



SEINE GRANDS LACS

ÉTABLISSEMENT PUBLIC TERRITORIAL DE BASSIN



*Étude complémentaire de faisabilité d'un mode d'alimentation
alternatif de l'ouvrage de la Bassée*

Rapport



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 : Septembre 2012
Version V7

1	OBJET	5
2	DONNEES DE BASE ET CONTRAINTES DU SITE DE LA BASSEE	6
2.1	LES FONDAMENTAUX DU PROJET DE STOCKAGE DE LA BASSEE	6
2.2	CONTRAINTES DU SITE DE LA BASSEE.....	9
2.2.1	<i>Topographie et bathymétrie</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>Zones protégées et usages.....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Franchissements.....</i>	<i>19</i>
2.2.4	<i>Zones urbaines</i>	<i>20</i>
2.3	HYDRAULIQUE	21
3	PREMIERE ANALYSE DES SCENARIOS – PRE-DIMENSIONNEMENT.....	22
3.1	ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR CANAL DE DERIVATION	22
3.1.1	<i>Bases de dimensionnement.....</i>	<i>22</i>
3.1.2	<i>Canal d’amenée « Seine » - gabarit de base</i>	<i>28</i>
3.1.3	<i>Conduite d’amenée « Yonne » - solution de base.....</i>	<i>36</i>
3.1.4	<i>Conduite d’amenée Yonne - tracé alternatif.....</i>	<i>40</i>
3.1.5	<i>Comparaison des hydrogrammes dérivables</i>	<i>41</i>
3.2	ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR RELEVEMENT DE LA LIGNE D’EAU EN SEINE	44
3.2.1	<i>Hypothèses de calcul.....</i>	<i>44</i>
3.3	SURSTOCKAGE PAR IMPLANTATION D’UNE DIGUE AU NIVEAU DU BARRAGE DE MAROLLES.....	47
3.4	RETOUR A LA SITUATION DE 1970.....	48
3.5	SELECTION DES SCENARIOS ALTERNATIFS A APPROFONDIR	48
3.5.1	<i>Eléments de coûts pour les canaux d’alimentation par dérivation</i>	<i>48</i>
3.5.2	<i>Tableau comparatif des scénarios.....</i>	<i>50</i>
4	APPROFONDISSEMENT DES SCENARIOS ALTERNATIFS RETENUS	53
4.1	ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR UN CANAL D’AMENEE SUR LA SEINE	53
4.1.1	<i>Hypothèses de calcul.....</i>	<i>53</i>
4.1.2	<i>Résultats des simulations.....</i>	<i>55</i>
4.2	IMPLANTATION D’UNE DIGUE EN AVAL DU BARRAGE DE MAROLLES.....	66
4.2.1	<i>Tracés des digues</i>	<i>66</i>
4.2.2	<i>Incidences de l’aménagement.....</i>	<i>69</i>
4.3	RELEVEMENT DE LA LIGNE D’EAU EN AMONT DU BARRAGE DE LA GRANDE BOSSE.....	70
4.3.1	<i>Implications d’une alimentation gravitaire par relèvement de la ligne d’eau en amont du barrage de la Grande Bosse.....</i>	<i>70</i>
4.4	RETOUR A LA SITUATION DE 1970.....	74
5	LES CRITERES DE CHOIX ENTRE LES DIFFERENTES SOLUTIONS.....	77
5.1	HYPOTHESES DE CALCUL.....	77
5.1.1	<i>Coûts d’investissement.....</i>	<i>77</i>
5.1.2	<i>Coûts annualisés de fonctionnement</i>	<i>77</i>
5.1.3	<i>Performance de chaque scénario</i>	<i>79</i>
5.2	RECAPITULATION DES CRITERES DE CHOIX	81

Liste des figures :

Figure 2-1 : carte altimétrique de la zone d'étude	9
Figure 2-2 : profils altimétriques le long de la Seine	10
Figure 2-3 : Profils altimétriques le long de l'Yonne	11
Figure 2-4 : Carte d'inventaire du patrimoine naturel – ZNIEFF type 1 et 2	14
Figure 2-5 : Carte de Nature et bio diversité (carte à mettre en premier)	15
Figure 2-6 : Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)	16
Figure 2-7 : Capatages pour l'alimentation en eau potable	17
Figure 2-8 : carte des obstacles aux tracés des canaux (il manque la RD18 au Nord)	19
Figure 3-1 : carte des tracés des canaux en solution de base	22
Figure 3-2 : profils en long du TN le long du tracé des canaux	23
Figure 3-3 : tracé variante pour le canal d'amenée « Seine »	24
Figure 3-4 : limnigrammes et hydrogrammes de la Seine au droit de la prise d'eau	26
Figure 3-5 : limnigrammes et hydrogrammes de la Seine au droit de la prise d'eau	27
Figure 3-6 : section du canal « Seine » - gabarit 30m	28
Figure 3-7 : profil en long du canal Seine – gabarit 30m	31
Figure 3-8 : lignes d'eau max le long du canal Seine – gabarit 30m	33
Figure 3-9 : section du canal « Seine » - gabarit 100m	34
Figure 3-10 : lignes d'eau max le long du canal Seine – gabarit 100 m	34
Figure 3-11 : profil en long du canal Seine – gabarit 100m	35
Figure 3-12 : profil en long de la conduite Yonne	38
Figure 3-13 : profils en long de la ligne d'eau dans la conduite Yonne	39
Figure 3-14 : tracé alternatif pour la conduite Yonne	40
Figure 3-15 : hydrogrammes dérivés vers les casiers de la Bassée pour différents scénarios d'alimentation (canal Seine 30 m, conduite Yonne et pompage)	42
Figure 3-16 : points potentiels de relèvement de la ligne d'eau	44
Figure 3-17 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles	45
Figure 3-18 : cotes de niveaux de Seine au droit des points de dérivation	46
Figure 3-19 : coûts des différents aménagements vs débit de pointe dérivable	50
Figure 3-20 : tableau de pré comparaison des scénarios	52
Figure 4-1 : implantation des siphons de connexion entre les casiers	54
Figure 4-2 : profils de lignes d'eau le long des canaux Seine de 30m et 100 m	55
Figure 4-3 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue J10	59
Figure 4-4 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue J10	60
Figure 4-5 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue J82	61
Figure 4-6 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue J82	62
Figure 4-7 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue D99	63
Figure 4-8 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue D99	64
Figure 4-9 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles – niveau statique de la retenue	66
Figure 4-10 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles – niveau intégrant les surcotes des ouvrages de sécurité	67
Figure 4-11 : implantation des digues – scénario de sur stockage	68
Figure 4-12 : profils en long entre les barrages de Vézoult et de la Grande Bosse.	71
Figure 5-1 : tableau récapitulatif des coûts d'investissement et d'exploitation.	78

<i>Figure 5-2 : tableau récapitulatif des indicateurs de performance</i>	80
<i>Figure 5-3 : critères de choix entre les scénarios</i>	82
<i>Figure 5-4 : critères de choix entre les scénarios (suite)</i>	83

1 OBJET

Ce rapport s'inscrit dans l'étude pour l'optimisation de l'ouvrage de la Bassée. Il fait suite au débat public qui s'est tenu entre le 2 novembre 2011 et le 17 février 2012, et a pour objet d'analyser la faisabilité d'alimentation des casiers de stockage par mode gravitaire plutôt que par pompage.

Cette étude complémentaire doit conclure à l'intérêt présenté par cette solution alternative au regard des objectifs assignés à l'aménagement de la Bassée. Elle doit fournir des critères de choix du mode d'alimentation des casiers afin de permettre à l'EPTB de se prononcer sur le mode d'alimentation apparaissant le plus pertinent.

Un certain nombre de scénarios d'alimentation gravitaire sont examinés :

- canal d'amenée avec prise d'eau en Seine en amont de Bray-sur-Seine,
- canal d'amenée avec prise d'eau dans l'Yonne,
- relèvement de la ligne d'eau en Seine en amont du barrage de Marolles,
- relèvement de la ligne d'eau en Seine en amont du barrage de la Grande Bosse,
- solution alternative de sur stockage, basée sur l'aménagement d'une digue de retenue barrant la vallée de la Seine au niveau de Marolles.

L'étude compare également les gains respectifs générés par l'aménagement de stockage de référence et par un retour à la situation de 1970, avant aménagement de la Seine à grand gabarit entre Bray et Marolles.

Le chapitre 2 récapitule les données de base et les contraintes à prendre en compte dans la définition de chaque scénario.

Le chapitre 3 établit un pré dimensionnement de chaque scénario envisageable afin d'établir une première comparaison et éliminer les scénarios jugés les moins intéressants,

Le chapitre 4 s'attache à approfondir les scénarios retenus par une analyse hydraulique plus détaillée, en affinant les gains en termes d'aléa, ainsi que les implications techniques, environnementales et financières de chaque solution.

Les critères de choix sont récapitulés au chapitre 5 dans un tableau comparatif des scénarios afin de permettre à l'EPTB Seine Grands Lacs de se prononcer sur la pertinence de la solution à privilégier pour la suite du projet.

2 DONNEES DE BASE ET CONTRAINTES DU SITE DE LA BASSEE

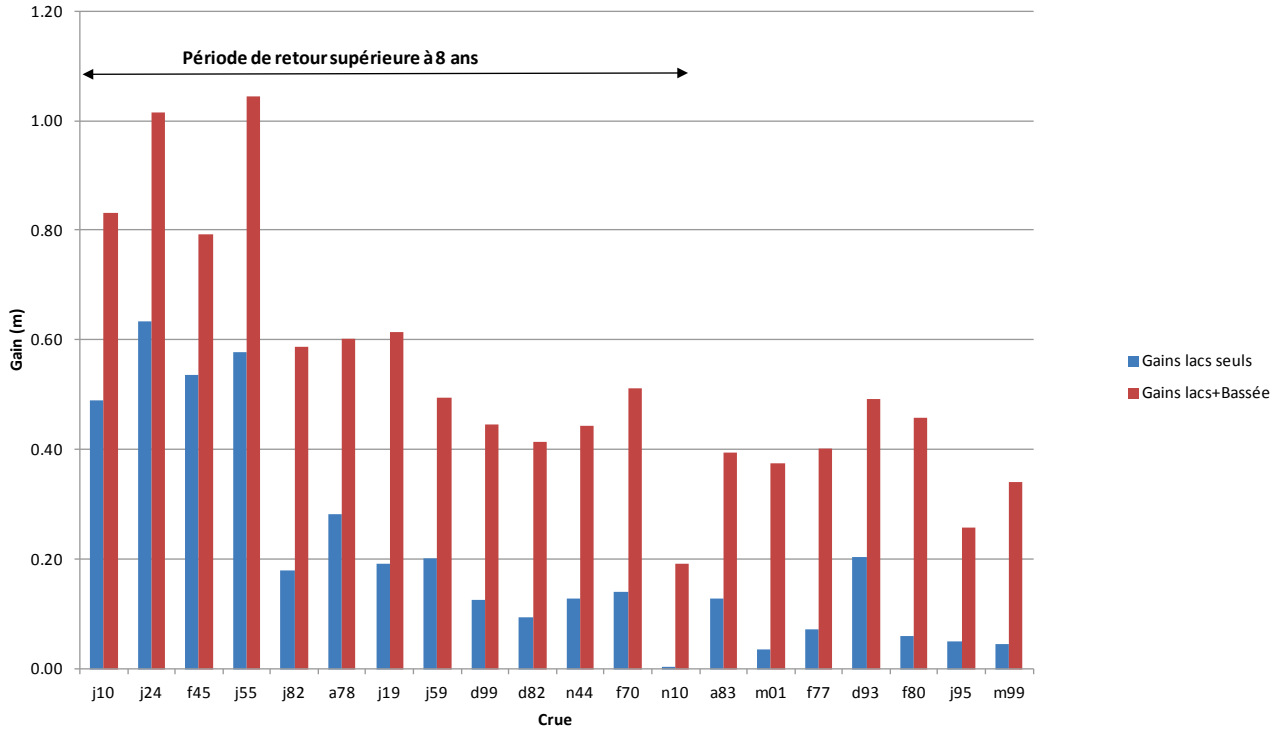
2.1 LES FONDAMENTAUX DU PROJET DE STOCKAGE DE LA BASSEE

Le projet d'aménagement défini dans l'étude EGALB repose sur un certain nombre de principes qui en assurent toute sa pertinence. Les scénarios alternatifs doivent respecter ces fondamentaux, faute de quoi les bases de comparaison deviennent sans objet, les projets n'étant plus de même nature ou ne répondant pas aux mêmes objectifs.

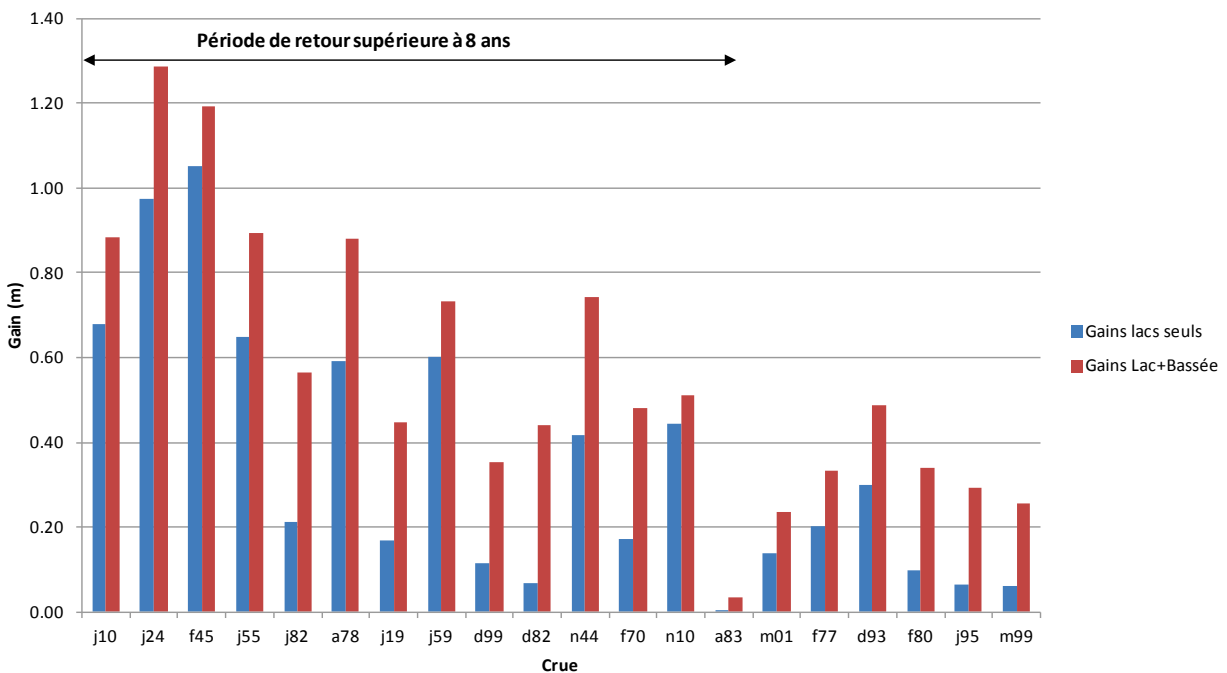
Les points fondamentaux justifiant l'intérêt du projet de base de stockage de la Bassée peuvent être récapitulés comme suit :

- Le stockage « Bassée » n'est pas un aménagement découplé des autres ouvrages de stockage gérés par l'EPTB Seine Grands Lacs, mais il fait partie intégrante et complète le dispositif global de protection structurelle de la région Ile de France contre les inondations du bassin Seine : **l'efficacité de l'aménagement Bassée n'est rendue possible que parce que son action vient en complément des actions de laminage des lacs existants** : Seine, Aube, Marne et Pannecièrre. Il apparait donc pertinent de mesurer l'efficacité de l'aménagement Bassée non pas seulement par les gains complémentaires qu'il procure sur les aléas, mais aussi par les gains cumulant l'action conjuguée des lacs + Bassée.
Les graphes pages suivantes reproduisent les gains en cotes à Montereau et à Paris issus de l'action des lacs réservoirs, puis de l'action conjuguée des lacs + Bassée pour la gamme de crues testées dans l'étude d'optimisation de 2011.
Les gains totaux en cotes sont compris entre 40 cm et 1.20m pour les crues de période de retour supérieures à 8 ans. Pour cette gamme de crues la part du gain imputable à l'action de la Bassée est relativement homogène à Montereau : entre 30 et 40 cm, elle fluctue davantage à Paris : entre 10 et 35 cm. En l'absence d'action des lacs ce gain resterait inférieur à 10 cm pour pratiquement toutes les crues analysées.
- Le choix du site de la Bassée aval pour compléter ce dispositif de protection n'est pas neutre. Il permet à l'aménagement Bassée d'agir directement sur la limitation de la pointe de la crue à Montereau et en aval en prélevant au bon moment le débit nécessaire pour araser la pointe. Cette action exige une gestion relativement fine des modalités de dérivation, son efficacité est conditionnée par la capacité du dispositif à prélever des débits très importantes dans la Seine sur de courtes durées, de l'ordre de 240 m³/s en pointe : la solution de dérivation par pompage permet d'assurer ce débit ainsi que la réactivité nécessaire pour ajuster le débit dérivé à la forme de l'hydrogramme de L'Yonne en pointe de crue. **Tout aménagement alternatif d'alimentation ne satisfaisant pas cette capacité de dérivation et la réactivité nécessaire pour l'adaptation des débits dérivés se traduira par des gains beaucoup plus limités.**

Gains calculés pour chacune des 20 crues d'étude avec lacs seuls et avec lacs+Bassée à Montereau



Gains calculés pour chacune des 20 crues d'étude avec lacs seuls et avec lacs+Bassée à Paris



- La capacité de stockage de 55 Mm³ retenue dans l'étude EGALB et confirmée dans l'étude d'optimisation de 2010 est conditionnée par des contraintes hydrologiques : au moment du passage de la pointe de crue de l'Yonne (dans le cas d'une crue simple) le débit de la Seine est relativement bas, ce qui limite le débit dérivable et par voie de conséquence le volume de stockage efficace dans les casiers : **augmenter la capacité de stockage n'augmenterait pas les gains de façon significative.** Par ailleurs si la capacité de stockage était augmentée, la capacité de pompage le serait également, risquant d'entraîner des débits très bas dans la Seine et éventuellement un retour de l'Yonne vers la Seine avec des risques pour les barrages de navigation. (Ce retour n'est pas constaté avec un débit de pompage de 230m³/s pour toutes les crues testées)
- Avec l'action des lacs réservoirs le débit de crue résiduel de la Seine en aval de Bray est de l'ordre de 400 m³/s, soit la capacité d'écoulement de la Seine à l'aval de Bray après son recalibrage en 1980. L'aménagement de stockage n'interfère donc pas avec les écoulements de crue dans le lit majeur et son impact sur les risques locaux d'aggravation des inondations reste très limité. Par ailleurs l'aménagement n'interfère pas non plus avec le chenal navigable et n'apportera aucune perturbation à la navigation fluviale (avec néanmoins des restrictions à prévoir pour la navigation pendant les pompages en Seine). **Tout aménagement alternatif de stockage modifiant les écoulements de crue du lit mineur ou générant des inondations non contrôlées dans le lit majeur aurait des incidences défavorables qu'il conviendrait d'évaluer avec soin avant d'approfondir la solution.**
- On s'est efforcé dans la solution de base de limiter la hauteur de submersion à 2.50 maximum partout. Cette limite est dictée par des considérations sur la sécurité des ouvrages, leur intégration paysagère, la libre circulation de la faune, l'impact sur la faune, la flore et les cultures et les impacts hydro géologiques sur les remontées de nappe. **Toute solution alternative visant à augmenter la hauteur de submersion devrait être évaluée avec soin vis-à-vis des incidences sur les aspects listés ci-dessus.**
- Enfin la délimitation des casiers a fait l'objet dans l'étude EGALB d'une analyse fine et d'une concertation approfondie tenant compte de l'ensemble des contraintes identifiées sur le site de la Bassée aval. La solution retenue pour le tracé des digues résulte d'un compromis serré entre toutes les contraintes, avec une marge de manœuvre très étroite laissée à des tracés alternatifs. **Une solution alternative visant à modifier les tracés retenus devrait faire l'objet d'une analyse multi critère détaillée avant toute validation et approfondissement.**

2.2 CONTRAINTES DU SITE DE LA BASSEE

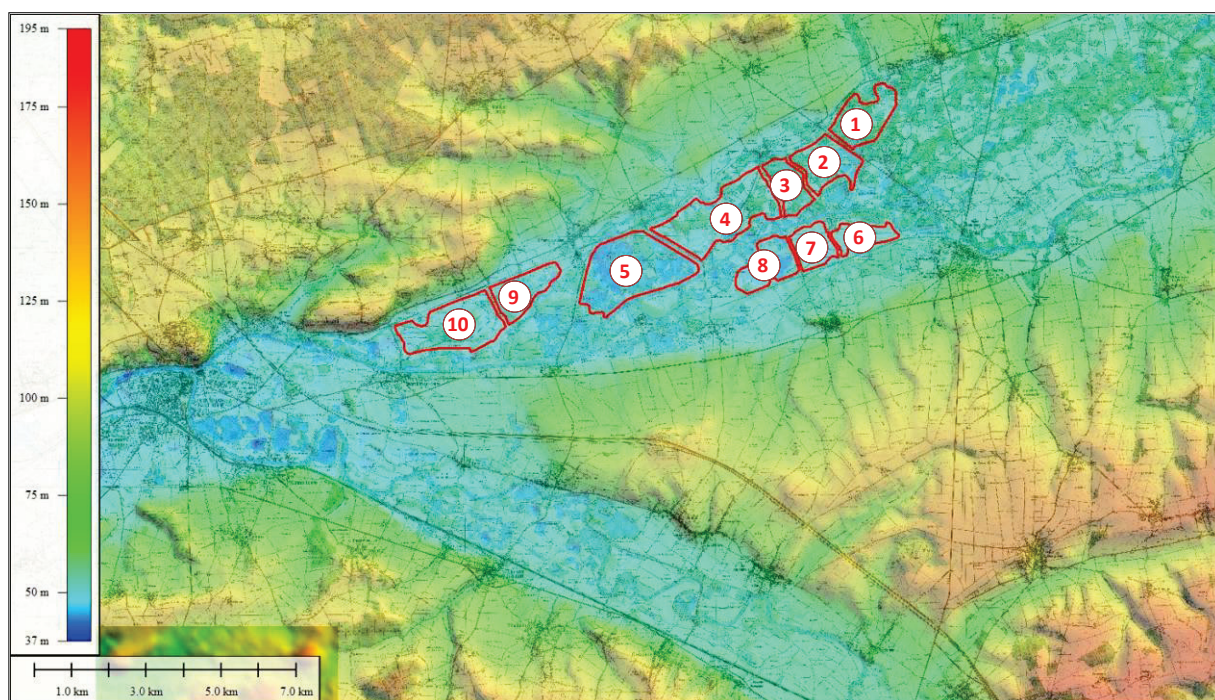
Les données nécessaires à l'étude comparative des modes d'alimentation comprennent :

- La topographie de la zone d'influence de l'aménagement considéré,
- L'environnement de la zone d'influence de l'aménagement considéré : zones habitées, zones protégées, routes, voies ferrées, canaux, etc.,
- Données hydrauliques : cotes de régulation, débits entrants dans les casiers, pentes hydrauliques en Seine et Yonne, cotes min et max rencontrées localement et dans les casiers, etc.,

2.2.1 Topographie et bathymétrie

La topographie est un facteur prépondérant, conditionnant la faisabilité d'une alimentation gravitaire de la zone de stockage. La cartographie suivante donne une vue d'ensemble de la topographie autour de la Bassée.

Figure 2-1 : carte altimétrique de la zone d'étude



Les profils en long des pages suivantes précisent les pentes longitudinales des terrains et les profils hydrauliques des axes d'écoulement le long des vallées de la petite Seine et de l'Yonne en amont de Montereau.

Figure 2-2 : profils altimétriques le long de la Seine

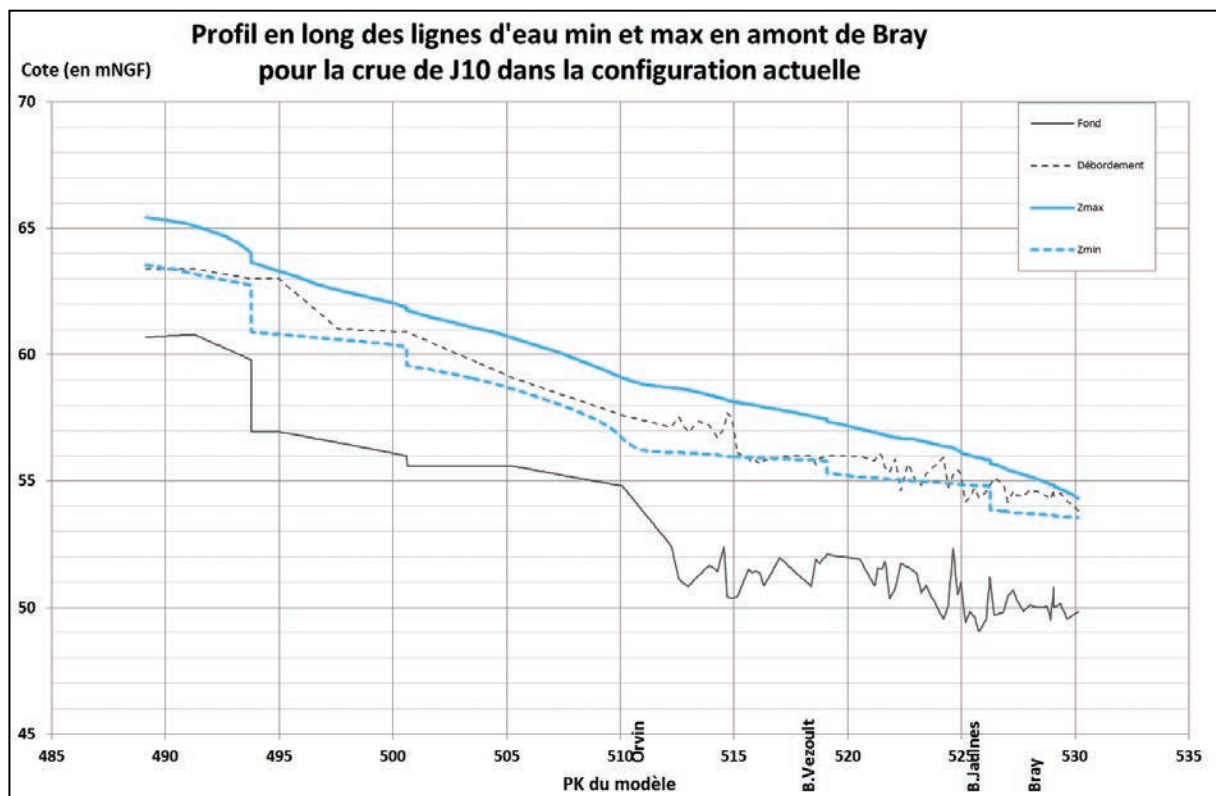
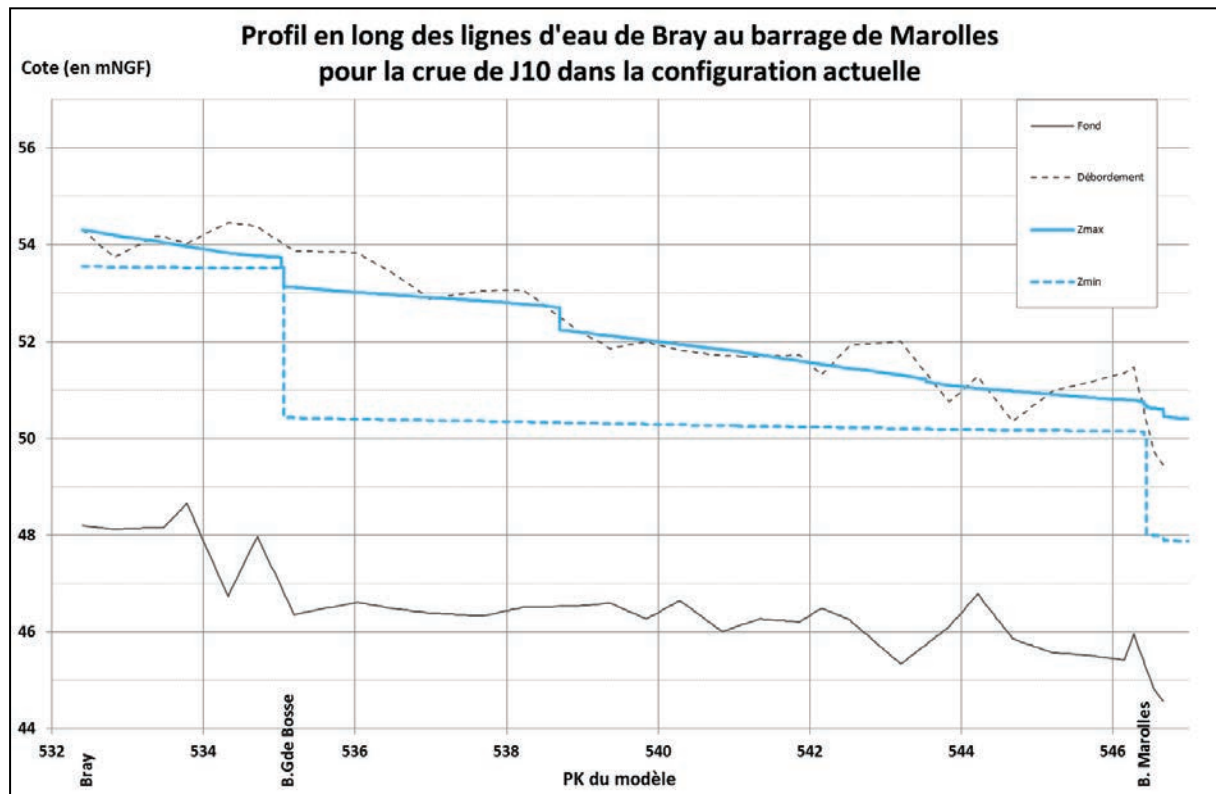
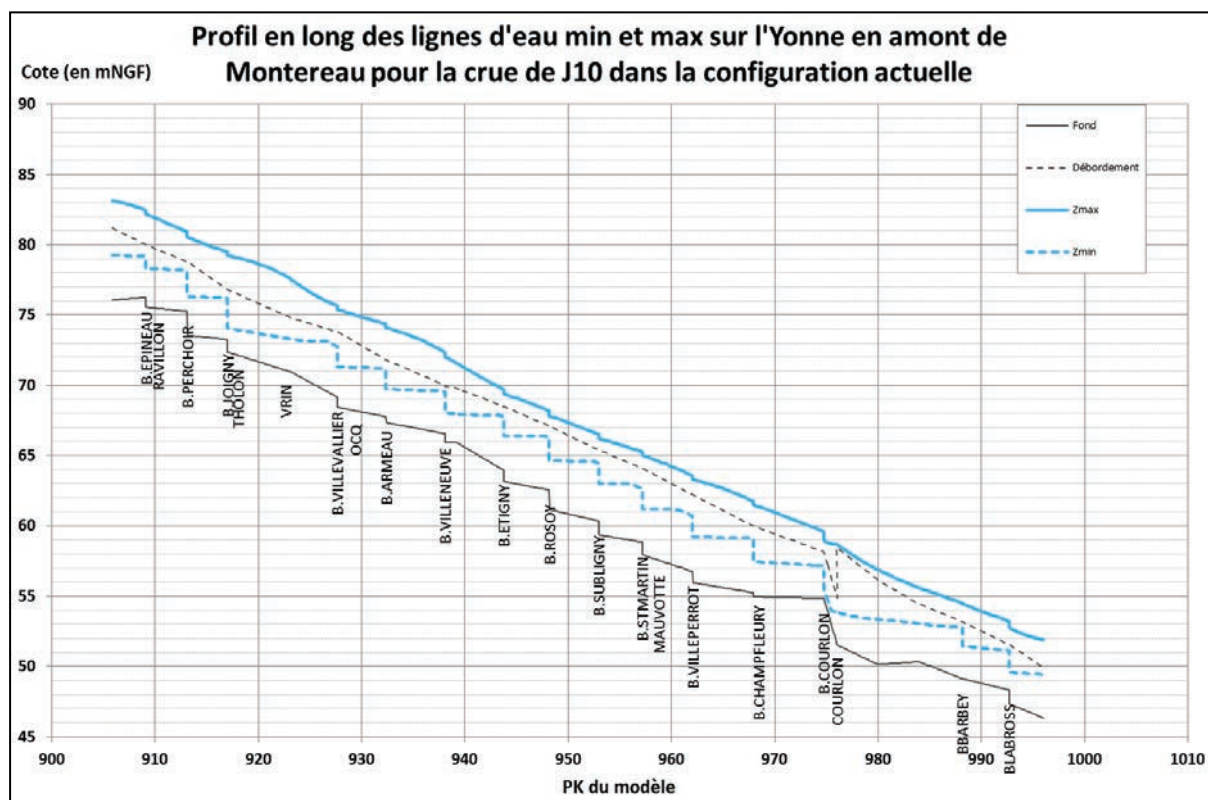


Figure 2-3 : Profils altimétriques le long de l'Yonne



Les informations suivantes, lisibles sur ces graphiques, sont essentielles à l'étude des aménagements d'alimentation gravitaire de la Bassée :

- Cote de régulation du barrage de Marolles : 50.11 mNGF,
- Cote de régulation du barrage de la Grande Bosse : 53.52 mNGF,
- Pente hydraulique de l'ordre de 2.5/10 000 sur la Seine,
- Pente hydraulique de l'ordre de 3.4/10 000 sur l'Yonne.

2.2.2 Zones protégées et usages

La réserve naturelle de la Bassée renferme de nombreuses zones classées, contraignantes pour la création d'un canal d'alimentation depuis la Seine.

Plus spécifiquement, la Bassée est inclus dans une ZPS (Zone de Protection Spéciale), une ZICO (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux), une ZNIEFF de type II, un SIC (Site d'intérêt Communautaire) et une ZSC (Zone Spéciale de Conservation). Elle comprend aussi de nombreuses ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologie, Faunistique et Floristique) de type I.

Outre ces zones protégées, un certain nombre de captages d'eau potable, carrières, zones humides et ICPE se situent sur la zone du projet.

Les cartes ci-dessous localisent ces contraintes environnementales et celles portant sur les usages. Elles sont tirées des documents de la DRIIE Ile de France.

Figure 2-4 : Carte d'inventaire du patrimoine naturel – ZNIEFF type 1 et 2

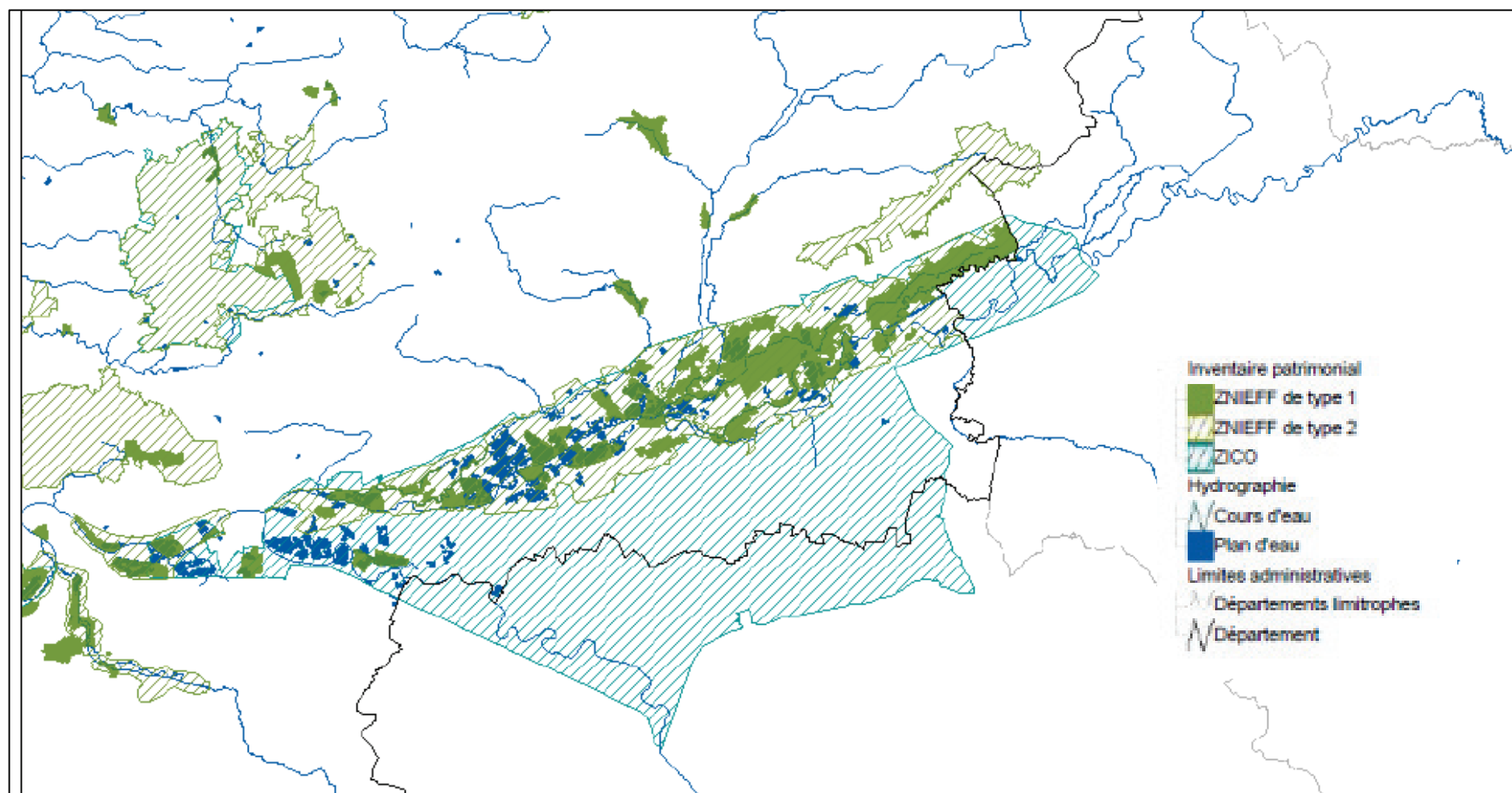


Figure 2-5 : Carte de Nature et bio diversité (carte à mettre en premier)

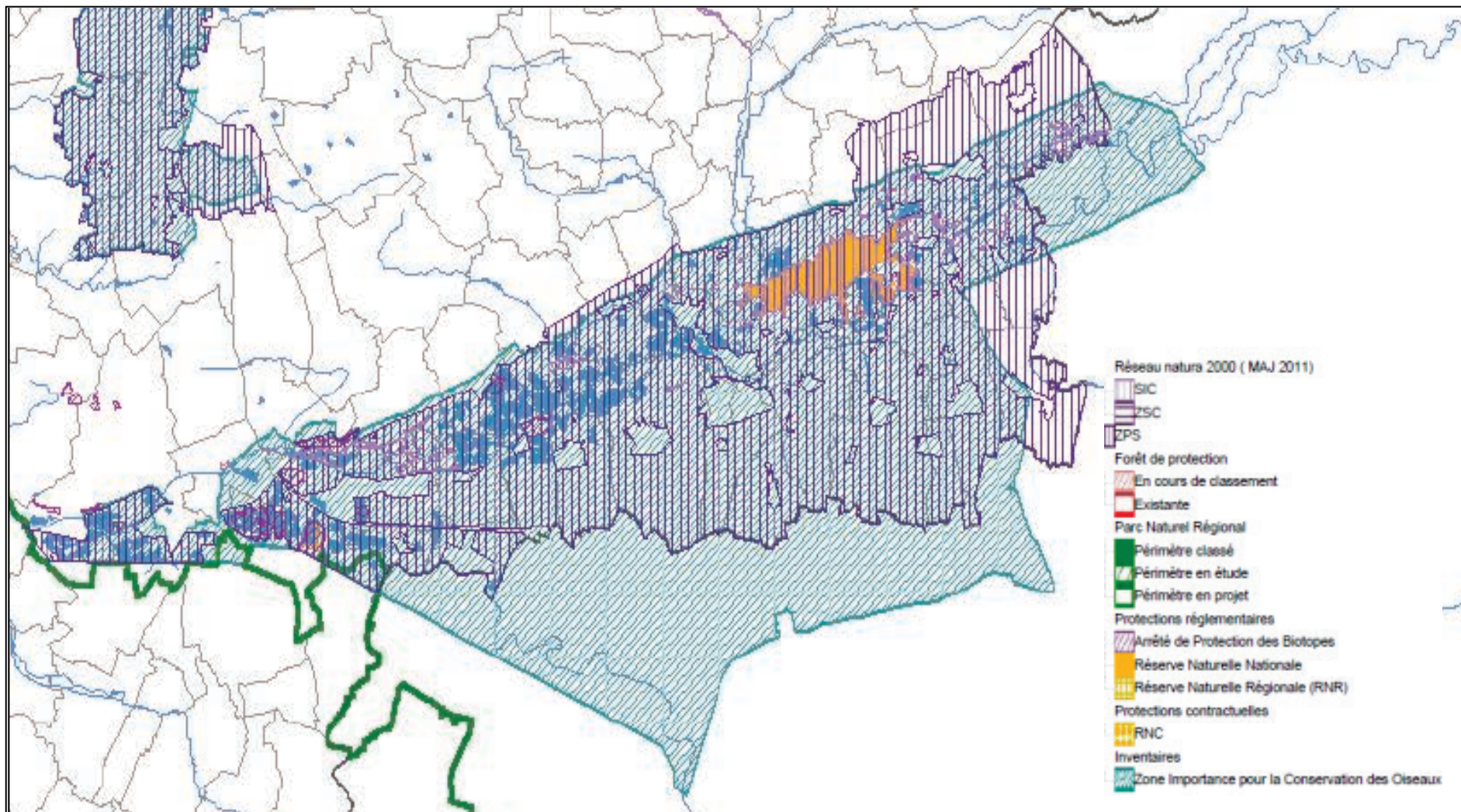


Figure 2-6 : Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

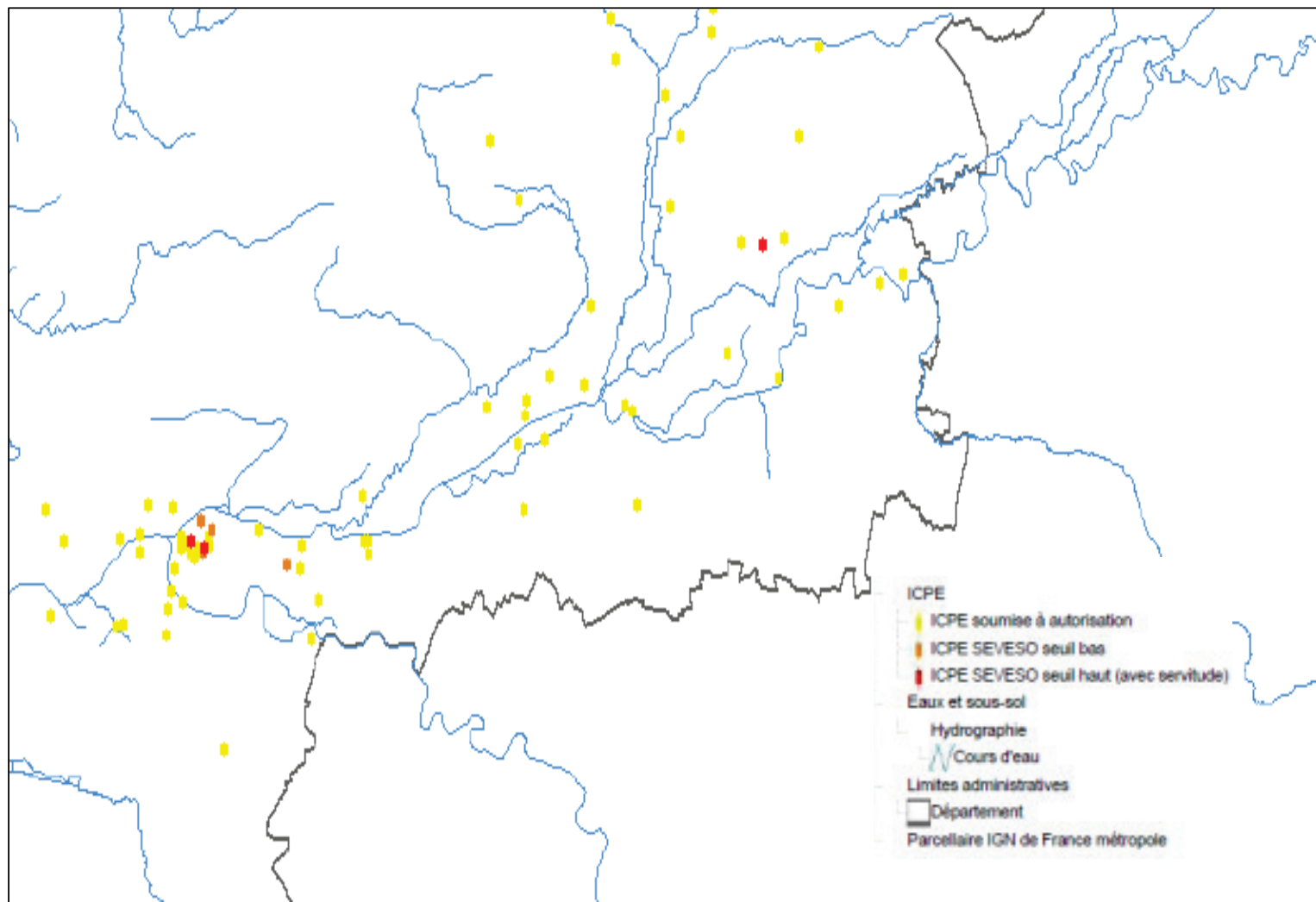
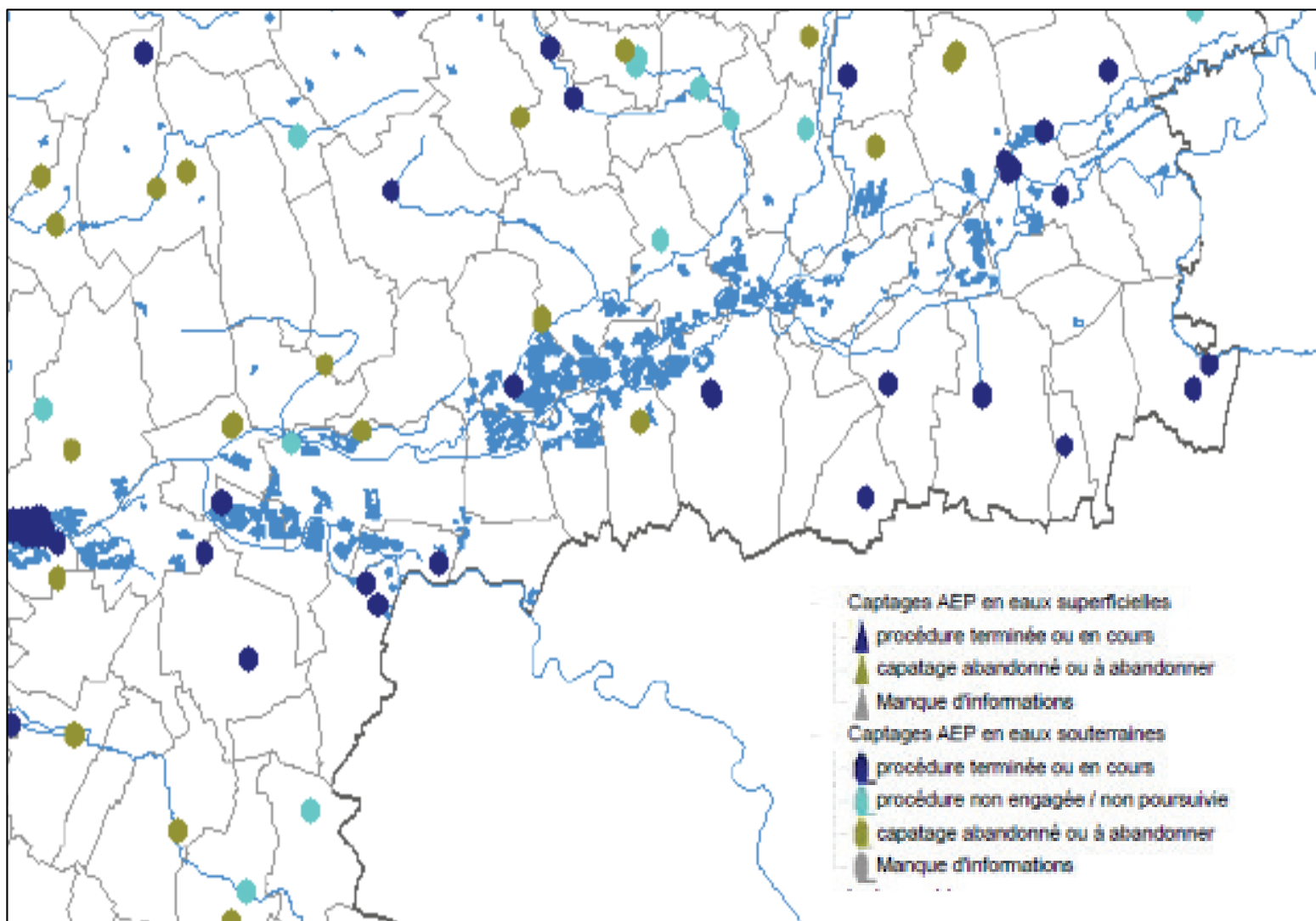


Figure 2-7 : Capatages pour l'alimentation en eau potable



2.2.3 Franchissements

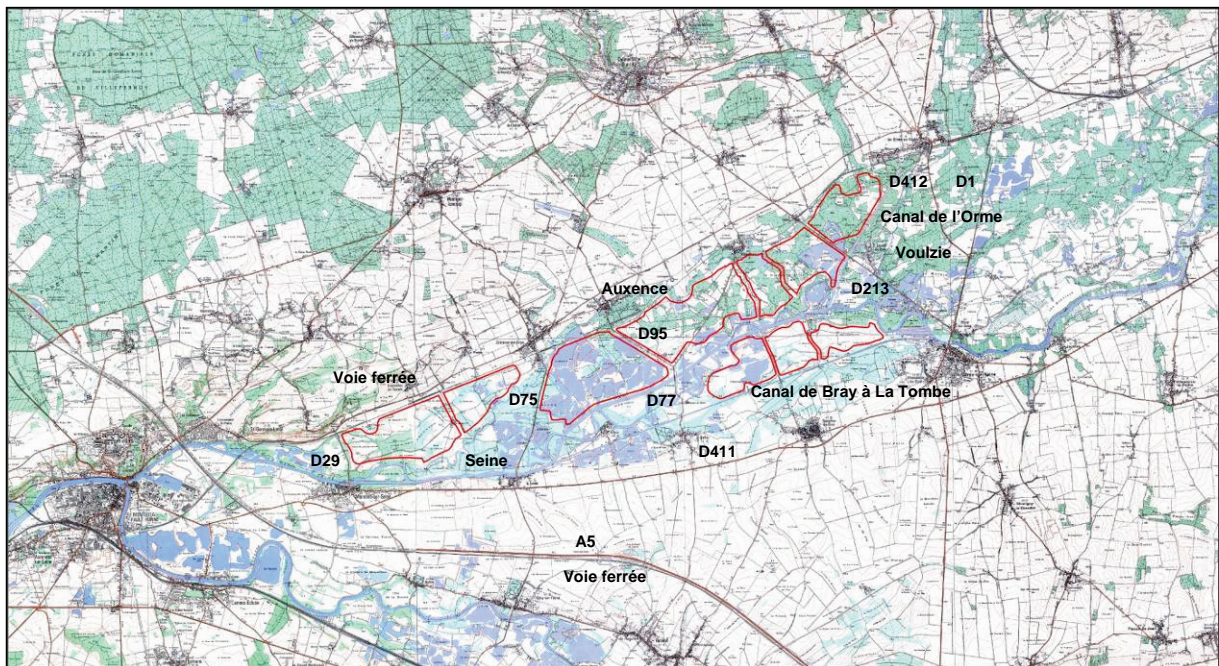
Des franchissements de routes, canaux, cours d'eau ou voies ferrées sont à prendre en compte dans la conception des aménagements. En particulier, l'aménagement d'un canal d'alimentation gravitaire de la Bassée sera soumis à ces contraintes. Il en est de même pour la connexion hydraulique entre les groupes de casiers.

Voici une liste d'obstacles pouvant générer des contraintes de franchissements :

- Voie ferrée au nord de la Bassée,
- Canal des Ormes, Canal de Bray à La Tombe,
- La Seine, la Voulzie et l'Auxence,
- Les anciens méandres de la Seine,
- Routes départementales : D1, D213, D29, D411, D412, D77, D75, D95,
- Autoroute A5 et voie ferrée entre l'Yonne et la Seine.

La figure suivante précise le positionnement de ces obstacles :

Figure 2-8 : carte des obstacles aux tracés des canaux (il manque la RD18 au Nord)



2.2.4 Zones urbaines

Les aménagements d'alimentation gravitaire de la Bassée peuvent impacter les zones urbaines à double titre :

- emprise des ouvrages ou des digues de protection,
 - aggravation du risque d'inondations par remontée des niveaux d'eau
- Voici les principales zones urbaines à proximité de la Bassée :

- Marolles-sur-Seine,
- Le Vieux Mouy,
- La Tombe,
- Gravon,
- Bray-sur-Seine,
- Le domaine de la Goujonne,
- Jaulnes,
- Grisy-sur-Seine,
- Le Port Montain,
- Noyen-sur-Seine,
- Villiers-sur-Seine.

La connaissance des cotes de débordement de la Seine dans les secteurs urbanisés de la Bassée conditionne entre autres les niveaux maximaux admissibles en Seine en l'absence de protections spécifiques :

- Cote de débordement à Marolles : 50.48 mNGF,
- Cote de débordement à La Tombe : 52.66 mNGF,
- Cote de débordement à Bray : 55.67 mNGF.

Par ailleurs, les cotes des PHEC (crue de janvier 1910) au droit des barrages de navigation sont les suivantes :

- barrage de Marolles : 51.98 mNGF,
- barrage de la Grande Bosse : 54.76 mNGF.

2.3 HYDRAULIQUE

Les cotes de remplissage maximales des casiers conditionnent l'altimétrie et l'implantation des ouvrages à créer pour l'alimentation gravitaire des zones de stockage.

Le tableau suivant rappelle les caractéristiques des casiers de la Bassée :

Casier	Zmin (mNGF)	Zmax (mNGF)
1	51.31	55.74
2	51.28	55.74
3	51.30	55.71
4	50.95	55.00
5	50.20	53.53
6	52.34	56.62
7	52.08	55.82
8	51.85	54.59
9	50.05	53.03
10	50.10	53.03

Note : les points bas pour chaque casier correspondent généralement à une cote d'étang de gravière, inférieure à la cote TN de fond de casier : les hauteurs effectives de stockage sont bien limitées partout à 2.5m au maximum. Z max dans le tableau ci-dessus est la cote maximale de stockage et non la cote la plus haute du casier, revanche comprise ?

Le débit maximal assuré par le système de pompage est de 234 m³/s et devra idéalement être assuré par un système d'alimentation gravitaire. Le système devra aussi remplir les casiers à hauteur de 55 Mm³.

3 PREMIERE ANALYSE DES SCENARIOS – PRE-DIMENSIONNEMENT

3.1 ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR CANAL DE DERIVATION

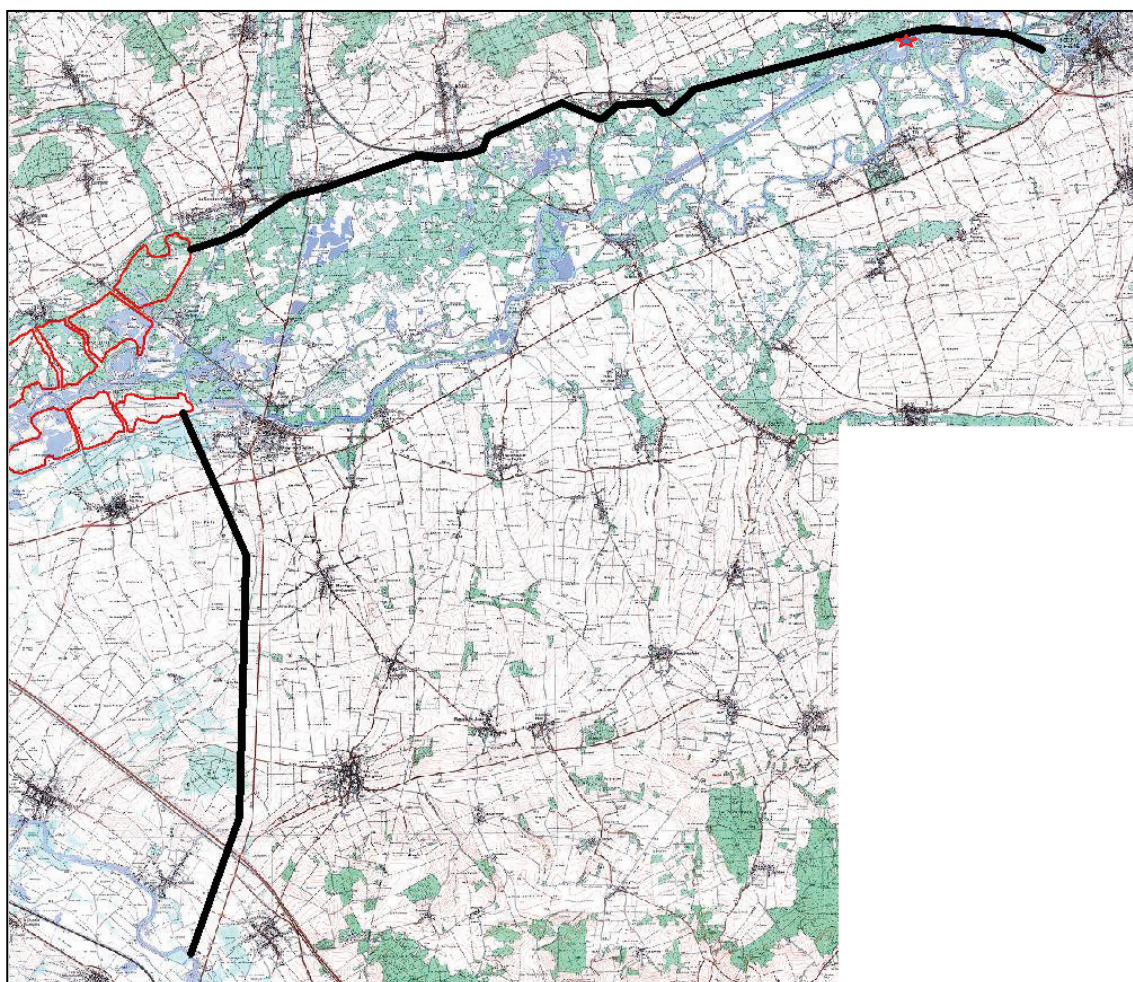
3.1.1 Bases de dimensionnement

3.1.1.1 Tracés

La localisation des prises d'eau des canaux est contrainte par la pente du terrain naturel et par la cote de remplissage maximum des casiers amont de l'aménagement Bassée.

La carte ci-dessous précise deux tracés possibles. Les profils altimétriques des terrains traversés sont indiqués page suivante.

Figure 3-1 : carte des tracés des canaux en solution de base



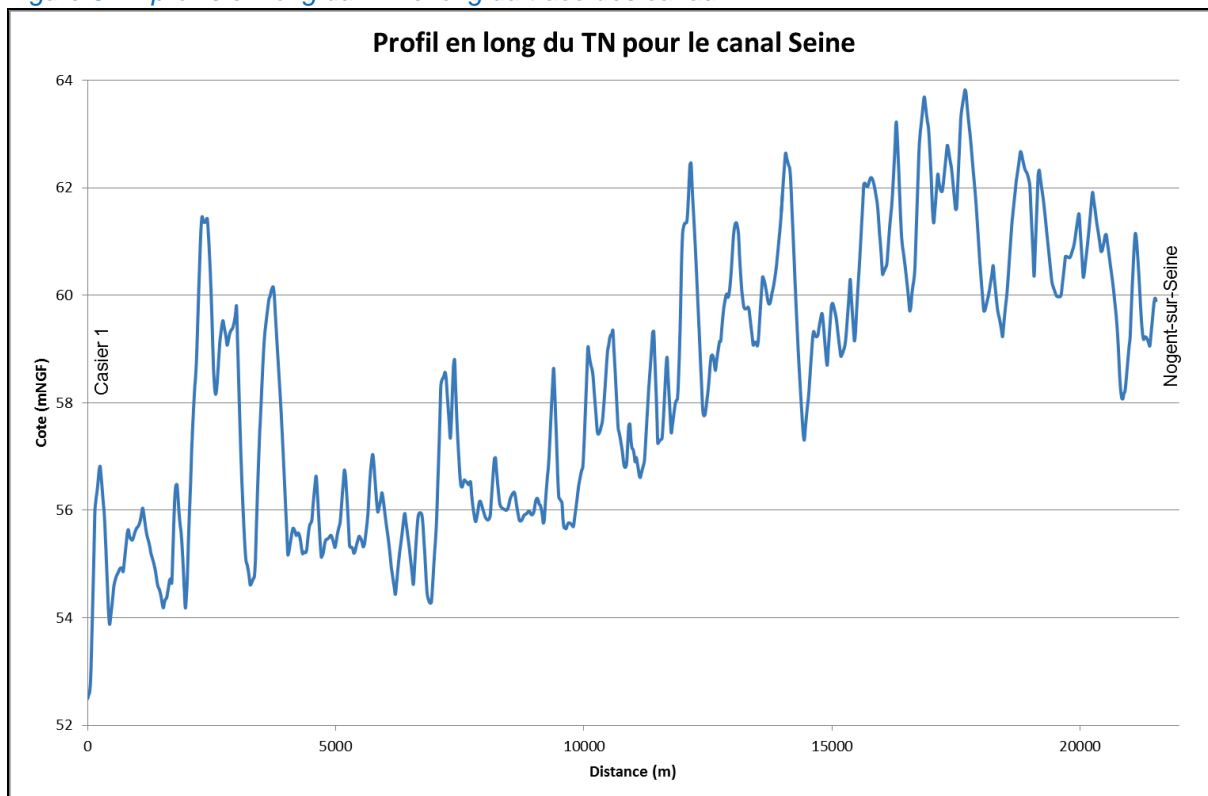
D'après les tracés ci-dessus, le canal « Seine » fait approximativement 21 500 m de longueur et le canal « Yonne » 13 000 m.

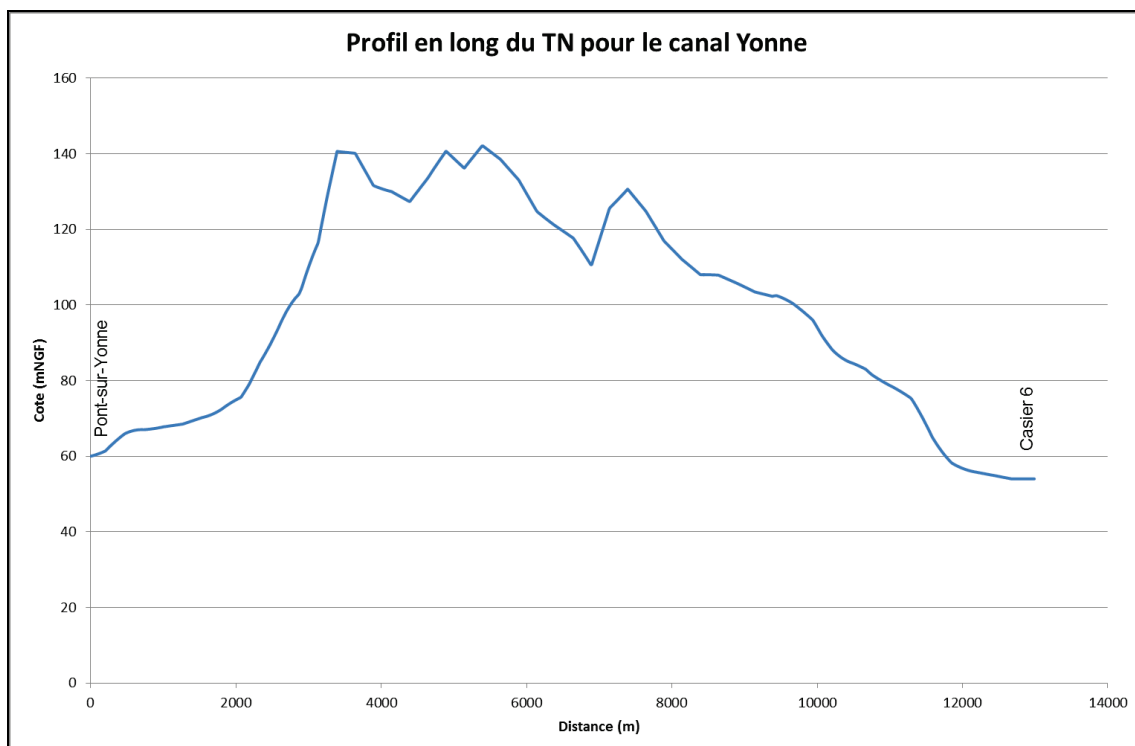
La prise d'eau en Seine se situe 1.6 km en amont du barrage de Beaulieu et la prise d'eau en Yonne en amont direct du barrage de Champfleury.

Remarque : on peut envisager de prélever l'eau directement dans le canal VNF (cf. étoile rouge sur la figure précédente) si celui-ci est réalisé, ce qui permettrait d'économiser 3 500 m de canal.

Les graphiques suivants montrent les profils en long des terrains naturels pour ces deux tracés :

Figure 3-2 : profils en long du TN le long du tracé des canaux



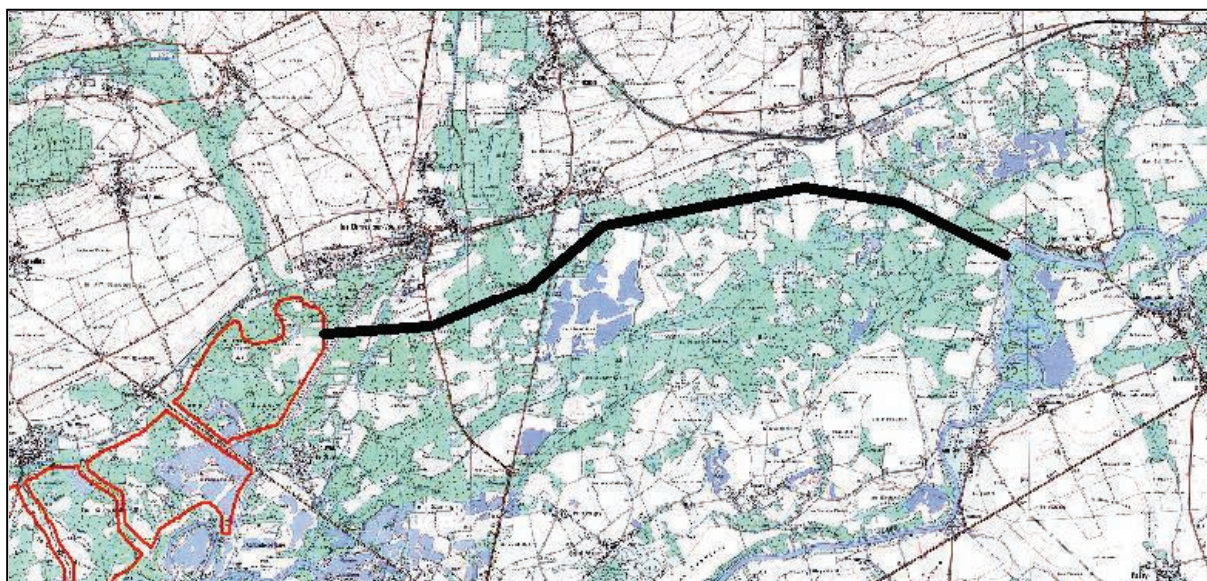


Le terrain naturel du tracé du canal Seine est relativement plat, avec des variations de cotes dans une fourchette de 10 m. L'ouvrage d'aménée peut être défini sous la forme d'un canal ouvert.

A l'inverse, le terrain naturel du canal Yonne présente un point haut de 80 m sur plusieurs kilomètres, difficilement franchissable. L'ouvrage d'aménée serait donc pour l'Yonne défini par une canalisation enterrée.

Remarque : sur le plan technico économique, le tracé suivant de 8 650 m est a priori le plus intéressant pour le canal Seine. Ce tracé est cependant exclu d'emblée car il passe au travers de la réserve naturelle de la Bassée, classée site Natura 2000, comportant de nombreuses espèces et habitats protégés.

Figure 3-3 : tracé variante pour le canal d'aménée « Seine »



3.1.1.2 Débits et cotes au droit des prises d'eau

Les calculs de dimensionnement présentés plus loin sont basés sur trois crues d'importance et de typologie contrastées :

- J10,
- J82,
- D99.

Dans le but d'évaluer la gamme de fonctionnement des aménagements, les limnigrammes et hydrogrammes en Seine et Yonne aux points de prélèvement des débits sont présentés ci-après pour les trois crues. Sur ces graphiques figurent aussi les fenêtres de pompage issues de l'étude d'alimentation de la zone de stockage par pompage uniquement.

Figure 3-4 : limnigrammes et hydrogrammes de la Seine au droit de la prise d'eau

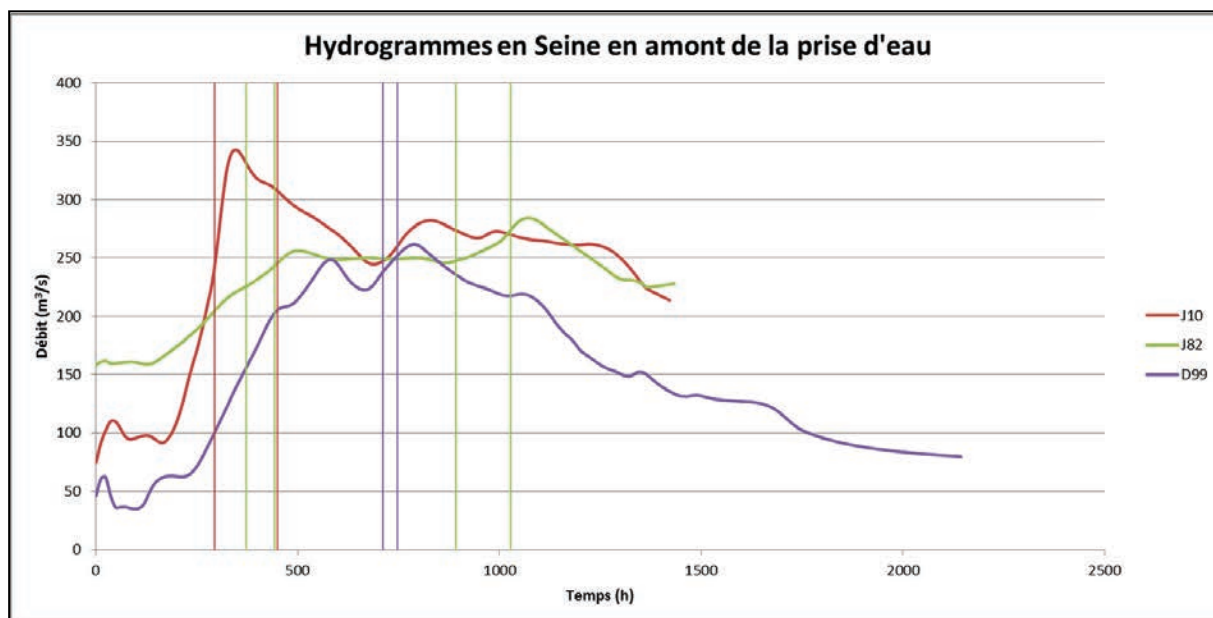
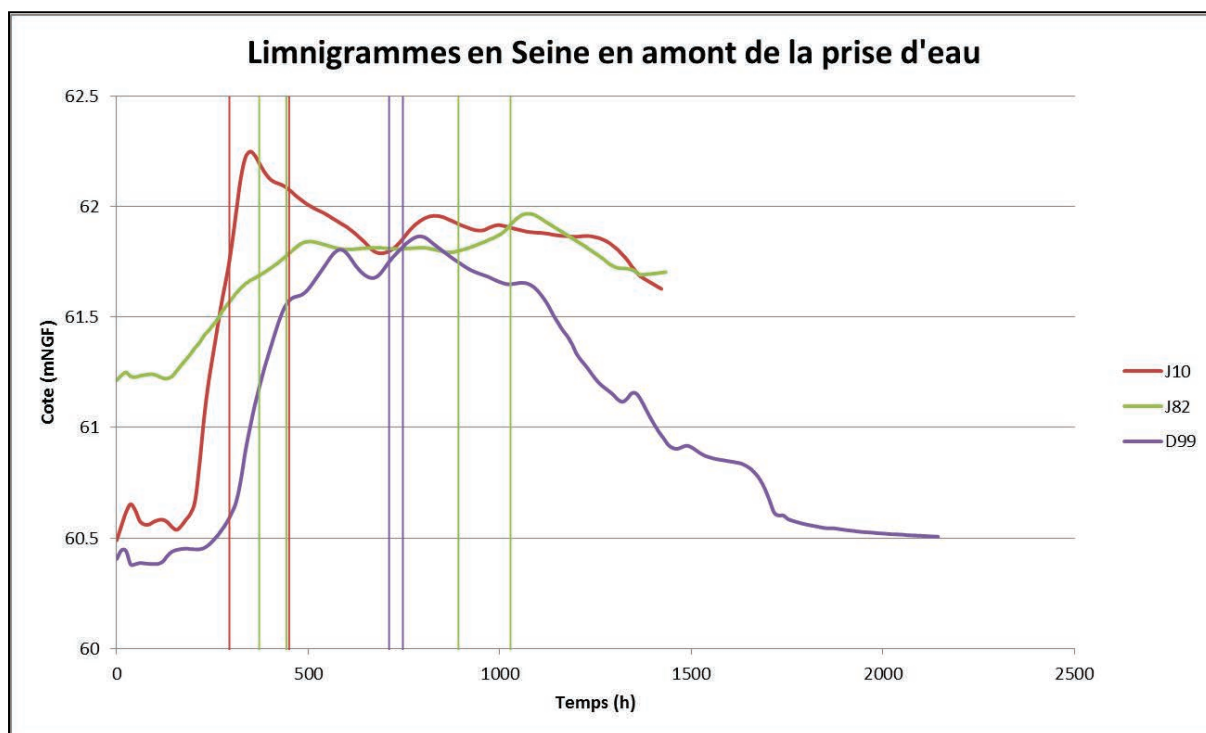
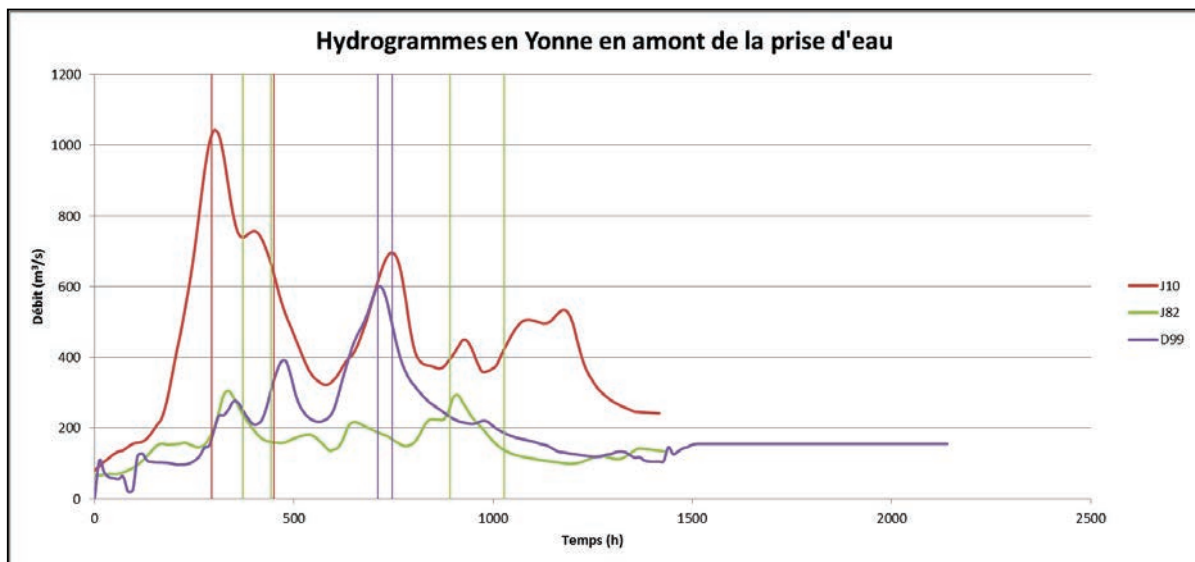
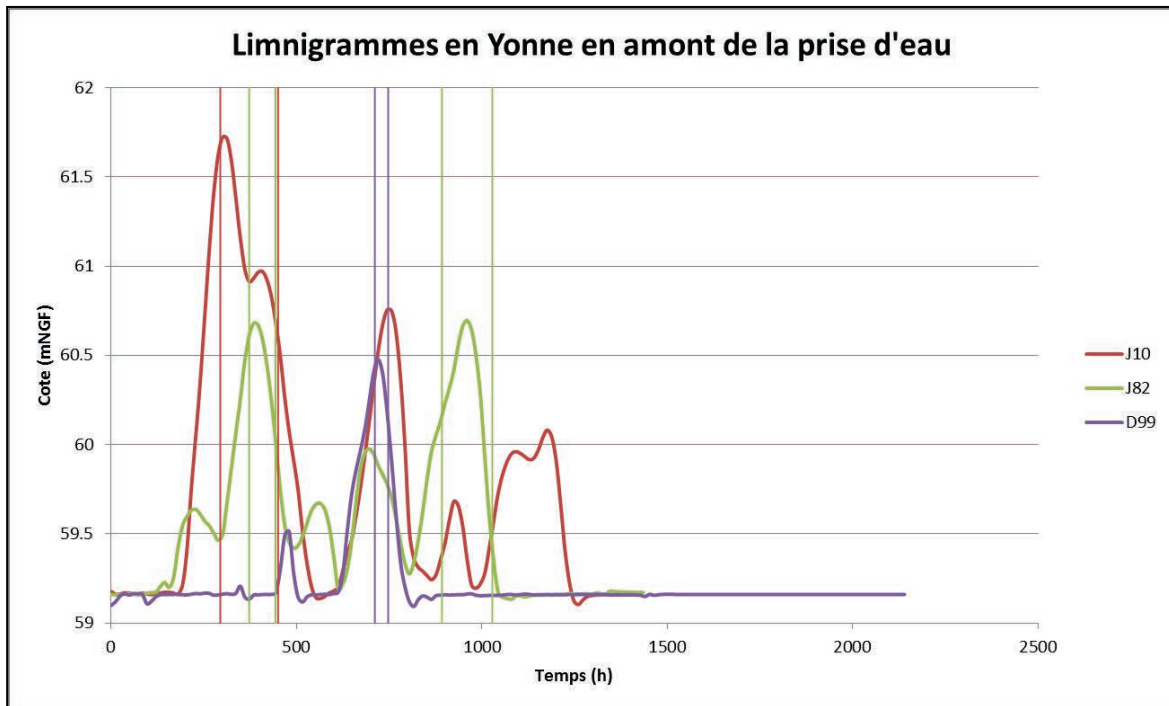


Figure 3-5 : limnigrammes et hydrogrammes de la Seine au droit de la prise d'eau



3.1.2 Canal d'amenée « Seine » - gabarit de base

3.1.2.1 Dimensionnement

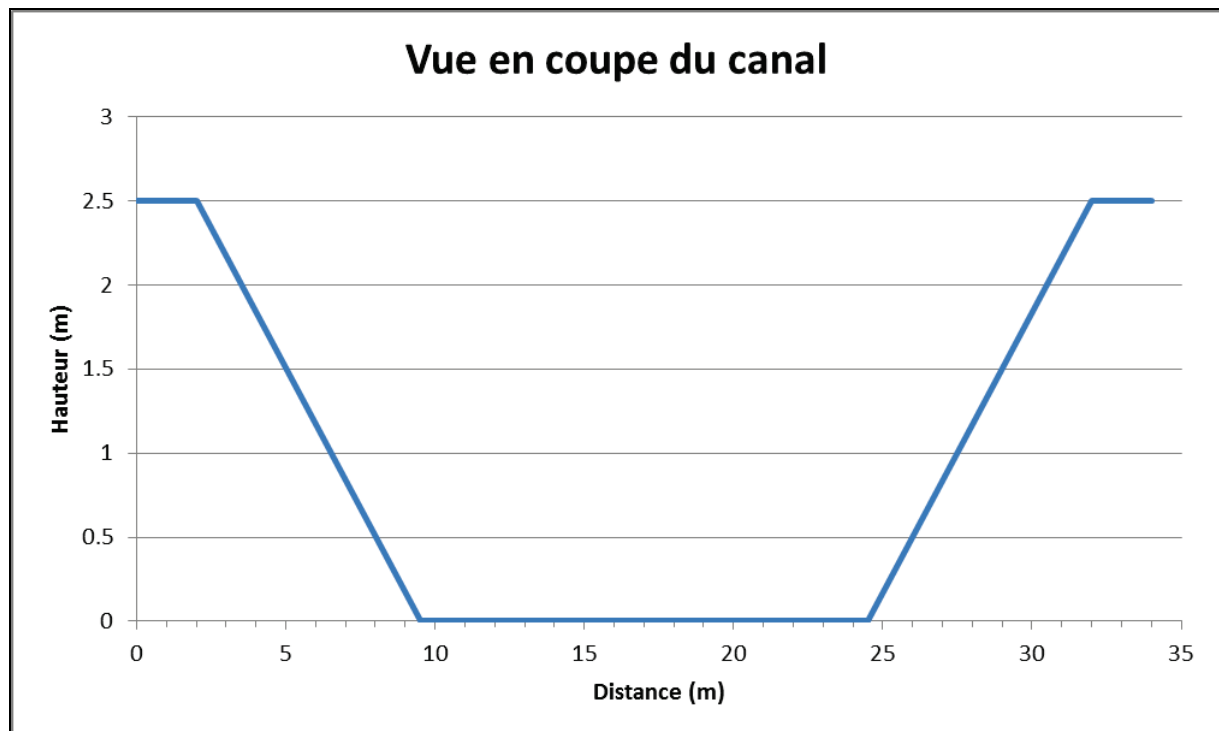
Le canal Seine est caractérisé par les paramètres suivants :

- Coefficient de Strickler
- Largeur
- Hauteur
- Pente

Les dimensions des canaux devant rester physiquement raisonnables, on se fixe en première approximation les hypothèses de dimensionnement suivantes :

- Coefficient de Strickler : $K = 40$
- Largeur maximale : $b = 30$ m
- Hauteur : $h = 2.5$ m
- Fruit : 3/1

Figure 3-6 : section du canal « Seine » - gabarit 30m



Les dimensions de la Seine en amont du canal et du casier 1 en aval conditionnent la pente de celui-ci. En effet :

- Le radier amont du canal doit être calé au-dessus du fond de la Seine localement,
- Le plein-bord du canal doit être assez haut pour ne pas nécessiter la mise en place de protections rehaussées localement et assurer une pente assez importante au canal, mais doit aussi être assez bas pour que le canal soit suffisamment alimenté par la Seine,
- Le radier aval doit être au-dessus du niveau du fond du casier 1.

Un canal de pente 3.7/10 000 est ainsi retenu, son profil est reproduit page suivante.

Voici les caractéristiques d'écoulement en régime uniforme le long du canal en appliquant la loi de Manning-Strickler :

$$Q = K \times S \times R^{2/3} \times \sqrt{i}$$

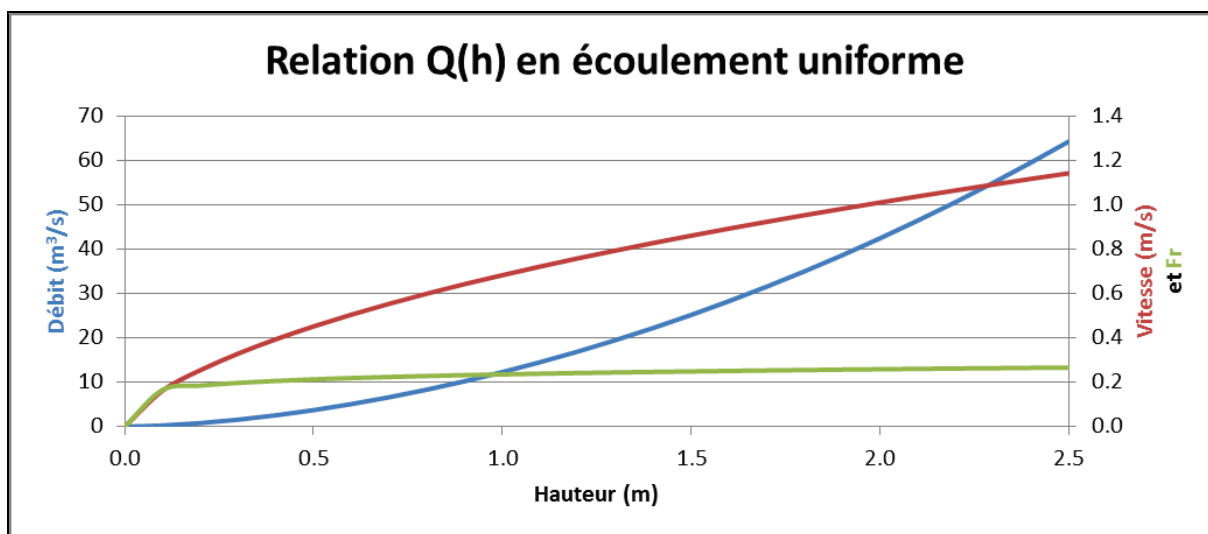
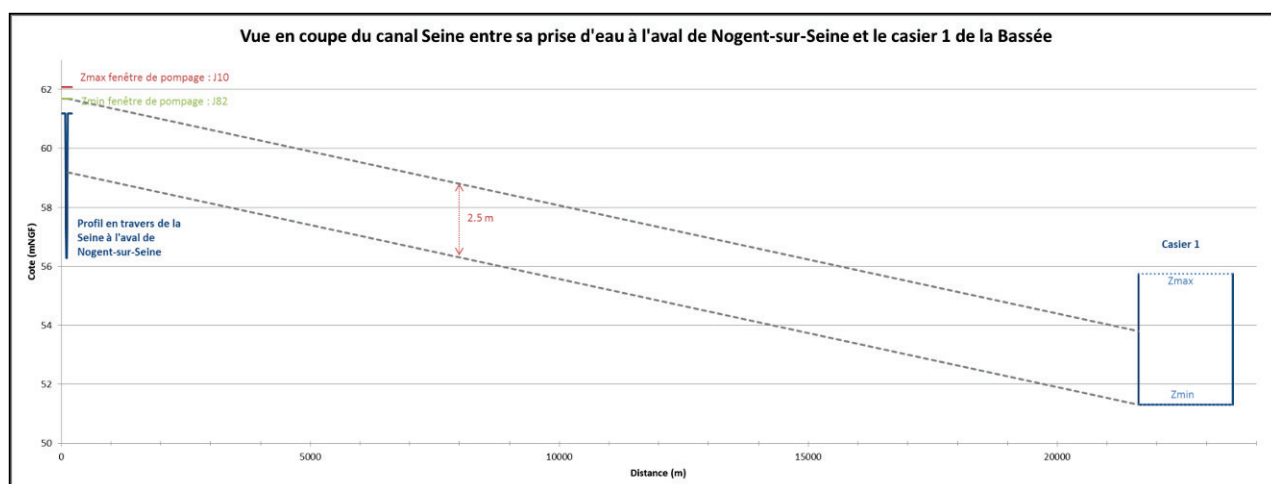


Figure 3-7 : profil en long du canal Seine – gabarit 30m



Ce canal possède un débit capable en régime normal de $64.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, la vitesse moyenne maximale est de 1.1 m/s ce qui est tout à fait acceptable. Enfin le nombre de Froude de l'écoulement reste inférieur à 0.27 ce qui signifie que l'écoulement est largement établi en régime fluvial et lui garantit donc une bonne stabilité.

Par ailleurs, la multiplication pour chaque crue du débit capable calculé par la durée de la fenêtre de pompage permet d'estimer les volumes d'apport possibles du système d'alimentation gravitaire.

	Radier	Plein Bord
Cote amont (mNGF)	59.19	61.69
Cote aval (mNGF)	51.31	53.81

	Canal Seine		
	J10	J82	D99
Débit (m^3/s)	64		
Volume (Mm^3)	36	48	8

Remarque : Les hypothèses de calcul retenues ici ont tendance à maximiser les débits et volumes transitant dans l'ouvrage au cours du temps car l'influence aval du remplissage du casier n'est pas prise en compte.

Le tableau suivant rappelle pour comparaison les débits maximaux et volumes fournis par le système de pompage seul pour ces trois crues :

	Pompage uniquement		
	J10	J82	D99
Débit (m^3/s)	200	181	188
Volume (Mm^3)	54	49	49

Remarque 1 : En appliquant le même principe de calcul, il faudrait un canal de largeur au miroir 78 m (toutes autres caractéristiques égales par ailleurs) pour permettre le transit d'un débit de $230 \text{ m}^3/\text{s}$ soit le débit capable des sept stations de pompage regroupées. Cependant, le prélèvement d'un débit important en Seine aura pour effet d'abaisser la ligne d'eau et donc de diminuer le débit capable de

l'ouvrage. Il faudra donc en pratique un canal plus large avec une prise d'eau abaissée pour alimenter les casiers de la Bassée.

Remarque 2 : Il existe un risque de perte de débit par écoulement au travers du canal non revêtu. Ce risque devra être étudié en cas d'étude plus avancée de cet aménagement.

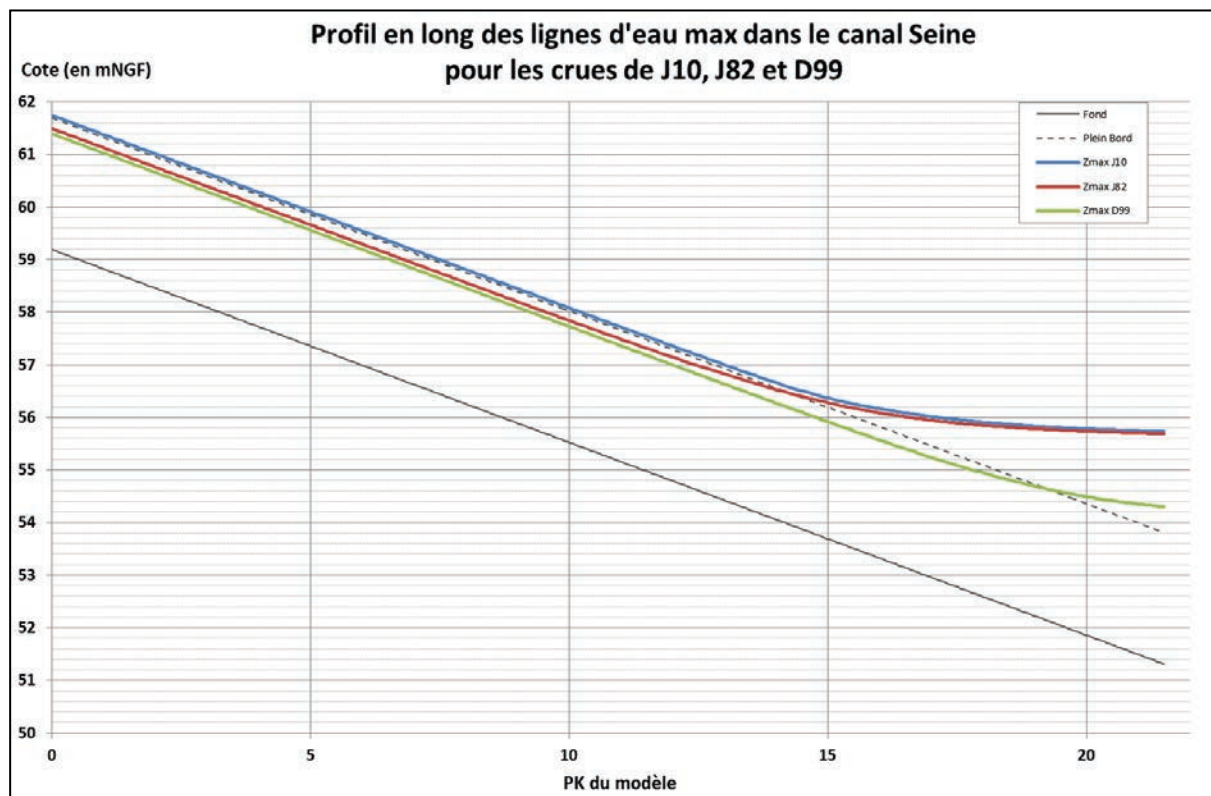
3.1.2.2 Profils de lignes d'eau

Les hypothèses de calculs suivantes sont retenues :

- L'hydrogramme d'alimentation du canal est fourni par le modèle hydraulique au point de dérivation,
- Le système de vannage permettant la régulation en tête de canal est modélisé. Deux vannes de trois mètres de haut sur sept mètres de large sont sélectionnées. Dans le cadre de cette modélisation simplifiée, le système de vannage ne joue pas son rôle de régulation et reste grand ouvert,
- Le canal est modélisé avec la géométrie décrite au §3.1.2.1 (canal ayant un coefficient de Strickler de 40, un fruit de 3/1, une largeur maximale de 30 et 2.5 m de profondeur),
- La condition limite aval est une cote variant en fonction du temps. Celle-ci décrit la variation de cote constatée lors de l'étude hydraulique de remplissage de l'aménagement par pompage dans le casier 1 pour chacune des crues étudiées. Cette cote aval, bien qu'inexacte, fournit une variation réaliste des cotes à l'aval du canal en balayant toute la gamme des cotes possibles.

Voici les profils en long des lignes d'eau obtenues dans le canal :

Figure 3-8 : lignes d'eau max le long du canal Seine – gabarit 30m



Note : afin d'éviter les débordements par le canal il est nécessaire de mettre en place des protections locales en aval du canal (sur une longueur de 7 km, protections de hauteur variable entre 0.2 m et 1.5 m)

Le tableau suivant fournit les débits maximaux et les volumes transités par le canal pour les différentes crues :

	Canal Seine		
	J10	J82	D99
Débit max (m ³ /s)	62	50	46
Volume (Mm ³)	32	30	6

La modélisation fournit des débits et volumes comparables à ceux calculés au §3.121.

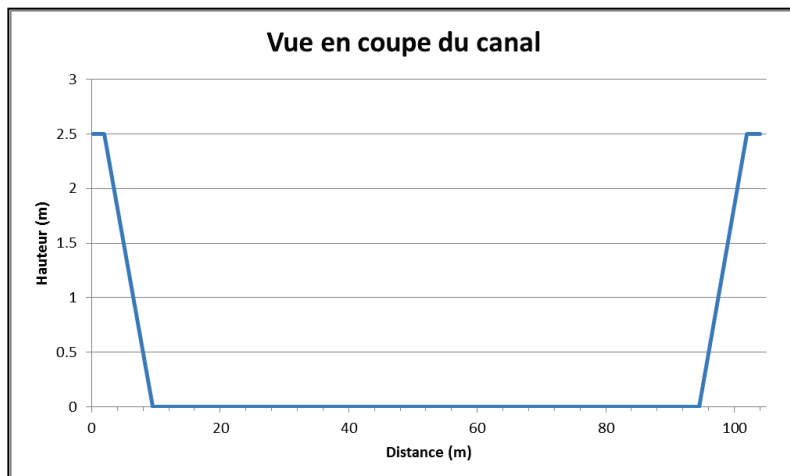
Les valeurs sont légèrement inférieures pour les crues de janvier 1982 et décembre 1999 car les cotes disponibles en amont du canal ne permettent pas d'alimenter celui-ci en plein bord.

Canal d'amenée « Seine » - grand gabarit

En complément de l'analyse précédente une série de tests a été effectuée pour préciser les dimensions d'un canal permettant de faire faire transiter 230 m³/s pour la crue 1910.

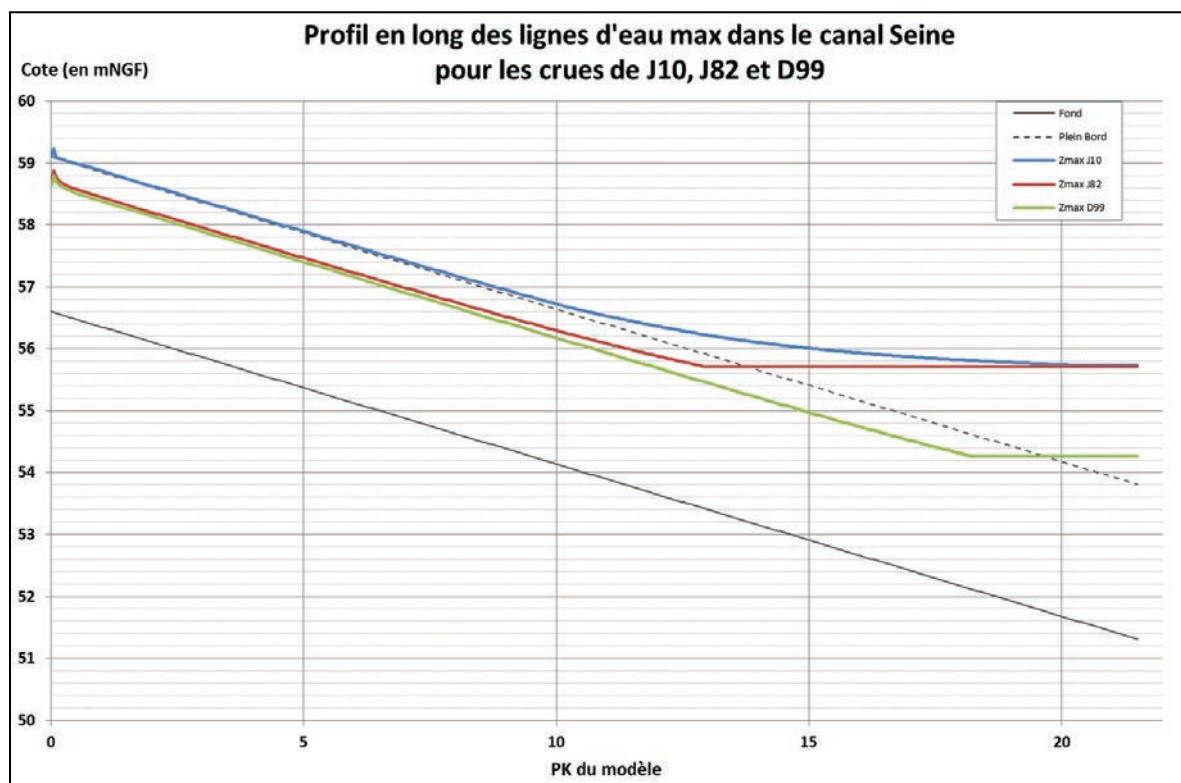
La section trouvée est définie ci-dessous :

Figure 3-9 : section du canal « Seine » - gabarit 100m



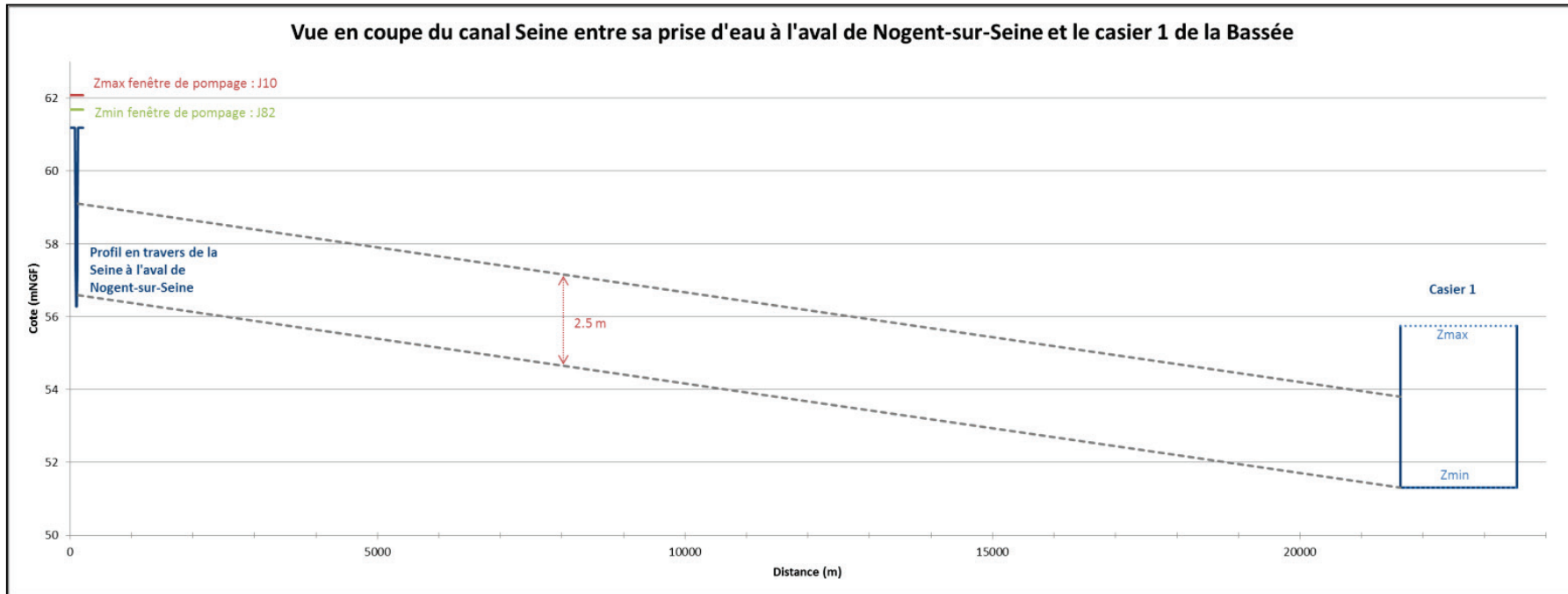
Voici les profils en long des lignes d'eau obtenues dans le canal :

Figure 3-10 : lignes d'eau max le long du canal Seine – gabarit 100 m



Note : afin d'éviter les débordements par le canal il est nécessaire de mettre en place des protections locales en aval du canal (sur une longueur de 10 km, protections de hauteur variable entre 0.2 m et 2.0 m)

Figure 3-11 : profil en long du canal Seine – gabarit 100m



	Radier	Plein Bord
Cote amont (mNGF)	56.60	59.10
Cote aval (mNGF)	51.31	53.81

Le tableau suivant fournit les débits maximaux et les volumes transités par le canal pour les différentes crues :

	Canal Seine		
	J10	J82	D99
Débit max (m ³ /s)	232	165	158
Volume (Mm ³)	125	88	79

D'un point de vue strictement hydraulique ces débits satisfont aux objectifs de remplissage des casiers. Un tel aménagement pose néanmoins des difficultés de régulation, ce point est discuté plus loin.

3.1.3 Conduite d'amenée « Yonne » - solution de base

3.1.3.1 Dimensionnement

La conduite Yonne se caractérise par :

- Coefficient de Strickler
- Diamètre
- Pente

Le diamètre et la pente de la canalisation sont conditionnés par le respect des critères suivants..

- Le radier amont de la conduite doit être calé au-dessus du fond de l'Yonne localement,
- La voûte de la conduite doit être assez haute pour permettre une bonne circulation d'air dans la conduite, un objectif de 80% de remplissage maximum est fixé,
- Le radier aval doit être au-dessus du niveau du fond du casier 6.

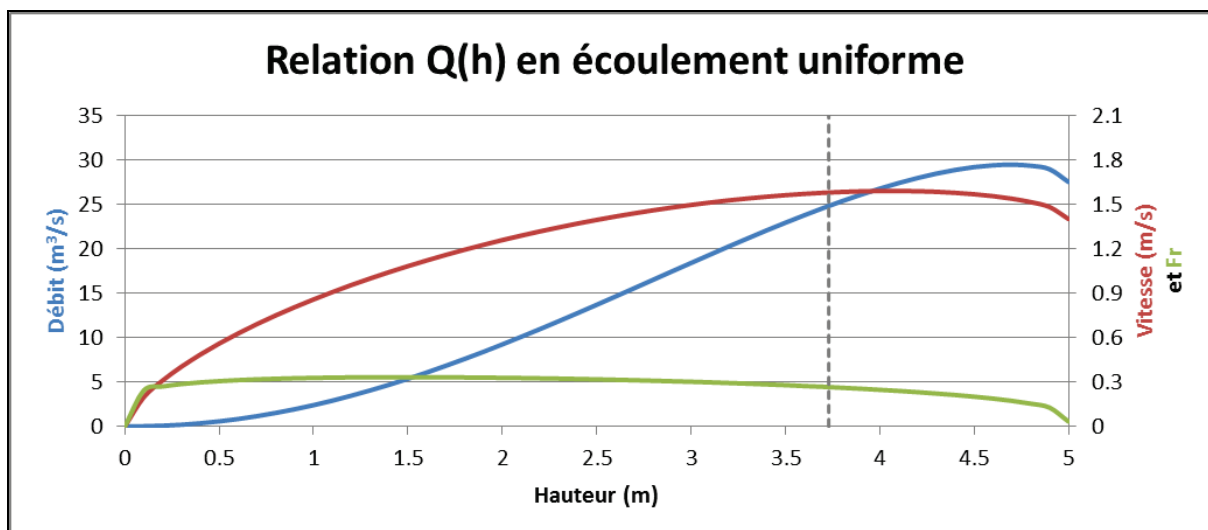
Une conduite de diamètre 5 m et de pente 3.0/10 000 est ainsi retenue.

La conduite est calée à l'aval pour laisser un tirant d'air minimum de 20% de la surface de la conduite quelles que soient les conditions de remplissage du casier 1. A l'amont, la voûte de la conduite est calée sur la cote maximale constatée localement qui correspond au pic de la crue de janvier 1910.

Une conduite de 5 m de diamètre autorise une bonne introduction d'air et donc un écoulement à surface libre stable.

Par ailleurs, la limite supérieure du coefficient de Strickler est fixée à : $K = 70$, qui est la valeur retenue pour nos calculs.

Voici les caractéristiques d'écoulement en régime uniforme obtenues dans la conduite en appliquant la loi de Manning-Strickler :



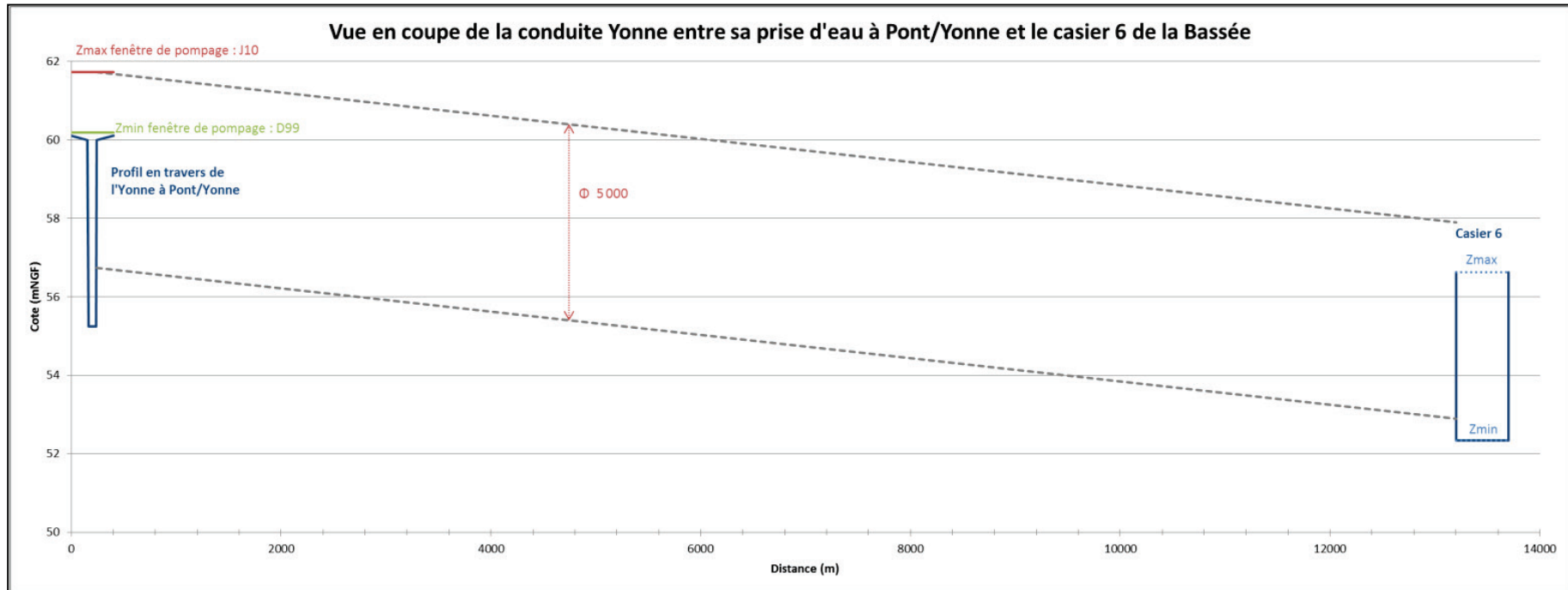
Cette conduite autorise un débit maximum en régime normal de $29.5 \text{ m}^3/\text{s}$, toutefois un taux de remplissage de 80% sera maintenu afin de limiter les instabilités d'écoulement dans la conduite. Le débit associé à ce taux de remplissage est $24.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, la vitesse moyenne maximale est de 1.6 m/s ce qui est tout à fait raisonnable. Enfin le nombre de Froude de l'écoulement reste inférieur à 0.33 ce qui signifie que l'écoulement est largement établi en régime fluvial et lui garantit donc une bonne stabilité.

La multiplication pour chaque crue du débit calculé par la durée de la fenêtre de pompage permet d'estimer les volumes d'apport possibles du système d'alimentation gravitaire.

Conduite Yonne			
	J10	J82	D99
Débit (m^3/s)	25		
Volume (Mm^3)	14	19	3

Remarque : En appliquant le même principe de calcul, il faudrait 9 conduites du même gabarit en parallèle pour permettre le transit d'un débit de $230 \text{ m}^3/\text{s}$ soit le débit capable des sept stations de pompage regroupées. Cependant, le prélèvement d'un débit important dans l'Yonne aura pour effet d'abaisser la ligne d'eau et donc de diminuer le débit capable de l'ouvrage. Il faudrait donc en pratique plus que 9 conduites en parallèles avec une prise d'eau abaissée pour alimenter les casiers de la Bassée. Cette éventualité est d'emblée écartée car elle est non recevable économiquement.

Figure 3-12 : profil en long de la conduite Yonne



	Radier	Voûte
Cote amont (mNGF)	56.73	61.73
Cote aval (mNGF)	52.34	57.34

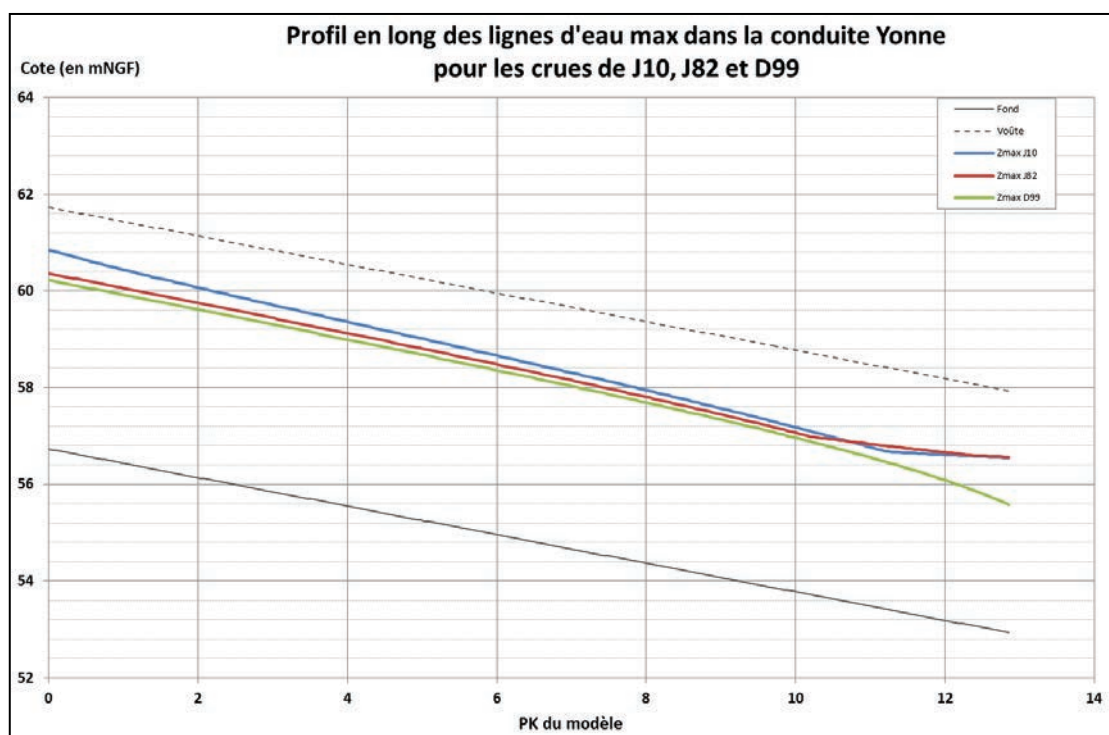
3.1.3.2 Profil en long des lignes d'eau

Pour cette modélisation simplifiée :

- L'amont de la conduite est alimenté par l'hydrogramme fourni par le modèle hydraulique à l'endroit du prélèvement de débit,
- Le système de vannage permettant la régulation en tête de la conduite est modélisé. Une vanne de 5 mètres sur 5 mètres est choisie. Dans le cadre de cette modélisation, le système de vannage a pour objectif un taux de remplissage de 80 % (soit une hauteur d'eau de 3.73 m) 1 km en aval du système de vannage,
- La conduite est modélisée avec sa géométrie décrite au §3.1.4.1 (conduite ayant un coefficient de Strickler de 70 et un diamètre de 5 m),
- La condition limite aval est une cote variant en fonction du temps. Celle-ci décrit la variation de cote constatée lors de l'étude hydraulique de remplissage de l'aménagement par pompage dans le casier 6 pour chacune des crues étudiées. Cette cote aval, bien qu'inexacte, fournit une variation réaliste des cotes à l'aval de la conduite en balayant toute la gamme des cotes possibles.

Voici les profils en long des lignes d'eau obtenues dans la conduite :

Figure 3-13 : profils en long de la ligne d'eau dans la conduite Yonne



Le tableau suivant fournit les débits maximaux et les volumes transités par la conduite pour les différentes crues :

	Conduite Yonne		
	J10	J82	D99
Débit max (m ³ /s)	31	24	23
Volume (Mm ³)	15	16	3

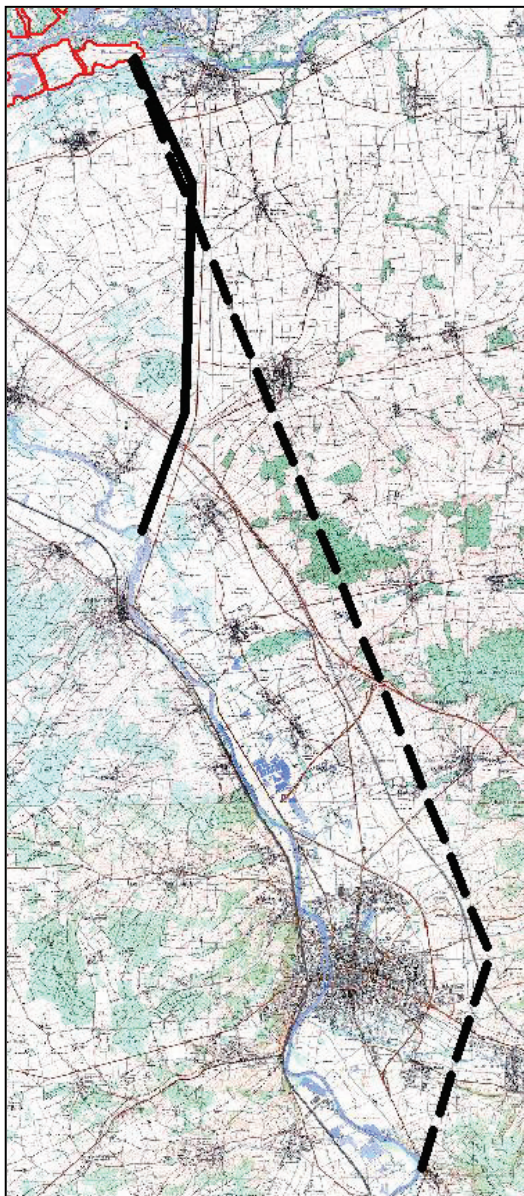
3.1.4 Conduite d'amenée Yonne - tracé alternatif

Les premiers résultats obtenus pour l'alimentation gravitaire par prise d'eau en Yonne ne sont pas satisfaisants par manque de charge disponible. Vérifions qu'il n'existe pas de solutions techniquement meilleures en testant une prise d'eau plus en amont sur l'Yonne.

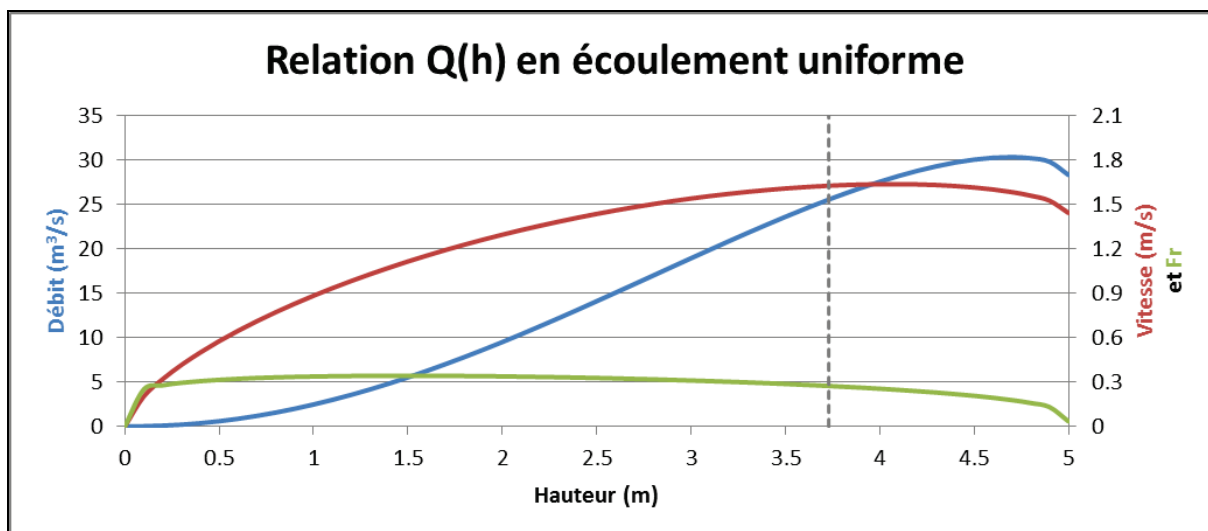
Un scénario de conduite alimentée en amont par une prise d'eau au niveau du barrage de Rosoy sur l'Yonne est étudié. Il offre une charge plus importante en tête de conduite mais possède un linéaire plus long impliquant un aménagement plus coûteux. L'image ci-dessous présente le tracé de cette conduite :

La conduite suivant ce nouveau tracé est longue de 31.6 km et n'amène pas d'augmentation de pente (3.1/10 000). Son diamètre reste de 5 m.

Figure 3-14 : tracé alternatif pour la conduite Yonne



Voici les caractéristiques d'écoulement en régime uniforme obtenues dans la conduite en appliquant la loi de Manning-Strickler :



Cette conduite assure un débit maximum en régime normal de 30.3 m³/s, toutefois un taux de remplissage de 80% sera maintenu afin de limiter les instabilités d'écoulement dans la conduite. Le débit associé à ce taux de remplissage est 25.6 m³/s. Par ailleurs, la vitesse moyenne maximale est de 1.6 m/s ce qui est tout à fait raisonnable. Enfin le nombre de Froude de l'écoulement reste inférieur à 0.34 ce qui signifie que l'écoulement est largement établi en régime fluvial et lui garantit donc une bonne stabilité.

Conclusion :

Le fait de reculer la prise d'eau de la conduite au niveau du barrage de Rosoy ne permet pas d'augmenter significativement le débit capable,

Nous retiendrons donc la solution de tracé initial comme étant celle de référence pour l'aménagement gravitaire à partir d'une prise d'eau en Yonne.

3.1.5 Comparaison des hydrogrammes dérivables

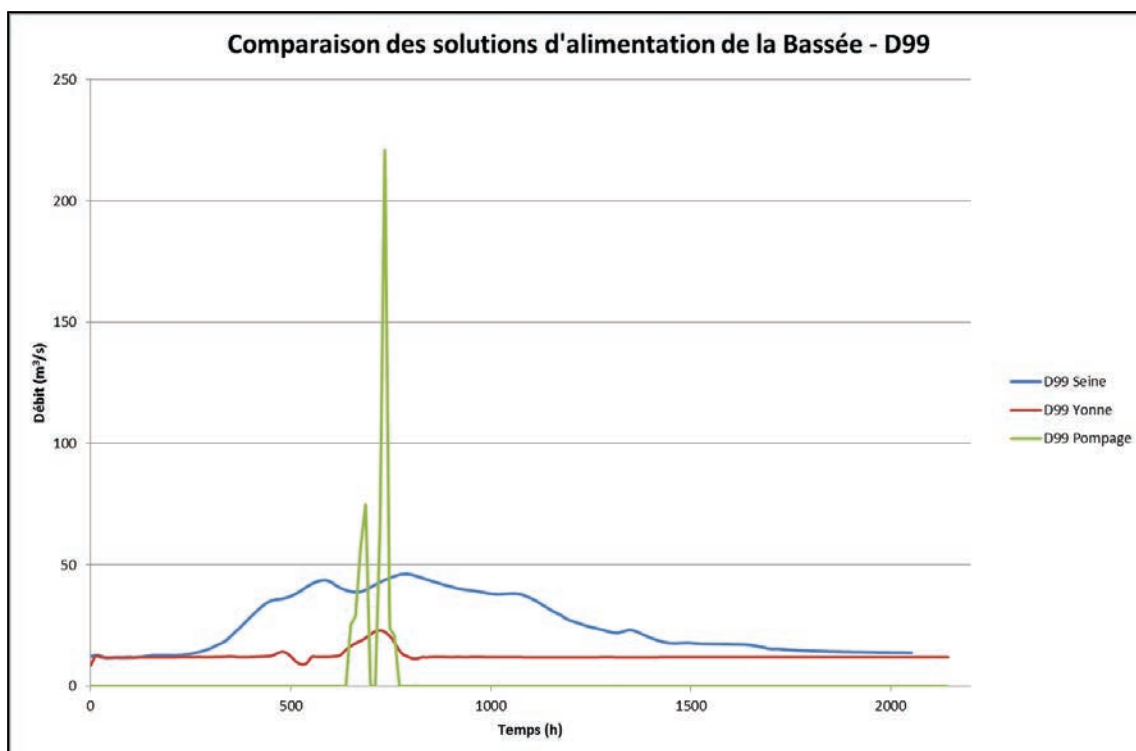
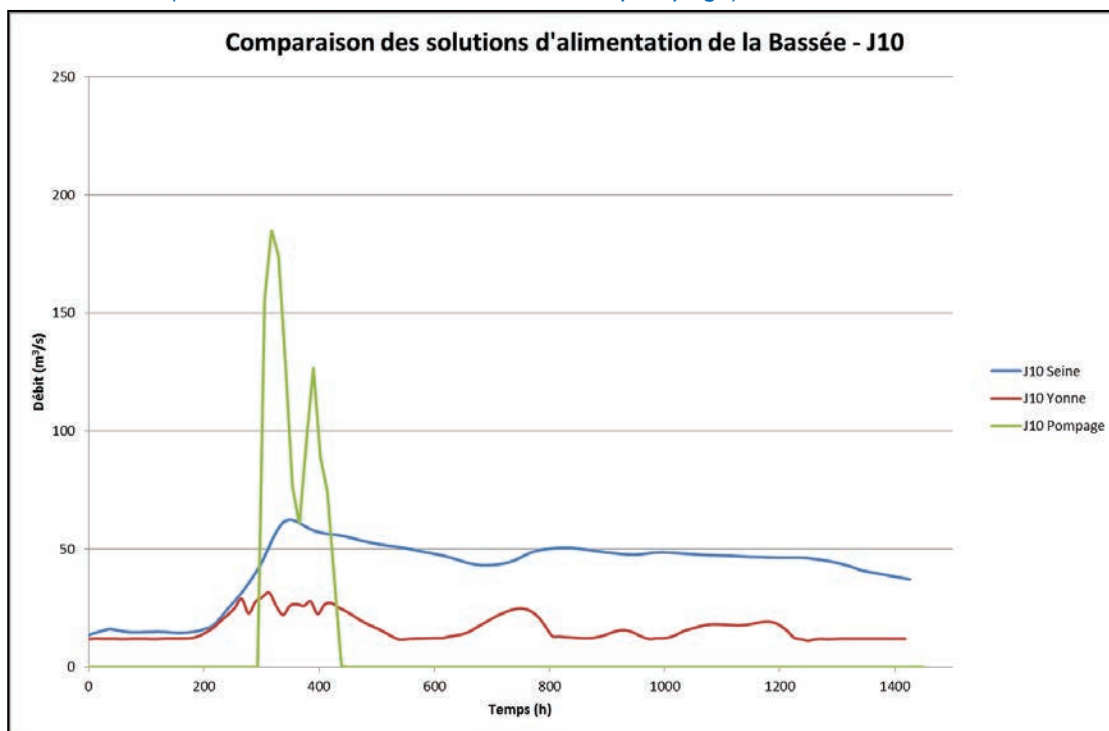
Afin de préciser les ordres de grandeurs on a reporté sur les graphes suivants les débits d'alimentation des casiers pour trois types d'aménagement :

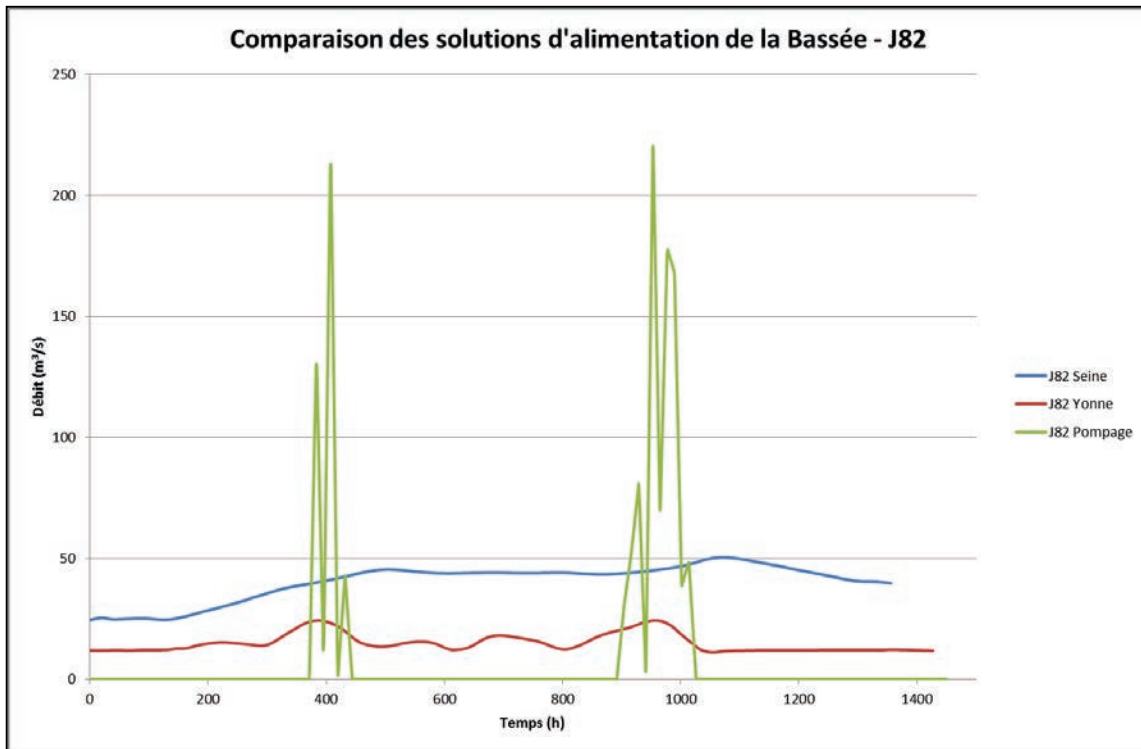
- La solution de référence par pompage,
- Le canal d'amenée Seine, avec gabarit de base,
- La conduite d'amenée Yonne.

Les débits des systèmes gravitaires ne sont à ce stade pas régulés et peuvent être considérés comme nuls en dehors des fenêtres de pompage.

Le système retenu pour l'alimentation gravitaire à partir de la Seine fournit des résultats plus intéressants que ceux fournis par le système d'alimentation à partir de l'Yonne. Ces capacités sont cependant très insuffisantes au regard des débits d'alimentation requis pour lamener la pointe de l'hydrogramme de l'Yonne.

Figure 3-15 : hydrogrammes dérivés vers les casiers de la Bassée pour différents scénarios d'alimentation (canal Seine 30 m, conduite Yonne et pompage)



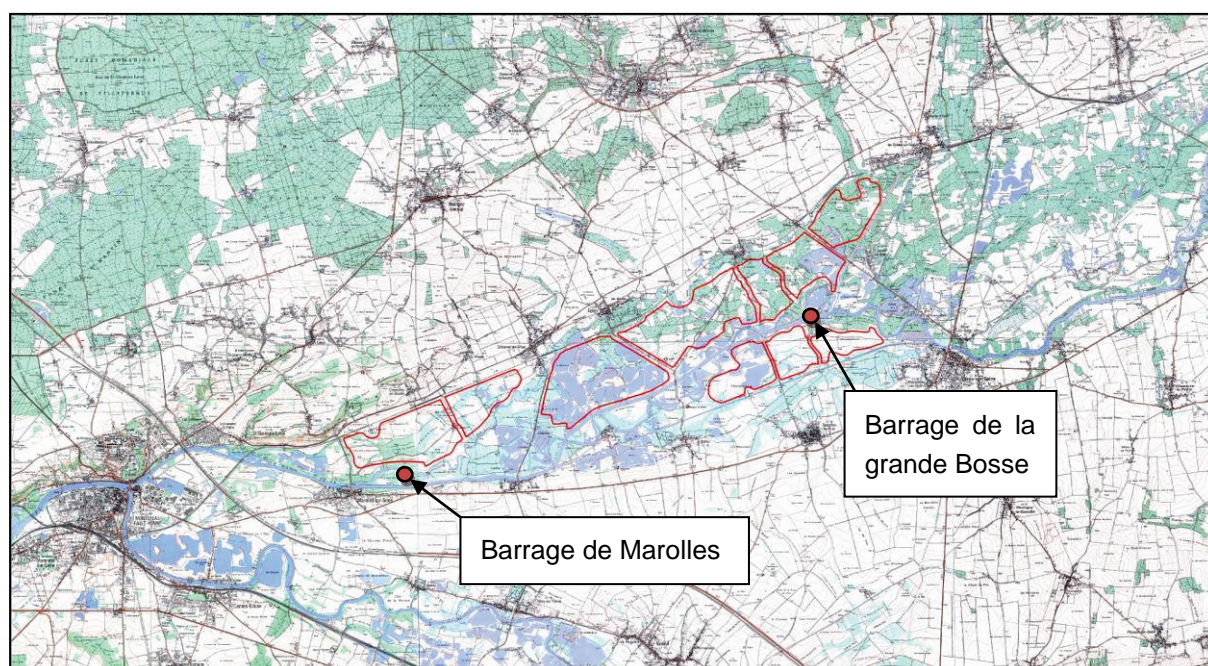


3.2 ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR RELEVEMENT DE LA LIGNE D'EAU EN SEINE

3.2.1 Hypothèses de calcul

Le relèvement de la ligne d'eau en Seine peut être envisagé par le biais d'un **ouvrage spécifique** au niveau de l'un ou l'autre des deux barrages de régulation se situant le long de la Bassée : le barrage de Marolles et le barrage de la Grande Bosse. Les barrages de navigation eux-mêmes ne sont en effet pas conçus pour relever la ligne d'eau en période de crue, mais au contraire pour s'abaisser afin de conserver un niveau constant dans les biefs qu'ils régulent.

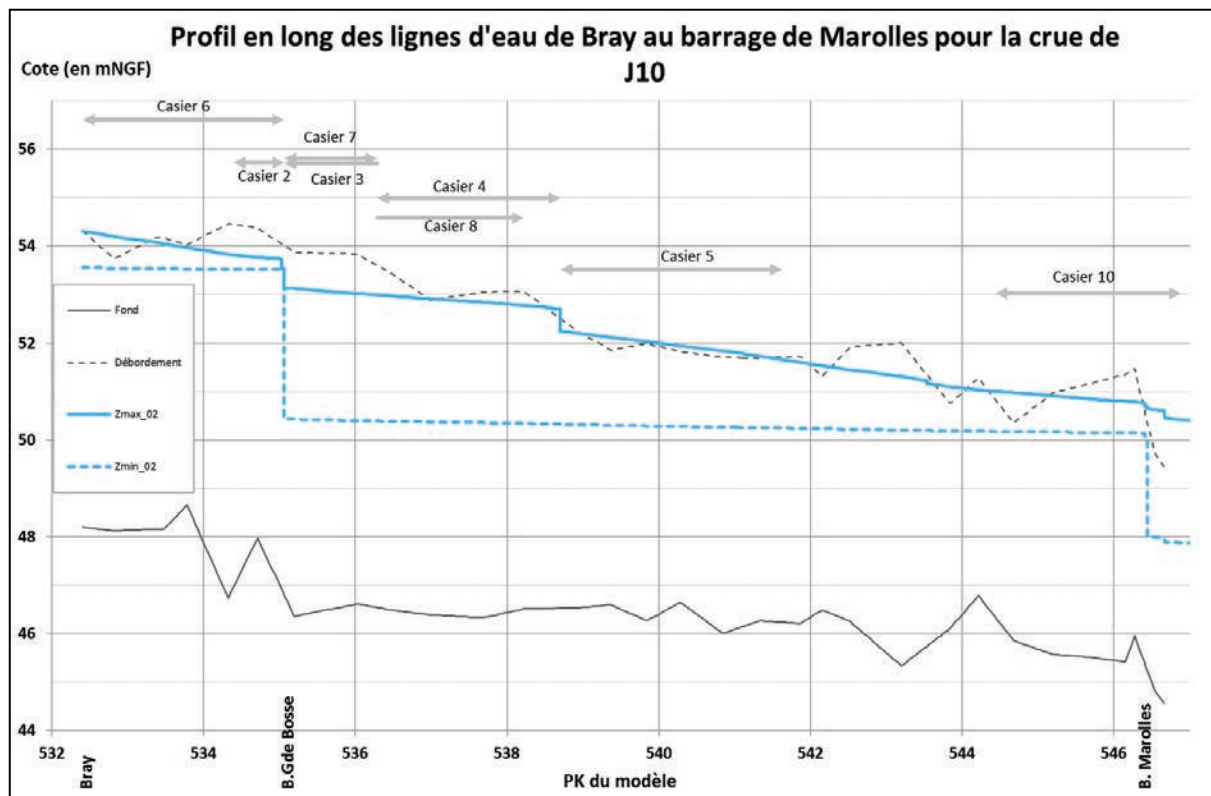
Figure 3-16 : points potentiels de relèvement de la ligne d'eau



Des ouvrages de type déversoirs ou vannes peuvent assurer l'alimentation gravitaire des casiers de la Bassée à partir d'une ligne d'eau relevée en Seine. Pour ces deux types d'ouvrages il est possible de calculer, par l'utilisation de lois simples, l'ordre de grandeur des dimensions des aménagements en lien avec la surcote fournie, pour assurer remplissage des casiers de stockage. Ce calcul doit prendre en compte à la fois le débit de pointe d'alimentation de $234 \text{ m}^3/\text{s}$ et le volume total d'alimentation de 55 Mm^3 . Cependant avant toute chose il convient de vérifier la faisabilité physique d'un relèvement de ligne en quantifiant les besoins en termes de surcotes.

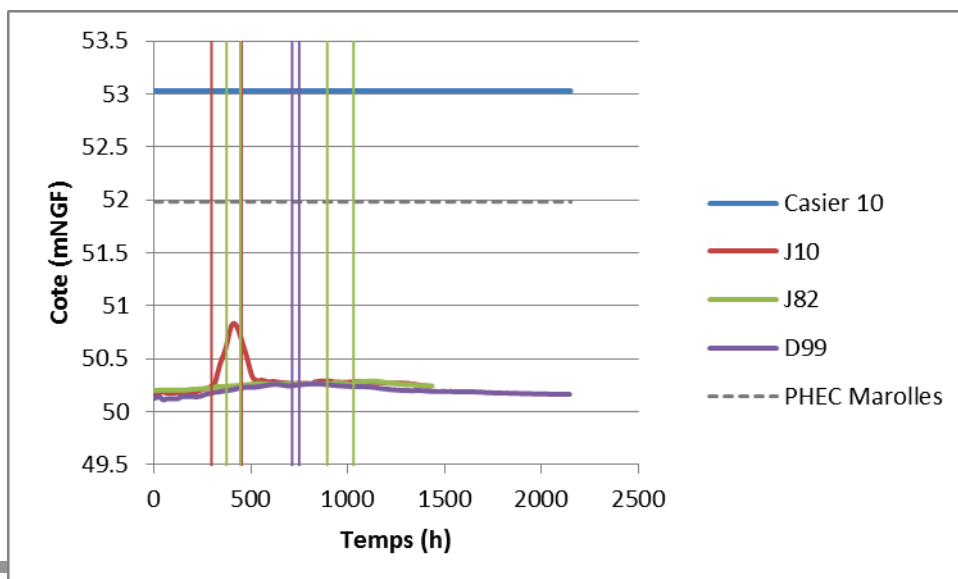
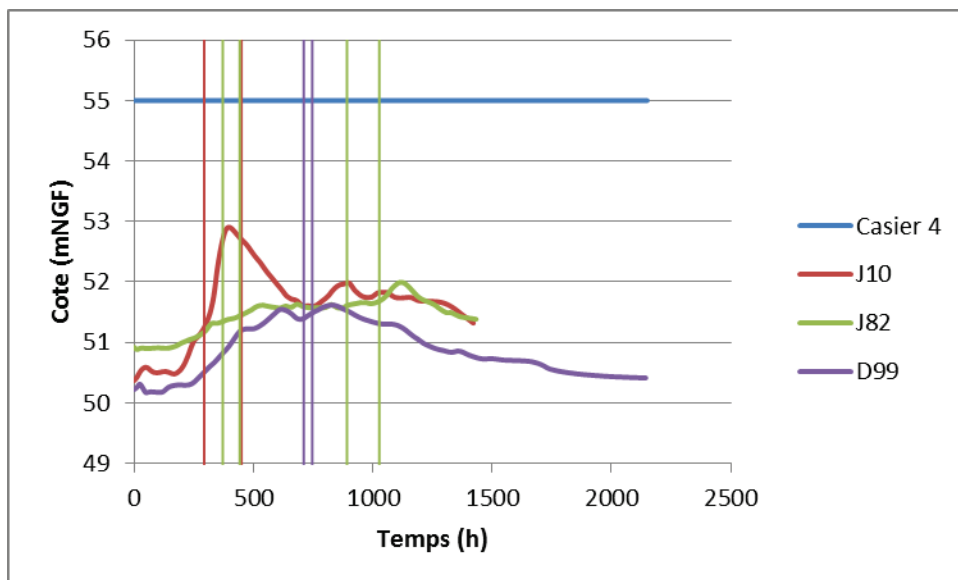
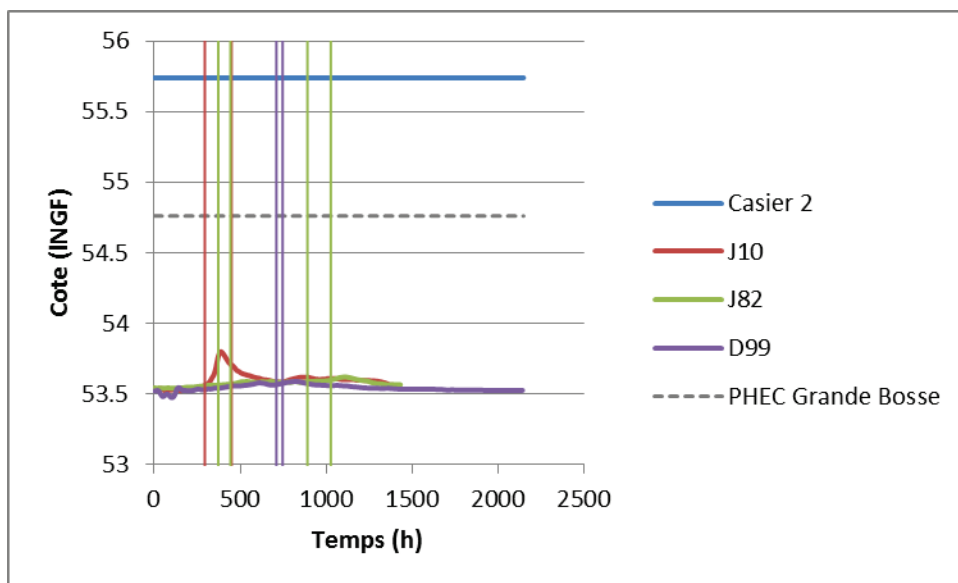
Voici les lignes d'eau maximales et minimales calculées en Seine le long de l'aménagement pour la crue de janvier 1910.

Figure 3-17 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles



Les graphiques suivants comparent les limnigrammes calculés en Seine, dans l'état actuel (c'est-à-dire avec prise en compte des lacs-réservoirs existants), pour les trois crues étudiées, au voisinage des casiers 2, 4 et 10 et les cotes maximales de remplissage de ces casiers. Les droites verticales illustrent les fenêtres de pompages pour les trois crues. Les pointillés gris indiquent les cotes locales des PHEC.

Figure 3-18 : cotes de niveaux de Seine au droit des points de dérivation



- **Rehaussement de la ligne d'eau le long du bief de Marolles :**

Il ressort des graphiques ci-dessus que les surcotes à créer doivent être conséquentes, de l'ordre de 2 m, en moyenne, pour permettre une alimentation uniquement gravitaire (non compris la revanche à prévoir, de l'ordre de +50 cm). Cette surcote dépasserait 3 m au niveau du barrage de Marolles. La surcote est de cette importance car elle devrait permettre d'alimenter le casier 4, beaucoup plus haut que le casier 10. Les rehaussements seraient assurés par des digues longitudinales aménagées le long de chaque berge sur un linéaire s'étendant entre Bray et le barrage de Marolles, et totalisant 36 km de digues au total.

Ces digues longitudinales couperaient les nombreux méandres et bras morts de l'ancien lit de la Seine, ce qui poserait de très sérieux problèmes techniques d'implantation et d'impact environnemental et paysager.

Ce scénario semble en conséquence devoir être rejeté, car soumises à trop fortes contraintes de réalisation.

- **Rehaussement de la ligne d'eau le long du bief de la Grande Bosse**

La situation est plus favorable pour le tracé : il n'existe pas de méandres et de bras morts à couper, les impacts environnementaux sont a priori moindres. Sur le plan topographique les hauteurs et les longueurs de digues à prévoir sont néanmoins similaires à celles de la solution précédente.

3.3 SURSTOCKAGE PAR IMPLANTATION D'UNE DIGUE AU NIVEAU DU BARRAGE DE MAROLLES

L'aménagement d'un sur stockage par une digue de retenue barrant la vallée de la Seine à Marolles constitue une solution nouvelle, se démarquant très nettement de l'aménagement étudié dans l'étude EGALB et des variantes d'alimentations gravitaires. En effet le concept de stockage dans des casiers fermés disparaît, il est remplacé par une inondation généralisée du lit majeur en amont de la digue.

L'analyse topographique sommaire du terrain naturel en amont de Marolles aboutit à la relation cote-volume suivante :

Z	Volume (Mm ³)
50.11	0
51	6.8
52	20
53	44
54	55

Ce tableau fournit des valeurs très approximatives mais il permet d'appréhender le niveau d'inondation nécessaire dans toute la vallée depuis l'aval du barrage de Marolles pour reproduire un volume de stockage comparable à celui de la Bassée.

A titre indicatif, voici les cotes des PHEC aux niveaux des barrages de Marolles et de la Grande Bosse :

- PHEC Marolles : 51.98 NGF

- PHEC Grande Bosse : 54.76 NGF

Un tel aménagement ne peut être écarté à priori, mais sa faisabilité est soumise à de nombreuses contraintes qu'il est nécessaire d'approfondir pour conclure à l'intérêt ou non de la poursuite de l'étude de ce projet variante de stockage. Cette analyse est présentée au chapitre 4.

3.4 RETOUR A LA SITUATION DE 1970

L'idée sous jacente est de créer un ralentissement dynamique « naturel » en sollicitant de nouveau la capacité d'étalement du lit majeur de la Seine entre Bray et Marolles en période de crue. On reviendrait ainsi à la situation de 1970, avant la mise à grand gabarit de la Seine, pour laquelle le lit mineur débordait pour des débits d'environ 150 m³/s.

On pourrait rétablir ces conditions de différentes façons :

- par comblement partiel du lit de la Seine, ce qui poserait des problèmes de navigation,
- par aménagement de points bas le long du linéaire de la Seine,
- par création d'une perte de charge ponctuelle au barrage de Marolles et/ou de la Grande Bosse, de façon à relever la ligne d'eau de crue et provoquer des débordements à partir d'un débit de crue de 150 m³/s.

Quelle que soit la solution de rétablissement retenue des aménagements sont à prévoir pour provoquer les débordements souhaités au débit de crue souhaité. Sans anticiper sur les conclusions, on peut toutefois remarquer dès à présent que cette solution aura un impact très limité car le débit de la Seine est généralement peu élevé au moment du passage de la pointe de crue de l'Yonne et les débordements seraient peu marqués, limitant ainsi l'impact du laminage de la crue par le lit majeur de la Seine.

3.5 SELECTION DES SCENARIOS ALTERNATIFS A APPROFONDIR

3.5.1 *Eléments de coûts pour les canaux d'alimentation par dérivation*

Voici une première estimation financière du coût d'investissement des ouvrages associés aux différents scénarios (hors coût de construction des casiers en eux-mêmes):

Conduite Yonne

Une première estimation du coût d'installation de ce type de conduite est de 1500€/m³ excavé, soit un total d'environ 550 M€, sans prendre en compte l'entonnement et le vannage.

Canal Seine

Le coût de cet aménagement a été décomposé en trois catégories :

- Volumes déblayés : environ 40€ du m³, soit 62 M€,
- Entonnement et vannage : environ 30 M€,
- Franchissement : environ 2800€/m², soit 36 M€,

Soit un total de 130 M€

Voici le détail des franchissements pris en compte.

Intitulé	Type	Largeur (m)
D619	Départementale	20
Rue de Beaulien	Communale	15
Rue de la gare	Communale	15
D18A	Départementale	20
Rue du vieux moulin	Communale	15
Chemin des marinières	Communale	15
Chemin de la Boisse au Barde	Communale	15
Rue des Grèves	Communale	15
D49	Départementale	20
Rue du château d'eau	Communale	15
D1	Départementale	20
Route des Saudrielles	Communale	15
D412	Départementale	20
Route de Saint-Sauveur	Communale	15
Canal de l'Orme	Canal de navigation	50

Le tablier du pont a une surface prise égale à la largeur de la route franchissante multipliée par la largeur du canal majorée de 15 m.

Canal Seine 100 m

Le coût de cet aménagement a aussi été décomposé en trois catégories :

- Volumes déblayés : 243 M€,
- Entonnement et vannage : 90 M€,
- Franchissement : 92 M€,

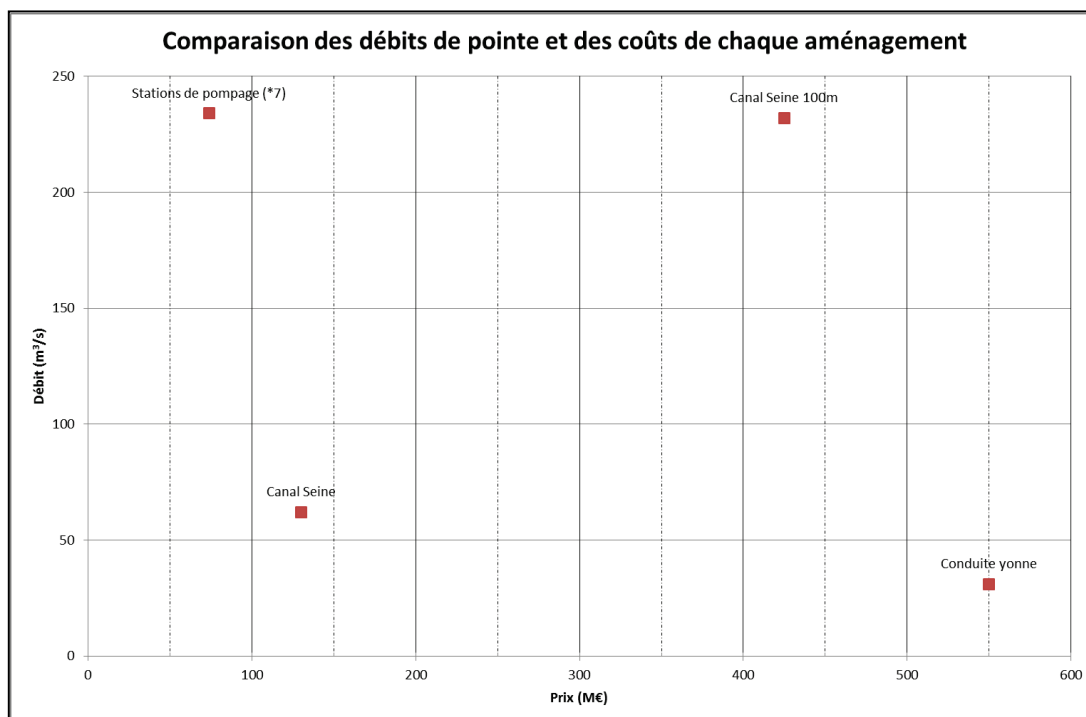
Soit un total de 425 M€

Stations de pompage

A titre comparatif, le coût estimé pour le système de pompage est de 74 M€, soit 10,6 M€/station.

Le graphique ci-dessous présente pour ces quatre systèmes la relation coût/débit capable.

Figure 3-19 : coûts des différents aménagements vs débit de pointe dérivable



3.5.2 Tableau comparatif des scénarios

Le tableau page suivante présente une première comparaison des scénarios. Ce balayage nous conduit à abandonner dès ce stade les scénarios suivants :

- La canalisation d'amenée « Yonne » en raison de son coût et des gains très faibles attendus,
- Les aménagements basés sur le relèvement des lignes d'eau de la Seine, en amont du barrage de Marolles en raison des très contraintes environnementales engendrées par ce scénario.

Les scénarios alternatifs que l'on se propose d'approfondir sont au nombre de cinq :

- La dérivation gravitaire par un canal « Seine » de largeur au miroir égale à 30m : ce scénario, bien qu'intéressant sur le plan financier présente des faiblesses en termes d'efficacité, qu'il convient toutefois d'évaluer plus précisément.
- La dérivation gravitaire par un canal « Seine » de largeur au miroir égale à 100m : ce scénario, plus intéressant pour les performances attendues, présentent néanmoins de fortes contraintes environnementales et son coût est nettement plus onéreux que la solution par pompage.
- L'endiguement de la Seine en amont du barrage de la Grande Bosse lié au relèvement de la ligne d'eau par un ouvrage spécifique.
- L'aménagement de sur stockage par une digue de retenue barrant la vallée de la Seine à Marolles constitue une option à ne pas écarter a priori mais qui soulève des interrogations multiples formulées plus précisément au chapitre 4 ci après.

- Le retour à la situation de 1970

Figure 3-20 : tableau de pré comparaison des scénarios

Nom du scénario	Contraintes			Performances	Commentaires
	Techniques	Environnementales	Financières		
Canal Seine 30m	-		-	60 m ³ /s	Scénario conservé
Canal Seine court	-	très fortes	-	-	Scénario non retenu pour des raisons environnementales (passage dans la réserve naturelle de la Bassée)
Canal Seine 100m	fortes	fortes	fortes	240 m ³ /s	Scénario conservé
Conduite Yonne	-	-	coût élevé	30 m ³ /s	Scénario écarté au regard de son rapport efficacité/coût
Relèvement de la ligne d'eau à Marolles	fortes	très fortes	-	-	Scénario non retenu
Relèvement de la ligne d'eau à Grande Bosse	fortes	-	-	-	scénario conservé
Barrage en rivière à Marolles	fortes	très fortes	-	-	Scénario non retenu
Digue de Marolles	-	-	-	240 m ³ /s	Scénario conservé
retour à la situation de 1970	-	-	-	-	Scénario conservé

?

4 APPROFONDISSEMENT DES SCENARIOS ALTERNATIFS RETENUS

4.1 ALIMENTATION GRAVITAIRE PAR UN CANAL D'AMENEE SUR LA SEINE

4.1.1 Hypothèses de calcul

L'étude hydraulique des solutions alternatives concerne les canaux de la Seine de 30 m et 100 m de largeur au miroir.

L'objet de cette analyse technique est d'étudier :

- L'impact fourni par les aménagements localement et l'efficacité le long de la Seine jusqu'à Paris,
- Le fonctionnement hydraulique des ouvrages,
- La compatibilité des aménagements avec le mode de régulation nécessaire à l'efficacité de l'ouvrage de la Bassée,
- Le remplissage des casiers,

Tout en prenant en compte les aspects suivants jusqu'ici omis :

- La régulation des ouvrages d'alimentation selon le mode de gestion établi lors de l'étude sur les systèmes de pompage,
- La dynamique de remplissage des casiers en aval des aménagements,
- La répartition et les transferts de flux entre les casiers (systèmes de vannage et siphons).

Canal 30m

La régulation se fait en tête de canal par le biais d'un système de vannage constitué de deux vannes de 3 m de haut sur 7 m de large. Ce système de vannage est régulé en fonction de la cote consigne à Montereau et de la cote maximale à Marolles. Le système de vidange des casiers et sa régulation est identique à celui présenté dans le rapport sur l'étude de gestion (phase 2.3) avec système de pompage.

L'alimentation du système étant gravitaire et se faisant en tête de la zone de stockage par l'intermédiaire du casier 1, il est nécessaire de connecter les casiers les uns avec les autres pour permettre le remplissage de toute la zone.

Les débits d'apports n'étant pas suffisants pour remplir l'ensemble de la zone de stockage, seuls les casiers 1 à 5 ont été connectés, ce qui représente un volume de stockage de 33 M. de m³. Les systèmes de vannages entre casiers sont tous constitués de 3 vannes de 7 m de largeur sur 3 m de hauteur. Ces vannes sont par défaut grandes ouvertes. Le remplissage se fait donc en premier lieu dans les casiers aval les plus bas. Afin de permettre ensuite le remplissage des casiers amont, les vannes inter-casiers se ferment lorsque le casier aval est entièrement rempli.

Canal 100m

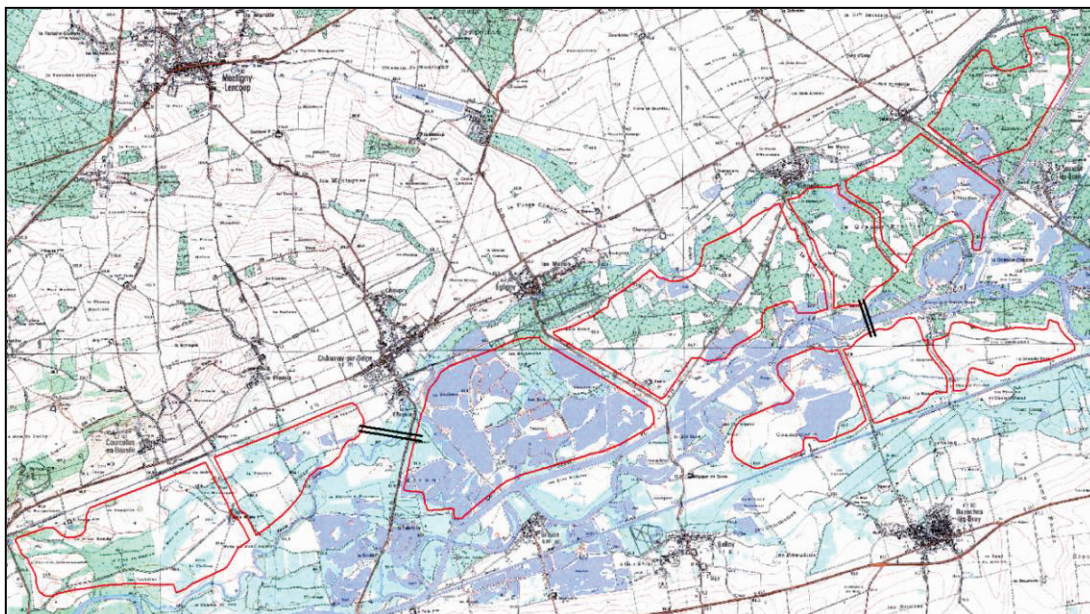
Le principe général du canal de largeur 100 m est le même que celui du 30 m. Toutefois, le système de vannage en tête de canal possède une section de passage égale à celle du canal. De plus, deux systèmes de siphons assurent l'alimentation des groupes de casiers 6-7-8 et 9-10. A

l'intérieur de ces deux groupes de casiers, les vannes de connexion sont semblables et pilotées selon les mêmes règles que celles mises en places entre les casiers 1 à 5.

Les deux groupes de siphons sont chacun constitués de deux siphons de 5 m de diamètre en parallèle. Le premier groupe de siphons connecte les casiers 3 et 7 sur une longueur de 400 m. Le second groupe de siphons connecte les casiers 5 et 9 sur une longueur de 900 m.

La figure suivante illustre le positionnement de ces siphons :

Figure 4-1 : implantation des siphons de connexion entre les casiers



Le dimensionnement de ces siphons est calculé de manière à autoriser le passage du débit maximal pompé par les stations de pompage jusqu'au groupe de casiers, tout en respectant les contraintes techniques suivantes :

- Le diamètre maximal des siphons est de 5 m,
- Les vitesses maximales admises dans les siphons est de 1.5 m/s,
- La perte de charge induite par un siphon est inférieure à 50 cm.

4.1.2 Résultats des simulations

Les résultats des modélisations hydrauliques pour ces deux canaux sont présentés ci-après et confrontés à ceux de l'étude de la Bassée avec pompage.

4.1.2.1 Le canal d'alimentation

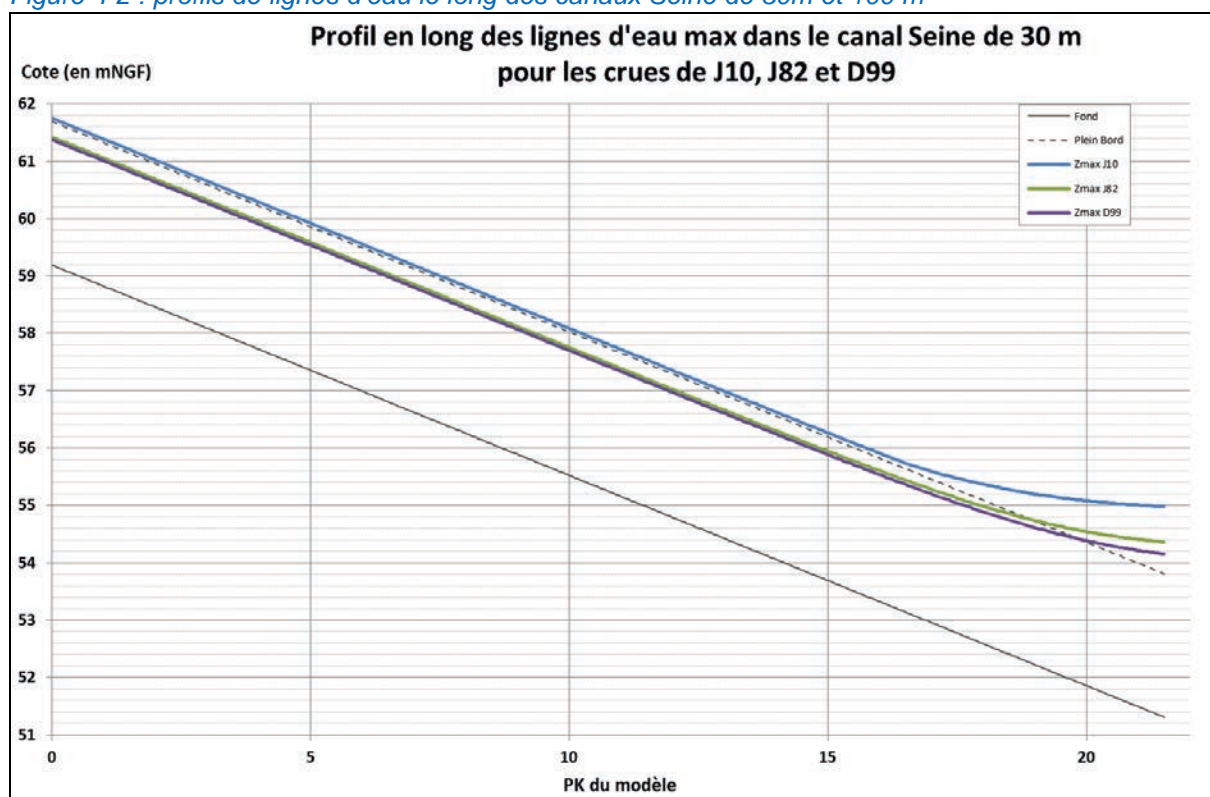
Voici les débits maximaux observés pour les différents scénarios dans les canaux :

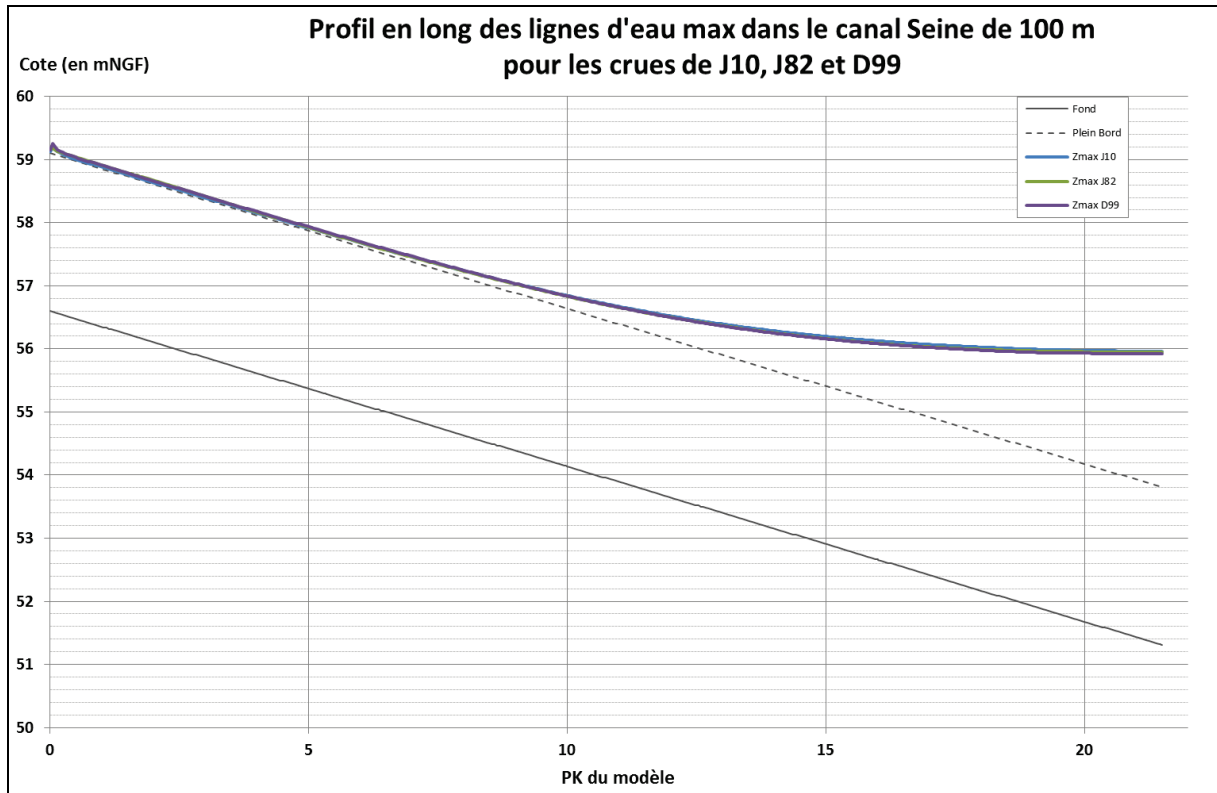
	Crue de Janvier 1910		Crue de Janvier 1982		Crue de Décembre 1999	
	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100
Débit max (m ³ /s)	62	235	47	241	57	241

Les débits fournis par ces tests sont en accord avec ceux obtenus au chapitre 3. Cependant les débits obtenus pour les crues de Janvier 1982 et Décembre 1999 pour le canal de 100 m de largeur sont sensiblement plus importants. Une meilleure description du phénomène de remplissage des casiers à l'aval du canal justifie cet écart.

Les profils en longs suivants montrent les hauteurs d'eau maximales constatées pour les trois crues d'étude et les deux canaux envisagés.

Figure 4-2 : profils de lignes d'eau le long des canaux Seine de 30m et 100 m





Ces graphiques témoignent d'une bonne optimisation du système et met en évidence la nécessité de la mise en place de revanches à l'aval des canaux (en particulier du canal de largeur 100 m) afin d'empêcher les débordements en amont immédiat des casiers (les revanches à prévoir varient de 0.2 à 2.0m le long d'un linéaire de 7km).

4.1.2.2 Le remplissage des casiers

L'analyse du remplissage des casiers considère à la fois les hauteurs d'eau dans chacun des casiers, ainsi que le fonctionnement des ouvrages connectant les casiers (vannes et siphons).

Casiers

Le tableau ci-dessous fournit le détail des volumes maximaux de remplissage de chacun des casiers pour les trois crues étudiées et les deux scénarios d'aménagement.

	Volume crue de Janvier 1910		Volume crue de Janvier 1982		Volume crue de Décembre 1999	
	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100
Casier 1	1.3	3.0	0.7	3.0	0.7	3.1
Casier 2	2.0	3.7	1.6	3.6	1.4	3.6
Casier 3	1.7	2.3	1.1	2.2	0.2	2.2
Casier 4	9.4	10.9	6.9	10.9	5.2	10.9
Casier 5	12.4	12.1	12.1	12.0	11.0	12.1
Casier 6	0.0	1.5	0.0	1.3	0.0	1.4
Casier 7	0	2.8	0	2.6	0.	2.6
Casier 8	0	3.4	0	3.4	0.	3.4
Casier 9	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0
Casier 10	0.0	7.5	0.0	7.5	0.0	7.5
Total casiers	26.6	49	22.6	47	18.2	48

Globalement le système de casier de la Bassée est rempli de moitié avec le canal de 30 m de largeur et quasi-totalement avec le canal de 100 m de largeur.

Remarque :

Les casiers ne sont pas complètement remplis, en particulier :

- Les casiers 2 et 3 : le remplissage se faisant de l'aval vers l'amont, les casiers 2 et 3 sont remplis en dernier.
- Les casiers 6 et 7 pour le canal 100 m: ils sont alimentés par le siphon en provenance du casier 3 ce qui rend impossible leur remplissage total par manque de charge disponible.

Vannes

Pour les deux scénarios d'aménagement, le système de vannage le plus sollicité est celui reliant les casiers 1 et 2.

Voici les débits maximaux et vitesses maximales mises en jeu dans ces systèmes.

	Crue de Janvier 1910		Crue de Janvier 1982		Crue de Décembre 1999	
	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100	Canal 30	Canal 100
Débit (m ³ /s)	63	156	46	156	45	152
Vitesse (m/s)	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7

Les vitesses au travers des systèmes de vannage sont assez faibles et ne posent pas de problèmes techniques. Néanmoins cette alternative fait déboucher le canal dans le casier 1, qui est une zone tourbeuse très sensible à l'érosion et à la sédimentation et qui est remplie de manière indirecte dans l'aménagement prévu par pompage (idem pour le casier 3, sol alluvial fragile qui doit être rempli préférentiellement de manière indirecte).

Siphons

Afin d'évaluer le fonctionnement des siphons, les vitesses maximales et pertes de charge maximales sont présentées ici pour chacune des crues étudiées.

	Crue de Janvier 1910		Crue de Janvier 1982		Crue de Décembre 1999	
	C3-C7	C5-C9	C3-C7	C5-C9	C3-C7	C5-C9
Vitesse max en siphon (m/s)	0.9	1.3	0.8	1.0	0.8	1.0

	Crue de Janvier 1910		Crue de Janvier 1982		Crue de Décembre 1999	
	C3-C7	C5-C9	C3-C7	C5-C9	C3-C7	C5-C9
Pertes de charge max (m)	0.21	0.51	0.18	0.36	0.17	0.35

Les vitesses constatées dans les siphons sont inférieures à 1.5 m/s et les pertes de charges provoquées par les siphons sont au maximum égales à 51 cm. Les deux systèmes de siphons respectent donc bien les contraintes de fonctionnement sur les vitesses et les pertes de charge maximales.

4.1.2.3

4.1.2.4 Analyse des gains

Les gains résultants des scénarios des différents aménagements sont comparés de Montereau à Paris par la présentation des limnigrammes et hydrogrammes en ces deux points pour les différentes crues d'étude. Les résultats obtenus pour le scénario de référence par pompage sont aussi représentés sur ces graphiques.

Figure 4-3 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue J10

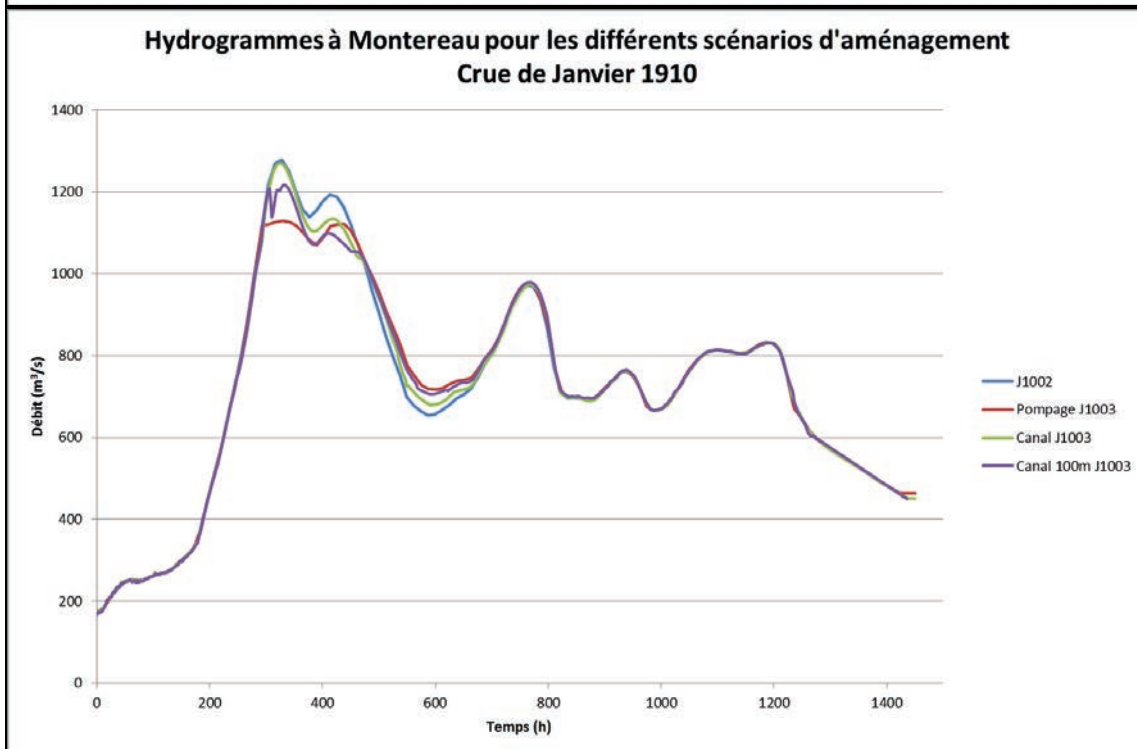
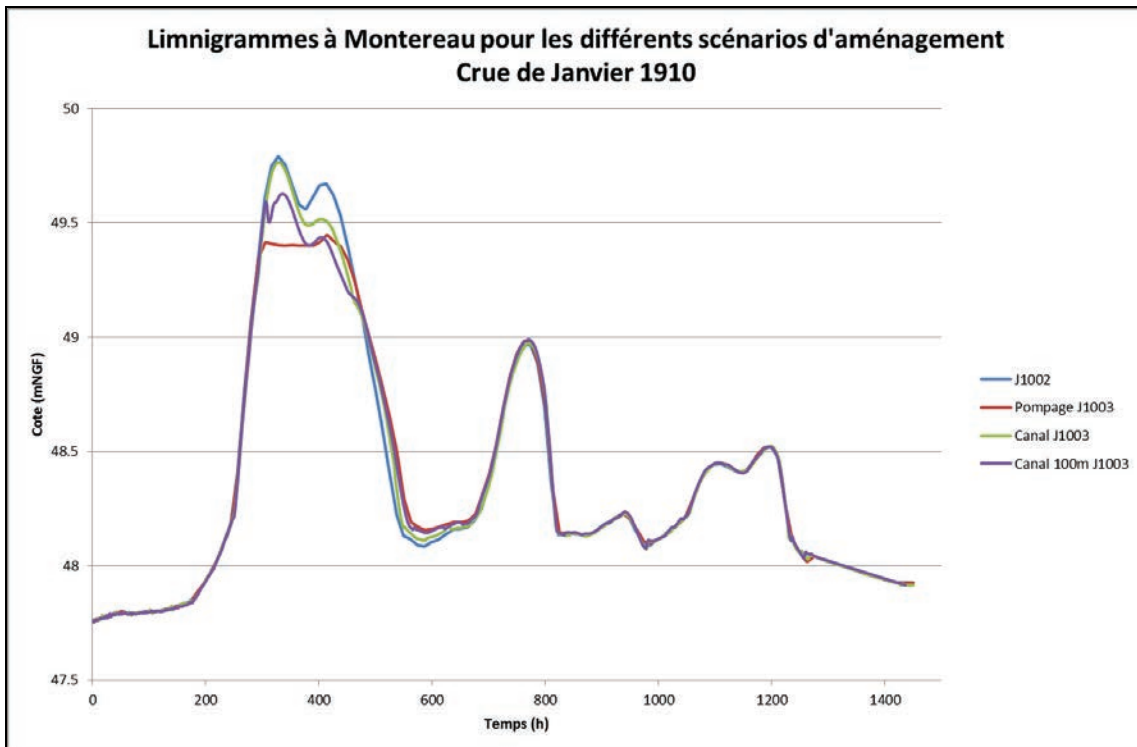


Figure 4-4 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue J10

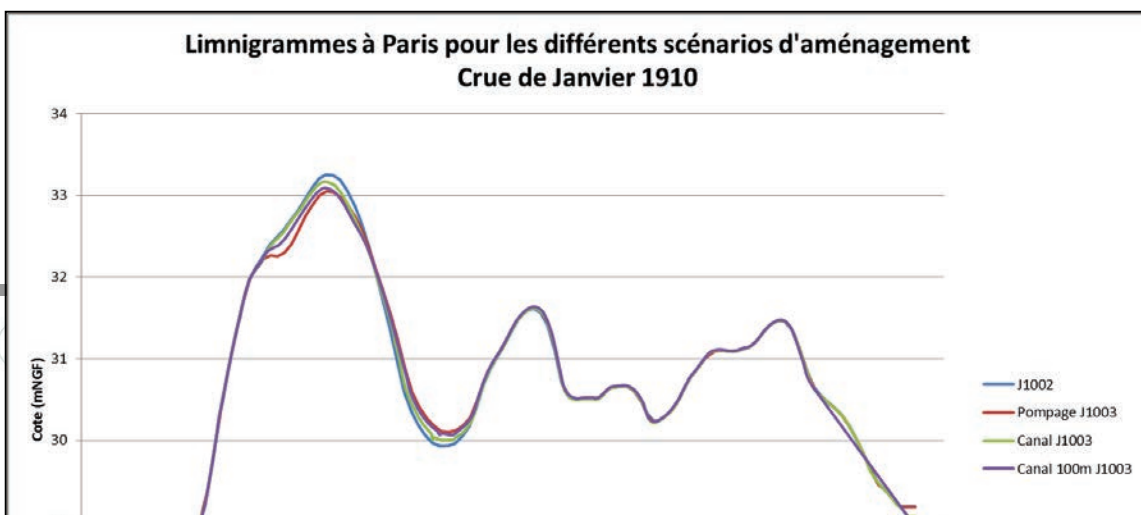


Figure 4-5 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue J82

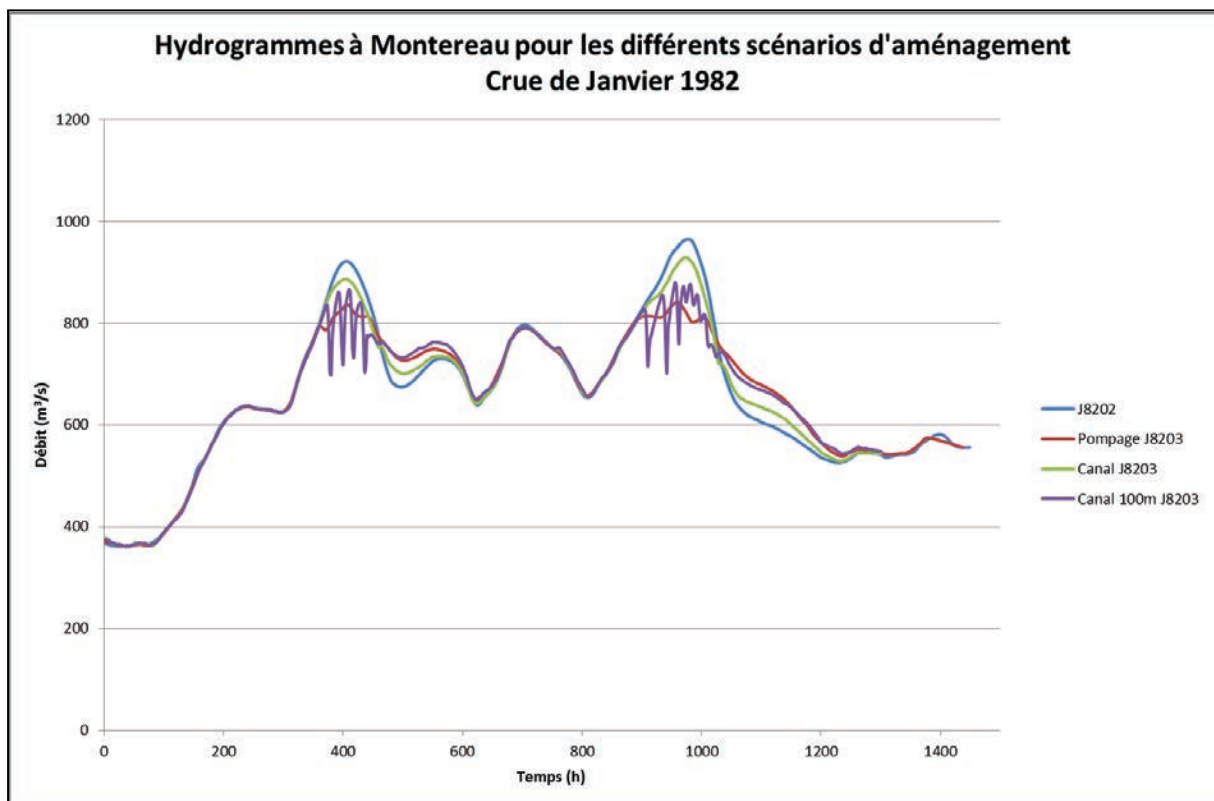
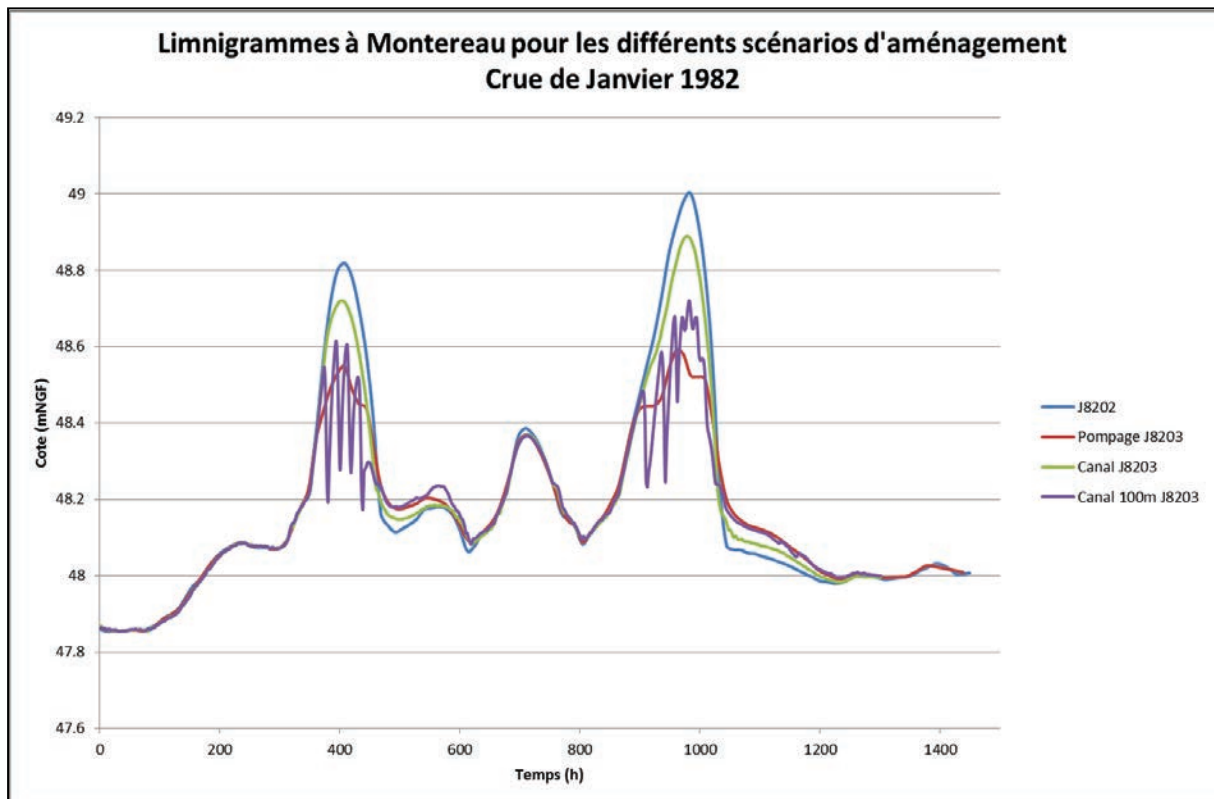


Figure 4-6 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue J82

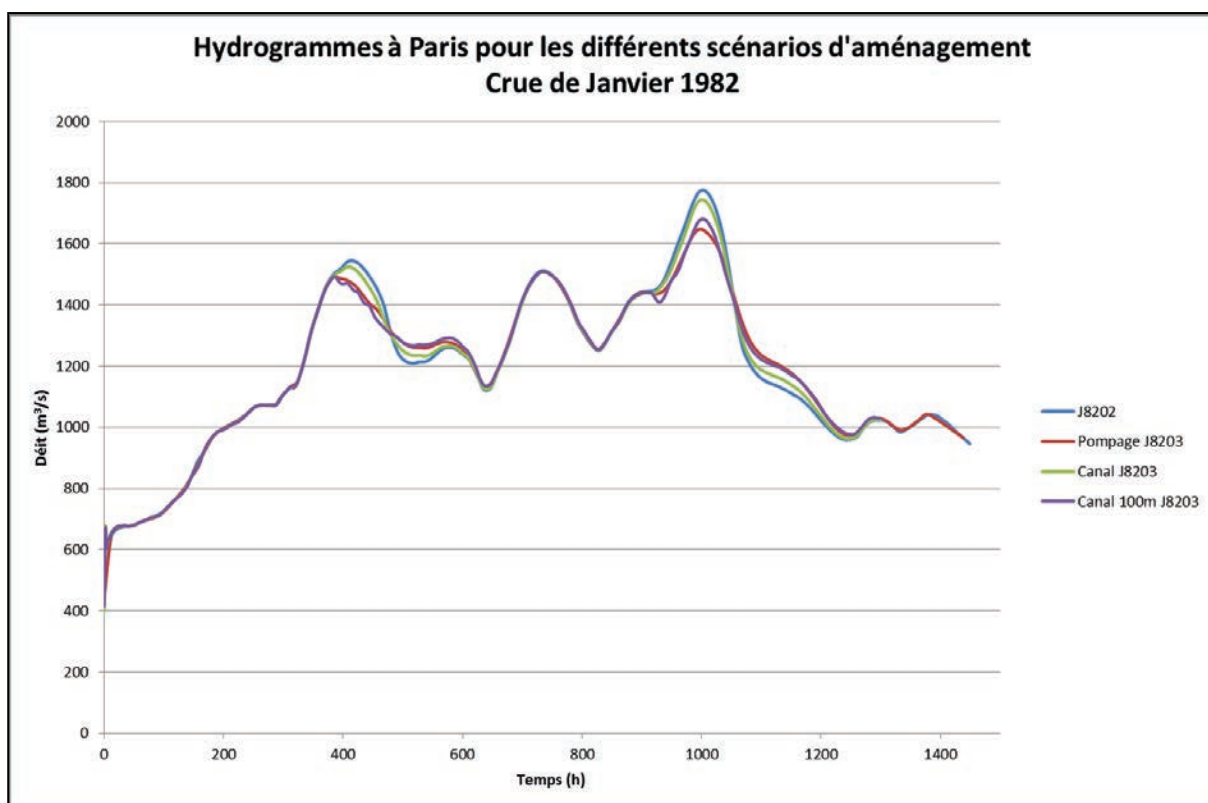
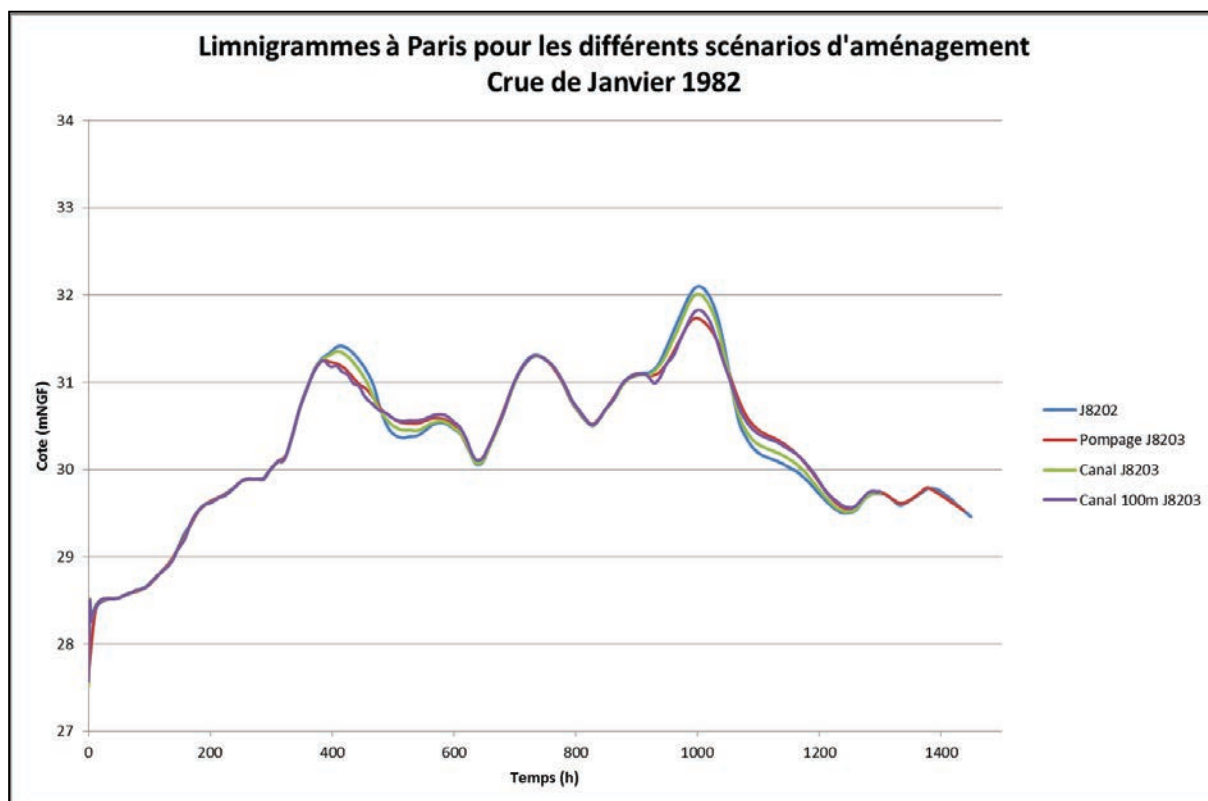


Figure 4-7 : hydrogrammes et limnigrammes à Montereau pour la crue D99

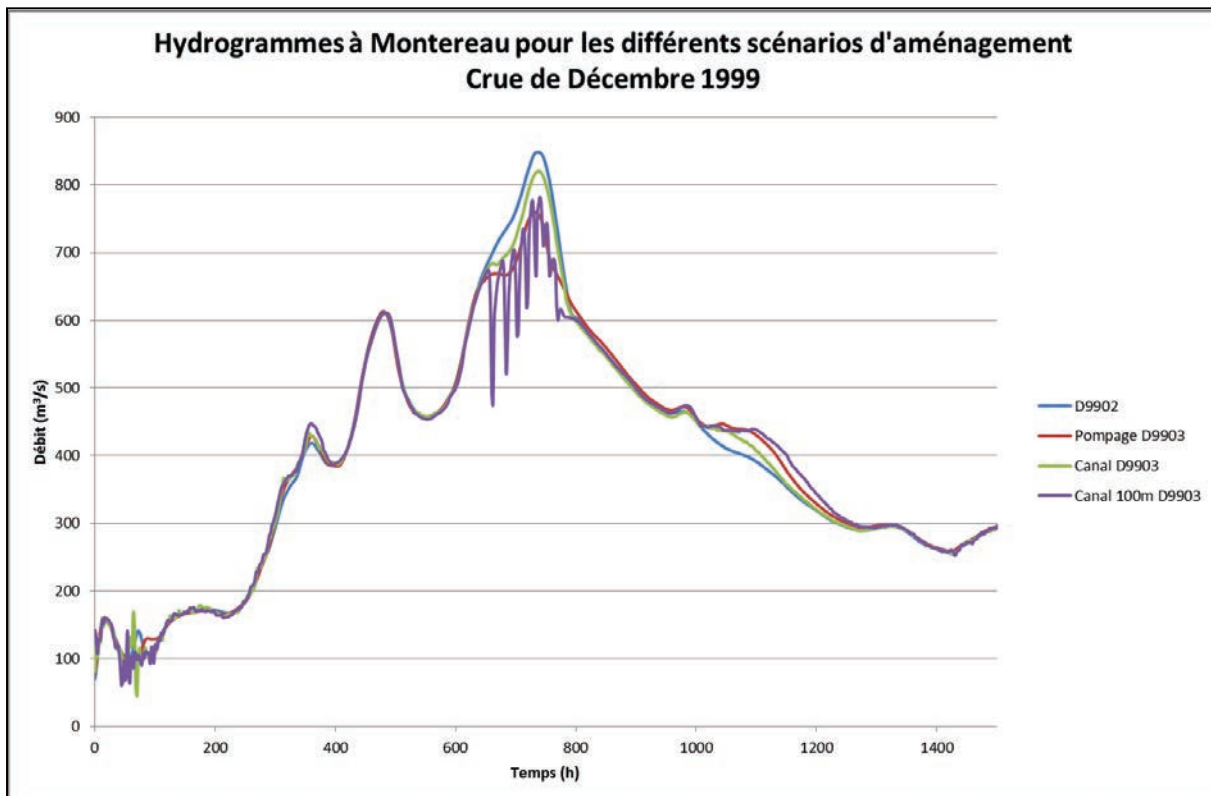
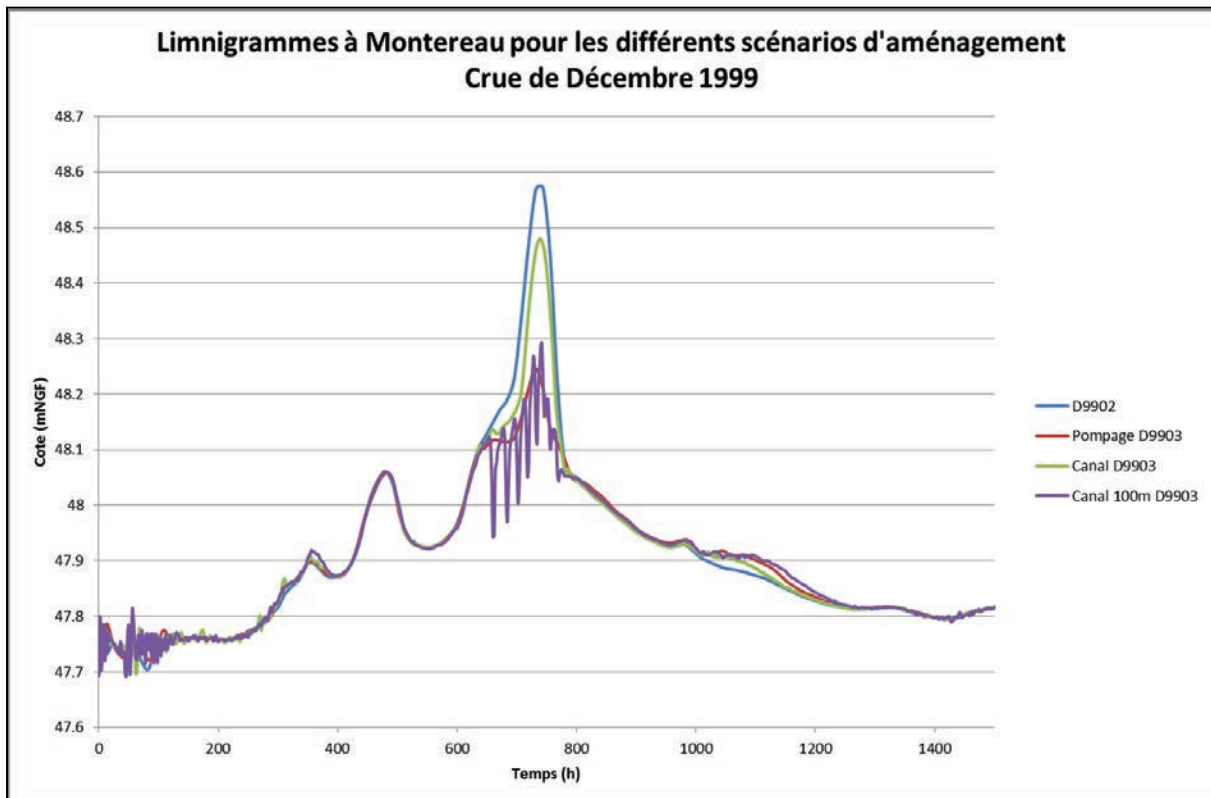
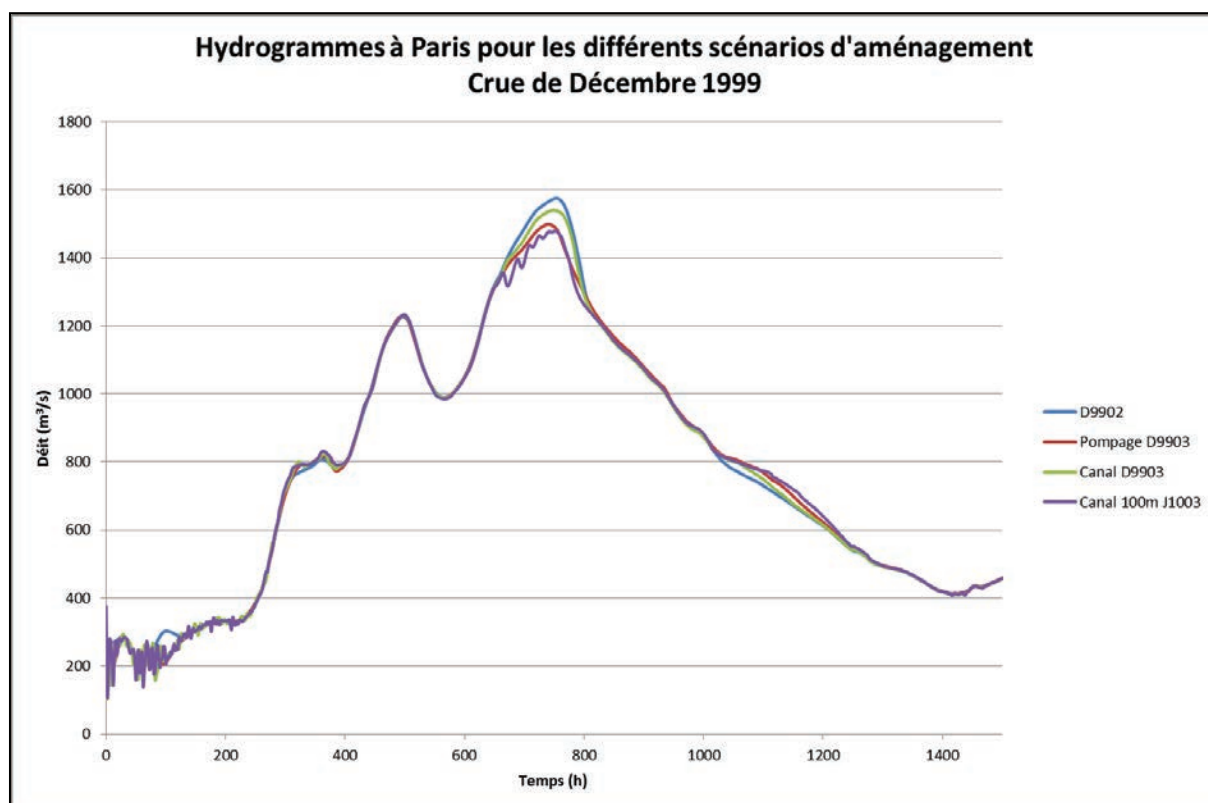
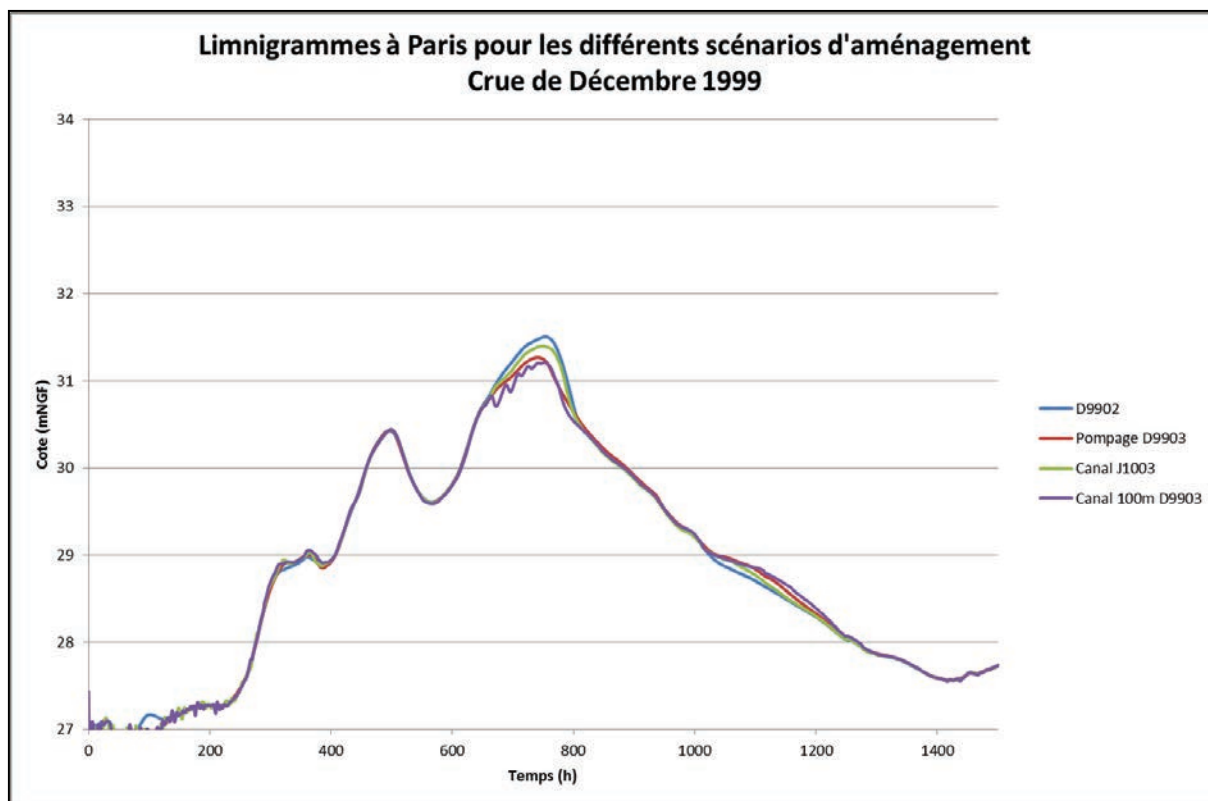


Figure 4-8 : hydrogrammes et limnigrammes à Paris pour la crue D99



Le tableau suivant récapitule les gains à Montereau et Paris apportés par les scénarios gravitaires et par pompage.

	Crue de Janvier 1910		Crue de Janvier 1982		Crue de Décembre 1999	
	Montereau	Paris	Montereau	Paris	Montereau	Paris
Gain en cote (m) Pompage	0.34	0.20	0.41	0.35	0.32	0.24
Gain en cote (m) Canal 30 m	0.03	0.08	0.11	0.07	0.09	0.11
Gain en cote (m) Canal 100 m	0.16	0.16	0.28	0.26	0.28	0.30

Les gains produits par le canal de 30 m de largeur sont de l'ordre de 10 cm à Montereau comme à Paris.

Les gains produits par le canal de 100 m de largeur sont comparables à Montereau et Paris. Ils sont conséquents mais restent légèrement inférieurs à ceux engendrés par les stations de pompage, en particulier à Montereau.

L'observation des hydrogrammes et limnigrammes à Montereau témoignent de difficultés de régulation pour le canal de 100 m de largeur, qui a pour conséquence de réduire le gain potentiel du système à Montereau.

En effet, la régulation par le canal Seine est techniquement rendue complexe par le temps de propagation et donc de réponse du système qui est long et très variable. Tout d'abord, 54 km séparent le point de prélèvement au point de consigne à Montereau. L'onde de crue a par ailleurs une vitesse très variable pour parcourir ces 54 km car cette vitesse dépend de l'état de débordement de la Seine. Voici à titre d'exemples les vitesses de propagation constatées pour les pics de trois crues du 20^{ème} siècle :

Crue	Temps (h)
Janvier 1910	77 h
Janvier 1982	55 h
Janvier 1995	27 h

Il est dans ce contexte extrêmement délicat de réaliser une régulation effective du système dans un contexte d'horizon de prévision météorologique incertain. Les temps de propagation ci-dessus nécessitent en effet un rallongement du délai de prévision de 1 à 3 jours, couplé à une estimation précise du temps de propagation de la crue. Or l'étude d'optimisation de 2011 a révélé que le système de prévision ne pouvait pas se permettre un jour supplémentaire de prévision car ceci dégradait largement l'efficacité globale du système.

La solution d'alimentation gravitaire par un canal de dérivation sur la Seine apparait donc peu compatible avec les exigences de régulation en horizon de prévision incertain, c'est à dire tel qu'il se présente en pratique.

4.2 IMPLANTATION D'UNE DIGUE EN AVAL DU BARRAGE DE MAROLLES

Il n'est pas prévu dans la présente étude de procéder à une analyse hydraulique détaillée de ce scénario, mais d'en définir les contours et les implications à un niveau suffisant pour permettre à l'EPTB de décider ou non de la poursuite de la réflexion. L'efficacité hydraulique de cet aménagement serait cependant comparable au projet présenté au débat.

On examine tout d'abord une solution de tracé envisageable pour la digue de retenue et les digues en retour, et on fait ensuite l'inventaire des implications de cette solution vis-à-vis de différents critères.

4.2.1 Tracés des digues

Une solution de tracé possible est dessinée sur la carte page suivante. On reproduit ci-dessous le profil en long des cotes pertinentes pour ce scénario :

- Le graphe 4.9 montre le niveau d'eau statique nécessaire pour contenir un volume de 55 m^3 .
- Le graphe 4.10 montre le niveau de rehaussement à prévoir pour assurer un stockage de 55 Mm^3 et dans le même temps contrôler un débit d'écoulement de la Seine de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (ce débit correspond à une crue de période de retour centennale mais dans les faits, il faudrait dimensionner le déversoir de sécurité pour des crues bien plus importantes. Pour exemple, l'Entente Oise-Aisne a dimensionné le déversoir de sécurité de Proisy pour une crue 5000 ans.) la différence de niveau entre les deux graphes est dû à la charge hydraulique au dessus d'un seuil de sécurité qui serait implanté en lit majeur, pour deux largeurs de déversoirs : 60m et 160m.

Figure 4-9 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles – niveau statique de la retenue

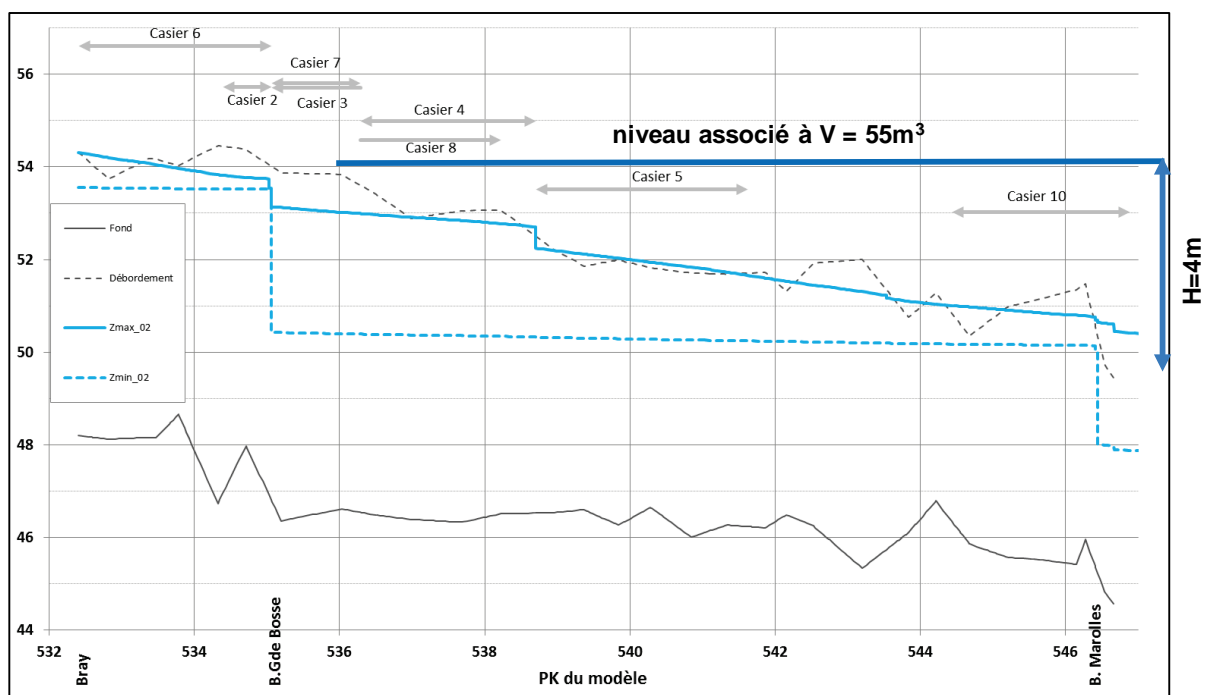
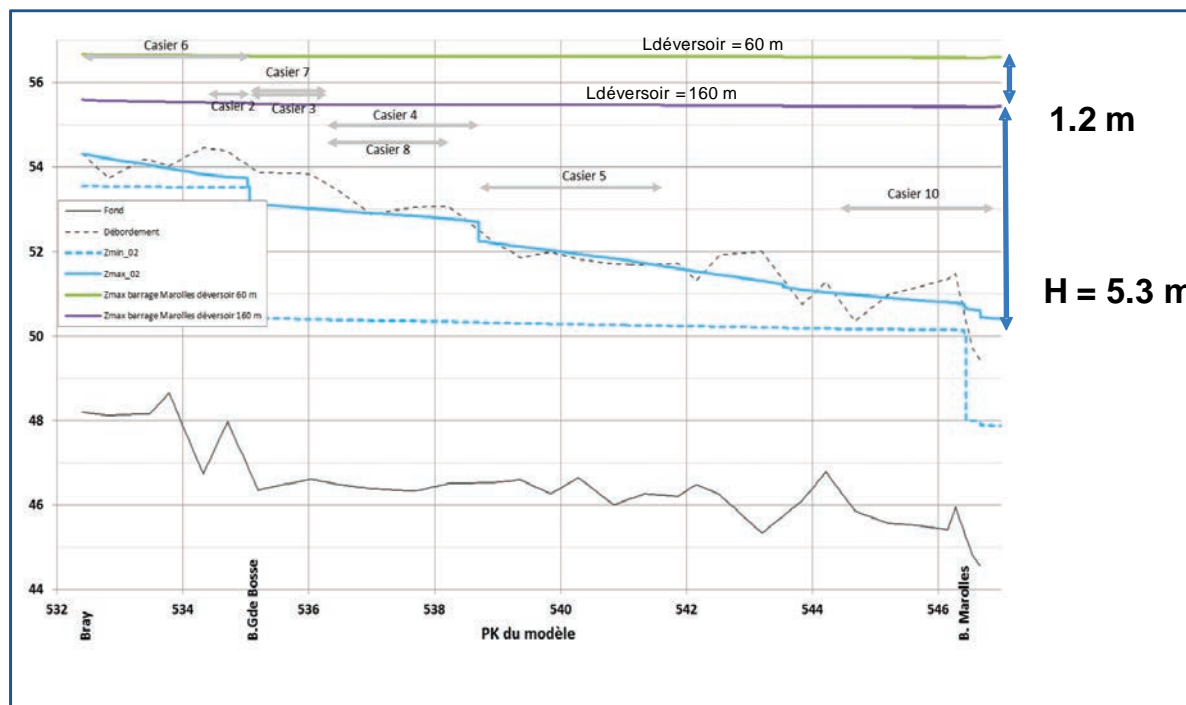


Figure 4-10 : profils en long de la Seine entre Bray et Marolles – niveau intégrant les surcotes des ouvrages de sécurité



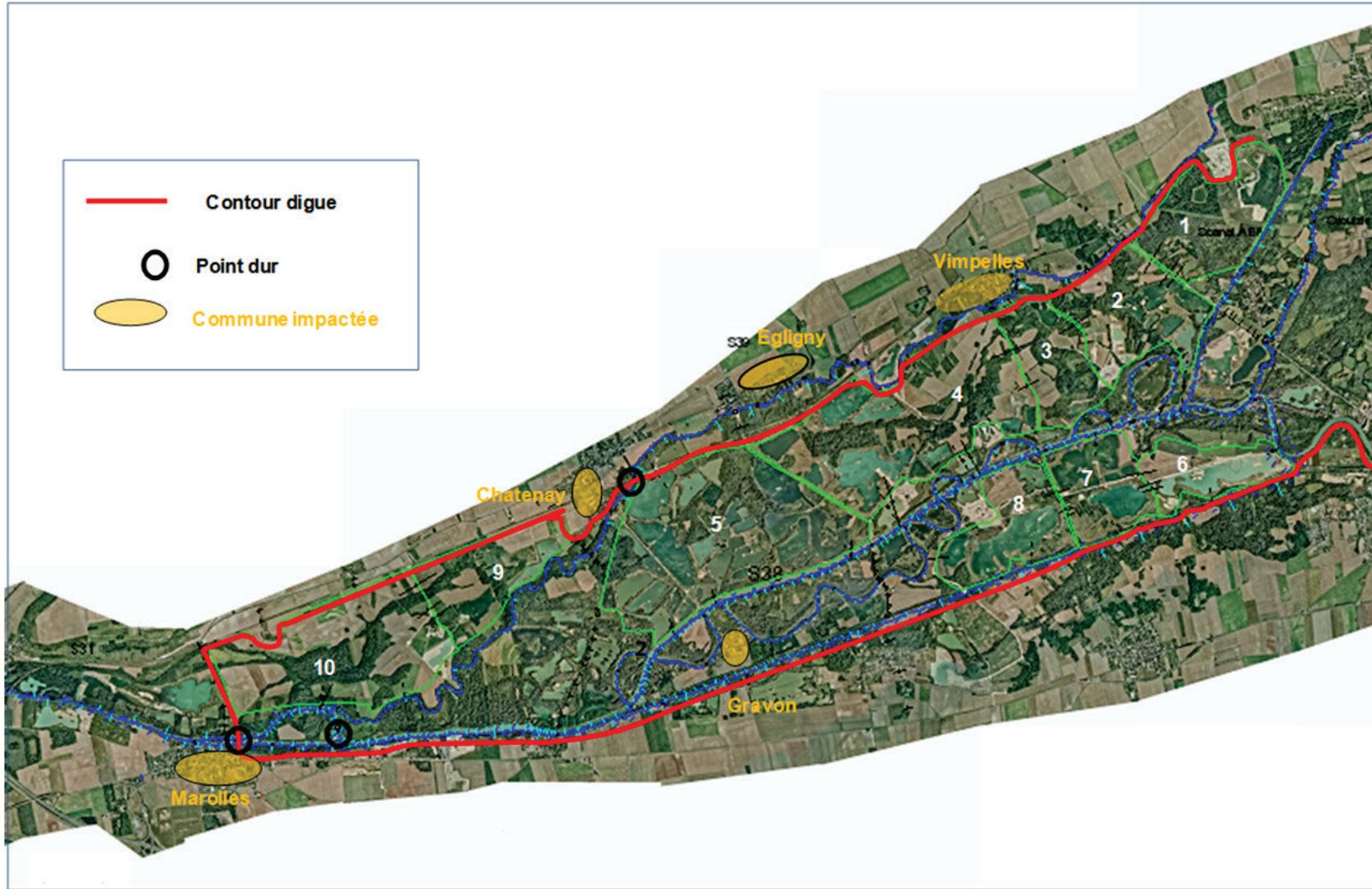
L'aménagement comprendrait une digue de retenue implantée en aval du barrage de Marolles, il serait prolongé en retour par une digue de ceinture nord longeant les emprises des casiers 1, 2, 3, 4, 5, , 9 et 10 et par une digue sud longeant le canal Bray-La Tombe. La hauteur de la digue aval permettant de contenir 55 Mm^3 en statique, serait de 4m environ, plus les revanches nécessaires pour la perte de charge générée par le déversoir de sécurité, le batillage et les effets du vent. Les digues en retour engloberaient l'emprise l'ensemble des casiers de la Bassée.

Enfin de limiter l'extension des digues au niveau de Marolles il convient de limiter la perte de charge générée par le déversoir de sécurité à 1.30 m.

Dans ce scénario et avec la configuration esquissée, le linéaire total de digue à prévoir est de 42 km, soit une longueur ramenée à 70% du linéaire calculé dans le projet EGALB. Ce gain en linéaire a pour contrepartie une hauteur de submersion beaucoup plus importante près de la digue de retenue aval.

On peut estimer la surcote produite par le transit du débit de la crue de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ via le déversoir de crue de l'ouvrage alors que l'ouvrage est rempli. On suppose pour cela que l'ouvrage a une largeur de 60 m, qui est approximativement la largeur du chenal navigable, et que le déversement suit une loi de type seuil épais : $Q = 0.385 \times L \times h \times \sqrt{2gh}$. Cela donne une hauteur sur seuil voisine de 2.5 m. Cette surcote est trop importante et nécessiterait de prolonger les digues de retour jusqu'au barrage de Vézoult. Si on veut limiter cette extension au niveau de Bray la surcote doit être limitée à 1,3 m, ce qui implique de prévoir une largeur de seuil de 160 m.

Figure 4-11 : implantation des digues – scénario de sur stockage



En plus des risques d'inondations des communes riveraines (repérées sur la carte) trois points durs sont mis en évidence :

- L'ouvrage de régulation à implanter dans la digue aval, et l'ouvrage de surverse de sécurité attenant,
- Le barrage de Marolles : il devrait être totalement reconstruit, ou un ouvrage indépendant devrait être aménagé en amont.
- L'intersection de la Vieille Seine (l'Auxence) et de la digue Nord : un ouvrage de déconnection hydraulique par pompage devrait être aménagé pour protéger les communes de Châtenay, Egligny et Vimpelles.

4.2.2 Incidences de l'aménagement

On liste ci-après les incidences apparaissant les plus sérieuses, du moins celles susceptibles de déclasser cette solution alternative.

4.2.2.1 Fonctionnement hydraulique

Le niveau d'eau et le débit dans la retenue seront contrôlés par une ou plusieurs vannes implantées dans le corps de la digue de retenue.

Afin de disposer d'un stockage comparable à celui de l'ouvrage actuel et de protéger les populations locales de la crue suivant le stockage, il faut vraisemblablement élever des digues au-dessus de la cote 55 NGF, soit une hauteur de digue aval de 6m au minimum. De plus les phénomènes de remontée de nappe seront accentués.

Par ailleurs l'expérience montre que la régulation d'un débit par une vanne frontale est plus délicate à mettre en œuvre qu'une régulation par pompage. La régulation actuelle de la Bassée nécessite une grande réactivité du système en remplissage et vidange, ceci n'est pas évident pour ce type de barrage au fil de l'eau.

4.2.2.2 Sécurité de l'ouvrage et risques locaux d'inondation des communes

La hauteur de digue à aménager place la ville de Montereau sous la menace d'une rupture d'ouvrage, dont les conséquences seraient dramatiques pour tous les quartiers exposés de cette commune. Une étude de danger devrait être engagée préalablement à la poursuite de toute réflexion sur ce scénario d'aménagement.

Une contrainte sérieuse est constituée par la Vieille Seine qui se trouve dans le remous du surstockage : il est nécessaire d'aménager un ouvrage de déconnection à l'intersection de ce cours d'eau avec la digue de retour nord, afin de protéger les communes de Châtenay, Egligny et Vimpelles. Cette fonction serait assurée par pompage, ce qui ajoute un élément de fragilité au système de sécurité à prévoir.

Les fermes et villages inclus dans la zone de retenue devront être protégés par des digues imposantes, certains se retrouvant prisonniers des eaux.

Enfin le relèvement des hauteurs de stockage va favoriser une augmentation des infiltrations et des remontées de nappes, avec tous les risques accrus d'inondation que cela implique pour les communes riveraines.

4.2.2.3 Incidences sur l'environnement et les usages

Le sur-stockage va inonder des zones nouvelles à l'extérieur des emprises des casiers avec des incidences à évaluer pour les captages d'eau potable et les espèces de faune et de flore vulnérables et protégées.

La navigation sera rendue impossible durant toute la durée de l'utilisation de l'aménagement (> 1 semaine). Il est nécessaire par ailleurs de reconstruire le barrage et l'écluse de Marolles car ces ouvrages ne sont pas conçus pour être submergés.

L'aménagement de digues conséquentes posera des problèmes paysagers considérables.

De nombreuses routes seront inondées et impraticables durant la période de fonctionnement de l'aménagement.

Le barrage au fil de l'eau pose enfin des problèmes de rupture de la continuité écologique et sédimentaire.

4.3 RELEVEMENT DE LA LIGNE D'EAU EN AMONT DU BARRAGE DE LA GRANDE BOSSE

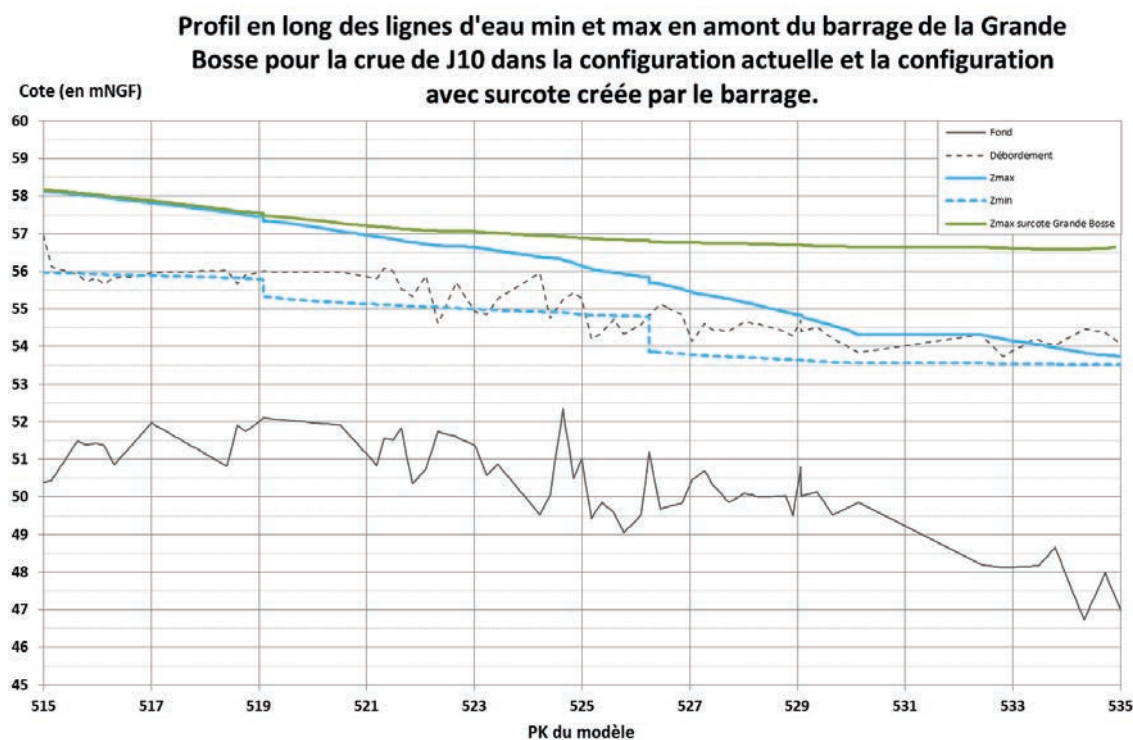
4.3.1 Implications d'une alimentation gravitaire par relèvement de la ligne d'eau en amont du barrage de la Grande Bosse.

Cette solution fournit le débit souhaité pour le remplissage des casiers mais soulève néanmoins des difficultés de régulations car ce débit n'est pas immédiatement disponible, du fait de la dynamique du processus de rehaussement de la ligne d'eau.

Il convient d'alimenter le casier 6 à la cote 56.62 (et le casier 1 à la cote 55,74) et donc atteindre 56.60 mNGF au niveau de la Grande Bosse. Cela représente un rehaussement de la ligne d'eau de 3 m par rapport à la situation J10 en situation actuelle d'aménagement.

Sur la figure ci-dessous sont reportés les profils en long de la ligne d'eau de 1910 et celui de la ligne d'eau nécessaire pour alimenter gravitaire ment les casiers de la Bassée : des endiguements doivent être aménagés jusqu'au barrage de Vezoult (pk 519), représentant un linéaire total de 2x15 km et une hauteur moyenne de digue de 2m.

Figure 4-12 : profils en long entre les barrages de Vézoult et de la Grande Bosse.



La carte ci-dessous précise l'implantation du linéaire de digues longitudinales à aménager en amont de la Grande Bosse. Outre les digues cette solution doit intégrer :

- Un seuil déversant ou une vanne de contrôle du niveau d'eau aménagé en travers de la Seine,
- Des ouvrages latéraux d'alimentation des casiers 6 et 2, constitués par des seuils latéraux disposés de chaque côté le long de la Seine. Chaque seuil serait muni d'une vanne déversante, réglable en débit. La longueur de chaque vanne serait d'environ 50m pour écouler le débit souhaité pour l'alimentation des casiers,
- Des cousiers de décharge en aval des chaque vanne, avec des fosses de dissipation d'énergie en tête des casiers 6 et 2,
- Le redimensionnement des ouvrages de transit entre les casiers pour permettre leur alimentation à grand débit depuis les ciers 2 et 6, complété par des renforcements locaux contre les risques d'affouillement et d'érosion.



Les coûts des travaux de rehaussement sont évalués comme suit :

- Hauteur moyenne des digues longitudinales : 1.5 m (2m indiqués ci-dessus)
- Volume de remblais : $15\text{m}^3/\text{ml} \times 30000 \text{ m} = 0.45 \text{ M€}/\text{ml}$
- Coût moyen au ml : 60 €/ml (ce prix englobe les ouvrages spéciaux d'endiguement le long du linéaire à protéger)
- Travaux d'endiguement : $0.45 \times 60 = 27 \text{ M€}$
- Aménagement de l'ouvrage de contrôle en travers de la Seine: 10 M€
- Aménagement de deux seuils latéraux mobiles d'alimentation : 5 M€
- Confortement des ouvrages existants : 2M€
- Réaménagement des ouvrages de transit dans les casiers pour permettre un remplissage rapide de chaque casier : 10 M€
- Total coût des travaux : 54 M€

Outre les contraintes liées au tracé des digues ce type d'aménagement doit respecter les contraintes additionnelles spécifiques suivantes :

- Il n'est en aucun cas envisageable d'utiliser les barrages de régulation de VNF pour rehausser la ligne d'eau. Ces ouvrages n'ont pas cette vocation hydraulique, ils ont au contraire la consigne d'effacement total en période de crue. De plus, ils n'ont pas été conçus mécaniquement pour cela, c'est-à-dire que leur capacité de régulation n'est pas évidente a priori, de même que leur résistance mécanique à des contraintes trop importantes. Un ouvrage spécifique paraît être la seule solution envisageable.
- Un ouvrage spécifique ayant pour vocation de relever significativement la ligne d'eau en crue doit obstruer complètement l'écoulement en lit majeur et le contraindre fortement en lit mineur.

S'en suivent trois conséquences :

- L'augmentation locale de la ligne d'eau nécessite la mise en place d'endigements Longitudinaux.
- Les risques de remontées de nappes sont d'autant plus forts que la ligne d'eau derrière l'ouvrage est haute. Ce risque affecte particulièrement la commune de Bray.
- La continuité écologique et sédimentaire est certainement perturbée par l'ouvrage.

L'endiguement posera des problèmes importants d'intégration paysagère, et aussi d'emprise foncière car l'implantation des digues longitudinales est largement déterminée par l'implantation de l'axe de la Seine.

- Le dysfonctionnement de l'ouvrage de retenue peut induire des inondations graves à l'amont (par suite par exemple d'un blocage de vanne) ou à l'aval (par suite d'un relâchement brutal du volume de la retenue amont).
- Une protection renforcée des berges et du fond du lit de la Seine doit être aménagée sur plus de 500 m en aval de l'ouvrage de la retenue en raison des fortes vitesses d'écoulement générés au droit de l'ouvrage. Le barrage et l'écluse de la Grande Bosse devront également être renforcés en conséquence.

4.4 RETOUR A LA SITUATION DE 1970

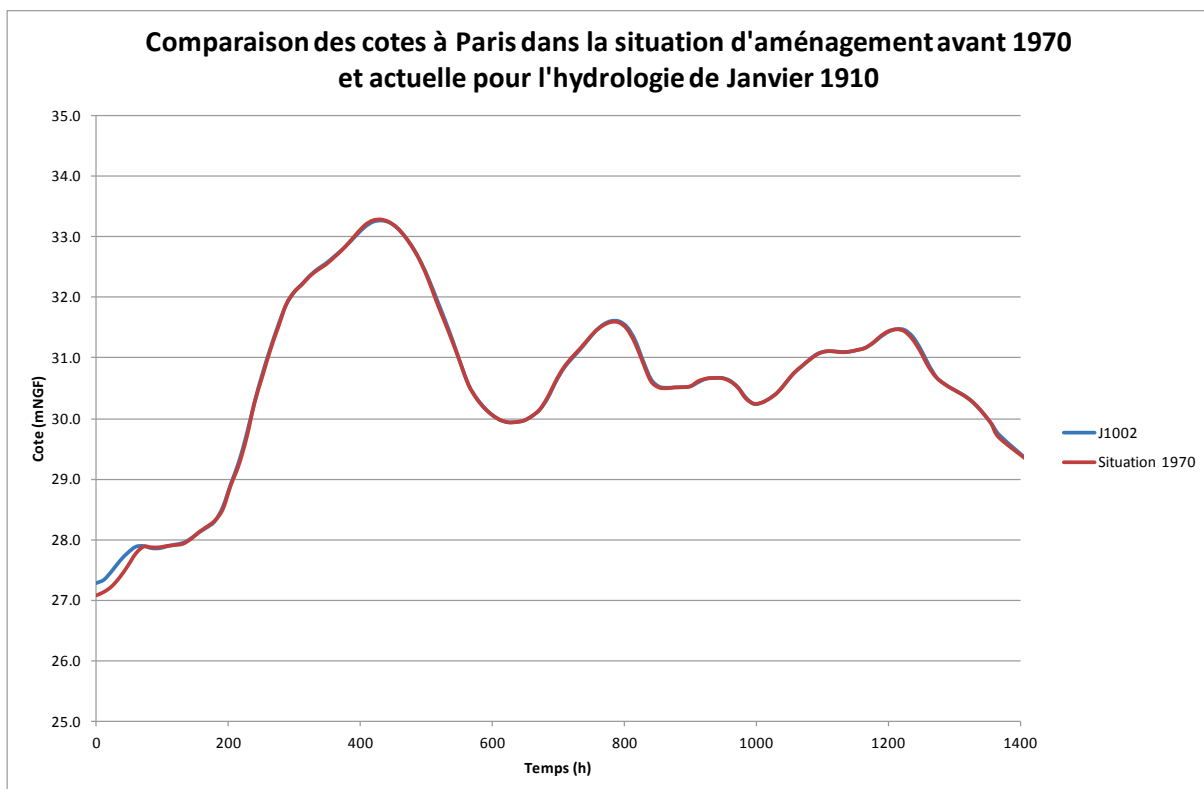
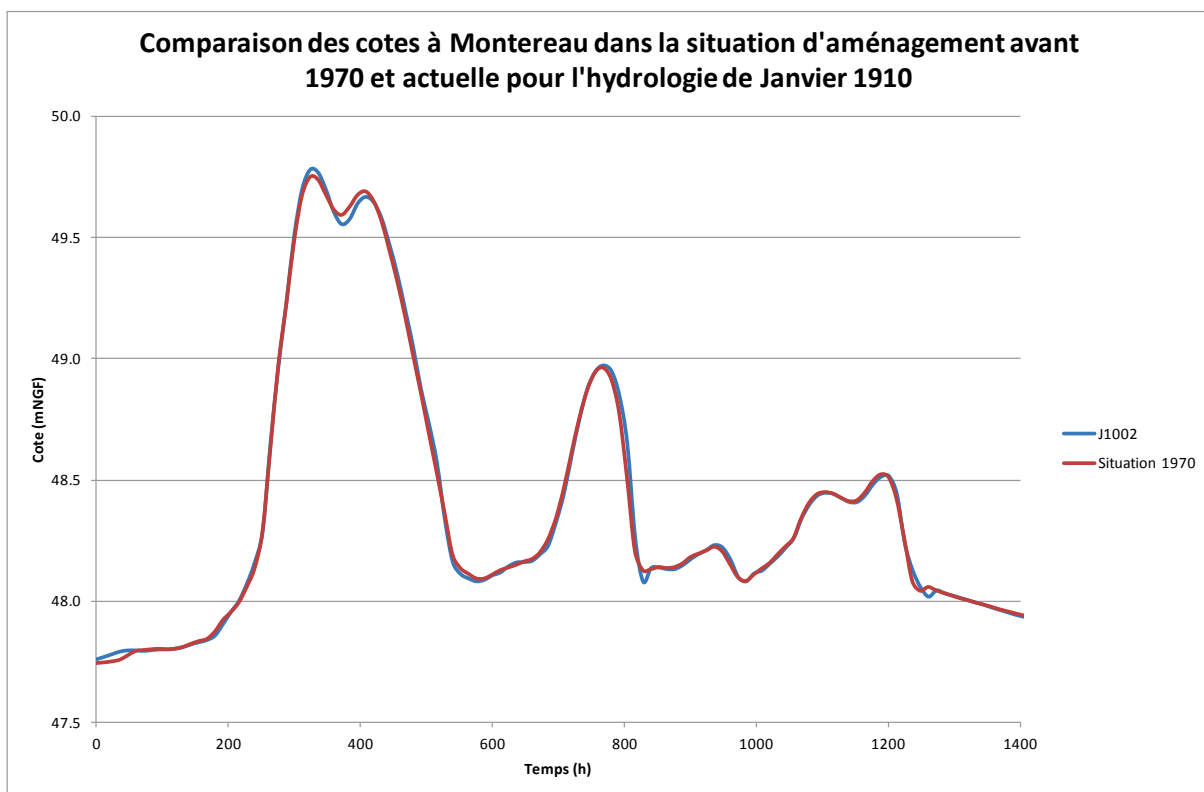
Le retour à la situation de 1970 a été simulé avec le modèle de la Bassée aval, dans lequel les contours de casiers ont été supprimés et le lit mineur a été équipé de seuils frontaux barrant partiellement le lit mineur, espacés les uns des autres de quelques kilomètres (fournir un plan ou une représentation schématique). Les cotes des seuils ont été ajustées de façon à générer des débordements aux alentours de $150 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondant à l'hydraulicité du lit mineur de la Seine entre Bray et Marolles avant les travaux de mise à grand gabarit. Cette schématisation ne reflète pas exactement la situation de 1970, mais elle permet de reproduire l'effet de laminage du lit majeur sur les crues avec débit de pointe supérieur à $150 \text{ m}^3/\text{s}$.

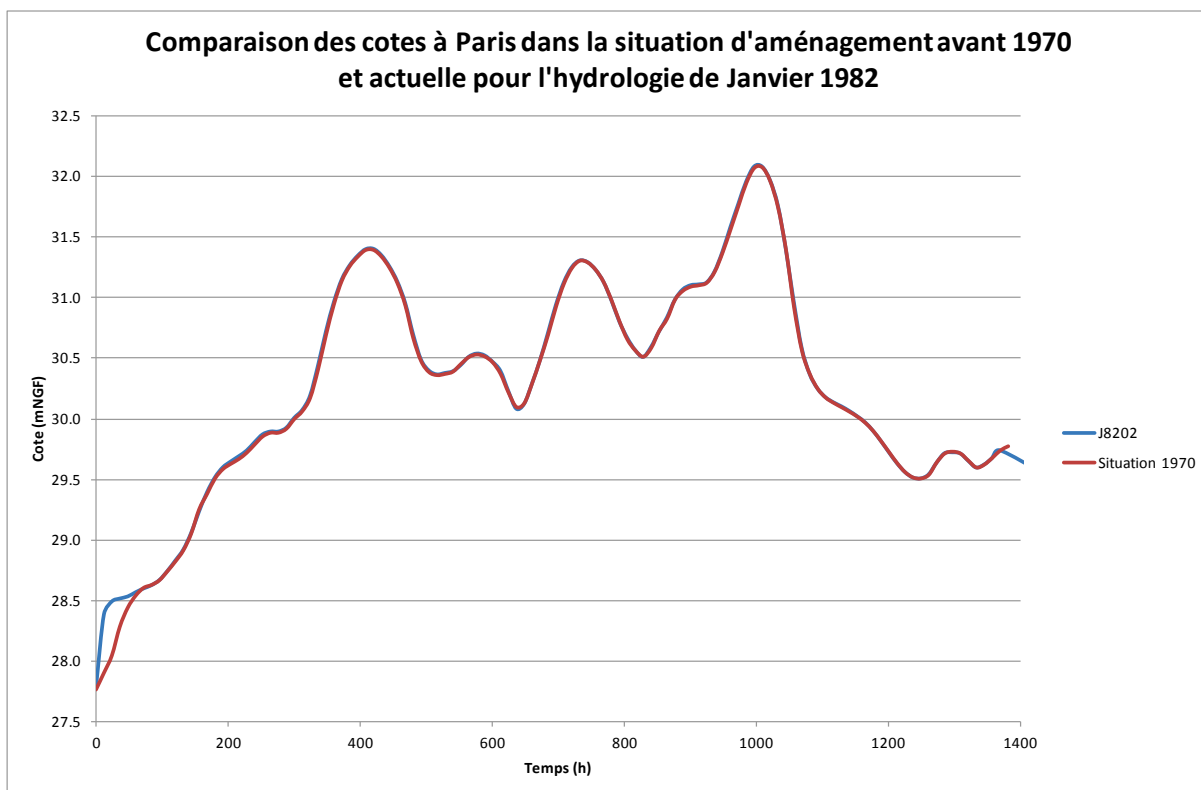
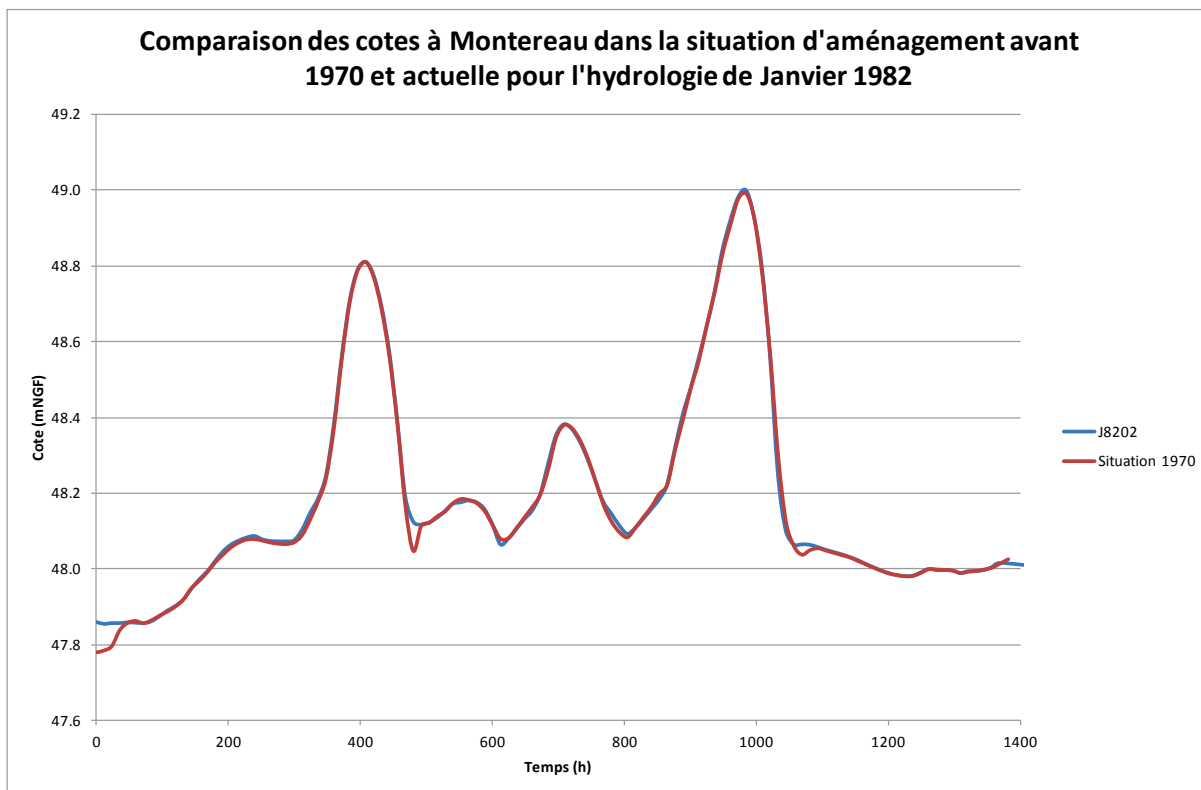
Les graphes page suivantes montrent les limnigrammes calculés à Montereau et Paris pour les crues J10 et J82, et pour deux situations :

- la configuration actuelle du lit mineur de la petite Seine, avec prise en compte des effets des lacs Seine et Aube : les débordements restent nuls ou marginaux pour les deux crues testées,
- l'hydraulicité du lit mineur de la petite Seine limité à $150 \text{ m}^3/\text{s}$, et avec prise en compte de l'action des lacs Seine et Aube.

Le gain obtenu en cote est d'environ 2 cm à Montereau pour la crue J10, et inférieur à 1cm pour cette même crue à Paris. Ce gain est nul pour la crue J82, ce qui s'explique par le fait que pour cette crue la pointe de l'Yonne et de la Seine sont déphasées. A l'inverse pour la crue double de J10 la seconde pointe de l'Yonne se superpose à Montereau avec la pointe de la Seine, ce qui fait davantage ressentir l'effet de laminage de la crue de la Seine par débordement dans la plaine de la Bassée.

L'impact de la plaine de la Bassée sur les niveaux maxima à Montereau et à Paris pour la situation 1970, est donc fortement dépendant de la typologie de la crue, mais dans tous les cas le gain maximum à attendre ne dépasse pas 3cm à Montereau et moins encore à Paris.





5 LES CRITERES DE CHOIX ENTRE LES DIFFERENTES SOLUTIONS

On récapitule dans ce chapitre les différents éléments de comparaison permettant à l'EPTB de se prononcer sur l'orientation d'aménagement lui apparaissant la plus intéressante pour la poursuite du projet. Six scénarios sont comparés :

1. le projet de base de l'étude EGALB avec alimentation par pompage,
2. alimentation gravitaire depuis la Seine, avec un canal à gabarit 30 m,
3. alimentation gravitaire depuis la Seine, avec un canal à gabarit 100 m,
4. surstockage avec aménagement d'une digue en travers de la vallée de la Seine à Marolles.
5. alimentation gravitaire par rehaussement de la ligne d'eau en amont du barrage de la Grande Bosse.
6. Retour à la situation de 1970.

5.1 HYPOTHESES DE CALCUL

5.1.1 Coûts d'investissement

Le tableau page suivante récapitule les coûts estimés par poste. Les coûts du scénario 1 sont repris de l'étude EGALB, les coûts des autres scénarios sont déduits de ratios commentés ci-après :

Quelques commentaires :

Le coût des endiguements pour le scénario 4 est estimé plus élevé que celui du scénario 1 car :

- Les digues dessinées figure 4.10 doivent être prolongées vers l'amont pour tenir compte des surcotes décrites § 4.221 (soit un linéaire total de 42km)
- Ces digues dans la partie aval seront beaucoup plus élevées que dans le scénario 1 et consommeront globalement davantage de matériaux.

Le coût de l'ouvrage de vidange du scénario 4 intègre la vanne de régulation et l'ouvrage de surverse de sécurité.

Le scénario 4 doit également intégrer le coût du réaménagement complet du barrage et de l'écluse de Marolles.

5.1.2 Coûts annualisés de fonctionnement

Ils sont précisés dans le tableau page suivante.

La solution 1 est la plus onéreuse en raison des coûts d'entretien et d'énergie des stations de pompage.

Figure 5-1 : tableau récapitulatif des coûts d'investissement et d'exploitation.

Coûts d'investissement en Mm €						
Poste	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
	Projet EGALB	alimentation gravitaire	alimentation gravitaire	sur stockage	rehaussement	retour à la situation
		canal 30 m	canal 100 m	digues Marolles	ligne d'eau de la Seine	de 1970
Travaux	395.9	450.9	745.9	452.7	374.9	5
Endiguements	282	282	282	390	282	0
canal d'aménée	0	130	425	0	27	0
Pompage	74	0	0	1	0	0
Drains	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	0
Ouvrages de distribution	0	0		0	15	5
Ouvrages de vidange	22.2	22.2	22.2	30	22.2	0
Ouvrages de contrôle et de sécurité	0	0	0	15	12	0
Travaux électriques	1	0	0	0	0	0
Mesures écologiques	31.4	35	37	40	40	0
Foncier	19.1	22	22	30	30	0
Frais de MOA/MOE	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	1
Total	493.7	555.2	852.2	570	492.2	6

Coûts annualisés d'exploitation en Mm €						
Poste	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
	Projet EGALB	alimentation gravitaire	alimentation gravitaire	sur stockage	rehaussement	retour à la situation
		canal 30 m	canal 100 m	digues Marolles	ligne d'eau de la Seine	de 1970
Digues	1	1	1	1	1	0
Canal d'aménée	0	0.2	0.2	0.1	0.1	0
Pompage	2.4	0	0	0	0	0
vannes +drains	0.8	0.8	0.8	1	1	0.5
divers	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.1
Total	4.9	2.7	2.7	2.8	2.8	0.6

5.1.3 Performance de chaque scénario

La performance d'un scénario est évaluée par la diminution de l'aléa et par le montant des dommages évités en moyenne annuelle. La diminution de l'aléa est mesurée ici par le gain moyen en cote obtenu à Montereau et à Paris pour les crues de période de retour supérieures à 8 ans.

Le tableau page suivante récapitule les ratios associés à chaque scénario :

Commentaires :

- Les chiffres de dommages évités donnent au plus des ordres de grandeurs, ils sont déduits de l'analyse des formes des courbes d'endommagements établis dans l'étude des dommages de 1998.
- Les scénarios 2 et 3 présentent un fort handicap en termes de robustesse de gestion. On a vu en effet plus haut que la gestion anticipative des débits à dériver aux prises se heurte à un problème de prévision des apports à Montereau, qui doit être à plus long terme que dans le scénario avec pompage, compte tenu des délais de réaction de ce mode d'alimentation liés à la distance de 54 km entre la prise d'eau et le point de contrôle. Le problème ne se pose pas pour le scénario 4 et 5, en revanche le mode de régulation des débits par vanne gravitaire est plus délicat à mettre en œuvre (et donc moins fiable) que par pompage.
- Les scénarios 4 et 5 fournissent des gains théoriques comparables à ceux du scénario 1. Ils sont néanmoins soumis à de fortes contraintes, analysées au §5.2.
- Enfin le scénario 6, apporte un gain extrêmement limité par rapport aux autres scénarios. Il présente donc peu d'intérêt sur le plan socio économique.

Figure 5-2 : tableau récapitulatif des indicateurs de performance

Indicateurs de performance						
Poste	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5	Scénario 6
	Projet EGALB	alimentation gravitaire canal 30 m	alimentation gravitaire canal 100 m	sur stockage digues Marolles	rehaussement ligne d'eau de la Seine	retour à la situation de 1970
Gain moyen en cote à Montereau	35 cm	7 cm	20 cm	35 cm	35 cm	2 cm
Gain moyen en cote à Paris	27 cm	7 cm	21 cm	27 cm	27 cm	0.5 cm
Dommages évités en moyenne annuelle	70 Mm €/an	10 Mm €/an	45 Mm €/an	70 Mm €/an	70 Mm €/an	1 Mm €/an
Robustesse de la gestion hydraulique	++	--	--	+	+	++

5.2 RECAPITULATION DES CRITERES DE CHOIX

Les critères retenus comme base de comparaison des scénarios sont :

- L'efficacité technico économique : ratio du coût d'investissement aux dommages évités en moyenne annuelle,
- La robustesse du fonctionnement et de la gestion hydraulique de l'aménagement,
- Les aspects sécuritaires,
- Les impacts sur les usages et sur l'environnement,
- La flexibilité du phasage de réalisation.

Le tableau page suivante récapitule les critères de choix regroupés par rubrique.

Figure 5-3 : critères de choix entre les scénarios

	No	Critère	Scénario 1 - Pompage	Scénario 2 : canal Seine 30m	Scénario 3: canal Seine 100m	Scénario 4 : digue Marolles
Efficacité technico économique	1	DEMA sur dommages surfaciques	70 M€/an	10 M€/an	45 M€/an	70 M€/an
	2	Coût investissement CI	494 M€	555 M€	852 M€	570 M€
	3	Coût annuel exploitation CE	4.9 M€/an	1.9 M€/an	1.9 M€/an	2.8 M€/an
	4	Ratio cout bénéfice : CI/(DEMA-CE)	7.6	68.0	19.7	8.5
Gestion hydraulique	5	Robustesse de la gestion	robuste	peu robuste dans la situation réelle de prévision incertaine des apports à Montereau	peu robuste dans la situation réelle de prévision incertaine des apports à Montereau	gestion robuste mais régulation des débits moins précise que dans le scénario 1
Sécurité de l'aménagement	6	Alea technologique et conséquence	une panne de pompe n'aura pas de conséquence négative sur les risques locaux d'inondation	idem Scénario 1	idem Scénario 1	un blocage de vanne de régulation peut générer des inondations de lieux habités
	7	Risque d'aggravation des inondations à Montereau	très faible	très faible	très faible	risque réel compte tenu du mode de contrôle des débits
	8	impacts sur les inondations des communes riveraines de la Bassée	faible	faible	faible	risque accru d'inondation par remontée de nappe et par la Vielle Seine
Impact sur les usages et sur l'environnement	9	trafic fluvial	la voie navigable n'est à aucun moment submergée	idem Scénario 1	idem Scénario 1	voie navigable submergée pendant plusieurs semaines toutes les fois que le stockage est activé
	10	trafic routier	impact faible	idem Scénario 1	idem Scénario 1	De nombreuses routes seront inondées et impraticables durant la période de fonctionnement de l'aménagement.
	11	zones inondées	seules sont inondés les secteurs dans l'emprise des casiers, pour lesquels les impacts des inondations sont jugés acceptables	idem Scénario 1	idem Scénario 1	Le sur stockage va inonder des zones nouvelles à l'extérieur des emprises des casiers avec des incidences à évaluer pour les captages d'eau potable et les espèces florales vulnérables et protégées.
	12	paysage et continuité écologique	la hauteur des digues s'intègre parfaitement dans le paysage et assure la continuité des franchissements pour la faune et les circulations des usagers.	idem Scénario 1	idem Scénario 1	L'érection de digues conséquentes posera des problèmes paysagés considérables. Le barrage au fil de l'eau pose des problèmes de la continuité écologique et sédimentaire.
	13	emprises foncières	le problème a été analysé (et résolu) dans l'étude EGALB	le problème d'emprise se pose pour le canal	le problème d'emprise se pose pour le canal	le problème d'emprise se pose pour le tracé modifié des digues.
	13	renaturation de la plaine de la Bassée par les inondations écologiques	le projet EGALB intègre pleinement cet aspect	idem Scénario 1	idem Scénario 1	La compatibilité de l'aménagement avec l'aspect renaturation reste à démontrer.
Phasage des travaux	14	flexibilité de phasage	projet pleinement compatible avec un découpage des travaux en tranches indépendantes	le canal d'amenée ne peut être fractionné en tranches	le canal d'amenée ne peut être fractionné en tranches	pas de découpage possible en tranches de travaux

Figure 5-4 : critères de choix entre les scénarios (suite)

	No	Critère	Scénario 5 : Rehaussement ligne d'eau de la Seine	Scénario 6 : retour à la situation de 1970
Efficacité technico économique	1	DEMA sur dommages surfaciques	70 M€/an	1 M€/an
	2	Coût investissement CI	492 M€	6 M€
	3	Coût annuel exploitation CE	2.8 M€/an	0.6 M€/an
	4	Ratio cout bénéfice : CI/(DEMA-CE)	7.3	15
Gestion hydraulique	5	Robustesse de la gestion	gestion moins robuste car régulation des débits moins précise que dans le scénario 1	-
Sécurité de l'aménagement	6	Alea technologique et conséquence	un blocage de vanne de régulation peut générer des inondations de lieux habités	-
	7	Risque d'aggravation des inondations à Montereau	-	-
	8	impacts sur les inondations des communes riveraines de la Bassée	risque accru d'inondation à Bray par remontée de nappe	-
Impact sur les usages et sur l'environnement	9	trafic fluvial	voie navigable perturbée durant les périodes d'alimentation des casiers	-
	10	trafic routier	-	-
	11	zones inondées	-	-
	12	paysage et continuité écologique	L'érection de digues conséquentes posera des problèmes d'insertion. Le barrage au fil de l'eau pose des problèmes de la continuité écologique et sédimentaire.	-
	13	emprises foncières	le problème d'emprise se pose pour le tracé des digues de ceinture le long de la Seine	-
	13	renaturation de la plaine de la Bassée par les inondations écologiques	-	-
Phasage des travaux	14	flexibilité de phasage	les travaux de digues de ceinture ne peuvent être découpés en tranches.	-

Ce tableau fait ressortir les conclusions suivantes:

- Le scénario 1 est le plus attractif vis-à-vis du critère de robustesse de la gestion hydraulique. Il autorise par ailleurs une phase de réalisation en plusieurs tranches, avec toutes les conséquences que cela implique sur le mode de financement et de réalisation du projet.
- Les scénarios 2 et 3 sont très fortement déclassés sur le critère de l'efficacité économique, les scénarios 1, 4 et 5 fournissent des ratios d'efficacité pratiquement équivalents.
- Le scénario 4 présente de forts risques sur les aspects sécurité de fonctionnement, c'est le plus mal classé des scénarios vis-à-vis de ce critère. Ce scénario présente également les impacts les plus négatifs sur les critères usages et environnement.
- Le scénario 5 est le mieux classé vis-à-vis du critère 4 : ratio coût/bénéfice. Néanmoins le coût d'investissement est proche de celui du scénario 1 et ce scénario présente des contraintes fortes en termes de sécurité, d'insertion paysagère, de risque de remontée de nappe au voisinage des lieux habités, notamment Bray-sur-Seine, d'environnement (impacts forts sur les sols tourbeux et les sols alluviaux fragiles) et d'usage de la voie navigable. La gestion hydraulique de l'alimentation et sa régulation est également plus délicate à mettre en œuvre que pour le scénario 1, et donc moins robuste.
- Le scénario 6, est déclassé vis-à-vis de l'intérêt offert sur le plan socio économique.

En conclusion les deux scénarios apparaissant les plus attractifs sur le plan technico économique sont les scénarios 1 et 5. Néanmoins les contraintes générées par le scénario 5 apparaissent fortes, la faisabilité d'un tel aménagement reste à démontrer, au niveau de son insertion, des conséquences sur la voie navigable, sur les risques d'inondation induits, et sur la sécurité des riverains. Toutes ces contraintes sont absentes de l'aménagement décrit par le scénario 1.

L'EPTB se prononcera sur le choix final du scénario mais il apparaît clairement à l'issue de cette analyse que le scénario 1 remplit les conditions les plus favorables tous critères confondus, sur la base des hypothèses retenues.