

LES GRANDS LACS DE SEINE



Etude pour l'optimisation de l'ouvrage de la Bassée

Phase 2.3
Etude de gestion de l'aménagement Bassée
Rapport



hydratec
groupe setec

Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 PARIS CEDEX 12

Tél : 01.40.04.62.42
Fax : 01.43.42.24.39
Hydra@hydra.setec.fr

Réf : 016-26239 PT- TL
Date : Octobre 2011
Version V7

1	OBJET	5
2	RAPPEL DES REGLES DE GESTION RETENUES A L'ISSUE DE L'ETUDE DE FAISABILITE DE 2004	6
2.1	PRINCIPE DE GESTION	6
2.2	MODULE DE REGULATION DU POMPAGE ET DE LA VIDANGE	8
2.3	MODELISATION DE L'AMENAGEMENT « BASSEE » DANS L'ETUDE 2004	12
2.4	COMMENTAIRES	13
3	ETABLISSEMENT D'UNE GESTION DE REFERENCE	14
3.1	TACHES PREPARATOIRES - HYPOTHESES DE CALCUL	14
3.1.1	<i>Dimensionnement hydraulique de l'aménagement « Bassée »</i>	14
3.1.2	<i>Adaptation du fichier de pilotage</i>	18
3.2	DETERMINATION DES PARAMETRES DE GESTION	19
3.2.1	<i>Démarche suivie</i>	19
3.2.2	<i>Détermination de la cote Zc1</i>	19
3.2.3	<i>Détermination de la cote Zc2</i>	21
3.2.4	<i>Détermination de la cote Zc3</i>	21
3.2.5	<i>Paramètres de régulation</i>	21
3.3	APPLICATION DE LA GESTION DE REFERENCE AUX 20 CRUES HISTORIQUES	22
3.3.1	<i>Sélection des cotes Zc1, Zc2 et Zc3</i>	22
3.3.2	<i>Gains en cote et en débit aux stations aval</i>	24
3.3.3	<i>Cartographies des zones inondables et des gains apportés localement par l'aménagement de la Bassée</i> 35	
3.3.4	<i>Volume maximum stocké</i>	38
3.3.5	<i>Pompage et vidange des casiers</i>	39
3.4	ANALYSE DES IMPACTS LOCAUX	42
3.4.1	<i>Niveaux critiques de Seine à Marolles</i>	42
3.4.2	<i>Débit résiduel en Seine</i>	43
3.4.3	<i>Impacts des endiguements de la Bassée</i>	43
3.5	INTERET DE LA GESTION PROPOSEE VIS-A-VIS DES APPORTS DU LOING	44
3.6	SYNTHESE	45
4	ETUDE DE SENSIBILITE	46
4.1	OBJET	46
4.2	TESTS DE SENSIBILITE SUR L'HORIZON HYDROLOGIQUE INCERTAIN MAIS A PLUVIOMETRIE CONNUE	46
4.2.1	<i>Présentation du modèle de prévision</i>	46
4.2.2	<i>Sélection des crues</i>	47
4.2.3	<i>Principe du calcul de simulation de prévision</i>	47
4.2.4	<i>Résultats obtenus en hypothèse de référence</i>	51
4.2.5	<i>Tests de sensibilité sur les paramètres de gestion en mode prévision</i>	56
4.3	TESTS DE SENSIBILITE SUR LA PLUVIOMETRIE	66
4.3.1	<i>Objet</i>	66
4.3.2	<i>Sélection des épisodes de crue</i>	66

4.3.3	<i>Hypothèses de calcul</i>	66
4.3.4	<i>Résultats obtenus</i>	67
4.3.5	<i>Synthèse</i>	71
4.4	TEST EN HORIZON PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE INCERTAIN	72
4.5	TESTS COMPLEMENTAIRES DE SENSIBILITE.....	74
4.5.1	<i>Tests de sensibilité sur décalage temporel du moment de début de pompage</i>	74
4.5.2	<i>Modification du volume total stockable maximum de la zone de la Bassée</i>	81
4.5.3	<i>Ajout de la contrainte du débit minimum à assurer en Seine</i>	82
4.5.4	<i>Evaluation de rôle de chaque groupe de casiers</i>	83
4.5.5	<i>Suppression des données de débit disponibles pendant l'événement à la station de Brienon</i>	86
4.5.6	<i>Synthèse</i>	89
4.6	CONCLUSIONS.....	89
5	ETUDE DES EVENEMENTS AVEC EPISODES DE CRUES MULTIPLES	90
5.1	OBJET	90
5.2	ANALYSE DE LA CRUE DE DECEMBRE 1981 – JANVIER 1982	90
5.2.1	<i>Scénario 1 : gestion de référence</i>	90
5.2.2	<i>Scénario 2 : gestion locale</i>	92
5.2.3	<i>Scénario 3 : gestion alternative</i>	94
5.3	ETUDE D'ÉVENEMENTS SYNTHETIQUES DE CRUES EXTREMES.....	96
5.3.1	<i>Méthodologie de construction d'une hydrologie synthétique d'un événement exceptionnel</i>	96
5.3.2	<i>Sélection des épisodes de crues pour les tests de sensibilité</i>	100
5.3.3	<i>Tests de gestion avec l'aménagement Bassée</i>	106
5.4	SYNTHESE	110
6	PROPOSITION D'ALTERNATIVE A LA REGLE DE GESTION DE REFERENCE.....	113
6.1	LA NOUVELLE REGLE.....	113
6.2	DISCUSSION.....	122
6.2.1	<i>Gains à Montereau</i>	122
6.2.2	<i>Gains à Paris</i>	122
7	MISE EN ŒUVRE ET EVALUATION D'UNE PROCEDURE DE GESTION ADAPTATIVE DE LA COTE ZC1 EN FONCTION DE L'ÉVOLUTION DE LA CRUE.....	123
7.1	OBJET.....	123
7.2	PRINCIPE DE GESTION ADAPTATIVE DE LA COTE ZC1.....	123
7.3	APPLICATION A LA CRUE J10	123
7.4	APPLICATION A LA CRUE J82	124
8	SYNTHESE GENERALE ET CONCLUSIONS	126
8.1	SYNTHESE DES PRINCIPAUX RESULTATS.....	126
8.2	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	128

Annexe 1 :

Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes calculés à Montereau, Corbeil, Villeneuve St Georges, Alfortville et Paris pour les 20 crues historiques et pour trois situations d'aménagement.

Annexe 2 :

Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes calculés à Montereau et Paris pour 5 crues historiques et pour trois situations d'aménagement.

Annexe 3 :

Hydrogrammes et limnigrammes calculés en quatre points le long de l'aménagement de la Bassée pour les 20 crues historiques : mise en évidence des impacts locaux.

Annexe 4 :

Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes calculés à Montereau et Paris pour les 4 crues synthétiques et pour deux situations d'aménagement.

Annexe 5 :

Code du logiciel de régulation du remplissage et de la vidange de la Bassée, ainsi que présentation d'un exemple de fichier de contrôle de cette régulation.

Annexe 6 :

Profils en long des lignes d'eau et écarts en cote entre Montereau et Paris pour les 20 crues d'étude et pour deux situations d'aménagement.

Annexe 7 :

Profils en long des lignes d'eau et écarts en cote entre Bray et le barrage de Marolles pour les crues de J10, J55, D99 et M01 et pour deux situations d'aménagement.

Annexe 8 :

Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes calculés en 4 points au niveau de la Bassée avec et sans fonctionnement de l'aménagement.

Annexe 9 :

Cartographies à différents pas de temps des zones inondables autour de l'aménagement de la Bassée pour la crue de J10 avec les barrages réservoirs et l'aménagement de la Bassée.

1 OBJET

Ce rapport s'inscrit dans la phase 2 de l'étude pour l'optimisation de l'ouvrage de la Bassée. Il porte sur l'analyse de gestion de l'aménagement Bassée, avec l'établissement d'une gestion de référence et les analyses de sensibilité et d'optimisation autour de la solution de référence. Cette analyse débouche sur la proposition de règles opérationnelles et l'évaluation des gains offerts par l'aménagement.

Le chapitre 2 rappelle le principe de gestion retenu à l'issue de l'étude de faisabilité de 2004, ainsi que les interrogations soulevées par la solution proposée.

Le chapitre 3 décrit la démarche d'établissement de la gestion de référence. Cette solution et les gains associés sont testés sur les 20 crues historiques dans l'hypothèse d'un horizon hydrologique connu.

Le chapitre 4 présente les tests de sensibilité réalisés autour de la gestion de référence, dans l'hypothèse d'un horizon hydrologique incertain (qui est la situation rencontrée en pratique) et ré-analyse les gains attendus dans cette hypothèse.

Le chapitre 5 étudie plus spécifiquement le cas des crues doubles et multiples qui engendrent des contraintes fortes de gestion et propose des adaptations à la solution de gestion de référence découlant de cette analyse.

Le chapitre 6 examine une règle de gestion modifiée suite aux résultats des chapitres 4 et 5. La solution modifiée est testée sur les 20 crues historiques.

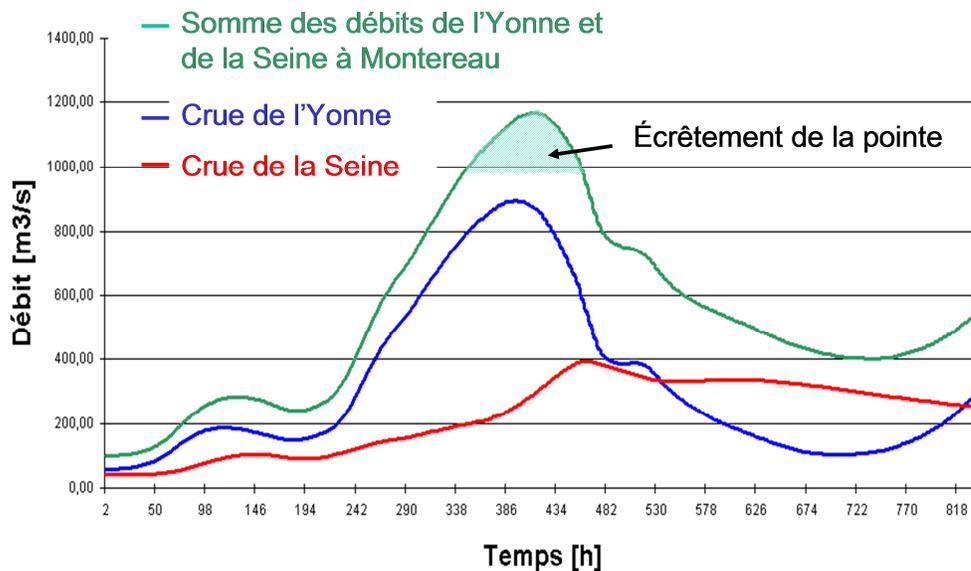
Le chapitre 7 analyse les améliorations envisageables en mettant en œuvre une procédure de gestion adaptative de la cote ZC1 en fonction de l'évolution de la crue.

Le chapitre 8 récapitule les principales conclusions de l'étude sur les règles opérationnelles de gestion proposées et les performances attendues de l'aménagement Bassée.

2 RAPPEL DES REGLES DE GESTION RETENUES A L'ISSUE DE L'ETUDE DE FAISABILITE DE 2004

2.1 PRINCIPE DE GESTION

Le principe de stockage-restitution de la Bassée consiste à prélever le débit de la petite Seine au moment optimal afin d'écrêter la somme des débits de la Seine et de l'Yonne que l'on retrouve à la confluence des deux fleuves, à Montereau.



Principe d'écrêtement de la Crue Seine-Yonne

Sur ce principe, il s'agit de définir les modes de remplissage et de vidange des casiers :

- **Remplissage** : Le moment de l'activation du pompage doit être déterminé pour optimiser le remplissage des casiers et aboutir ainsi à un effet maximum de l'écrêtement. En effet :
 - **si le pompage est activé trop tôt**, la capacité de stockage de la Bassée risque d'être insuffisante au moment du passage de la pointe,
 - **si le pompage est activé trop tard**, l'écrêtement et l'efficacité de l'aménagement sera limité.
- **Vidange** : La vidange devra quant à elle intervenir lors de la décrue, après le passage de la pointe, lorsque la capacité de la Seine le permettra, elle devra être la plus neutre possible et ne devra en aucun cas générer des débordements.

□ Principe du pompage

Le principe retenu lors du pompage est basé sur **une régulation du débit de pompage en fonction d'une cote de consigne Zc1** (Cf. schéma, page suivante) située sur la Seine, en aval de la confluence Seine-Yonne, **au niveau de Montereau**. Le principe de régulation du débit de pompage repose sur un asservissement automatique en temps réel via une lecture directe d'un limnigramme : lorsque pour une crue donnée, la cote mesurée à la station hydrométrique de Montereau dépasse la cote de consigne, l'asservissement active le pompage et corrige le débit à pomper dans la limite du débit de pompage maximum (200 m³/s) de manière à maintenir la cote de consigne.

La détermination de cette cote est décrite dans le paragraphe suivant. Cette cote est spécifique à chaque crue et calculée lors des simulations de crues de projet.

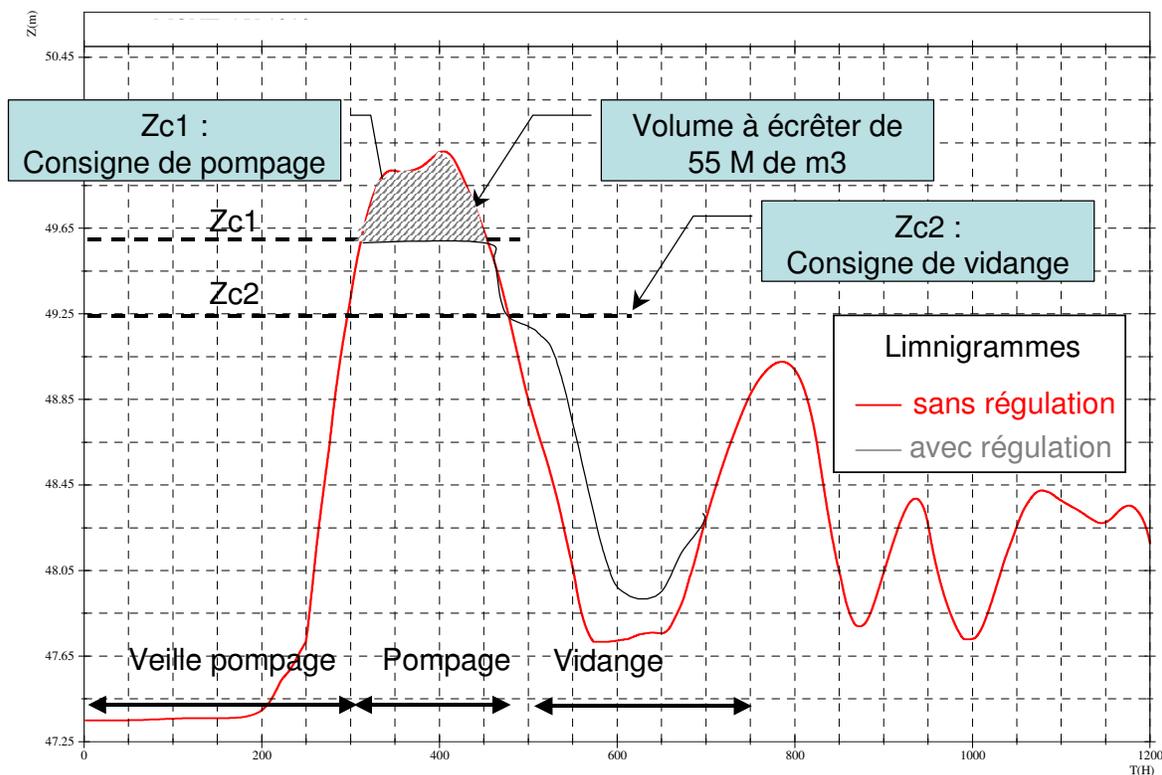
□ Principe de la vidange

De la même manière, la vidange est régulée à partir de cotes de consigne de vidange à ne pas dépasser de manière à ne pas générer de débordement. Le débit maximum pour la vidange gravitaire est de 64 m³/s. Deux cotes de consigne sont nécessaires pour la vidange :

- **Consigne Seine-Yonne Zc2** : située en aval de la confluence à Montereau, sur le même limnigramme que la consigne de remplissage,
- **Consigne Seine amont Zc3** : située en amont de la confluence et de Montereau (en amont du barrage de Marolles). Cette seconde consigne de vidange est nécessaire car il est possible de générer, lors de la vidange, des débordements en Seine amont (amont de la confluence) alors que la Seine aval (aval de la confluence) ne déborde pas.

Ces deux cotes sont calculées lors des simulations de crues de projet de manière à limiter tout débordement.

Le schéma suivant illustre le principe de régulation de pompage et de vidange en fonction de cotes de consigne sur le limnigramme de Montereau en aval de la confluence.



Limnigramme de la Seine à Montereau – Aval confluence

2.2 MODULE DE REGULATION DU POMPAGE ET DE LA VIDANGE

Un module propre au fonctionnement de la Bassée est intégré au modèle numérique. Il reprend le principe précédemment détaillé.

□ Régulation du pompage

Il s'agit d'une régulation de niveau à la cote Zc1, donc à chaque pas de temps, un test sur le niveau de la Seine (aval confluence à Montereau) par rapport à une cote de consigne **Zc1** est réalisé :

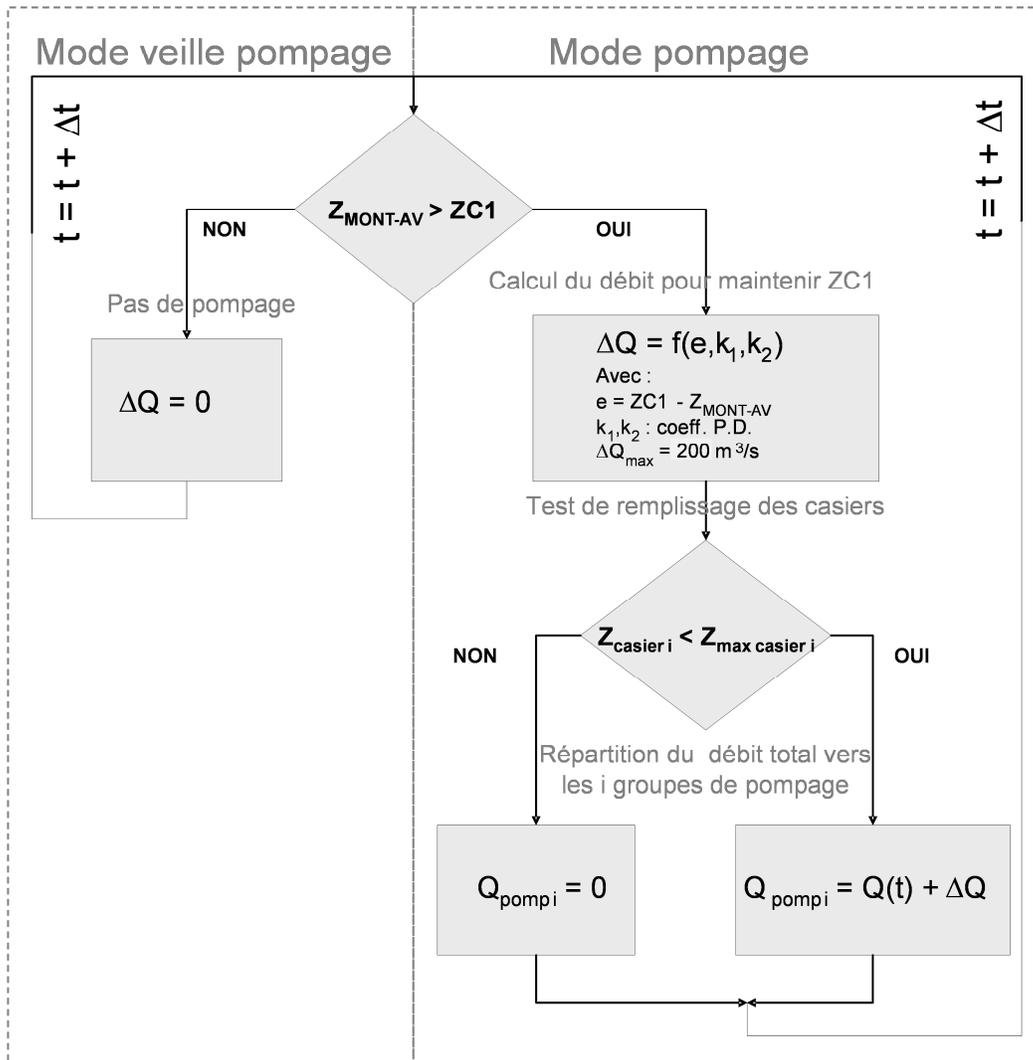
- si la cote à Montereau est inférieure à la consigne, le pompage n'est pas activé, le pompage est en veille.
- si la cote à Montereau est supérieure à la consigne, l'écart de cote $e = Zc1 - Z_{\text{MONTREAU AVAL}}$ est calculé. Le pompage est alors activé. Un débit correcteur global est calculé de manière à rendre cet écart nul avec une méthode d'automatisme de type P.D. (Proportionnel, Dérivée) :

$$\Delta Q = k_1 \cdot e + k_2 \cdot de/dt, \text{ avec } Q_{\text{max}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Les 2 coefficients k_1 , k_2 doivent être calés pour un maximum d'efficacité.
 Lorsque le niveau d'un casier a atteint son maximum, le pompage correspondant s'arrête.

L'organigramme suivant décompose le principe de pompage.

Organigramme du module de pompage



Dans les études de 2004, le logigramme ci-dessus est appliqué, mais un seul casier équivalent et un seul pompage global est considéré.

□ Régulation de la vidange

On considère le remplissage par pompage terminé.

De la même manière que précédemment, à chaque pas de temps, deux tests successifs analysent les niveaux de la Seine en amont et en aval de la confluence par rapport aux 2 cotes de consignes fixées.

- si une des 2 cotes est supérieure à sa consigne respective, la vidange n'est pas autorisée.
- si les deux cotes sont toutes deux inférieures aux deux consignes, la vidange est autorisée. Un débit régulé de vidange sur la cote Zc3 est alors calculé comme pour le pompage à l'aide d'une méthode P.D, à concurrence de 64 m³/s. La cote Zc3 a été choisie ici mais la régulation aurait tout aussi bien pu se faire sur la cote Zc2.

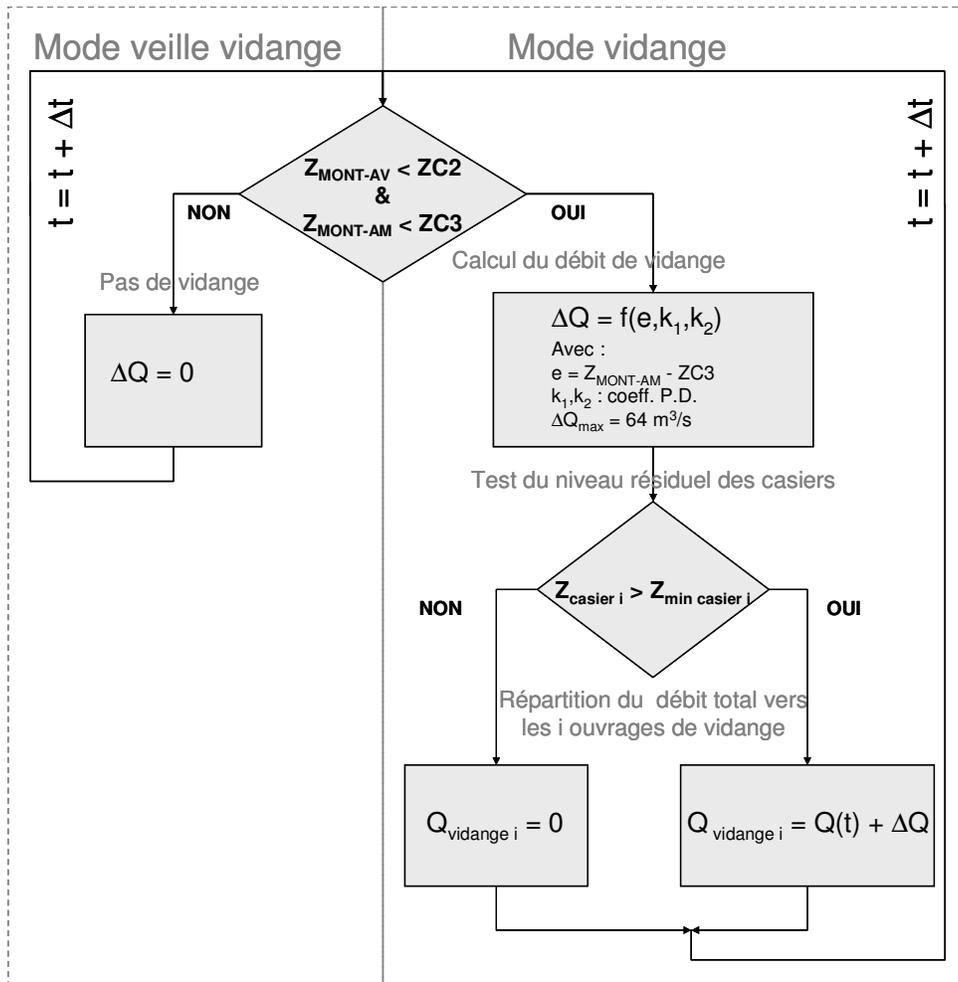
$\Delta Q = k_1 \cdot e + k_2 \cdot de/dt$, avec $Q_{\max} = 64 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les 2 coefficients k_1 , k_2 du P.D. doivent être calés pour un maximum d'efficacité.

Lorsque le niveau dans la Bassée a atteint son minimum, la vidange correspondante s'arrête.

L'organigramme page suivante décompose le principe de vidange.

Organigramme du module de vidange



Afin de définir au mieux les cotes de consigne de pompage et de vidange, il est nécessaire de posséder une bonne prévision de la crue à venir.

2.3 MODELISATION DE L'AMENAGEMENT « BASSEE » DANS L'ETUDE 2004

□ Paramétrage

Les paramètres de gestion ajustables sont :

- la capacité de stockage égale à 55 M de m³ par défaut,
- la cote de référence **Zc1** fonction de la crue testée,
- les cotes **Zc2** et **Zc3** également fonction de la crue testée,
- le débit maximum de pompage égal à 200 m³/s par défaut,
- le débit maximum de restitution égal à 64 m³/s par défaut.
- les coefficients k_1 et k_2 de régulation P.D.

En pratique, il faut tenir compte de l'effet des fuites sous les digues, qui limitent l'efficacité de l'aménagement : le débit de fuite est estimé à un débit total de 12 m³/s lorsque les casiers de la Bassée sont entièrement remplis.

□ Exécution

Le module « Bassée » est un module hydraulique intégré au modèle Seine Moyenne. L'algorithme de gestion est programmé dans un fichier externe qui est configuré au préalable à partir des paramètres de gestion définis par l'utilisateur.

Les débits de pompage et de vidange sont calculés à chaque pas de temps du calcul de simulation hydraulique par l'algorithme de gestion couplé au modèle hydraulique.

2.4 COMMENTAIRES

Il convient de souligner les limitations des études antérieures :

- la modélisation hydraulique de l'aménagement Bassée est sommaire puisqu'un seul casier équivalent est considéré. Dans la réalité les casiers sont étalés sur une dizaine de kilomètres, les mécanismes de remplissage et de vidange sont régis par des lois hydrauliques complexes qu'il est nécessaire de modéliser pour reproduire de façon réaliste le fonctionnement de l'ensemble du système,
- le nombre de crues sélectionnées est un peu trop limité pour couvrir la diversité des situations hydrologiques susceptibles d'être rencontrées,
- enfin et surtout les tests ont été réalisés en horizon hydrologique connu et en faisant l'hypothèse que l'on peut prévoir trois jours à l'avance le moment du passage du maximum de la crue à Montereau.

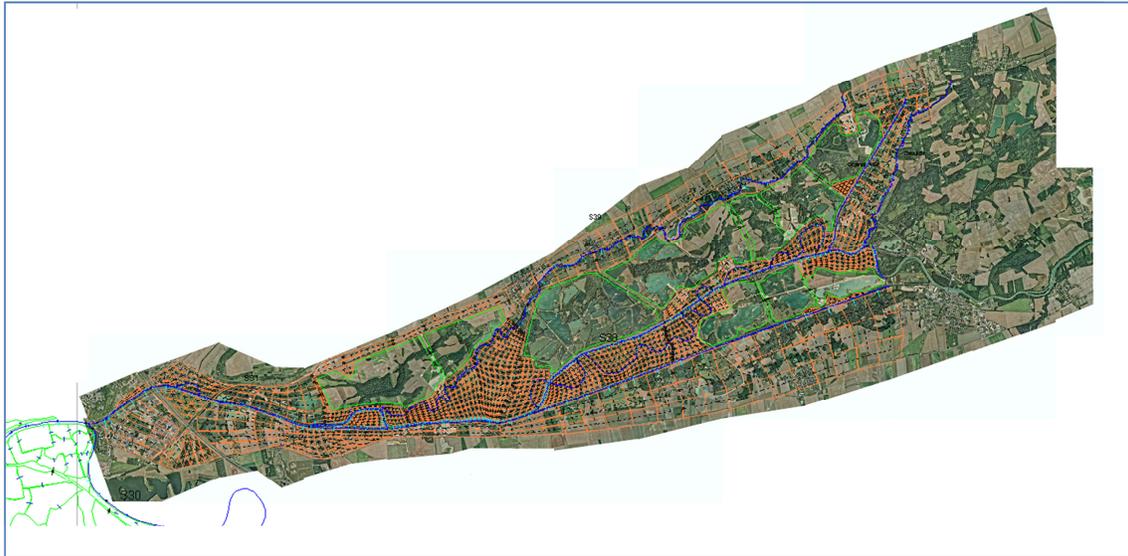
La démarche décrite ci-après vise à retenir les principes de gestion proposés ci-dessus, mais à adapter les modalités en traitant l'ensemble de ces différents facteurs.

3 ETABLISSEMENT D'UNE GESTION DE REFERENCE

3.1 TACHES PREPARATOIRES - HYPOTHESES DE CALCUL

3.1.1 Dimensionnement hydraulique de l'aménagement « Bassée »

L'aménagement « Bassée » figure dans le sous modèle hydraulique SM1 schématisé ci-dessous :



Ce modèle a été complété avec l'ensemble des ouvrages hydrauliques positionnés et dimensionnés dans l'étude de conception réalisée en 2004 : ouvrages de prises, pompages, vannages, connections entre casiers.

La figure suivante montre l'implantation de ces ouvrages hydrauliques.

Figure 3-1 : Adaptation du modèle « Bassée » avec les aménagements de régulation de pompage et de vidange des casiers

