Lacs de Seine
Lionel Moulin	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement

Source : ISL, 2011

Les contacts pris auprès des 10 experts ont permis d'identifier 10 maîtres d'ouvrages susceptibles de s'être interrogés sur le sujet de la maîtrise de l'énergie pour le pompage d'eau. Ces 10 maîtres d'ouvrages, les aménagements concernés et leurs fonctions, sont présentés dans le Tableau 3. La recherche de dispositifs à l'échelle européenne est restée infructueuse.

Tableau 3 : liste des maîtres d'ouvrages et des aménagements identifiés

Maîtres d'ouvrages	Contact	Aménagements	Lutte contre les inondations	Hydroélectricité	Eau potable	Irrigation	Navigation
Agglomération de Nevers	M. Berger	Station d'exhaure de la ville de Nevers	•				
Eau de Paris	M. Moussy	Stations de pompage			•		
EDF	M. Castaing	Stations de transfert d'énergie par pompage		•			
Entente Interdépartementale pour l'Aménagement de la Vallée de l'Authion	Mme Allée	Stations de pompage de la vallée de l'Authion	•			•	
Etablissement Public Territorial de Bassin Saône-Doubs	M. Borget	Aménagement de lutte contre les inondations	•				
Institution des Eaux de la Montagne Noire	M. Fully	Stations de pompage pour transfert d'eau		•	•		
Institution Interdépartementale des Wateringues	M. Butin	Stations de pompage des Wateringues	•				
Syndicat des Eaux d'Île de France	Mme Thibert	Stations de pompage			•		
Communauté Urbaine de Bordeaux	M. Rousseau	Postes de relèvement et stations de pompage	•				
Voies Navigables de France	M. Sachy	Stations de pompage					•

Source : ISL, 2011

3.3 Stratégies recensées pour maîtriser les consommations d'énergie

Les 10 maîtres d'ouvrage sont interrogés :

- Sur leur positionnement vis-à-vis de l'enjeu de maîtrise des consommations d'énergie ;

- Sur les actions mises en place pour maîtriser leur consommation.

Le bilan des stratégies mises en œuvre par chacun des 10 maîtres d'ouvrages est présenté dans le Tableau 4.

Tableau 4 : prise en compte de la maîtrise des consommations d'énergie par les maîtres d'ouvrages interrogés

Maîtres d'ouvrages	Prise en compte de l'enjeu « maîtrise des consommations d'énergies »
Agglomération de Nevers	La ville de Nevers est située à la confluence de la Nièvre et de la Loire. Les crues de la Loire réduisent la capacité d'évacuation des eaux de la Nièvre amplifiant les conséquences des crues de ce cours d'eau. Afin de réduire ce risque, une station d'exhaure est aménagée en 1865. Elle permet de refouler les eaux de la Nièvre endiguée dans la Loire, lorsque cette dernière est en crue. Les consommations énergétiques de la station d'exhaure (énergie produite par des groupes électrogènes) sont faibles. L'enjeu de la maîtrise des consommations énergétiques est supplanté par celui de la protection des biens et des personnes. La ville de Nevers n'a donc pas engagé d'actions pour réduire les consommations énergétiques de la station d'exhaure.
Eau de Paris	Eau de Paris gère des équipements de pompage. Les préoccupations économiques et environnementales ont favorisé la prise en compte de la réduction des consommations d'énergies. Différentes solutions ont été engagées ou sont en cours d'étude pour diminuer la facture énergétique.
EDF	Les stations de transfert d'énergie par pompage déplacent, en heures creuses, l'eau de bassins inférieurs vers des retenues situées en amont (lac d'altitude). L'eau ainsi « remontée » est ensuite turbinée en heures pleines. Les équipements hydrauliques utilisés ne sont pas comparables à ceux de la Bassée. Autre différence importante : il est possible de choisir quand sont utilisées les stations de transfert (lorsque l'énergie n'est pas chère) et quand on turbine (lorsque l'énergie est chère).
Entente Interdépartementale pour l'Aménagement de la Vallée de l'Authion (EIAVA)	Des pompes sont mises en place au début des années 1970 pour les besoins d'irrigation et de protection contre les crues. Le pompage d'eau intervient en toutes saisons. Concernant l'irrigation (pompage de l'eau de la Loire vers l'Authion), de nouvelles pompes ont été installées en 2006 permettant des économies des puissances souscrites. Concernant la lutte contre les inondations, les équipements sont d'origine (pompage de l'eau de l'Authion vers la Loire). Dans le cas de l'irrigation, le pilotage des pompes s'inscrit dans le cadre des dispositions arrêtées par le SAGE de l'Authion. L'enjeu central est donc celui de la gestion de la ressource. Les pompes pour l'irrigation sont déclenchées afin d'optimiser les volumes d'eau mobilisés. Les économies d'énergie sont donc indirectes, elles découlent de la gestion au plus près des besoins en eau par les agriculteurs. Dans le cas de la lutte contre les inondations, l'objectif central est celui de la protection des biens et des personnes. Les consommations énergétiques ne sont pas une donnée de pilotage des pompes. Aucune réflexion n'a donc été menée sur le sujet de la maîtrise des consommations d'énergie. Pour les inondations, on pompe rarement mais à gros débit. L'essentiel du coût est l'immobilisation, l'achat des pompes et leur installation. Ensuite, la consommation d'énergie des cycles de pompage est très faible, puisque les opérations sont rares. Les ressources financières de l'EIAVA proviennent des propriétaires protégés (redevance à l'hectare) et des collectivités du bassin. L'EIAVA est en capacité d'ajuster ces redevances à ses charges financières.
Etablissement Public Territorial de Bassin Saône-Doubs (EPTB Saône-Doubs)	L'EPTB Saône-Doubs est engagé dans un programme de lutte contre les inondations au travers d'actions de restauration des capacités d'expansion des crues dans le lit majeur de la Saône. Le remplissage des zones d'expansion se fait par débordement. Des dispositifs de pompage permettant d'accélérer les vidanges ont été envisagés (options restées au stade des études préalables).
Institution des Eaux de la Montagne Noire (IEMN)	L'IEMN gère un important dispositif de transfert d'eau. Les consommations énergétiques sont faibles du fait de l'importance des transferts gravitaires. L'IEMN n'est donc pas confrontée à des enjeux de maîtrise des consommations énergétiques. Les coûts énergétiques ne pèsent pas dans le budget de l'IEMN. La maîtrise des consommations énergétique pour le pompage des eaux n'est pas une problématique centrale pour le gestionnaire.
Institution Interdépartementale des Wateringues (IIW)	Les wateringues constituent un système hydraulique complexe alimenté par des apports d'eau rapides en pieds de collines (apports d'eau en provenance des bassins versants amont). Occupant un ensemble côtier de terres basses, les wateringues sont protégées de la mer par des digues et assainies par des stations de relevage dans des canaux acheminant l'eau vers un exutoire maritime. Lorsque la capacité de stockage des canaux ne permet pas d'attendre la marée basse suivante, des stations de pompage sont mises en route pour évacuer l'eau à la mer. 50% du budget de fonctionnement de l'IIW correspond aux consommations énergétiques des pompes. Une réflexion a été menée par l'IIW pour maîtriser ses consommations et réduire sa facture (recours aux énergies renouvelables). Les marges de manœuvre sont faibles (impossibilité d'ajuster les pompes aux heures creuses par exemple). Les pompes sont aléatoires, sous la dépendance de l'hydrologie des bassins versants et de la concomitance des apports des versants avec les marées.
Syndicat des Eaux d'Ile de France	Le Syndicat gère des dispositifs de pompage consommateurs d'énergie. L'exploitation de ces équipements est assurée par Véolia Eau (délégation de service public). Le contrat de délégation

Maîtres d'ouvrages	Prise en compte de l'enjeu « maîtrise des consommations d'énergies »
Communauté Urbaine de Bordeaux	arrive à son terme fin 2010. La maîtrise des coûts énergétiques fait partie du nouveau contrat. La ville de Bordeaux est située sous le niveau des plus hautes eaux connues de la Garonne. La ville est protégée contre les inondations de la Garonne par un système d'endiguement. Cette situation se traduit par un risque d'inondation pluviale. Pour lutter contre ce risque, la ville est équipée d'un dispositif composé de bassins d'étalement et de rétention complétés par des postes de relèvement et des stations de pompage. Ces équipements de pompage sont associés à des groupes électrogènes afin de se prémunir contre les risques de coupures électriques en cas de survenue d'un important orage. La préoccupation centrale du gestionnaire est celle de la gestion des risques, prioritairement à la maîtrise des consommations énergétiques.
Voies Navigables de France (VNF)	La gestion des voies navigables nécessite des transferts d'eau (alimentation des biefs de partage, compensation des pertes, gestion des éclusées). VNF gère ainsi d'importants dispositifs de pompage (canaux du Nord, canal de Briare,...). Les consommations énergétiques de ces dispositifs ne sont pas une préoccupation directe pour VNF qui s'intéresse prioritairement aux économies d'eau par le biais de la gestion de la navigation sur les canaux. Ces économies d'eau se traduisent ensuite par des économies d'énergie pour le pompage.

Source : ISL, 2011

Des rencontres ont été organisées pour 2 des 10 aménagements qui viennent d'être présentés (Eau de Paris, Institution Interdépartementale des Wateringues).

Les comptes-rendus de ces deux rencontres sont présentés en annexe.

3.4 Synthèse des enseignements issus des retours d'expériences

3.4.1 Le questionnement précurseur et novateur des Grands Lacs de Seine

Les recherches d'informations engagées pour cibler les aménagements et les maîtres d'ouvrages à solliciter dans le cadre des retours d'expériences révèlent rapidement le caractère précurseur et novateur du principe de neutralité énergétique. Si des dispositifs de pompage d'eau sont identifiés, c'est uniquement sur la base de l'importance des volumes pompés. Aucun des dispositifs n'est visible pour les actions qu'il aurait engagées pour réduire ses consommations d'énergies.

Lorsque la maîtrise des consommations est une préoccupation forte pour les maîtres d'ouvrage, c'est le poids financier des factures énergétiques dans les comptes de fonctionnement qui en est l'élément déclencheur. Pour tous les autres, l'enjeu énergétique est supplanté par d'autres préoccupations, plus directement liées aux prérogatives et aux responsabilités des maîtres d'ouvrages.

Au-delà de la domination d'enjeux liés aux prérogatives des maîtres d'ouvrages, un autre élément concourt à l'absence de prise en compte de la neutralité énergétique dans les dispositifs examinés. La prise de conscience de l'enjeu de réduction des consommations énergétiques est récente. Elle émerge avec le Grenelle de l'environnement qui participe à la prégnance des problématiques énergéto-climatiques. La mise en œuvre des lois Grenelle en 2009 et 2010 contribue ensuite à imposer ces sujets comme des éléments de choix et d'orientation des politiques et des projets d'aménagement.

3.4.2 Les raisons explicatives de la non prise en compte de l'enjeu énergétique

La maîtrise des consommations énergétiques est apparue à plusieurs reprises comme une question secondaire pour les maîtres d'ouvrages interrogés. Plusieurs raisons expliquent cette situation :

- La réduction des quantités d'énergies consommées n'est pas un élément permettant à lui seul de motiver des modifications des aménagements ;
- Lorsque les consommations d'énergies concernent la production et la distribution d'eau potable, la maîtrise des coûts de production, conditionnant celle du prix de l'eau, est alors déterminante pour orienter des actions d'économies. Les coûts énergétiques ne forcent pas systématiquement à la recherche d'économies. Ainsi dans le cas de la lutte contre les inondations, les coûts énergétiques associés aux pompages sont sans commune mesure avec les coûts des dommages. Enfin, des maîtrises d'ouvrages sont en capacité d'adapter leurs recettes à leurs coûts de fonctionnement (la

notion de facture énergétique n'est plus dans ce cas un élément de réflexion de la réduction des coûts de fonctionnement) ;

- La maîtrise des consommations énergétiques est dans plusieurs situations une conséquence directe des options retenues en matière de gestion de la ressource en eau. C'est par exemple le cas avec la gestion de la navigation et des éclusées permettant à Voies Navigables de France de réduire les volumes pompés. C'est également le cas dans le cadre de l'affectation des volumes dédiés à l'irrigation dans le respect des dispositions du SAGE permettant d'optimiser les pompages gérés par l'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement de la Vallée de l'Authion ;
- L'environnement géomorphologique des aménagements peut favoriser la réduction des coûts énergétiques (situation topographique permettant de recourir aux écoulements gravitaires par exemple).

3.4.3 Les contraintes induites par la mitigation énergétique

Les actions envisagées ou mises en œuvre par l'Institution Interdépartementale des Wateringues et Eau de Paris apportent un éclairage intéressant sur les conditions de réussite des économies d'énergies.

L'objectif de réduction de la facture énergétique ne suffit pas toujours pour atteindre la neutralité énergétique, notamment lorsque la structure du coût est constituée de deux prix : l'abonnement et les consommations. Le coût de l'abonnement peut être plus élevé que celui des consommations. Diminuer le coût de l'abonnement ne permet pas de réduire les consommations. A l'inverse, la diminution des consommations permet, au travers de la puissance souscrite, de réduire le coût de l'abonnement.

Des substitutions et mitigations énergétiques sont donc intéressantes à envisager pour réduire le coût de la facture énergétique. Différentes options sont possibles :

- Mise en place de groupes électrogènes ;
- Production d'énergies renouvelables sur site.

L'une et l'autre introduisent de nouvelles contraintes :

- La substitution par les énergies fossiles est moins favorable du point de vue de la neutralité carbone ;
- La mitigation énergétique introduit une majoration des investissements par les nouveaux équipements rendus nécessaires ;
- La rentabilité économique de ces investissements est incertaine considérant les durées de fonctionnement des pompes dans le cas de la lutte contre les inondations ;
- Les énergies de substitution doivent satisfaire aux besoins de puissance et de disponibilité continue. Selon les énergies primaires considérées ces critères peuvent être difficiles à satisfaire ; l'auto-consommation de l'énergie produite n'est donc pas garantie.

Les marges de manœuvres en termes de mitigation énergétique sont donc limitées. La priorité étant donnée à la qualité du service (pompage des eaux de la Seine en période de crue), le schéma d'approvisionnement énergétique le plus adapté doit privilégier la satisfaction à tout moment de la puissance appelée.

Différents éléments conditionnent la pertinence de recourir à la production d'énergies renouvelables :

- La maîtrise foncière rendue nécessaire par les filières consommatrices d'espace ;
- La révision du statut juridique du maître d'ouvrage qui élargie ses compétences à la production d'énergie ;
- Les moyens nécessaires à l'entretien et à la gestion des équipements de production énergétique ;
- Le programme d'investissement à retenir pour la mise en place des équipements de production d'énergie.

Une mutualisation des maîtrises d'ouvrages peut faciliter la mise en œuvre des actions de compensation. Cette mutualisation est facilitée dans le contexte actuel d'émergence des plans climat territoriaux porteurs de projets de production d'énergies renouvelables.

3.4.4 Conséquences des enseignements issus du retour d'expérience sur la réflexion mise en place dans le cadre du projet de la Bassée

Les quelques solutions identifiées dans le cadre de l'examen des retours d'expériences constituent un maigre référentiel sur lequel il est difficile de s'appuyer pour construire le plan d'actions à déployer dans le cadre du projet de la Bassée. En revanche, s'agissant des conditions de mise en œuvre de ces mêmes solutions, les retours d'expériences sont porteurs d'enseignements intéressants à considérer.

Les enseignements mettent en avant des contraintes et des conditions à réunir pour réussir la mise en œuvre des actions visant à la neutralité énergétique. Ces éléments sont retenus pour définir les critères qui permettront d'évaluer la faisabilité des différentes options qui seront retenues.

L'objectif de neutralité énergétique du projet de la Bassée est ambitieux, précurseur et novateur. Faisant suite à la volonté du maître d'ouvrage de porter un projet inscrit dans les principes du développement durable, il est cohérent avec les principes d'une société moins énergivore (principes orientés par les lois Grenelle).

4 Estimation de la dépense énergétique du projet de la Bassée

La définition d'un scénario 0 constitue le point de départ de l'étude de la neutralité énergétique. Le scénario représente la dépense énergétique du projet dans ses différentes phases en l'absence de réflexion visant à diminuer ou à compenser cette dépense.

Les hypothèses fondatrices de calcul (unités, périmètres, etc.) sont décrites au §2.4. Les estimations de consommations énergétiques ont été réalisées à partir des données actuelles fournies (niveau étude de faisabilité).

Elles sont complétées par les hypothèses particulières à chaque poste de consommation d'énergie, présentées en annexe à ce rapport.

4.1 Définition du scénario 0

La méthode d'élaboration du scénario 0 consiste à prendre en compte, par poste et par phase du projet (conception, fonctionnement, maintenance), l'ensemble des actions donnant lieu à une consommation énergétique (électricité et carburants principalement).

Les données d'entrée pour chaque phase du projet sont précisées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : données d'entrée prises en compte pour la définition du scénario 0

Phase du projet	Donnée d'entrée
Conception	Coût de la phase de conception : des études amont jusqu'à la maîtrise d'œuvre, IIBRBS, 2011
Travaux	Etude de conception des ouvrages, Hydratech, 2004
Fonctionnement	Etude des coûts de fonctionnement, Egis Eau, 2010 Coût annuel moyen d'entretien des ouvrages, Marne IIBRBS, ISL Ingénierie, 2010

Source : ISL, 2011

En complément de ces données d'entrée, des hypothèses sont retenues. Elles mènent à l'estimation des quantités d'énergie consommées. Ces hypothèses sont explicitées unes à unes en annexe du rapport. Chacune d'entre elle est assortie d'une incertitude (également explicitée en annexe) qui peut être connue précisément ou estimée (à partir de la pertinence de la source, ou par comparaison de différentes sources). Pour certains postes, les incertitudes s'additionnent au fil des opérations de calcul des consommations. La règle adoptée pour le choix des incertitudes est précisée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : règle de choix des incertitudes associées aux hypothèses du scénario 0

	Valeur associée	Définition	Exemple
Connue	...%	L'incertitude est connue et donnée dans les documents techniques pris en considération	un document technique d'un fabricant d'engin de chantier indique une consommation et en précise la marge d'incertitude
Faible	10%	La donnée prise en compte intègre une hypothèse de calcul	une estimation faite sur la consommation d'un véhicule léger (type 4*4) d'entretien des digues
Moyenne	20%	La donnée prise en compte intègre plusieurs hypothèses de calculs et/ou ratios	une estimation faite sur la consommation horaire d'un engin de chantier à partir d'un échantillon (3 à 5 engins de même type)
Forte	30%	Aucune donnée d'entrée n'est fournie dans les documents étudiés. La donnée est donc construite à partir de nombreuses hypothèses.	Une estimation de la distance moyenne parcourue pour acheminer les palplanches sur site, ne disposant d'aucune information sur les fournisseurs possibles

Source : ISL, 2011

4.2 Résultats et enseignements du scénario 0

Le Tableau 7 récapitule, poste par poste, les consommations d'énergie du projet de la Bassée sans action de réduction des consommations.

Tableau 7 : synthèse des consommations énergétiques du projet Bassée (scénario 0)

Phase de conception											
Poste	Ref.	Descriptif	Quantités	Prise en compte	Motif	Energie consommée	Activités prises en compte	tep	MWh	Incertitude	
Coûts de la conception (M€)	20 M€	donnée IIBRBS		oui			Divers	361	4 200	30%	
TOTAL PHASE CONCEPTION SCENARIO 0								360	4 200	30%	
Phase de travaux											
Poste	Ref.	Descriptif	Quantités	Prise en compte	Motif	Energie consommée	Activités prises en compte	tep	MWh	Incertitude	% du TOTAL TRAVAUX
Endiguements - 57,6 km de digues	T1	abattage d'arbres (ha)	64	oui		Gazole	Transport + Mise en œuvre	30	343	50%	1%
	T2	décapage (m3)	725 646	oui		Gazole	Mise en œuvre	215	2 504	76%	4%
	T3	clé d'étanchéité (ml)	150 809	oui		Gazole	Transport + Mise en œuvre	107	1 244	26%	2%
	T4	paroi étanche (m3)	47 886	oui		Gazole	Mise en œuvre	93	1 085	56%	2%
	T5	matériau d'apport (m3)	3 648 394	oui		Gazole	Transport	1965	22 851	26%	35%
	T6	mise en remblai (m3)	3 648 394	oui		Gazole	Mise en œuvre	988	11 492	33%	18%
	T7	matelas d'enrochements coté intérieur (m3)	748 448	oui		Gazole	Mise en œuvre	241	2 802	33%	4%
	T8	matelas d'enrochements coté extérieur (m3)	145 688	oui		Gazole	Mise en œuvre	47	545	33%	1%
	T9	grillage anti-fouisseur et anti-érosion coté ext. (m2)	450 987	oui		Gazole	Mise en œuvre	50	579	50%	1%
	T10	régalage de terre végétale sur talus (m3)	479 774	oui		Gazole	Mise en œuvre	130	1 511	33%	2%
	T11	ensemencement hydraulique (m2)	1 199 435	oui		Gazole	Mise en œuvre	0,01	0,08	21%	0%
	T12	piste en crête : 4m (ml)	11 285	oui		Gazole	Mise en œuvre	4	52	33%	0%
	T13	piste cyclable : 4,5m (ml)	33 378	oui		Gazole	Mise en œuvre	15	174	33%	0%
	T14	chaussée véhicule lourd : 8,5m (ml)	10 429	oui		Gazole	Mise en œuvre	243	2 829	10%	4%
	T15	chaussée RD : 16m (ml)	2 473	oui		Gazole	Mise en œuvre	109	1 263	10%	2%
	T16	rampes d'accès et ouvrages de franchissement (m)	217 000	oui		Gazole	Transport + Mise en œuvre	176	2043	28%	3%
SOUS-TOTAL ENDIGUEMENT								4 413	51 319	31%	
Stations de pompage - 7 stations	T17	installations de chantier (€)	1 917 000	non	Absence de donnée (dimensionnement des installations)						
	T18	Surface palplanches (m2)	16 520	oui		Gazole	Transport + Mise en œuvre	743	8639	37%	13%
	T19	Terrassement à l'intérieur de la fouille blindée (m3)	98 163	oui		Gazole	Mise en œuvre	19	221	33%	0%
	T20	Enrochement libre (m2)	11 038	oui		Gazole	Mise en œuvre	4	41	33%	0%
	T21	Epuisement (€)	490 000	non	Absence de donnée (volumes approximatifs à pomper)						0%
	T22	Ouvrages en béton et béton armé (m3 béton de structure)	19 760	oui		Gazole	Transport + Mise en œuvre	7	87	34%	0%
	T23	Local technique (m2)	1 550	oui		Gazole	Transport	4	47	30%	0%
	T24	Route d'accès au chantier (ml)	1 600	oui		Gazole	Mise en œuvre	35	409	10%	1%
	T25	Equipements des stations de pompage	-	non	Absence de données (volumes de matériaux à transporter sur site)						
SOUS-TOTAL STATION DE POMPAGE								812	9443	35%	
Vannages - 12 vannes de vidange 21 vannes de noues	T26	Ouvrages vannés (vidange et noues, Nombre)	33	oui		Divers	Mise en œuvre	265	3079	30%	5%
Automatismes	T27	Automatismes		oui		Divers	Mise en œuvre	38	445	32%	1%
Drains périphériques - 23,9 km de drains	T28	Drains périphériques (ml)	23900	oui		Divers	Mise en œuvre	61	714	29%	1%
Mesures environnementales - Diverses	T29	Mesures environnementales		non	Détail des mesures approximatif ne permettant pas d'élaborer des hypothèses de calcul pertinentes						
TOTAL PHASE TRAVAUX SCENARIO 0								5 590	65 000	31%	

Phase de fonctionnement

Poste	Ref.	Descriptif	Quantités	Prise en compte	Motif	Energie consommée	Activités prises en compte	tep	MWh	incertitude	% du TOTAL FONCTIONNEMENT
Energie dépensée hors crue	F1	Locaux (1500m2)		oui		électricité		3	30	10%	2%
	F2	Equipements		oui		électricité		47	549	10%	32%
	F3	Déplacements des agents		oui		gazole	déplacement des véhicules d'entretien et de service	9	106	60%	6%
Energie dépensée en période de crue	F4	Mise en route du dispositif de pompage lissée par an		oui		électricité		23	265	30%	16%
Energie dépensée pour l'entretien courant des ouvrages	F5	Digues et voirie - exploitation		oui		divers		13	156	30%	9%
	F6	Digues et voirie - maintenance		oui		divers		1	8	30%	0%
	F7	Digues et voirie - renouvellement		oui		divers		5	58	12%	3%
	F8	Stations de pompages - exploitation		oui		divers		7	81	30%	5%
	F9	Stations de pompages - maintenance		oui		divers		13	152	30%	9%
	F10	Stations de pompages - renouvellement		oui		divers		7	77	30%	5%
	F11	Vannages - exploitation		oui		divers		3	31	30%	2%
	F12	Vannages - maintenance		oui		divers		13	154	30%	9%
	F13	Vannages - renouvellement		oui		divers		5	62	30%	4%
	F14	Drains - exploitation		oui		divers		0	1	30%	0%
	F15	Drains - maintenance		oui		divers		1	11	30%	1%
F16	Drains - renouvellement		oui		divers		1	6	30%	0%	
TOTAL PHASE FONCTIONNEMENT SCENARIO 0								150	1 700	25%	

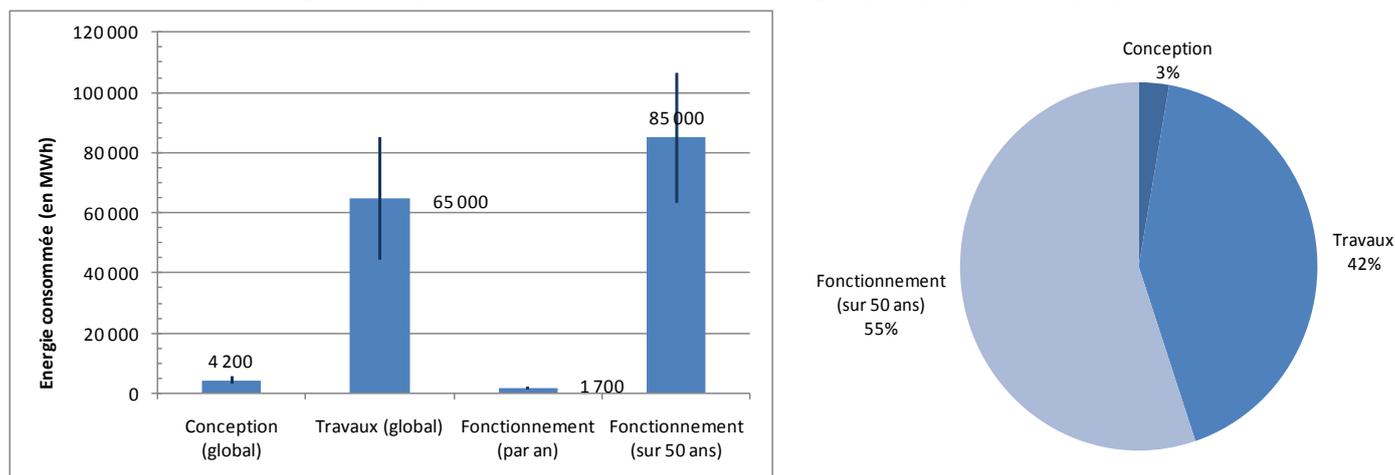
Source : ISL, 2011

Le bilan du scénario 0 s'élève à 69 200 MWh (soit 5 950 tep) pour les phases de conception et de travaux, et à 1 700 MWh (soit 150 tep) supplémentaires par année de fonctionnement. L'incertitude globale est de 31%.

Le bilan met en avant d'importantes consommations énergétiques dès la phase de travaux. En comparaison, les consommations de fonctionnement annuelles sont faibles (~3%). Au terme de la durée de vie des ouvrages (50 ans⁵), les consommations de fonctionnement représentent 55% du bilan énergétique.

La Figure 2 illustre la répartition des consommations énergétiques ainsi que les incertitudes associées.

Figure 2 : répartition des consommations énergétiques par phase du projet



Source : ISL, 2011

Phase de travaux : 2/3 des consommations provenant de 3 postes

Parmi les 29 postes considérés pour la phase travaux, se dégagent 3 postes générant plus de 2/3 des consommations énergétiques :

- Le transport sur site des matériaux d'apport (35% des consommations) ;
- La mise en remblai (18% des consommations) : la mise en œuvre des digues en remblais par des engins de terrassement ;
- Les palplanches (13% des consommations) : le transport et la mise en œuvre des palplanches pour les 7 stations de pompage.

Le transport des matériaux sur site (directement lié à leur provenance) constitue le principal levier d'action et doit être placé au centre de la réflexion quant à la neutralité énergétique du projet.

Phase de fonctionnement : 4 postes responsables de plus de 80% des consommations

La méthodologie consistant à lisser les consommations d'énergie par année fait ressortir les consommations d'électricité hors crue (essais mensuels sur les pompes, aérothermes, inondations écologiques et actionnement annuel des vannages pour la vidange des casiers inondés, 32% des consommations de la phase fonctionnement) devant la valeur lissée des consommations d'énergie en crue (16% des consommations).

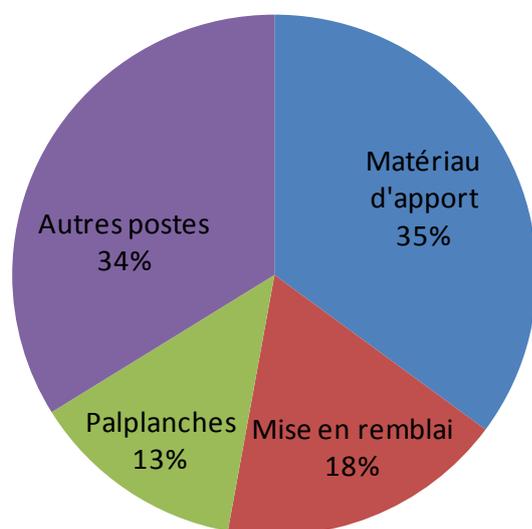
Viennent compléter le bilan les postes de maintenance (19% des consommations), d'exploitation (16% des consommations) et de renouvellement (12% des consommations) des équipements.

⁵ Le renouvellement des équipements hydromécaniques (d'une durée de vie de 25 ans) n'est pas comptabilisé
Grands Lacs de Seine

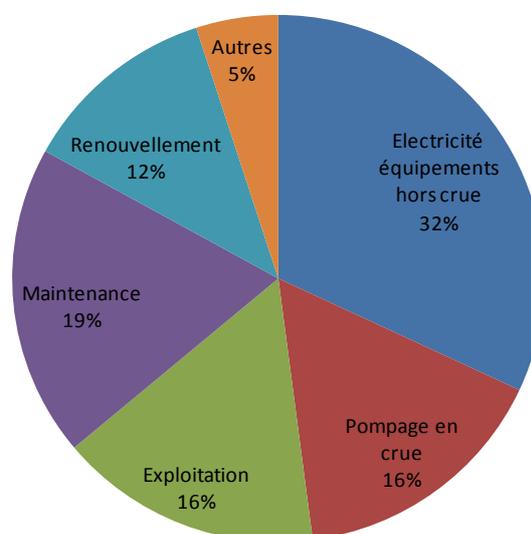
La Figure 3 ci-dessous illustre la répartition des consommations au sein des phases travaux et fonctionnement :

Figure 3 : répartition des consommations énergétiques pour les phases de travaux et de fonctionnement

Répartition des consommations de la phase travaux



Répartition des consommations de la phase de fonctionnement



Source : ISL, 2011

Une forte dépendance aux énergies fossiles : impact sur l'économie du projet

L'analyse des types d'énergie consommée fait apparaître une forte dépendance (>80%) aux énergies fossiles de la phase travaux (transport par route, engins de chantier, etc.). Les phases de conception et de fonctionnement présentent respectivement une dépendance aux énergies fossiles de 60% et de 50%, le complément étant une dépense en énergie électrique.

Cette dépendance a des répercussions réelles sur l'économie du projet. A titre d'exemple, l'exercice a été mené de simuler l'impact d'une fluctuation du coût du pétrole sur l'économie du projet. Une distinction entre la phase travaux et la phase de fonctionnement apparaît pertinente.

L'étude du cours du pétrole sur la période 2006 à 2011 amène à proposer deux scénarios :

- L'effet d'une hausse de 5% du coût du baril (base 100\$/baril) : cette hausse correspond à ce qui a été observé au mois de février 2011 – conflit civil libyen ;
- L'effet d'une hausse de 30% du coût du baril (base 100\$/baril) : cette hausse correspond à ce qui a été observé en été 2008.

Le Tableau 8 synthétise l'impact d'un surcoût du baril de pétrole par phase du projet.

Tableau 8 : impact d'un surcoût du baril de pétrole par phase du projet

Phase du projet	Energie fossile (tep)	Equivalence en barils de pétrole	Impact surcoût de 5%	Impact surcoût de 30%
Travaux	4 800	36 000	+ 130 k€	+ 770 k€
Fonctionnement	75 (annuel)	560	+ 2 k€	+ 12 k€

Source : ISL, 2011

L'impact économique sur la phase travaux est de 130 k€ (0,04% du coût d'investissement) pour un surcoût de 5% du cours du baril et de 770 k€ (0,25% du coût d'investissement) pour un surcoût de 30% du cours du baril. Dans la réalité, cet impact serait bien plus important, le surcoût touchant l'ensemble des entreprises et fournisseurs dans la chaîne de réalisation du projet de la Bassée.

S'agissant de la phase de fonctionnement l'impact est de 2 k€ (0.06% du coût de fonctionnement annuel) pour un surcoût de 5% du cours du baril et de 12 k€ (0.35% du coût d'investissement) pour un surcoût de 30% du cours du baril.

Impact du projet sur le climat

Le Tableau 9 détaille le bilan des émissions de gaz à effet de serre des différentes phases du projet.

Tableau 9 : émissions de gaz à effet de serre par phase du projet

Phase du projet	Energie fossile		Energie électrique		Energie (divers)		Bilan GES
	Quantité (MWh)	Emissions (t.eq CO2)	Quantité (MWh)	Emissions (t.eq CO2)	Quantité (MWh)	Emissions (t.eq CO2)	Emissions (t.eq CO2)
Conception	2600	770 ^b	1600	135	0		905
Travaux	60 800	18 060	0	0	4 200	Non pris en compte	18 060
Fonctionnement (annuel)	105	30	850	70	800		100

Source : ISL, 2011

Les phases de conception et de travaux émettent près de 19 000 tonnes équivalent CO₂ (incertitude 34%) Cela correspond aux émissions annuelles d'environ 1200 ménages⁷ (soit les émissions annuelles de 3000 habitants, ordre de grandeur de la population de Bray-sur-Seine).

Chaque année, le fonctionnement des installations émet environ 100 tonnes équivalent CO₂ (correspondant aux émissions annuelles d'une quinzaine d'habitants).

Enseignements se dégageant du scénario 0

L'étude du scénario 0 en termes de consommations énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre du projet de la Bassée est riche d'enseignements :

- Une nécessité d'agir en priorité sur la phase travaux, phase très énergivore qui représente, avant même la mise en fonctionnement, près de la moitié des consommations énergétique sur l'ensemble de la durée de vie de l'aménagement ;
- Le transport des matériaux sur site (et donc de leur provenance) constitue le levier d'action principal et doit être placé au centre de la réflexion quant à la neutralité énergétique du projet ;
- Une faible part des consommations est liée à la mise en route du dispositif de pompage lors des crues ;
- L'énergie consommée est majoritairement d'origine fossile (carburant des camions et engins).

5 Solutions et scénarios pour tendre vers la neutralité énergétique

5.1 Actions de réduction des consommations énergétiques

Des actions de réduction (ou d'optimisation, cf. § 2.1) des consommations d'énergies doivent être envisagées pour chacune des 3 grandes phases du projet :

- Conception de l'ouvrage : les opérations sur lesquelles les économies d'énergies doivent être recherchées concernent l'ingénierie du projet (études préalables et management amont du projet) ;
- Travaux : la maîtrise de la demande d'énergie cible toutes les interventions associées au chantier ;

⁶ Facteurs d'émission (méthode bilan carbone ® v6, ADEME):

Energie fossile (assimilé au gazole) : 0,297 t.eq.CO2/MWh

Energie électrique (mix énergétique français) : 0,084 t.eq.CO2/MWh

Energie diverse : non pris en compte

⁷ Un ménage français émet aujourd'hui en moyenne 15,5 tonnes de CO2 par an. ADEME

- Fonctionnement du dispositif et des équipements : la recherche des économies d'énergies porte sur l'ensemble des consommations induites par les opérations de fonctionnement et d'entretien.

Le Tableau 10 détaille les actions retenues et les économies maximales réalisables.

Tableau 10 : actions retenues et économies réalisables associées

	Action	Poste	Moyens	Economie maximale	% de gain ⁸	Conditions à réunir
Conception	AC1 : Prise en compte de l'éco-responsabilité dans la réalisation des études de conception	Conception	Incitations par les marchés publics	Non estimée		
Travaux	AT1 : Report modal du transport des matériaux de remblai	T5 : Matériaux d'apport	Incitations par les marchés publics	6 300 MWh	25%	Passage au tout ferroviaire ou au tout fluvial ⁹
	AT2 : Optimisation des choix faits en termes d'organisation de chantier	Tout poste mettant en œuvre des engins de chantier	S.O.P.R.E. ¹⁰	2 500 MWh	10%	
	AT3 : Report modal du transport des palplanches	T18 : Transport et mise en œuvre des palplanches	Incitations par les marchés publics	2 150 MWh	25%	Passage au tout ferroviaire ou au tout fluvial ¹¹
	AT4 : Procédé de voirie à froid	T14, T15 et T24	Incitations par les marchés publics	1 170 MWh	26%	Mettre en œuvre d'une grave-émulsion (7cm) et d'un enrobé coulé à froid
Fonctionnement	AF1 : Optimisation des équipements de pompage	F2 et F4 consommation des équipements en et hors crue	Incitations par les marchés publics	120 MWh/an	15%	Moteurs haut rendement
	AF2 : Optimisation des équipements de maintien hors gel	F2 consommation des aérothermes	Incitations par les marchés publics	40 MWh/an	7%	Optimisation de l'isolation
	AF3 : Action sur le transport des agents	F3 : Déplacements des agents	Interne IIBRBS	Non estimée		
	AF4 : Action sur les locaux	F1 : Locaux	Interne IIBRBS	30 MWh/an	100%	Passage en bâtiments passifs
	AF5 : Optimisation du poste fauchage	F5 : Dignes et voirie (Exploitation)		30 MWh/an	100%	Recours au pâturage
	AF6 : Optimisation du réseau électrique	F2 et F4 consommation des équipements en et hors crue	Incitations par les marchés publics (DCE)	Non estimée		Futures armoires électriques, schéma unifilaire, possibilité de mettre hors tension les transformateurs conséquents et les gros équipements hors période de crue, ...

Source : ISL, 2011

13% d'économies réalisables sur la phase travaux par une réflexion sur les transports de matériaux (AT1 et AT3)

Le transport des matériaux depuis les carrières et des palplanches depuis leur fabricant constitue une part importante des consommations du scénario 0. Pour rappel, le scénario considère un transport « tout camion » depuis les carrières existant à proximité du site (~30 km) et depuis une distance théorique de 250 km pour le transport des palplanches.

Une analyse à trois paramètres (% du transport par route, % du transport par voie ferrée, % du transport par voie fluviale) a permis de constituer le triangle des matières illustré sur la figure. Il s'en dégage des zones au

⁸ Gain par rapport à la consommation du poste dans le scénario 0, arrondi

⁹ Le calcul repose sur l'hypothèse que les distances sont équivalentes quelque soit le mode de transport

¹⁰ Schéma d'Organisation de la Protection et du Respect de l'Environnement

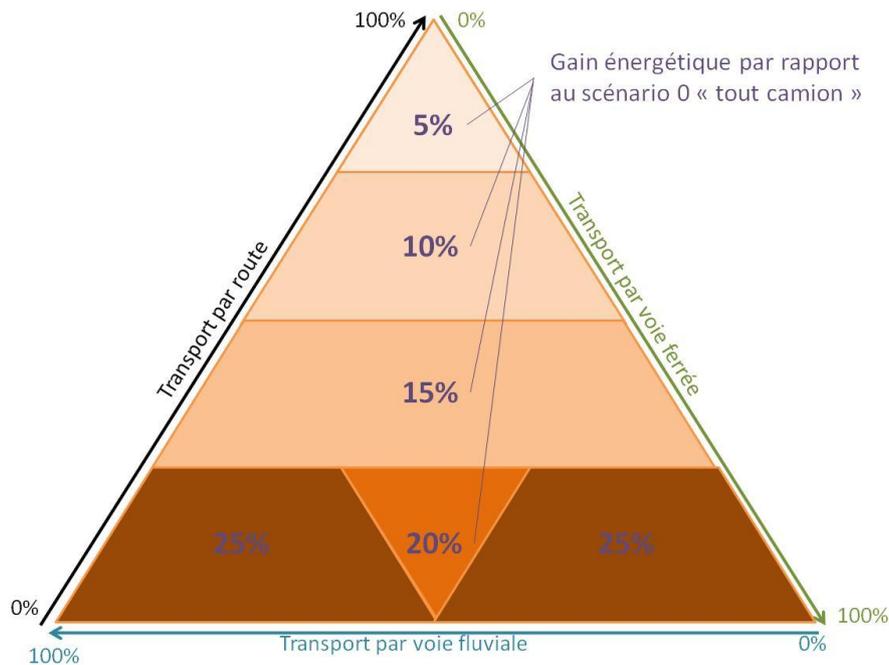
¹¹ Idem

sein desquelles les économies réalisables par un report modal en tout ou partie sur le transport ferré et fluvial sont proches.

Le gain maximum, observé à la base du triangle (c'est à dire quand la part du transport routier est inférieure à 25%), atteint 25%.

Du point de vue de l'impact sur le climat, pour un même cumul de tonnes.km parcourus, la voie fluviale émet une quantité moindre de gaz à effet de serre. Il apparaît donc opportun de favoriser ce mode de transport, à condition toutefois que les accès depuis les carrières soient possibles et ne nécessitent pas une majoration des transports intermédiaires.

Figure 4 : analyse énergétique¹² comparative des modes de transport des matériaux



Source : ISL, 2011

La mise en œuvre de cette action passe par des incitations lors de la rédaction des DCE. L'éco-responsabilité des fournisseurs de matériaux doit constituer l'un des paramètres de jugement des offres.

L'optimisation des choix faits en termes d'organisation de chantier et de réalisation des voiries (AT2 et AT4) peut permettre jusqu'à 6% d'économies sur la phase travaux

Le scénario 0 est élaboré à partir d'hypothèses de consommations moyennes d'engins de chantier. A travers le S.O.P.R.E. (Schéma d'Organisation de la Protection et du Respect de l'Environnement) relatif aux travaux de la Bassée, le potentiel d'optimisation de la dépense énergétique est important, et intimement lié aux émissions de gaz à effet de serre (les engins consomment des carburants fossiles fortement émetteurs).

Cette optimisation passe par le choix d'engins performants et bien entretenus, mais aussi par la coordination et l'organisation des travaux (installation des bases, réflexions visant à limiter le transport des matériaux et les allers-retours, réflexions quant à l'allotissement des travaux des casiers, etc.).

¹² Ratios pris en compte :

route : 0.0144 kg.ep/tonne.km sur la base des hypothèses du scénario 0 (tonnages Hydratech, hypothèses 30km parcourus en moyenne, consommation des camions 34,2 l/100km,...)

train : 0.0104 kg.ep/tonne.km (guide des facteurs d'émission ADEME)

voie d'eau : 0.0106 kg.ep/tonne.km (guide des facteurs d'émission ADEME)

S'agissant des procédés de réalisation des voiries, le scénario 0 a pris en compte une technique largement usitée en France : Béton Bitumineux Semi Grenu coulé à chaud d'épaisseur 7cm. L'emploi d'une technique à froid (grave émulsion et enrobé coulé à froid) permet un gain énergétique de près de 25%¹³.

Plus de 10% d'économies réalisables sur le fonctionnement annuel

Le choix de moteurs à hauts rendements (AF1) pour les dispositifs de pompage est une piste de réflexion à étudier. A l'heure actuelle, ces moteurs présentent des rendements pouvant dépasser de plus de 15% ceux de moteurs plus classiques (supposés mis en œuvre dans le scénario 0). Le gain énergétique est intéressant (estimé à 120 MWh/an) compte-tenu de l'utilisation des pompes à la fois en et hors crue.

Le dispositif d'hors gel des stations de pompages (aérothermes, AF2) est fortement énergivore. Il constitue le principal poste de consommation hors crue. La mise en œuvre conjointe d'appareils davantage performants et d'une isolation accrue (locaux, pompes, etc.) diminue les consommations énergétique d'au moins 10%.

Cette action est liée à la réflexion concernant la performance énergétique des locaux (AF3, considérés RT 2012¹⁴ dans le scénario 0). L'hypothèse d'une action visant à rendre passifs ces locaux (Thermique de l'habitat, Emploi d'énergies renouvelables) permet une économie de 30MWh/an.

Enfin trois pistes de réflexions sont proposées :

- Le transport des agents : choix de véhicules éco-responsables (faibles émissions, hybrides et/ou idéalement électriques) ; choix judicieux quant à leur localisation géographique afin de limiter les déplacements ;
- Le remplacement en tout ou partie du poste fauchage des digues par la mise en place de pâturage ;
- L'optimisation électrique : réflexion à mener dès la conception sur la structure des réseaux (implantation des armoires, schéma unifilaire, etc.)

Ces pistes pourraient être approfondies par la recherche de retours d'expériences auprès de gestionnaires de digues ayant mené des réflexions analogues.

5.2 Quid de l'action d'équilibre

L'action dite d'équilibre (cf. § 2.1) est liée à la phase de fonctionnement. Dans le cadre d'une approche de type bilan énergétique, la production d'électricité par turbinage des eaux permettrait de réduire arithmétiquement le montant des consommations de cette phase.

La faisabilité d'une telle solution a été envisagée. Le Tableau 11 détaille les principales caractéristiques prises en compte.

Tableau 11 : caractéristiques de l'action de turbinage des eaux des casiers

	Surface (ha)	Volume (Mm3) ¹⁵	Volume turbiné (Mm3) ¹⁶	Niveau casier (PHER)	Niveau moyen turbiné	Niveau moyen aval	Hauteur de charge moyenne (m)	Energie produite par année (kWh) ¹⁷
casier 1	184	2,69	1,35	55,74	54,99	53,50	1,49	796
casier 2	195	4,87	2,44	55,74	54,99	53,50	1,49	1440
casier 3	134	3,35	1,68	55,71	54,96	50,20	4,76	3166
casier 4	426	10,65	5,33	55,00	54,25	50,20	4,05	8561
casier 5	479	11,99	5,99	53,53	52,78	50,20	2,58	6136
casier 6	103	2,57	1,29	56,62	55,87	53,50	2,37	1209
casier 7	120	3,00	1,50	55,82	55,07	50,20	4,87	2902
casier 8	164	4,09	2,05	54,59	53,84	50,20	3,64	2956
casier 9	489	12,24	6,12	53,03	52,28	50,20	2,08	5050
							TOTAL	32 210

Source : ISL, 2011

¹³ CETE : Etude comparatives des enrobés à chaud et des enrobés à froid, 2007

¹⁴ RT 2012 : Réglementation Thermique 2012

¹⁵ Hauteur d'eau dans le casier : 2,5m

¹⁶ Plage de fonctionnement (+2,5m à +1,0m)

¹⁷ E(kWh)= 0.8 x V (m3) x H (m) / 3600

L'énergie moyenne productible par année est de 32 MWh (soit un peu plus de 12% de l'énergie dépensée pour le pompage lors d'une crue, lissée sur une année). L'équilibre n'est donc pas atteignable par cette solution.

Sa faisabilité est également remise en question par les aspects économiques. En effet, avec une hypothèse médiane du rachat de l'électricité produite à hauteur de 6 c€/kWh, la recette annuelle est estimée à environ 2 000 €.

L'analyse du temps de retour brut (investissement estimé à 600 k€ par groupe (génie civil et équipements), 1 turbine par casier) dépassant les 2000 ans confirme le peu de pertinence de cette action.

5.3 Actions de compensation

Quatre solutions peuvent être envisagées pour compenser les consommations d'énergie du projet :

- Implantation de panneaux photovoltaïques ;
- Implantation d'éoliennes ;
- Recours à l'effacement diffus ;
- Production de biomasse énergie.

5.3.1 Implantation de panneaux photovoltaïques

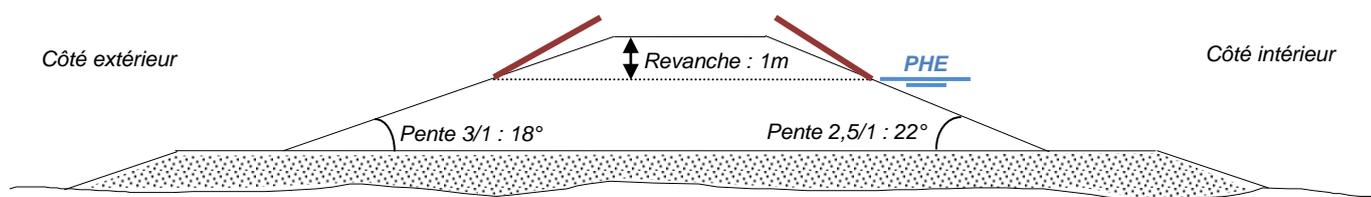
Principe

Le principe de cette solution est de bénéficier du linéaire de digues séparant les casiers pour y implanter des panneaux photovoltaïques. L'usage prévu des crêtes de digues (pistes cyclables et piétonnières) n'autorise qu'une implantation sur les talus de digue.

La surface maximale exploitable est calculée en faisant l'hypothèse d'une revanche d'1m (cf. étude de faisabilité, Hydratech, 2004), quel que soit le côté de la digue (intérieur ou extérieur du casier). Cette revanche correspond à la différence entre le niveau de la crête de digue et celui des PHE.

La Figure 5 illustre le principe d'implantation des panneaux photovoltaïques.

Figure 5 : schéma de principe d'implantation des panneaux photovoltaïques

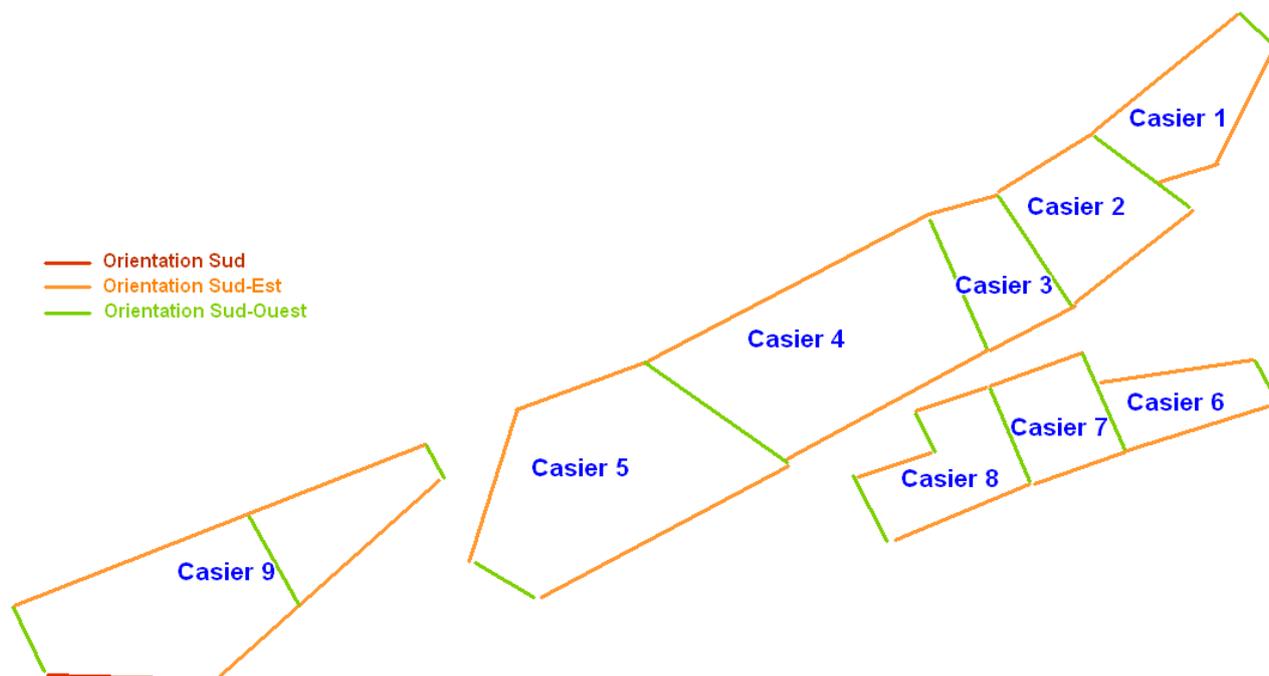


Gain potentiel

La surface maximale exploitable par mètre linéaire de digue est de 2,7 m² (1 mètre de revanche au-dessus des PHE, côté casier ou côté extérieur, fruit de 2,5/1).

Une inclinaison optimale de 30° des panneaux photovoltaïques est prise en compte. La Figure 6 illustre l'orientation privilégiée par tronçon de digue. La disposition des casiers définie au stade de l'étude de faisabilité permet de garantir une orientation Sud, Sud-ouest ou Sud-est pour 100% des tronçons de digues.

Figure 6 : orientation des panneaux photovoltaïques par digue



Source : ISL, 2011

Le productible annuel est calculé en fonction de l'orientation des panneaux pour une inclinaison de 30° à partir du logiciel CalSol, développé par l'Institut National de l'Energie Solaire¹⁸.

L'implantation de panneaux photovoltaïques sur le linéaire total de digues (58 km) permet de produire environ 13 792 MWh par an (soit environ 240 MWh par kilomètre de digue équipé). Le potentiel solaire du secteur peut être qualifié de faible à moyen. La durée d'ensoleillement annuel est comprise entre 1750 et 2000 heures et le productible annuel est de 90 kWh/m² de capteurs¹⁹.

A titre d'information, les secteurs du territoire français présentant le meilleur potentiel (Sud-Est et Corse) ont un ensoleillement annuel supérieur à 2750 heures et un productible annuel 128 kWh/m² de capteurs²⁰. Les caractéristiques de la station de Lille, dans un secteur français à faible potentiel, sont une durée d'ensoleillement inférieure à 1750 heures et un productible de 85 kWh/m² de capteurs.

Le Tableau 12 détaille l'énergie maximale productible par an et par casier.

Tableau 12 : estimation du productible photovoltaïque par casier

Casier	linéaire (ml)	surface de panneaux (m ²)	Puissance crête installée (kWc)	Productible annuel (MWh)
1	4 960	13 392	1 339	1 178
2	4 483	12 104	1 210	1 065
3	3 522	9 510	951	837
4	8 137	21 970	2 197	1 933
5	9 697	26 181	2 618	2 304
6	4 273	11 537	1 154	1 015
7	3 566	9 629	963	847
8	6 074	16 401	1 640	1 443
9	13 287	35 876	3 588	3 168
Total	58 000	156 600	15 660	13 792

Source : ISL, 2011

¹⁸ <http://ines.solaire.free.fr/index.php>, station de référence : Paris Le Bourget, 90 kWh/an/m² pour une orientation au Sud, 88 kWh/an/m² pour une orientation Sud-est ou Sud-ouest

¹⁹ Station de référence : Paris Le Bourget, 90 kWh/an/m² pour une orientation au Sud

²⁰ Station de référence : Nice, 90 kWh/an/m² pour une orientation au Sud

Le Tableau 15 indique le linéaire de digues à équiper en panneaux photovoltaïques pour différents scénarios de consommation à compenser.

Tableau 13 : estimation du linéaire de digues à équiper en panneaux photovoltaïques pour différents scénarios de consommations à compenser

Objectifs de compensation	Linéaire de digue à équiper
100% des consommations annuelles : 1 700 MWh	7 000 m
Consommations en période hors crue : 685 MWh	2 800 m
Consommations en période de crue : 265 MWh	1 100 m

Source : ISL, 2011

Conditions de réussite

Les tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque sont fixés par le MEEDM. Conséquence de la bulle spéculative observée fin 2009, une nouvelle tarification, publiée en mars 2011, fixe les prix d'achat jusqu'en 2012 (prix garantis sur une période de 20 ans).

Dans le cas des centrales solaires au sol, les prix d'achat sont les suivants :

- 31,4 centimes d'€/kWh lorsque la puissance installée est inférieure ou égale à 250 kWc ;
- Prix d'achat fonction de l'ensoleillement (de 31,4 -départements les plus ensoleillés- à 37,7 centimes d'€/kWh -départements les moins ensoleillés-).

La puissance de 250 kWhc est atteinte dès le premier kilomètre de digue équipé.

L'opportunité de recourir à l'implantation de panneaux photovoltaïques sur les digues est conditionnée par la rentabilité de l'investissement et donc par le tarif d'achat de l'électricité produite.

En dehors de la rentabilité économique, d'autres arguments conditionnent l'opportunité et la faisabilité d'un projet.

En termes de conditions de mise en œuvre, l'implantation de panneaux photovoltaïques sur les digues va nécessiter des procédures spécifiques imposées par les contraintes de gestion des équipements et de vente de l'énergie produite.

La gestion représente un coût supplémentaire et une organisation ad-hoc. La vente de l'électricité impose de réviser les statuts juridiques de l'IIBRBS qui ne dispose pas de compétences en la matière.

La gestion technique des équipements et la vente de l'énergie produite peuvent être confiées à un prestataire extérieur dans le cadre d'une délégation de service.

Une solution alternative peut consister dans la prise de parts dans un projet tiers de production d'énergie photovoltaïque. Des projets d'implantation de « fermes photovoltaïques » existent. Une participation financière de l'IIBRBS peut être envisagée avec, en contrepartie, la possibilité d'intégrer au bilan énergétique la production photovoltaïque issue du partenariat pour un montant en relation avec l'investissement consenti (production venant se déduire des consommations du projet). La prise de participation peut se faire directement auprès d'une société proposant des services clefs en main ou bien dans le cadre d'une co-maîtrise d'ouvrage locale. De telles co-maîtrises d'ouvrage peuvent être recherchées à la faveur de projets qui prennent forme dans le cadre des plans climat énergie territoriaux.

Si la maîtrise foncière n'est pas un élément bloquant (principe d'intégration des panneaux sur les digues), l'impact paysager dans un environnement à forte valeur environnementale apparaît comme un élément de nature à freiner la faisabilité d'un projet photovoltaïque.

5.3.2 Implantation d'éolienne

Principe

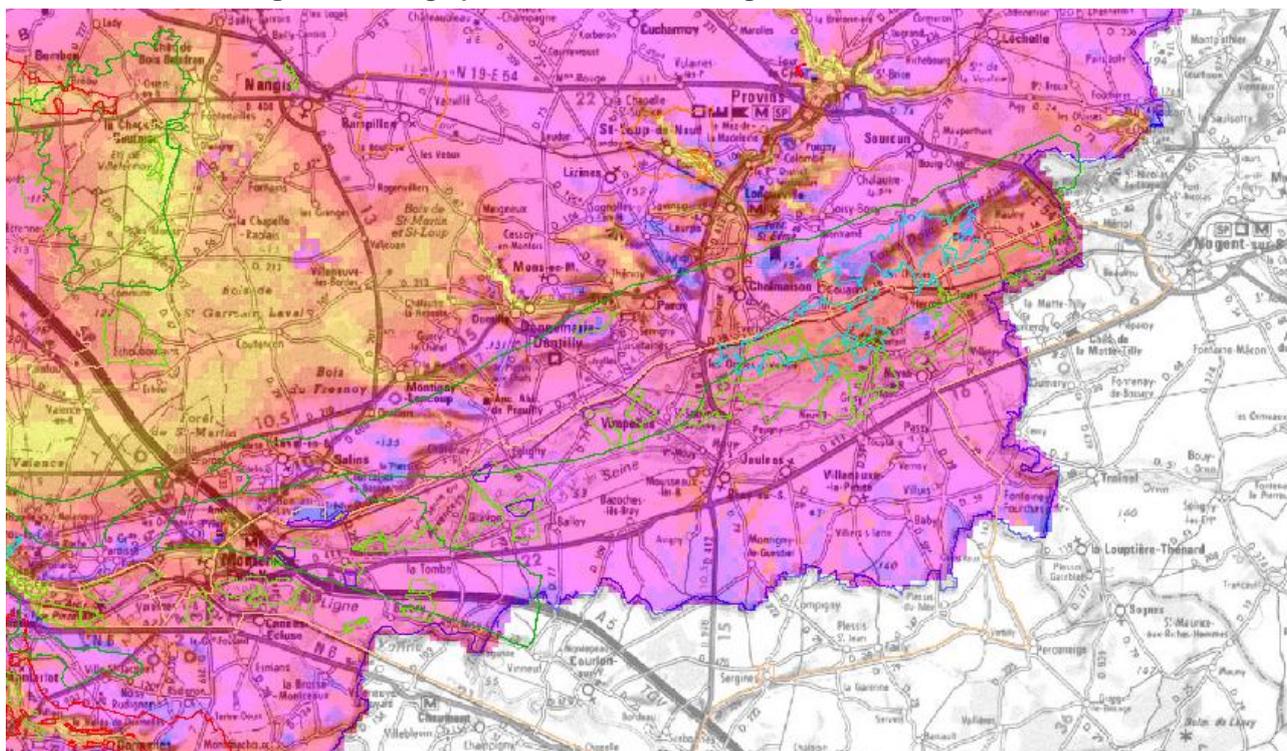
Les casiers correspondent à d'importantes surfaces (plus de 2 300 ha) au sein desquelles les activités seront réglementées au travers de conventions de servitude. L'IIBRBS est propriétaire uniquement des linéaires de digues. Les espaces intérieurs aux casiers pourraient être mis à profit, mais s'avèrent peu judicieux au regard des fortes contraintes patrimoniales et environnementales qu'ils comportent.

Gain potentiel

L'installation d'une éolienne de puissance 1 MW (éolienne fonctionnant 25% du temps, soit 2400 heures²¹) permet de produire 2 400 MWh par an. Une éolienne suffit par conséquent à compenser 100% des consommations annuelles (1 700 MWh pour rappel).

Le secteur de la Bassée est identifié dans l'atlas éolien d'Ile de France²² de 2003 comme particulièrement favorable à l'implantation d'éoliennes. L'évaluation de l'efficacité d'installation des éoliennes est mesurée en considérant la densité d'énergie à différentes hauteurs par rapport au niveau du sol. A 60 mètres de hauteur le territoire de la Bassée présente une densité d'énergie comprise en 190 et 200 W/m² (zones roses sur la Figure 7).

Figure 7 : cartographie de la densité d'énergie à 60 mètres de hauteur



Source :ADEME et ARENE Ile de France, 2003

Le Tableau 15 indique le nombre d'heures de fonctionnement d'éolienne(s) pour différents scénarios de compensation.

²¹ Les caractéristiques de l'éolienne et le productible annuel sont réalisés en cohérence avec le Guide éolien du département de Seine-et-Marne, mars 2007

²² <http://www.arenidf.org/fr/leolien-93.html>

Tableau 14 : estimation du nombre d'éolienne pour différents scénarios de consommations à compenser

Objectifs de compensation	Nombre d'éolienne de 1 MW à installer ²³
100% des consommations annuelles : 1 700 MWh	0,7
Consommations en période hors crue : 685 MWh	0,3
Consommations en période de crue : 265 MWh	0,1

Source : ISL, 2011

Conditions de réussite

La rentabilité d'un projet éolien est fonction du prix de rachat de l'électricité produite. Un dispositif incitatif a été mis en place par l'Etat depuis 2000 : l'obligation d'achat. Pour bénéficier de cette obligation, les projets doivent être situés en zone de développement de l'éolien (ZDE). La loi 2000-108 du 10 février 2000 précise les modalités d'établissement des tarifs d'achat. L'arrêté du 17 novembre 2008 fixe les conditions d'achat de l'éolien terrestre. Les contrats sont souscrits pour 15 ans. Le prix d'achat est fixé à 8,2 centimes d'€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 centimes d'€/kWh pendant 5 ans selon les sites.

Les projets éoliens présentent la caractéristique d'être consommateurs d'espace. Il s'agit d'un frein à leur mise en œuvre.

A l'image de la production d'énergie photovoltaïque, l'éolien impose des moyens et des compétences en matière de gestion des équipements et de vente de l'énergie produite. Ces moyens et ces compétences ne sont pas aujourd'hui détenus par l'IIBRBS. Il est possible de contourner ce manque en imaginant, comme dans le cas des panneaux photovoltaïques :

- De confier la gestion des équipements (gestion, entretien et vente de l'électricité) à une société tiers dans le cadre d'une procédure de gestion déléguée de service ;
- En intégrant un projet existant par co-financement.

L'intégration d'éolienne suit des règles strictes en termes d'intégration environnementale. Le guide méthodologique relatif à l'implantation des éoliennes en Seine et Marne²⁴ précise les éléments de sensibilité à considérer :

- Proximité de zones urbanisées et de voies de communication ;
- Servitudes liées aux aéroports ;
- Servitudes radioélectriques ;
- Proximité de sites classés ou de monuments historiques ;
- Présence de zones sensibles du point de vue environnemental (Natura 2000, ZICO, ZNIEFF, réserves naturelles, arrêtés de biotope, ...).

Le guide méthodologique présente une synthèse des principales données conditionnant l'installation des éoliennes. Le secteur de la Bassée est classé au titre des sites patrimoniaux et environnementaux fortement déconseillés pour l'implantation d'éoliennes.

L'implantation reste néanmoins possible en dehors de la zone de projet, sur des sites présentant également un potentiel intéressant mais de moindres contraintes (coteaux, proximité d'autoroute ou de ligne TGV).

5.3.3 Effacement diffus

Principe

La maîtrise de la production d'électricité à l'échelle nationale est confrontée à la gestion des périodes de pointe. Le gestionnaire du réseau d'électricité, RTE, dispose de différentes solutions pour adapter la

²³ Une éolienne de 1MW fonctionne 2400 heures par an

²⁴ Guide méthodologique relatif à l'implantation des éoliennes en Seine et Marne, Préfecture de Seine et Marne, Direction régionale de l'environnement d'Ile de France, Service départemental de l'architecture et du patrimoine de Seine et Marne, Direction départementale de l'équipement de Seine et Marne, mars 2007

distribution aux besoins. La plus courante est d'appeler des productions supplémentaires en réponse aux pics de consommation.

La Directive européenne de 2006 sur l'efficacité énergétique et les services énergétiques (Directive 2006/32/EC) introduit une nouvelle possibilité d'ajustement par l'intermédiaire des agrégateurs. Il s'agit d'opérateurs privés ou publics dont la fonction est d'agrèger des potentiels d'économies. En complément de l'appel de productions supplémentaires, les agrégateurs concourent à la gestion des périodes de pointe par effacement de consommations.

Les agrégateurs proposent à RTE le rachat des délestages comme une alternative à l'achat d'une production supplémentaire lors des appels de puissance.

L'opérationnalité du dispositif réside dans la capacité des agrégateurs à réunir les potentiels d'effacement auprès d'un nombre importants de consommateurs qui n'ont pas accès individuellement au marché de régulation de l'électricité (marché piloté par RTE).

Alors que la transposition en droit français de la Directive 2006/32/EC est en cours, des agrégateurs se sont d'ores et déjà positionnés sur le marché français. L'un d'eux, la société Voltalis, dispose d'une visibilité accrue obtenue par le modèle d'effacement diffus qu'il a mis en place. Cette entreprise a eu l'idée en 2009 de proposer un effacement dans les locaux, les bureaux et les commerces. Voltalis installe un appareil baptisé BluePod dont le pilotage à distance permet de couper l'alimentation électrique d'usages spécifiques de l'électricité (usages à forte inertie tels que le chauffage électrique), lors des périodes de pointe, en toute transparence pour l'utilisateur pour qui le bénéfice est une réduction de sa facture énergétique.

Un accord pourrait être envisagé entre l'IIBRBS et Voltalis pour compenser, par des délestages programmés, tout ou partie des consommations énergétiques de l'aménagement (soit 1 700 MWh).

Gain potentiel

L'installation d'un boîtier Bluepod permet l'économie de 1 kW par logement équipé (source Voltalis). Ce potentiel correspond à des conditions hivernales pluvieuses et de froid modéré (conditions climatiques de type dépression hivernale, identiques à celles rencontrées lors des épisodes de crues).

Le Tableau 15 indique le nombre de boîtiers à installer pour différents scénarios d'effacement (boîtiers fonctionnant quotidiennement 30 minutes sur une période de 10 jours, soit 5 heures au total).

Tableau 15 : estimation du nombre de boîtiers à installer pour différents scénarios de consommations à compenser

Objectifs d'effacement	Estimation du nombre de boîtiers à installer
100% des consommations annuelles : 1 700 MWh	340 000
Consommations en période hors crue : 685 MWh	137 000
Consommations en période de crue : 265 MWh	53 000

Source : ISL, 2011

Conditions de réussite

La faisabilité de cette solution repose sur la capacité de l'agrégateur à effacer un montant de consommation suffisant et correspondant à la dépense énergétique à compenser. L'important gisement de bâtiments en régions parisiennes est un élément favorable à la mise en place d'une démarche d'effacement diffus.

La mise en œuvre d'une telle solution de compensation passe par une contractualisation entre l'IIBRBS et l'agrégateur retenu. L'objectif du contrat est de compenser tout ou partie de l'appel de consommation lié au projet. La dépense énergétique à compenser doit clairement figurer dans le contrat. L'agrégateur s'engage à mettre à la disposition de l'IIBRBS une capacité d'effacement.

La logique d'intervention d'un agrégateur s'inscrit dans le fonctionnement des marchés de l'électricité. Pour répondre aux prévisions de consommations de pointe, le gestionnaire du réseau de distribution (RTE) met en œuvre, afin de se prémunir contre tout déséquilibre, des procédures d'ajustement des consommations et des productions. Pour satisfaire aux besoins de RTE, basées sur des modèles de prévision des

consommations, les agrégateurs doivent être en capacité d'anticiper leurs leviers d'actions. Cette logique de fonctionnement est conforme avec les modalités de consommations énergétiques du projet de la Bassée :

- Consommations courantes de fonctionnement connues par avance ;
- Consommations en crues identifiées par anticipation par l'intermédiaire des modèles de prévision des crues.

Pour aller plus loin dans la mise en œuvre d'une procédure de compensation par effacement diffus, l'IIBRBS doit se rapprocher de différents agrégateurs afin de mettre en concurrence leurs capacités d'effacement.

Un contrat doit également fixer les modalités de l'effacement diffus en précisant notamment :

- Le nombre de bâtiments équipés de boîtiers de régulation ;
- La puissance potentielle de délestage disponible ;
- La période et la durée d'activation des boîtiers ;
- Le coût d'achat du kWh délesté ;
- Le montant des pénalités financières imposées par l'agrégateur en cas de non délestage (capacité d'effacement non mobilisée par l'IIBRBS).

5.3.4 Production de biomasse énergie

Principe

L'objectif est d'utiliser tout ou partie des surfaces réservées au stockage des eaux (intérieur des casiers) pour y implanter des cultures énergétiques dont l'utilisation permettra de produire de l'énergie venant compenser les dépenses associées au fonctionnement des équipements de la Bassée.

Le cas examiné ici est celui des taillis très courtes rotations (TTCR) de saules. Les saules (genre *Salix*, différentes espèces issus de croisements) y sont cultivés de manière à obtenir une récolte tous les trois ans (culture à très forte densité de tiges, récoltée périodiquement et qui se régénère à partir de la souche). Au-delà de la valorisation énergétique, les TTCR de saules procurent d'autres avantages :

- Valorisation en papeterie ;
- Biofiltre (épuration d'eaux usées) ;
- Fertilisation possible à partir de boues de stations d'épuration ;
- Diversification des paysages ;
- Impact bénéfique sur la biodiversité ;
- Diversification des productions agricoles.

L'ensemble de ces avantages en font une solution porteuse de synergie avec d'autres projets locaux.

Les saules sont peu exigeants vis-à-vis des sols. Les meilleurs rendements sont obtenus dans les sols profonds. La durée de vie d'une culture est de 25 ans (8 rotations de 3 ans).

Les récoltes s'effectuent après la chute des feuilles entre novembre et fin février.

Gain potentiel

Si l'approvisionnement en eau n'est pas limitant, les saules se récoltent tous les 2 ans et le rendement peut atteindre 38 t MS/an (tonnes de matières sèches par an), soit 19 t MS/an. Ce niveau de production peut être atteint dans le contexte de la Bassée (culture en lit majeur sans contrainte d'approvisionnement en eau).

Le pouvoir calorifique inférieur du bois récolté est de 4,9 kWh/kg de MS. Considérant le rendement des TTCR de saules, le potentiel énergétique de la culture s'élève donc à 93 MWh/ha/an.

La récolte et le transport du bois récolté correspondent à des dépenses énergétiques qui viennent se déduire du potentiel. En première approche, ses dépenses ne sont pas prises en compte.

Le Tableau 16 indique le nombre d'hectares de TTCR de saules nécessaires pour différents scénarios de compensation.

Tableau 16 : estimation du nombre d'hectares de TTCR de saules nécessaires pour différents scénarios de consommations à compenser

Objectifs de compensation	Nombre d'hectares de TTCR à implanter
100% des consommations annuelles : 1 700 MWh	18,3 ha
Consommations en période hors crue : 685 MWh	7,4 ha
Consommations en période de crue : 265 MWh	2,8 ha

Source : ISL, 2011

Conditions de réussite

L'opportunité d'implantation de TTCR de Saules est lié à la demande locale en bois énergie. Cette demande existe dans le cas du projet de la Bassée. La Figure 8 localise les chaufferies bois existantes en Ile de France (source ADEME Ile de France). Les chaufferies collectives sont représentées en rouge, les industrielles en bleu.

20 chaufferies bois sont recensées sur la Région Ile de France (en fonctionnement ou en construction). 60% d'entre elles sont des chaufferies collectives (puissance totale de 16 MW). 40% sont des chaufferies industrielles (puissance totale de 31 MW). En faisant l'hypothèse d'une durée de fonctionnement annuel des chaufferies comprise entre 2 500 et 3 200 heures. Cette puissance globale correspond à une énergie produite comprise entre 120 et 150 GWh).

La comparaison de la production potentielle de bois énergie (93 MWh/ha/an) avec les besoins des chaufferies bois (ordre de grandeur compris entre 120 et 150 GWh) montre qu'il est possible d'envisager l'implantation de TTCR de saules dans les casiers sans déséquilibrer le marché régional. Cette conclusion ne vaut plus si la totalité de la surface des casiers était implantée en TTCR de saules. La production risquerait alors de dépasser les besoins. Une telle situation serait contre-productive dans la mesure où l'action de compensation entrerait en concurrence avec les filières en place.

Figure 8 : localisation des chaufferies bois d'Ile de France



Source : ADEME, Google Earth, ISL, 2011

Si l'opportunité de l'implantation de TTCR de saules est acquise autant du point de vue des débouchés que de celui du potentiel de production d'énergie, les conditions de mise en œuvre doivent être examinées avec précisions. Les points à examiner avec vigilance sont les suivants (conditions de réussite) :

- D'un point de vue hydraulique, l'implantation des TTCR doit cibler une superficie et des casiers de manière :
 - À ne pas altérer la dynamique de remplissage et de vidange des casiers ;
 - À ne pas réduire le volume de stockage ;
 - À éviter que des embâcles ne se forment (altération potentielle des organes de vidange) ;
 - À concilier calendrier de stockage des eaux et de récolte des saules.
- La récolte des saules nécessite du matériel spécifique et coûteux. L'IIBRBS n'a pas d'intérêt à se doter de tels équipements. Le projet doit donc être mené en concertation avec les représentants de la profession agricole (chambre d'agriculture et coopérative d'utilisation du matériel agricole) afin de mettre en évidence les conditions d'un scénario gagnant-gagnant (production d'énergie éligible au titre de la compensation des dépenses pour l'IIBRBS, diversification des productions et pérennisation des revenus pour les agriculteurs).

5.3.5 Opportunité économique des solutions de compensation

L'opportunité de mise en œuvre des actions de compensation dépend de leur efficacité. Le Tableau 17 précise les coûts de mise en œuvre des différentes solutions présentées. Ces coûts sont rapportés en € investis par kWh produits afin de faciliter les comparaisons.

Il ne s'agit ici que d'une première esquisse d'analyse économique. Seule une définition précise des solutions envisagées permettrait de comparer plus finement les coûts.

Tableau 17 : coûts de mise en œuvre des actions de compensation

Action	Unité d'analyse	Investissement (par unité)	Energie produite (MWh/an/unité)	Efficacité
Implantation de panneaux photovoltaïques	1 km de digue	1,35 M€ ²⁵	240 MWh/an ²⁶	5,62 €/kWh
Implantation d'éoliennes	1 éolienne	1 M€ ²⁷	2 400 MWh/an	0,42 €/kWh
Recours à l'effacement diffus	Coût dépend du contrat passé avec l'agrégateur			
Production de biomasse énergie	1 ha de TTCR de Saules	2,7 k€ ²⁸	93 MWh/an	0,03 €/kWh

Source: ISL, 2011

5.3.6 Intérêt de la mutualisation des maîtrises d'ouvrage

En dehors de l'effacement diffus, la réalisation des actions de compensation réclame des compétences non détenues par l'IIBRBS. Ceci est un frein à la mise en place des actions. La mutualisation des maîtrises permet de contourner cette difficulté.

En matière de neutralité énergétique la mutualisation peut être facilitée par l'émergence de projets de productions d'énergies renouvelables dans le cadre des plans climat territoriaux.

Des investigations ont été engagées auprès des Directions régionales de l'ADEME, de la Région Ile de France de l'ARENE et du Conseil général de Seine et Marne pour identifier les projets existants ou en projet.

Le moment venu (lors de la réflexion préalable à la mise en place d'action de compensation), il conviendra de rechercher si des projets locaux existent et comment l'IIBRBS pourrait s'y joindre pour bénéficier des productions énergétiques associées.

²⁵ 5€/kW installé pour une centrale photovoltaïque, "Situation et conditions de développement du marché photovoltaïque en France" de Fabrice Juquois/ADEME du 27 septembre 2006.

²⁶ Pour une orientation Sud-est ou Sud-ouest, majoritaire sur les digues du projet de la Bassée

²⁷ <http://www.parc-eolien.com/investir-eolien/cout-exploitation-eolienne.html>

²⁸

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE04ENVFR320_ItineraireCulturalTTCR.pdf

6 Besoins en études complémentaires

Quatre études complémentaires sont suggérées.

Bilan carbone® de l'IIBRBS. Etude à engager préalablement à la sélection d'entreprises sur la base de critères d'éco-responsabilité. L'exemplarité de l'IIBRBS est de nature à faciliter le dialogue avec des entreprises auxquelles seront imposés des exigences énergétiques lors des phases de travaux.

Etude de faisabilité spécifique aux TCR de saules permettant de détailler les conditions de mise en œuvre de cette solution de compensation. La difficulté de cette action de compensation réside dans l'exploitation des surfaces implantées. La récolte des saules nécessite un matériel spécifique coûteux que l'IIBRBS ne peut pas acquérir. Des conventions de partenariat doivent être recherchées avec les agriculteurs du secteur. L'étude doit permettre de définir les conditions de succès de ce partenariat.

Etude comparative des services offerts par les agrégateurs (effacement diffus) et les sociétés d'investissement dans les projets éoliens et photovoltaïques. Il s'agit de mettre en évidence les conditions juridiques et financières de participation de l'IIBRBS auprès d'opérateurs impliqués dans l'effacement diffus ou la production d'énergies renouvelables.

Etude approfondie du réseau d'alimentation électrique Haute Tension (HT) et Basse Tension (BT). D'une part, du point de vue de la notion du bilan de l'énergie consommée, l'étude pourrait analyser la possibilité de disposer de plusieurs points de comptage judicieusement choisis. D'autre part, envisager une distribution HT pour chaque station de pompage (intégrant les notions de secours, de mode de défaillance et d'économie d'énergie) et une distribution BT pour les consommateurs de la station de pompage. L'optimisation de la consommation d'énergie en étant l'objectif premier.

7 Scénarios comparés

Un outil d'aide à la décision a été développé pour les besoins de l'étude. Il synthétise à la fois les résultats du scénario 0 et l'ensemble des actions de réduction, d'équilibre et de compensation. Un extrait de l'outil est présenté en annexe. On y retrouve l'ensemble des hypothèses retenues pour les scénarios prédéfinis ainsi que pour le scénario co-construit.

Les scénarios étudiés sont élaborés à partir des différentes actions présentées ci-dessus. Ils permettent de comparer différentes approches :

- Une approche focalisée sur les actions de réduction des consommations liées au fonctionnement (scénario 1) ;
- Une approche qui, au contraire, s'attache à agir uniquement sur les actions liées à la phase de travaux (scénario 2) ;
- Une approche regroupant à la fois les actions sur les phases de travaux et de fonctionnement (scénario 3).

En parallèle à ces approches ciblées sur les travaux ou le fonctionnement, les gains apportés par les actions de compensation sont calculés.

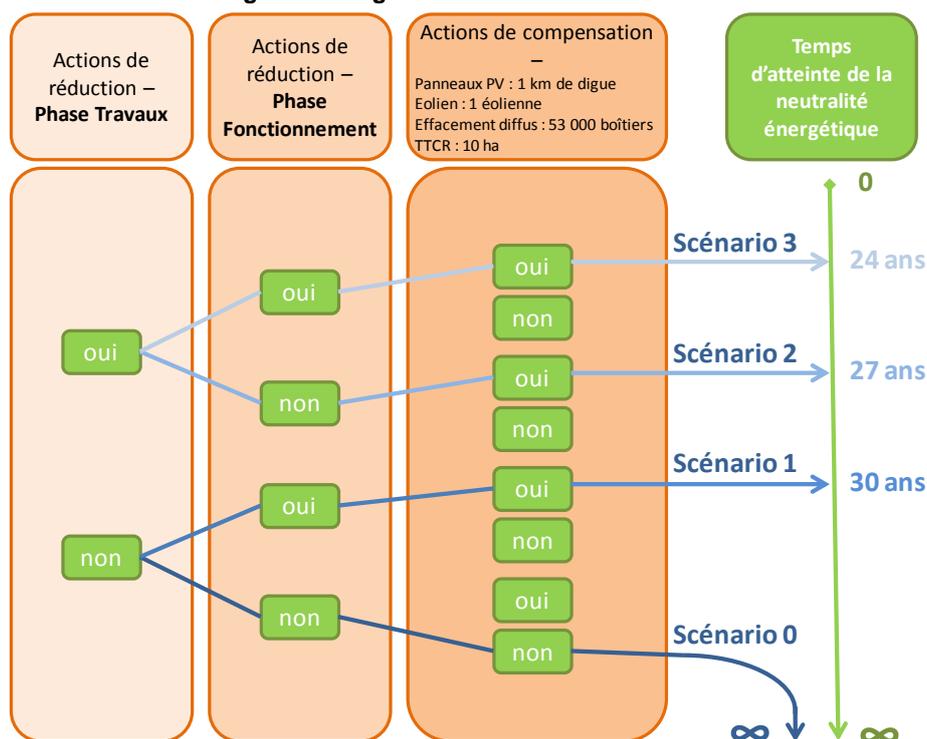
Le Tableau 18 détaille les principales caractéristiques des trois scénarios prédéfinis. La Figure 10 illustre ces trois scénarios.

Tableau 18 : temps d'atteinte de la neutralité énergétique des scénarios prédéfinis

Scénario	Actions de réduction retenues		Actions de compensation retenues	Temps d'atteinte de la neutralité énergétique
	Travaux	Fonctionnement		
0	aucune	aucune	aucune	-
1	aucune	toutes	Panneaux photovoltaïques : 1 km de digue Eolien : 1 éolienne Effacement diffus : 53 000 boîtiers Production de biomasse : 10 ha	30 ans
2	toutes	aucune		27 ans
3	toutes	toutes		24 ans

Source: ISL, 2011

Figure 9 : diagramme des scénarios étudiés



Source: ISL, 2011

La Figure 10 illustre l'évolution des consommations énergétiques du projet de la Bassée suivant les scénarios définis ci-avant.

L'ordonnée à l'origine du graphe (0 ans), correspondant à la valeur des consommations énergétiques à la fin de la phase de travaux. Seuls les scénarios 2 et 3, intégrant des actions de réduction des consommations énergétiques lors de la phase travaux, se différencient du scénario 0.

La pente des courbes est quant à elle influencée par les actions prises sur les dépenses de fonctionnement.

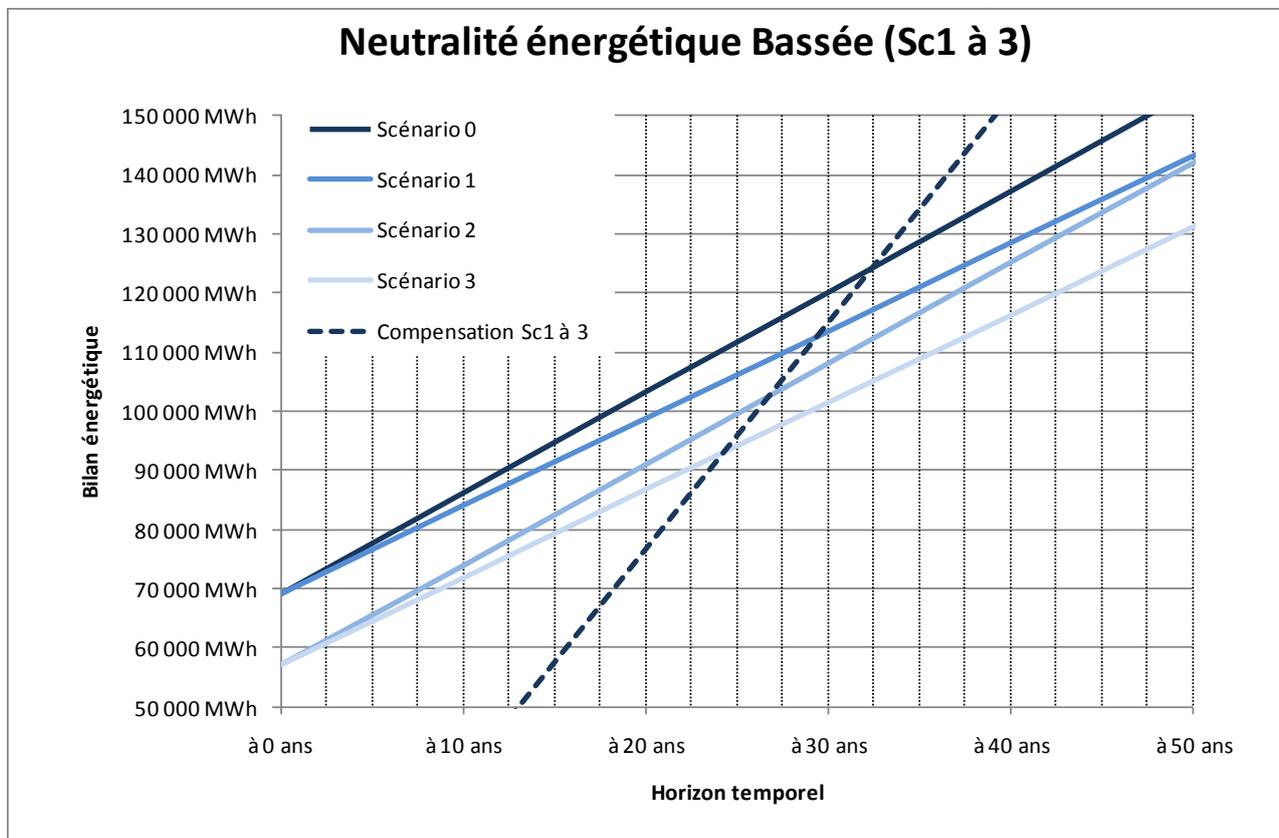
Enfin, les actions de compensation sont représentées par la courbe en pointillés bleus. Le point de croisement entre cette courbe et celle d'un scénario détermine le temps d'atteinte de la neutralité énergétique en suivant ce scénario.

Les scénarios 1 et 2 se croisent après 50 ans. Il faut donc plus de 50 ans de maîtrise des dépenses énergétiques de fonctionnement pour égaler le bénéfice des économies obtenues lors de la phase de travaux.

L'examen des points de croisement de la droite de compensation avec les droites associées aux scénarios 0 et 3 montre que la mise en place de la totalité des actions (travaux et fonctionnement) permet de gagner une

douzaine d'année avant d'atteindre la neutralité énergétique du projet. En ne faisant rien lors des phases travaux et fonctionnement (scénario 0), les actions de compensation permettent d'équilibrer les dépenses énergétiques du projet après 32 années de mise en service. Lorsque toutes les actions d'économies des dépenses en phase de travaux et de fonctionnement sont mise en œuvre (scénario 3), l'équilibre est atteint plus rapidement, après 24 années de fonctionnement.

Figure 10 : comparaison des scénarios menant à la neutralité énergétique



Source: ISL, 2011

8 Référentiel d'évaluation de la neutralité énergétique

La mesure de l'efficacité des solutions proposées pour atteindre la neutralité du projet sera facilitée si elle s'accompagne d'un référentiel de suivi et d'évaluation.

Ce référentiel, constitué d'une batterie d'indicateurs et de procédures décrivant les consommations, permettra, à échéance régulière et tout au long de la durée de vie du projet, d'évaluer le cumul des dépenses énergétiques évitées et compensées. Au-delà d'un système de suivi, le référentiel donnera accès à un outil de mesure de l'efficacité des actions engagées.

L'objectif recherché n'est pas de définir un nombre important d'indicateurs qui risquerait de rendre difficile leur utilisation et leur intérêt. Quelques indicateurs sont donc ciblés, par phases du projet, et pour chacune des deux catégories d'actions détaillées au § 5. Afin de garantir l'efficacité et l'efficience du référentiel d'évaluation, le nombre d'indicateurs retenus se limite à 8.

Le référentiel d'évaluation est composé d'indicateurs adaptés à chacune des phases du projet. Etant donné les différences d'activités entre phases, il n'est pas possible de retenir un indicateur de suivi applicable d'une phase à la suivante. Pour remédier à ce manque, un indicateur de synthèse est proposé. Il permet de suivre les dépenses énergétiques en tout point d'avancement du projet.

Les indicateurs sont présentés au moyen de fiches qui détaillent leur nature et leur procédure de suivi.

8.1 Indicateurs de suivi en phase de conception

8.1.1 Management du projet

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C1] Energie consommée dans le cadre de la participation aux réunions
Phase du projet associée	<input checked="" type="checkbox"/> Conception <input type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Accompagner les listes d'émargement aux différentes réunions d'une fiche permettant de connaître les distances parcourues et les modes de transport utilisés par les personnes présentes. La transformation en énergie des informations sur les distances parcourues par mode de transport est effectuée en utilisant les ratios ad-hoc
Fréquence d'actualisation	Au terme de chaque nouvelle réunion
Objectif associé à l'indicateur	Diminution tendancielle du ratio énergie déplacement / participant
Justification de l'indicateur	La pérennité de la démarche de « neutralité » doit prendre forme dès la phase de conception du projet. La mise en place d'un management cherchant à limiter les dépenses énergétiques est un élément de nature à faciliter l'adhésion au principe de « neutralité » des différentes parties prenantes qui interviendront aux différentes étapes du projet. Il s'agit d'un indicateur vertueux : au fur et à mesure des réunions, des comportements sont pris pour limiter les dépenses énergétiques (covoiturage, report vers des modes de transport moins énergivores, localisation des réunions optimisant les déplacements)

8.1.2 Etudes d'ingénierie du projet

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C2] Gisements d'économies d'énergies conséquence des options d'équipement retenues
Phase du projet associée	<input checked="" type="checkbox"/> Conception <input type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Synthèse des informations issues des études quantifiant les économies d'énergies occasionnées par les choix technologiques retenus
Fréquence d'actualisation	Au terme de chaque nouvelle étude s'intéressant au sujet des dépenses énergétiques
Objectif associé à l'indicateur	Sans objet
Justification de l'indicateur	Comptabilisation des dépenses évitées suite aux choix de techniques plus économes en énergie. Le suivi de l'indicateur nécessite, pour chaque nouvelle étude en relation avec le sujet, de quantifier les consommations associées aux différents scénarios d'aménagements

8.2 Indicateurs de suivi en phase de travaux

Trois indicateurs sont retenus en phase travaux. Ils correspondent aux 3 postes qui représentent les 2/3 des consommations de cette phase (cf. § 4.2).

8.2.1 Energie consommée pour le transport des matériaux d'emprunt

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C3] Energie consommée pour le transport des matériaux d'emprunt
Phase du projet associée	<input type="checkbox"/> Conception <input checked="" type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Comptabilisation par les entreprises présentes sur le chantier des données suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Kilomètres parcourus par mode de transport - Quantités de matériaux transportées Transformation de ces informations en énergie consommée
Fréquence d'actualisation	Fonction de la durée des travaux. Un point mensuel peut être intéressant à réaliser si la communication autour de cet indicateur de suivi nécessite son actualisation à ce pas de temps
Objectif associé à l'indicateur	Sans objet
Justification de l'indicateur	Le poste « transport des matériaux d'emprunt » représente 35% des consommations de la phase « travaux » (cf. résultats du scénario 0). Une sensibilisation des entreprises est nécessaire pour garantir le suivi des données d'entrée de l'indicateur. Cette sensibilisation interviendra dès le stade des appels d'offre au moyen : <ul style="list-style-type: none"> - De critères de sélection donnant la préférence aux entreprises proposant une organisation éco-responsable des approvisionnements - Des engagements énergétiques des entreprises (SOPRE avec volet énergie)

8.2.2 Energie consommée pour le transport des palplanches

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C4] Energie consommée pour le transport des palplanches
Phase du projet associée	<input type="checkbox"/> Conception <input checked="" type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Comptabilisation par les entreprises présentes sur le chantier des données suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Kilomètres parcourus par mode de transport - Quantités de palplanches transportées Transformation de ces informations en énergie consommée
Fréquence d'actualisation	Fonction de la durée des travaux. Un point mensuel peut être intéressant à réaliser si la communication autour de cet indicateur de suivi nécessite son actualisation à ce pas de temps
Objectif associé à l'indicateur	Sans objet
Justification de l'indicateur	Le poste « transport des palplanches » représente 13% des consommations de la phase « travaux » (cf. résultats du scénario 0). Une sensibilisation des entreprises est nécessaire pour garantir le suivi des données d'entrée de l'indicateur. Cette sensibilisation interviendra dès le stade des appels d'offre au moyen : <ul style="list-style-type: none"> - De critères de sélection donnant la préférence aux entreprises proposant une organisation éco-responsable des approvisionnements - Des engagements énergétiques des entreprises (SOPRE avec volet énergie)

8.2.3 Energie consommée pour la mise en remblais des digues

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C5] Energie consommée pour la mise en remblai des digues
Phase du projet associée	<input type="checkbox"/> Conception <input checked="" type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Comptabilisation par les entreprises présentes sur le chantier des données suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Des consommations horaires des engins - Des durées de fonctionnement des engins Transformation de ces informations en énergie consommée
Fréquence d'actualisation	Fonction de la durée des travaux. Un point mensuel peut être intéressant à réaliser si la communication autour de cet indicateur de suivi nécessite son actualisation à ce pas de temps
Objectif associé à l'indicateur	Sans objet
Justification de l'indicateur	Le poste « mise en remblai » représente 18% des consommations de la phase « travaux » (cf. résultats du scénario 0). Une sensibilisation des entreprises est nécessaire pour garantir le suivi des données d'entrée de l'indicateur. Cette sensibilisation interviendra dès le stade des appels d'offre au moyen : <ul style="list-style-type: none"> - De critères de sélection donnant la préférence aux entreprises proposant une organisation éco-responsable du chantier - Des engagements énergétiques des entreprises (SOPRE avec volet énergie)

8.3 Indicateurs de suivi en phase de fonctionnement

8.3.1 Energie consommée pour le fonctionnement de l'aménagement

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C6] Energie consommée pour le fonctionnement de l'aménagement
Phase du projet associée	<input type="checkbox"/> Conception <input type="checkbox"/> Travaux <input checked="" type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Reprise des consommations indiquées sur les factures d'énergies
Fréquence d'actualisation	Fonction de la fréquence d'utilisation de l'indicateur
Objectif associé à l'indicateur	Sans objet
Justification de l'indicateur	Les consommations d'énergie pour le fonctionnement de l'aménagement sont variables d'une année à l'autre (en fonction notamment de la survenue d'une crue nécessitant le pompage d'eau dans la Seine). L'indicateur proposé permet de regrouper les consommations et de réaliser un suivi interannuel

8.3.2 Energie produite dans le cadre des mesures de compensation

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C7] Energie produite dans le cadre des mesures de compensation
Phase du projet associée	<input type="checkbox"/> Conception <input type="checkbox"/> Travaux <input type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input checked="" type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Pour chacune des énergies produites ou effacées (en fonction des choix retenus), calcul du cumul interannuel des quantités d'énergie(s) produites
Fréquence d'actualisation	Fonction de la fréquence d'utilisation de l'indicateur
Objectif associé à l'indicateur	Reprise des objectifs ayant présidé aux choix des options retenues
Justification de l'indicateur	Les actions de compensations sont celles qui permettent d'arriver, à plus ou moins longue échéance, à la neutralité énergétique. Il est donc indispensable de disposer d'un indicateur de suivi de la production d'énergie

8.4 Indicateur de synthèse

Il est défini de façon à permettre de mesurer l'avancement de l'objectif de « neutralité » énergétique.

INDICATEUR	Code de l'indicateur : [C8] Convergence vers la neutralité énergétique
Phase du projet associée	<input checked="" type="checkbox"/> Conception <input checked="" type="checkbox"/> Travaux <input checked="" type="checkbox"/> Fonctionnement
Type d'action suivie	<input checked="" type="checkbox"/> Réduction de la dépense énergétique <input checked="" type="checkbox"/> Compensation des dépenses énergétiques
Procédure de mesure	Responsable de la mesure : Grands Lacs de Seine Méthode de mesure : Graphe comparatif des tendances d'évolution temporelle des valeurs suivantes : - [C3]+[C4]+[C5]+[C6] - [C7]
Fréquence d'actualisation	Fonction de la fréquence d'utilisation de l'indicateur
Objectif associé à l'indicateur	Deux objectifs : 1) Reprise des objectifs ayant présidé aux choix des options de compensation retenues 2) Convergence de la somme [C3]+[C4]+[C5]+[C6] et de [C7]
Justification de l'indicateur	Les actions de compensations sont celles qui permettent d'arriver, à plus ou moins longue échéance, à la neutralité énergétique. Il est donc indispensable de disposer d'un indicateur de suivi de la production d'énergie

9 Synthèse

Les réflexions relatives à la neutralité énergétique du projet de la Bassée identifient un panel d'actions à engager pour réduire les consommations énergétiques de l'aménagement (en phases de conception, de travaux, de fonctionnement et de maintenance).

Le scénario 0, représentant la dépense énergétique du projet dans ses différentes phases en l'absence de mise en place d'actions de maîtrise de l'énergie, conduit au terme de 50 années de fonctionnement de l'aménagement (durée de vie estimée des ouvrages) à une consommation de près de 155 000 MWh (13 330 tep), répartie à 45% pour les phases de conception et de travaux et à 55% pour la phase de fonctionnement.

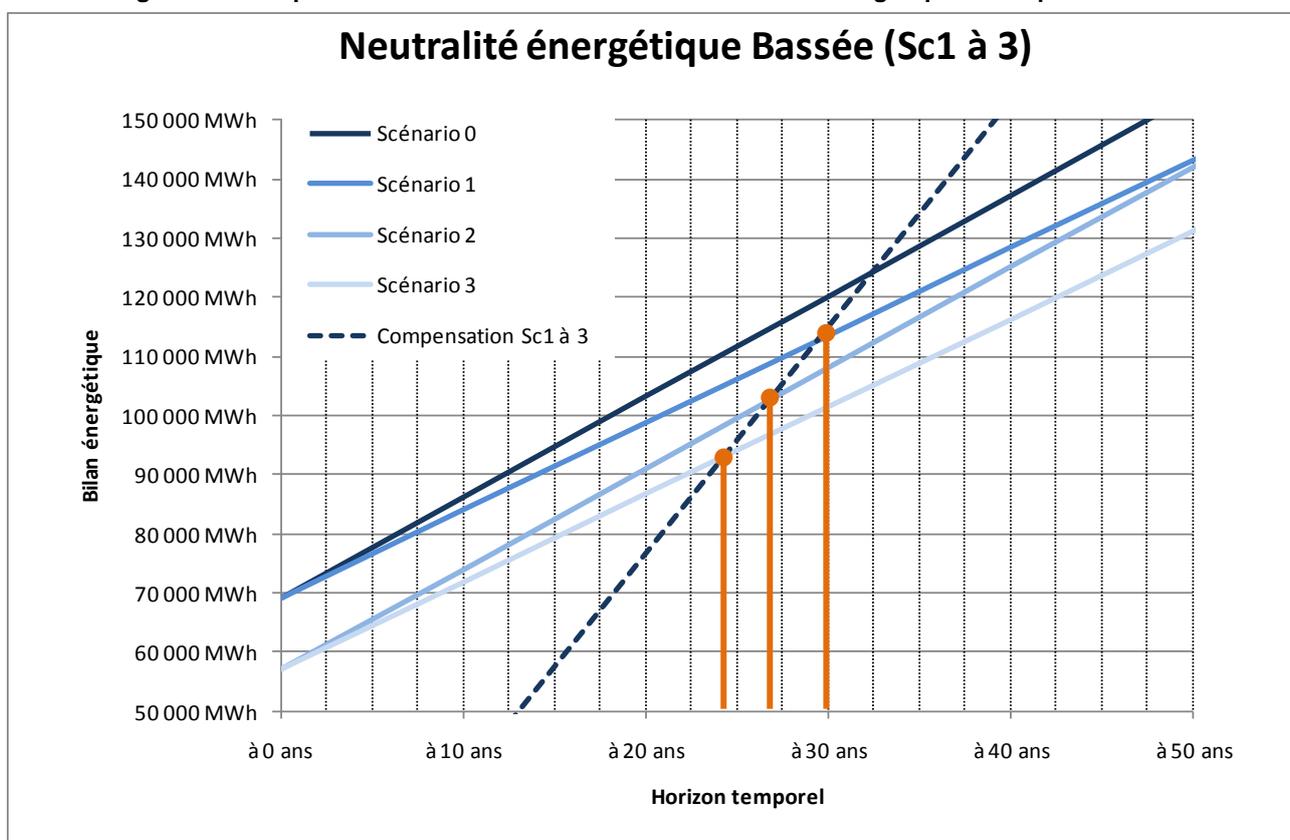
Trois catégories d'actions sont envisagées pour réduire les dépenses énergétiques du scénario 0 :

- L'optimisation des consommations dont l'objectif est de réduire le montant global des énergies consommées par le projet dans ses différentes phases ;
- L'équilibre des consommations obtenu par diminution arithmétique des montants consommés par ceux qui pourraient être produits (turbinage des eaux stockées dans les casiers) ;
- La compensation des consommations. Elle s'applique aux consommations résiduelles une fois mises en place les actions d'optimisation et d'équilibre.

Ces actions mises bout à bout démontrent que l'atteinte de la neutralité est possible. Les scénarios 1, 2 et 3 illustrent cette atteinte. Ils comprennent tous trois la mise en œuvre d'une éolienne d'1 MW, l'installation de panneaux photovoltaïques sur 1 km de digue, l'installation de 53 000 boîtiers par un agrégateur pour l'effacement diffus et l'implantation de 10 ha de TCR. Ils se distinguent par leurs actions de réductions : actions sur la phase fonctionnement uniquement pour le scénario 1, sur la phase travaux uniquement pour le scénario 2, et sur les deux phases pour le scénario 3.

La Figure 11 illustre le temps d'atteinte de la neutralité énergétique pour ces trois scénarios (respectivement 30 ans, 27 ans et 24 ans).

Figure 11 : comparaison des scénarios menant à la neutralité énergétique et temps d'atteinte



Source: ISL, 2011

Le Tableau 19 synthétise les équivalences entre les différentes actions de compensations proposées pour compenser tout ou partie des consommations en phase de fonctionnement.

Tableau 19 : équivalence des actions de compensation de la phase de fonctionnement

Objectifs		Linéaire de panneaux photovoltaïques		Nombre d'éolienne		Nombre de boîtiers à installer pour effacement diffus		Nombre d'hectares de TCR
100% des consommations annuelles : 1 700 MWh	=	7 000 m	=	0,7	=	340 000 boîtiers	=	18,3 ha
Consommations hors crue : 685 MWh	=	2 800 m	=	0,3	=	137 000 boîtiers	=	7,4 ha
Consommations en crue : 265 MWh	=	1 100 m	=	0,1	=	53 000 boîtiers	=	2,8 ha

Source: ISL, 2011

10 Annexe : comptes-rendus des rencontres

10.1 Institution Interdépartementale des Wateringues

Date et lieu de la rencontre : 3 novembre 2010 à Saint-Omer

Personnes rencontrées : Philippe PARENT et Tony BUTIN

L'Institution est gestionnaire d'un ensemble de pompes permettant de refouler vers la mer les eaux de ruissellement des bassins versants. Les pompages sont déclenchés en période de crue pour tenir hors d'eau un territoire situé sous le niveau moyen de la mer (le territoire des Wateringues est un polder identique à ceux que l'on peut rencontrer aux Pays Bas ou en Flandre).

Les pompes en place permettent l'évacuation à la mer de 120 m³/s (événement décennal). A titre d'illustration, lors de la crue de 2009, 121 millions de m³ ont été pompés. Les hauteurs de relevage sont en moyenne de 2 à 2,5 mètres. Elles varient selon les exutoires avec un maximum de 8 mètres. La puissance installée est de 7 800 kW.

Le budget de l'Institution est proche de 1,5 millions d'Euros. Une part importante de ce budget correspond aux consommations d'énergie électrique des pompes. Le coût de l'énergie de pompage varie, selon les années, entre 220 et 815 k€. En moyenne sur les 15 dernières années, les consommations énergétiques des pompes représentent 38% du budget de fonctionnement de l'Institution.

Le poids de la facture énergétique a poussé l'Institution à engager une étude sur les solutions permettant de diminution du coût de l'abonnement et/ou du montant des consommations.

Etant donné le contexte (pompages fonction du régime des marées et de l'intensité des pluies, faibles capacités de stockage des eaux de ruissellement), les marges de manœuvre pour limiter les consommations sans impacter la fonction de protection contre les crues sont faibles.

La première des actions engagées a été celle de l'optimisation et de la rationalisation des consignes de gestion des pompes.

D'autres solutions ont été envisagées dans le cadre d'une étude sur le prix de l'énergie effectuée en novembre 2009. Les contraintes associées à leur mise en œuvre sont présentées dans le tableau suivant.

Solutions	Contraintes
Utilisation de groupes électrogènes pour diminuer le coût de l'abonnement EDF	(1) augmentation des émissions de CO ₂ (2) impose l'installation de citernes
Production de l'énergie consommée : . Energie solaire . Eolien . Osmose inverse	(1) puissance à produire (8 MW) (2) faible gisement solaire (3) emprise foncière dans le cas de l'éolien (4) faible rendement de l'osmose inverse
Mutualisation des abonnements (effacement mutualisé)	(1) freins juridiques (2) nécessité de trouver des partenaires acceptant les délestages en période de consommation de l'Institution
Rendements des pompes	marge de manœuvre faible du fait des durées de fonctionnement des pompes (environ 400 heures par an)

D'autres conditions de réussite ont été identifiées :

- Volonté politique et poids des élus pour engager le programme d'actions ;
- Evolution des statuts à adapter à une éventuelle fonction de production d'énergie ;
- Nécessité de créer des partenariats dans le cadre de co-financement ou de mutualisation des maîtrises d'ouvrages (les dynamiques engagées dans le cadre des « Plans climat » peuvent faciliter le montage de ces partenariats) ;
- La rentabilité des solutions est contrainte par les faibles durées de fonctionnement des équipements (400 heures par an en moyenne).

10.2 Eau de Paris

Date et lieu de la rencontre : 4 novembre 2010 à Joinville-le-Pont

Personnes rencontrées : Grégoire BOIRAME et Marc GAGOSZ

L'usine des eaux de Joinville-le-Pont se situe dans une boucle de la Marne. Une dénivellation de 6 mètres entre le point de prélèvement de l'eau brute en amont et le point de rejet des eaux non utilisées en aval ouvre la perspective de l'installation d'une centrale hydroélectrique (30 kW). Ce projet est actuellement à l'étude.

Eau de Paris s'est engagée depuis plusieurs années dans d'autres projets de production d'énergies renouvelables :

- Installation d'une éolienne de 12 mètres sur le site d'Ivry-sur-Seine. L'insuffisance du gisement éolien a pénalisé ce projet ;
- Installation au sol sur le site d'Ivry-sur-Seine d'une première tranche de panneaux photovoltaïques (108 panneaux développant une surface de 120 m² pour une production de 20 kWc). La tarification de rachat de l'électricité produite conditionne la pertinence économique de l'équipement.

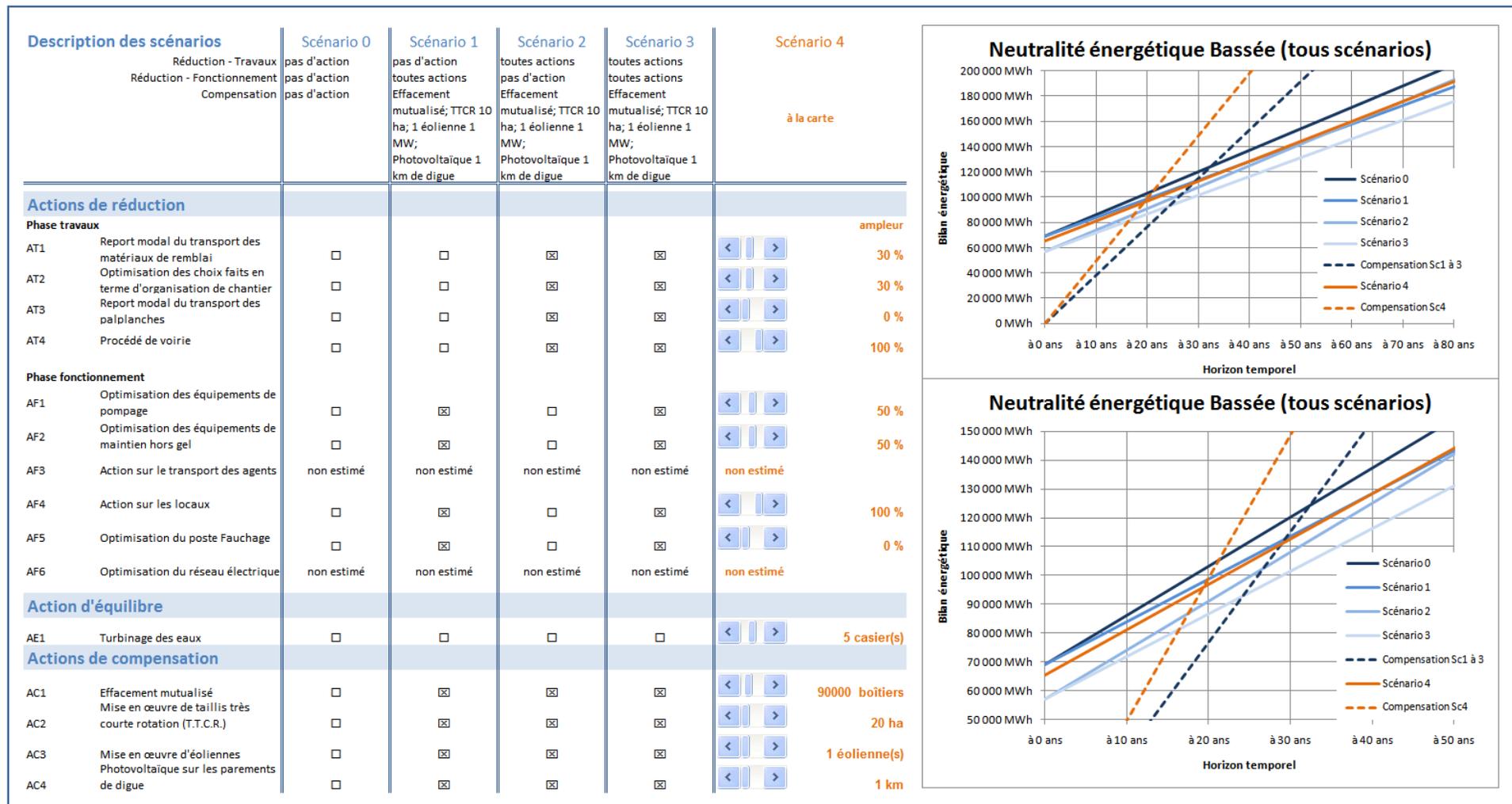
Au-delà des ces investissements importants, Eau de Paris a également installé une pompe à chaleur et un chauffe-eau solaire pour la production d'eau chaude sanitaire.

Ces expériences de production d'énergie renouvelable ont mis en évidence les conditions à réunir pour un succès des opérations. Au-delà des conditions techniques, il s'agit :

- De disposer des compétences et des moyens pour gérer les équipements ;
- D'intégrer aux statuts du maître d'ouvrage les adaptations, notamment juridiques, rendues nécessaires par la production d'énergie ;
- D'envisager le recours à une délégation de service public pour gérer équipements et commercialisée énergie produite.

La question du recours à des groupes électrogènes peut être intéressante à envisager dans le cadre de la Bassée (dans l'optique de couvrir une partie des besoins énergétiques). Cette stratégie permet d'abaisser le coût de l'abonnement EDF.

11 Annexe : extrait de l'outil d'aide à la décision



12 Annexe : hypothèses de calcul du scénario 0

Scénario 0 – Hypothèses de calcul

L'élaboration du scénario 0 (scénario détaillant la dépense énergétique du projet Bassée dans ses différentes phases, en l'absence de réflexion visant à diminuer ou à compenser cette dépense) conduit à des hypothèses de calcul pour les différents postes détaillés ci-après :

1. Phase de Conception

Les données prises en compte pour l'estimation des consommations énergétiques liées à la phase de conception du projet de la Bassée sont le coût global des études. Les échanges menés avec l'IIBRBS concluent à une enveloppe estimée à 20 M€. Il est à noter que la phase finale de conception (avant projet, projet et suivi de conception) n'a pas encore commencée en date de l'étude.

Phase de conception				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Coût global des études de conception (M€)	20			IIBRBS, 2011
Ratio kWh d'énergie dépensé par k€ d'étude	210	30%	Ratio issu du bilan carbone [®] réalisé sur l'entreprise ISL en 2007	ISL, 2077

2. Phase de Travaux

S'agissant de la phase de travaux, une première analyse des grands postes de travaux permet de hiérarchiser les postes en termes de dépense énergétique et de potentiel de diminution de cette dépense. Pour les postes pris en compte, chaque sous-poste détaillé dans les métrés d'Hydratech¹ est analysé afin d'en dégager une dépense énergétique.

Les hypothèses de calcul figurent dans les chapitres suivants :

1. Dépense énergétique liée à la création des endiguements – hypothèses prises en compte

Le tableau suivant référence les 16 sous-postes pris en compte pour les endiguements :

	Ref.	Poste de travaux	Quantité	Prise en compte	
ENDIGUEMENTS	T1	abattage d'arbres (ha)	63,61	✓	-
	T2	décapage (m3)	725 646	✓	-
	T3	clé d'étanchéité (m3)	150 809	✓	-
	T4	paroi étanche (m3)	47 886,30	✓	-
	T5	matériau d'apport (m3)	3 648 393,68	✓	-
	T6	mise en remblai (m3)	3 648 393,68	✓	-
	T7	matelas d'enrochements coté intérieur (m2)	748 448,04	✓	-
	T8	matelas d'enrochements coté extérieur (m2)	145 688,07	✓	-
	T9	grillage anti-fouisseur et anti-érosion coté ext. (m2)	450 986,85	✓	-
	T10	régalage de terre végétale sur talus (m3)	479 773,96	✓	-
	T11	ensemencement hydraulique (m2)	1 199 434,89	✓	-
	T12	piste en crête : 4m (ml)	11 285,09	✓	-
	T13	piste cyclable : 4,5m (ml)	33 377,60	✓	-
	T14	chaussée véhicule lourd : 8,5m (ml)	10 429,00	✓	-
	T15	chaussée RD : 16m (ml)	2 473,00	✓	-
	T16	rampes d'accès et ouvrages de franchissement (m)	217 000	✓	-

¹ IIBRBS - Etude globale pour l'aménagement de la Bassée – Conception des ouvrages – Hydratech – nov.2004

1.1 Poste T1 : abattage d'arbres

Abattage : Pelle hydraulique + tête d'abattage				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Superficie à abattre (ha)	63,61			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Volume estimé (m3)	8 332,68	20%	mix 50% Futaie irrégulière de feuillus à 135 m3/ha et accroissement de 5 m3/ha et 50% de peuplier à 127 m3/ha et 21 m3/ha/an d'accroissement biologique	vue Google Earth
Rendement horaire (m3/h)	11	10%	Rendement sans la présence d'un bûcheron. Avec bûcheron, le rendement passe à 13 +/-1 m3/h	Dossier de l'environnement, INRA n°20
Consommation horaire (l/h de gazole)	35	15%	Consommation choisie « maximale » pour le scénario 0	L'économie de carburant dans les opérations forestières mécanisées, FERIC

Transport des arbres abattus

Bois-énergie (m3.km aller seulement)	416 634	20%	50% du volume parcourt une distance vers chaufferie du département	voir carte des chaufferies. Prise en compte de la chaufferie bois de Villeparisis (env.100 km) SOPROMAT Montereau-Fault-Yonne 23km ; TRIADE Chalmaison 8,2km ; Bourgeois Denis SA Villeneuve les Bordes 18km ;
Bois d'œuvre (m3.km aller seulement)	95 826	20%	50% du volume parcourt une distance vers scierie maximale = 23km	ISL 2011
Bois industrie	0		0% vers Bois-industrie	
Transport des arbres abattus par gros-porteur forestier capacité 20 m3 (conso l/100km de gazole)	27	15%	Consommation choisie "maximale" pour le scénario 0	L'économie de carburant dans les opérations forestières mécanisées, FERIC

1.2 Poste T2 : décapage

Décapage : décapeuse automotrice				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Capacité horaire décapeuse automotrice (m3/h)	150	25%		France BTP : article du 06/04/2010 : Décapage : les tractées cherchent leur marché
Consommation horaire décapeuse (l/h de gazole)	50	20%	consommation maximale (400L par journée de 8h) décrite dans l'article (voir source)	Idem ci-dessus

1.3 Poste T3 : Clé d'étanchéité

Clé d'étanchéité : matériaux fins				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Camions de transport des matériaux de capacité 20 tonnes (véhicules.km trajet aller uniquement)	372309,892	20%	Hypothèse « tout camion » pour le scénario 0, à partir des deux sites les plus proches (Soucy 36km et Coudray 43km).	Etude des ressources potentielles en matériaux de remblais, juillet 2003
Consommation des camions (l/100km de gazole)	34,2	5%		ADEME, Bilan Carbone [®] v6.1, guide des facteurs d'émission

1.4 Poste T4 : Paroi étanche

Paroi étanche en bentonite-ciment				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Equipement mis en œuvre	Trancheuse			
Capacité du matériel (m2/h)	14,375	25%		Retour d'exp. projet de confinement partiel du CET de Lège Cap-Ferret par une paroi en béton de sol réalisée par le procédé Trenchmix [®]
Consommation du matériel (l/h de gazole)	50	30%	Hypothèse de 8h de travail par jour	

1.5 Poste T5 : Matériaux d'apport

Matériaux de remblais en apport				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Camions de transport des matériaux de capacité 20 tonnes (véhicules.km trajet aller uniquement)	6 840 738	20%	Hypothèse « tout camion » pour le scénario 0, à partir des sites identifiés (hors 3, 4 et 9) : Km moyen = 30 km	Etude des ressources potentielles en matériaux de remblais, juillet 2003
Consommation des camions (l/100km de gazole)	34,2	5%		ADEME, Bilan Carbone [®] v6.1, guide des facteurs d'émission

1.6 Poste T6 : Mise en remblais

Mise en remblais				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Chargeur sur chenilles trax + compacteur vibrant mono-cylindre (m3/h)	100	10%	Hypothèse de 8h de travail par jour	IUT Strasbourg, 2009
Chargeur sur chenille Trax (consommation l/h de gazole)	16,25	20%	Echantillon de 8 modèles de chargeurs sur chenille de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook
Compacteur vibrant monocylindre (consommation l/h de gazole)	16	20%	Echantillon de 10 modèles de compacteurs de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

1.7 Poste T7 : Matelas d'encrochements côté intérieur

Matelas d'encrochements côté intérieur - Transport				
Valeur	Incertitude	Remarque	Source	
Le transport des encrochements est compris dans les matériaux d'apport (poste T5)				
Matelas d'encrochements côté intérieur – Mise en œuvre				
Valeur	Incertitude	Remarque	Source	
Taille moyenne des encrochements (Diamètre en cm)	100	10%	Hypothèse : encrochements : 1 m3/m2	ISL 2011
Engins : pelle hydraulique de taille moyenne : rendement (m3/h)	60	10%	Hypothèse : mise en place d'un bloc d'encrochement par minute	ISL, 2011
Pelle hydraulique de taille moyenne (consommation l/h de gazole)	23	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

1.8 Poste T8 : PV matelas d'encrochements coté extérieur

PV matelas d'encrochements coté extérieur - Transport				
Valeur	Incertitude	Remarque	Source	
Les encrochements sont compris dans les matériaux d'apport (poste T5)				
PV matelas d'encrochements coté extérieur – Mise en oeuvre				
Valeur	Incertitude	Remarque	Source	
Taille moyenne des encrochements (Diamètre en cm)	100	10%	Hypothèse : encrochements : 1 m3/m2	ISL 2011
Engins : pelle hydraulique de taille moyenne : rendement (m3/h)	60	10%	Hypothèse : mise en place d'un bloc d'encrochement par minute	ISL, 2011
Pelle hydraulique de taille moyenne (consommation l/h de gazole)	23	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

1.9 Poste T9 : Grillage anti-fouisseur et anti-érosion coté ext.

Grillage anti-fouisseur et anti-érosion coté ext.				
Valeur	Incertitude	Remarque	Source	
Mise en place à l'aide d'une pelle hydraulique et d'agents				
Rendement (m2/h)	175	20%	Hypothèse de 5 hommes et une pelle hydraulique moyenne.	MACCAFFERI
Pelle hydraulique de taille moyenne (consommation l/h de gazole)	23	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

1.10 Poste T10 : régalage terre végétale sur Talus

Régalage terre végétale sur talus - Transport

Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Les volumes de terre végétale sont compris dans les matériaux d'apport (poste T5), ou font l'objet d'un réemploi des terres décapées (poste T2)			

Régalage terre végétale sur talus – Mise en œuvre

Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Engins : chargeur sur chenilles trax + compacteur vibrant mono-cylindre : rendement (m3/h)			
100	10%		IUT Strasbourg, 2009
Chargeur sur chenille Trax (consommation l/h de gazole)			
16,25	20%	Echantillon de 8 modèles de chargeurs sur chenille de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook
Compacteur vibrant monocylindre (consommation l/h de gazole)			
16	20%	Echantillon de 10 modèles de compacteurs de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

1.11 Poste T11 : ensemencement hydraulique

Ensemencement hydraulique

Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Surface à ensemercer (m2)			
1 200 000			
Ensemencement par canon depuis un véhicule (km à parcourir)			
115,2	10%	Hypothèse d'un parcours de deux fois le linéaire de digue	ISL 2011
Consommation à 5 km/h (l/100km de gazole)			
5	10%	Véhicule léger type « Pick-up »	ISL 2011

1.12 Poste T12 : Piste en crête 4m

Piste en crête 4m

Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Le transport des matériaux mis en œuvre est compris dans les matériaux d'apport (poste T5)			

Piste en crête 4m

Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Engins : niveleuse + compacteur pneus : rendement (m2/h)			
350	10%		IUT Strasbourg, 2009
Niveleuse (l/h de gazole)			
24.5	20%	Echantillon de 10 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes. Charge moyenne.	Caterpillar Performance Handbook
Compacteur sur pneu (l/h de gazole)			
17	20%	Echantillon de 3 modèles de la marque Caterpillar. Charge moyenne	Caterpillar Performance Handbook

1.13 Poste T13 : Piste cyclable 4m50

Piste cyclable 4m50				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Le transport des matériaux mis en œuvre est compris dans les matériaux d'apport (poste T5)				
Piste cyclable 4m50				
Engins : niveleuse + compacteur pneus : rendement (m2/h)	350	10%		IUT Strasbourg, 2009
Niveleuse (l/h de gazole)	24.5	20%	Echantillon de 10 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes. Charge moyenne.	Caterpillar Performance Handbook
Compacteur sur pneu (l/h de gazole)	17	20%	Echantillon de 3 modèles de la marque Caterpillar. Charge moyenne	Caterpillar Performance Handbook

1.14 Poste T14 : Chaussée véhicules lourds 8m

Chaussée véhicules lourds 8m - Transport				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Le transport des matériaux mis en œuvre est compris dans les matériaux d'apport (poste T5)				
Chaussée véhicules lourds 8m – Mise en œuvre				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Dimension de la chaussée (largeur en m)	8			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Consommations énergétiques globale (MJ/m2)	115	10%	Enrobé à chaud : béton bitumineux semi grenu 7 cm	CETE : Etude comparatives des enrobés à chaud et des enrobés à froid, 2007

1.15 Poste T15 : Chaussée RD 16m

Chaussée RD 16m - Transport				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Le transport des matériaux mis en œuvre est compris dans les matériaux d'apport (poste T5)				
Chaussée RD 16m - Mise en œuvre				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Dimension de la chaussée (largeur en m)	16			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Consommations énergétiques globale (MJ/m2)	115	10%	Enrobé à chaud : béton bitumineux semi grenu 7 cm	CETE : Etude comparatives des enrobés à chaud et des enrobés à froid, 2007

1.16 Poste T16 : Rampes d'accès et ouvrages de franchissement

Rampes d'accès				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Ratio pris en compte (tep/m3 transporté)	0,000539	0,000168	A partir du poste T5	ISL 2011
Ratio pris en compte (tep/m3 mis en œuvre)	0,00028	0,00011	A partir du poste T6	ISL 2011
Franchissements à batardeaux				
Franchissements à batardeaux	Négligés pour ce poste devant les rampes d'accès et les matériaux qu'elles mettent en œuvre			

2. Dépense énergétique liée à la création des stations de pompage – hypothèses prises en compte

Le tableau suivant référence les 9 sous-postes pris en compte pour les stations de pompage

Ref.	Poste de travaux	Quantité		Prise en compte
T17	installations de chantier (€)	1 917 000	X	Absence de donnée (Dimensionnement des installations)
T18	Surface palplanches (m2)	16 520	✓	-
T19	Terrassement à l'intérieur de la fouille blindée (m3)	98 162	✓	-
T20	Enrochement libre (m2)	11 037	✓	-
T21	Epuisement (€)	490 000	X	Absence de donnée (volumes approximatifs à pomper)
T22	Ouvrages en béton et béton armé (m3 béton de structure)	19 760	✓	-
T23	Local technique (m2)	1 550	✓	-
T24	Route d'accès au chantier (ml)	1 600	✓	-
T24	Equipements des stations de pompage		X	Absence de données (volumes de matériaux à transporter sur site)

2.1 Poste T17 : Installations de chantier

Non pris en compte

2.2 Poste T18 : Palplanches

Palplanches - Transport				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Surface de palplanches (m2)	16 520			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Longueur totale de palplanches (m)	2065		Hypothèse palplanches de longueur unitaire 8m	ISL 2011
Camions de transport des matériaux de capacité 20 tonnes (véhicules.km trajet aller uniquement)	2 581 250	30%	Hypothèse « tout camion » pour le scénario 0, Km moyen =250 km	ISL 2011
Consommation des camions (l/100km de gazole)	34,2	5%		ADEME, Bilan Carbone® v6.1, guide des facteurs d'émission
Palplanches - Mise en œuvre				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Engins : Pelle hydraulique et vibrofonçeur (ml/h)	30	20%	3 palplanches de 8m foncées par heure	ISL 2011
Pelle hydraulique moyenne + surconsommation vibrofonçeur (L/h de gazole)	25	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

2.3 Poste T19 : Terrassement à l'intérieur de la fouille blindée

Terrassement à l'intérieur de la fouille blindée				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Engins : Pelle sur chenilles rendement (m3/h)	100	10%		IUT Strasbourg, 2009
Pelle hydraulique moyenne (l/h de gazole)	23	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

2.4 Poste T20 : Enrochements libres

Enrochements libres - Transport				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Les enrochements sont supposés compris dans les matériaux d'apport				
Enrochements libres – Mise en œuvre				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Engins : pelle hydraulique de taille moyenne : rendement (m3/h)	60	10%	Hypothèse : mise en place d'un bloc d'enrochement par minute	ISL, 2011
Pelle hydraulique de taille moyenne (l/h de gazole)	21	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook

2.5 Poste T21 : Epuisement

Non pris en compte

2.6 Poste T22 : Ouvrages en béton et béton armé

Ouvrages en béton et béton armé				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Transport en camion malaxeur (l/100km de gazole)	30	10%		Fiches techniques de camions malaxeurs
Capacité camion malaxeur (m3)	10	10%		Fiches techniques de camions malaxeurs
Distance effectuée (km aller seulement)	15	10%	Depuis Montereau Fault Yonne, env. 15km	ISL 2011

2.7 Poste T23 : Local technique

Local technique				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Consommation de gazole (kWh)	46500	30%	ratio de 30 kWh/m2 construit pour le transport des matériaux sur site et la consommation des engins	Etude ISL 2010

2.8 Poste T24 : Route d'accès au chantier

Route d'accès au chantier				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Longueur de routes (ml)	1 600			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Surface de route (m2)	12 800		hypothèse largeur de 8m	ISL 2011
Mise en œuvre : consommations énergétiques globale (MJ/m2)	115,00	10%	Enrobé à chaud : béton bitumineux semi grenu 7 cm	CETE : Etude comparatives des enrobés à chaud et des enrobés à froid, 2007
Mise en œuvre : consommations énergétiques globale (tep/m2)	0,00274	10%		CETE : Etude comparatives des enrobés à chaud et des enrobés à froid, 2007

2.9 Poste T25 : Equipements des stations de pompage

Non pris en compte

3. Dépense énergétique liée aux autres postes

Ref.	Poste de travaux	Quantité	Prise en compte
T26	Ouvrages vannés (vidange et noues, Nbr)	33	✓ -
T27	Automatismes	-	✓ -
T28	Drains périphériques (ml)	23900	✓ -
T29	Mesures environnementales	-	X Détail des mesures approximatif ne permettant pas d'élaborer des hypothèses de calcul pertinentes

3.1 Poste T26 : Ouvrages vannés (vidanges et noues)

Ouvrages vannés (vidanges et noues)				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Nombre de vannes de vidanges	12			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Nombre de vannes pour les noues	21			
Coût génie civil (k€)	12 300	30%	2/3 du coût est alloué au GC, et 1/3 aux équipements hydromécaniques	ISL, 2011
Ratio tep/k€ pour la somme des postes T7, T8, T19 et T23	0,021	30%	Ratios tirés des postes : palplanches (T19) + enrochements amont et aval (T7 et T8) + dalle en béton armé (T23)	ISL, 2011

3.2 Poste T27 : Automatismes

Automatismes				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Volume des tranchées (m3/ml)	0,32			Etude ACV comparative tranchée traditionnelle / micro tranchée
Rendement (ml de tranchées/jour)	50			
Consommation de carburant : petite pelle hydraulique (l/h de gazole)	9,5	20%	Echantillon de 7 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes.	Caterpillar Performance Handbook
Les autres consommations d'énergies (transports des matériels sur place, etc.) ne sont pas prises en compte				

3.3 Poste T28 : Drains périphériques

Drains périphériques – mise en oeuvre				
	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Volume des tranchées (m3/ml)	2,4			Hydratech, Etude de conception des ouvrages, nov.2004
Rendement (ml de tranchées/jour)	50	10%		Etude ACV comparative tranchée traditionnelle / micro tranchée
Consommation de carburant : petite pelle hydraulique (l/h de gazole)	7	20%	Echantillon de 5 modèles de la marque Caterpillar. Consommation moyenne en enlevant les valeurs extrêmes. Charge faible.	Caterpillar Performance Handbook
Drains périphériques – transport				
Camions de transport des matériaux de capacité 20 tonnes (véhicules.km trajet aller uniquement)	107550	20%	Hypothèse « tout camion » pour le scénario 0, à partir des sites identifiés (hors 3, 4 et 9) : Km moyen = 30 km	Etude des ressources potentielles en matériaux de remblais, juillet 2003 ADEME, Bilan Carbone® v6.1, guide des facteurs d'émission
Consommation des camions (l/100km de gazole)	34,2	5%		

3.4 Poste T29 : Mesures environnementales

Non pris en compte

3. Phase de Fonctionnement

La dépense énergétique en phase de fonctionnement se décompose en 3 postes :

- L'énergie dépensée hors crue ;
- L'énergie dépensée en période de crue ;
- L'énergie dépensée pour l'entretien courant des ouvrages ;

Le tableau suivant référence les 16 sous-postes pris en compte pour les endiguements :

	Ref.	Poste de travaux	Prise en compte	
FONCTIONNEMENT	F1	Locaux (1500m2)	√	-
	F2	Equipements	√	-
	F3	Déplacements des agents	√	-
	F4	Mise en route du dispositif de pompage lissée par an	√	-
	F5	Digues et voirie - exploitation	√	-
	F6	Digues et voirie - maintenance	√	-
	F7	Digues et voirie - renouvellement	√	-
	F8	Stations de pompages - exploitation	√	-
	F9	Stations de pompages - maintenance	√	-
	F10	Stations de pompages - renouvellement	√	-
	F11	Vannages - exploitation	√	-
	F12	Vannages - maintenance	√	-
	F13	Vannages - renouvellement	√	-
	F14	Drains - exploitation	√	-
	F15	Drains - maintenance	√	-
	F16	Drains - renouvellement	√	-

Poste F1 : Les locaux techniques et administratifs

Les 1500 m2 de locaux techniques et administratifs sont pris en compte pour ce poste de dépense d'énergie. Le ratio utilisé est celui des bâtiments RT2012 (50 kWh/m2/an d'énergie primaire soit 20 kWh/m2/an d'énergie finale en faisant l'hypothèse du tout électrique, incertitude de 10% prise en compte).

Poste F2 : Les équipements

La note du 18/06/2010 sur les coûts de fonctionnement du projet (Egis Eau) indique qu'hors période de crue, les consommations électriques des équipements sont les suivantes :

Équipement	Consommation énergétique annuelle (kWh)	Consommation énergétique annuelle (tep)
Pompes	41 000	3,5
Aérotherme	396 000	34,1
Équipements électriques divers	4 100	0,4
Pompes (3 drains périphériques)	108 000	9,3
	549 100	47,3

L'incertitude prise en compte est de 10%.

Poste F3 : Les déplacements des agents

	Valeur	Incertitude	Remarque	Source
Nombre d'agents	8	20%	hypothèse de 8 agents	ISL
ratio k€/agent de gazole (2009)	1,43	20%		ISL, 2010 Coût annuel moyen d'entretien des ouvrages, Marne, IIBRBS
Coût unitaire d'1 l de gazole (2009)	1,05	10%		ISL

Poste F4 : Mise en route du dispositif de pompage lors des crues

La note du 18/06/2010 sur les coûts de fonctionnement du projet (Egis Eau) indique que l'énergie dépensée par les pompes et les équipements divers lors d'un épisode de crue est de **265 MWh (soit 23 tep)**.

Les hypothèses faites sont une occurrence des crues de 5,6 années et un fonctionnement du matériel sur une durée de 5 jours par crue. Cette hypothèse est assortie d'une incertitude forte de 30%.

Poste F5 : Energie dépensée pour l'exploitation des digues et des voiries

L'exploitation des digues et voiries est détaillée dans la note d'Egis Eau comme étant l'ensemble des travaux de fauchage, d'égavage, de débroussaillage, de surveillance des digues et enfin les visites techniques approfondies. Le coût annuel de l'exploitation des digues et voiries représente 0,3% du coût d'investissement.

Il est fait l'hypothèse d'une application de ce même ratio pour l'estimation de l'énergie dépensée. L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F6 : Energie dépensée pour la maintenance des digues et des voiries

La maintenance des digues et voiries est détaillée dans la note d'Egis Eau comme étant l'ensemble des missions de surveillance (en crue et post-crue), l'entretien des routes goudronnées, le comblement des terriers fousseurs, la remise en place des enrochements ainsi que la mise en peinture des bornes d'identification des profils.

Le coût annuel de la maintenance des digues et voiries représente 0,02% du coût d'investissement.

Idem poste F5.

Poste F7 : Energie dépensée pour le renouvellement des digues et des voiries

Le renouvellement des digues et voiries est détaillée dans la note d'Egis Eau se limite à la régénération des routes goudronnées. Le coût annuel estimé pour ce poste représente 0,01% du coût d'investissement. Idem poste F5

En outre, il est proposé de prévoir un renouvellement de 0,1% des digues (soit environ 60m) par année. L'incertitude est estimée ici à 10%. En effet, les moyens mis en œuvre pour le renouvellement sont tout à fait proches de ceux de la réalisation même des digues

Poste F8 : Energie dépensée pour l'exploitation des stations de pompages et des équipements

La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici. 0,86% du coût d'investissement sont dépensés chaque année pour l'exploitation des stations de pompage Idem poste F5.

Poste F9 : Energie dépensée pour la maintenance des stations de pompages et des équipements

La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici. 1,61% du coût d'investissement sont dépensés chaque année pour la maintenance des stations de pompage. Idem poste F5

Poste F10 : Energie dépensée pour le renouvellement des stations de pompages et des équipements

La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici. 0,82% du coût d'investissement sont dépensés chaque année pour le renouvellement des stations de pompage.

Poste F11 : Energie dépensée pour l'exploitation des vannages

Les ratios pris en compte pour l'exploitation des vannages proviennent de l'étude des coûts annuels moyens des ouvrages réalisée par ISL Ingénierie en 2010 pour les ouvrages appartenant à l'IIBRBS.

D'après cette étude, environ 1% du coût d'investissement est dépensé chaque année pour l'exploitation des vannages. La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F12 : Energie dépensée pour la maintenance des vannages

Les ratios pris en compte pour la maintenance des vannages proviennent de l'étude des coûts annuels moyens des ouvrages réalisée par ISL Ingénierie en 2010 pour les ouvrages appartenant à l'IIBRBS.

D'après cette étude, environ 5% du coût d'investissement est dépensé chaque année pour la maintenance des vannages. La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F13 : Energie dépensée pour le renouvellement des vannages

Les ratios pris en compte pour la maintenance des vannages proviennent de l'étude des coûts annuels moyens des ouvrages réalisée par ISL Ingénierie en 2010 pour les ouvrages appartenant à l'IIBRBS.

D'après cette étude, environ 2% du coût d'investissement est dépensé chaque année pour la maintenance des vannages. La méthodologie appliquée pour le poste F5 est appliquée ici. L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F14 : Energie dépensée pour l'exploitation des drains

L'exploitation des drains est détaillée dans la note d'Egis Eau. Le coût annuel représente 0,11% du coût d'investissement.

Il est fait l'hypothèse d'une application de ce même ratio pour l'estimation de l'énergie dépensée. L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F15 : Energie dépensée pour la maintenance des drains

La maintenance des drains est détaillée dans la note d'Egis Eau. Le coût annuel représente 1,61% du coût d'investissement.

Il est fait l'hypothèse d'une application de ce même ratio pour l'estimation de l'énergie dépensée. L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.

Poste F16 : Energie dépensée pour le renouvellement des drains

Le renouvellement des drains est détaillé dans la note d'Egis Eau. Le coût annuel représente 0,82% du coût d'investissement.

Il est fait l'hypothèse d'une application de ce même ratio pour l'estimation de l'énergie dépensée. L'incertitude de la méthode est forte et estimée à 30%.