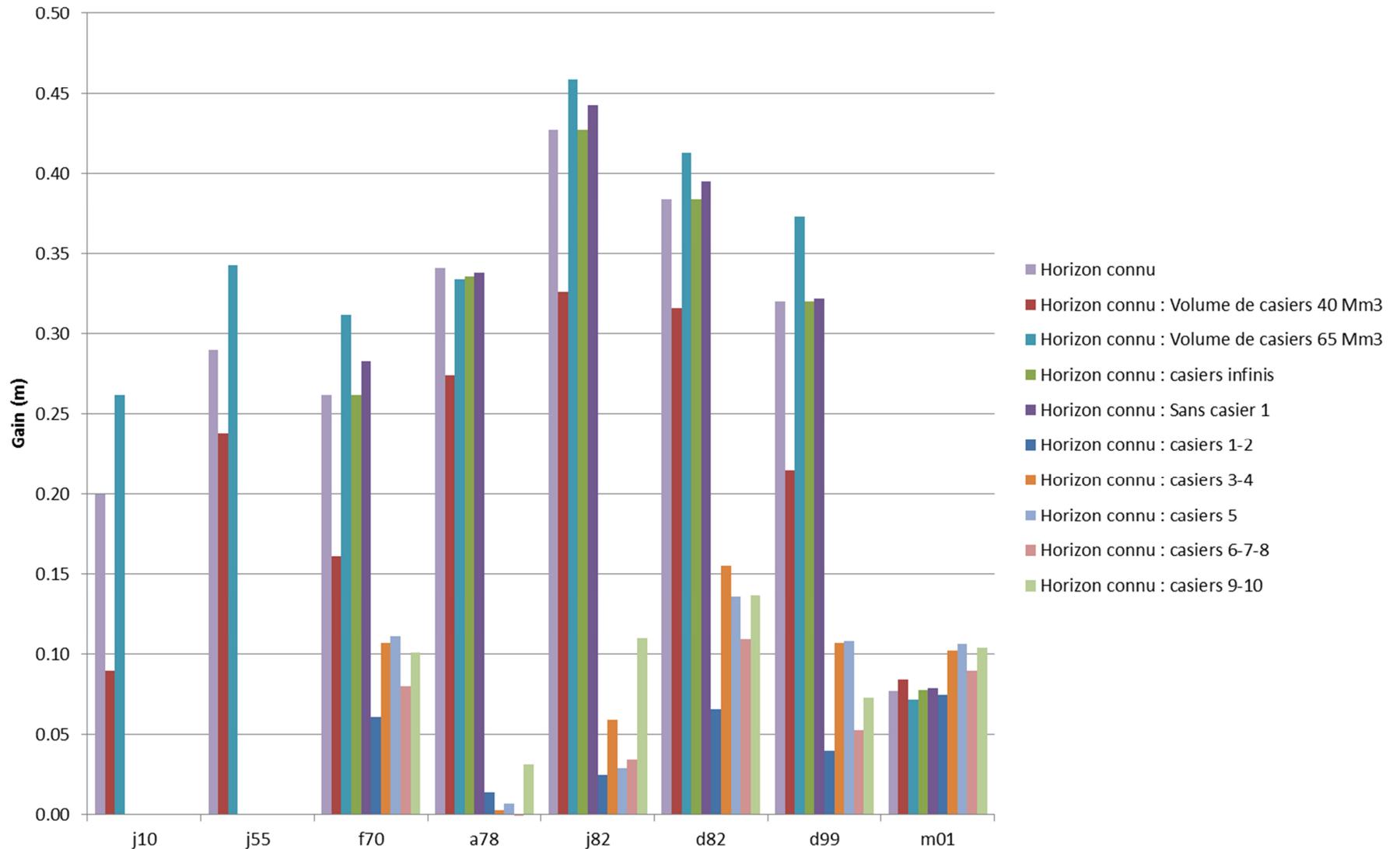


Gain à Paris en horizon connu : influence des volumes de stockage des casiers



4.5.6 Synthèse

Les tests sur la sensibilité du temps de début de pompage indiquent que le fait de pomper plutôt en avance qu'en retard, en raison de la concomitance des pics entre Montereau et Paris, favorise la protection de Paris.

Le jeu sur les volumes de casiers ne semble pas apporter de gains intéressants à Paris. Le volume de stockage offert de 55 Mm³ paraît approprié au regard de ces quelques tests.

L'influence de l'absence de données de débits en temps réel à une station de mesure n'a pas de conséquences majeures sur les résultats en gain résultants à Montereau et Paris, tout du moins pour les crues testées.

4.6 CONCLUSIONS

Les résultats des différents tests conduisent à trois grandes conclusions :

- le volume de stockage disponible de 55 Mm³ constitue un optimum : il fournit des gains les plus importants tout en respectant les contraintes de débits résiduels en Seine lors des pompages,
- les gains obtenus en horizon de prévision incertain ne sont pas significativement dégradés par rapport aux gains calculés en horizon certain, aussi bien à Montereau qu'à Paris. Plus généralement, ces gains sont relativement insensibles aux variations des paramètres influant sur la gestion du pompage, autour des valeurs adoptées dans la gestion de référence.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• La stratégie proposée présente en conséquence une grande robustesse : elle est parfaitement applicable sur le plan opérationnel. |
|--|

Le cas des crues multiples évoqué à plusieurs reprises est maintenant analysé au chapitre 5 ci après.

5 ETUDE DES EVENEMENTS AVEC EPISODES DE CRUES MULTIPLES

5.1 OBJET

Ce chapitre concentre l'analyse à la problématique des crues multiples, en considérant deux cas de figures :

- les événements hydrologiques multiples, constitués d'une succession d'épisodes de crues qui génèrent des niveaux élevés en Seine et perturbent les cycles de pompage-vidange attachés à chaque épisode : c'est typiquement le cas de la période hivernale 1981-1982. Cette période a fait l'objet de commentaires spécifiques dans les chapitres précédents. Il est analysé en détails au §5.2,
- les crues d'occurrence rares, de type janvier 1910. Ces crues sont généralement formées par une succession de perturbations atmosphériques à intervalles de temps rapproché qui se combinent pour produire des crues de signatures différentes selon les caractéristiques de chaque perturbation. On souhaite préciser si ces crues extrêmes peuvent être impactées par l'aménagement de la Bassée et quels sont les gains envisageables.
Cette question est analysée au §5.3, via la construction d'hydrogrammes synthétiques de crues équiprobables, de périodes de retour 100 ans et plus.

5.2 ANALYSE DE LA CRUE DE DECEMBRE 1981 – JANVIER 1982

L'hiver 1981-1982 a été marquée par une succession de 6 ou 7 perturbations pluviométriques. Deux pics de crue ont été générés en décembre 1981 et janvier 1982, séparés d'environ un mois, mais le niveau de la Seine a été entretenu par des épisodes pluvieux de moindre importance entre ces deux épisodes, maintenant ainsi des niveaux de Seine élevés sur tout la période.

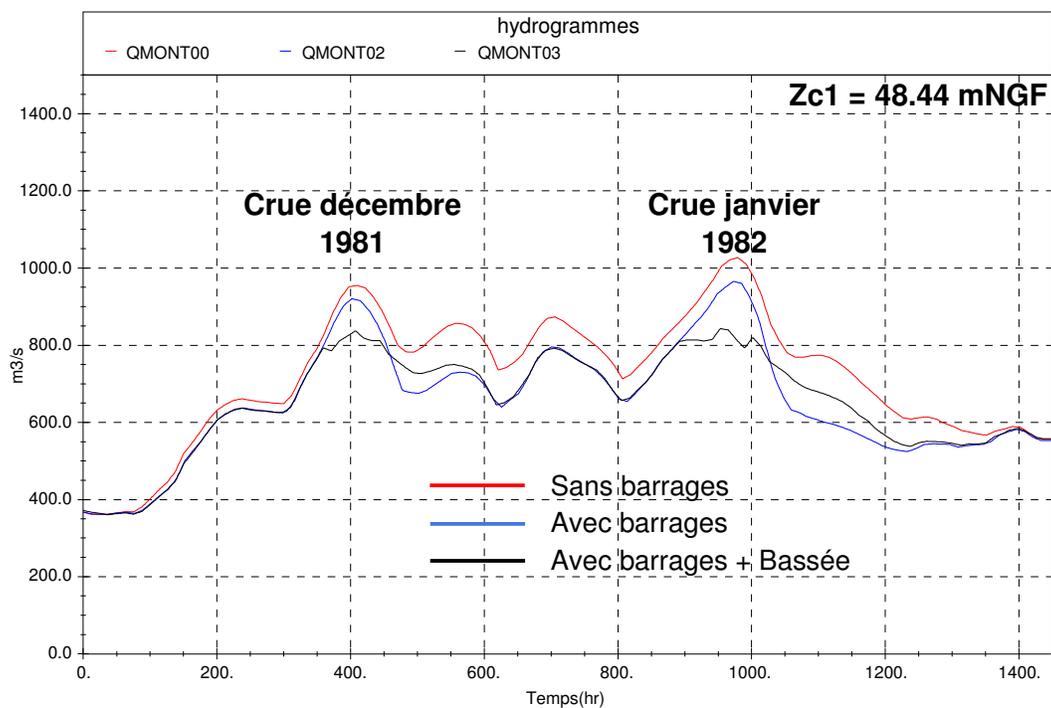
On a testé et comparé pour cet événement trois scénarios de gestion. Les hydrogrammes obtenus pour chaque scénario sont présentés aux figures pages suivantes.

5.2.1 Scénario 1 : gestion de référence

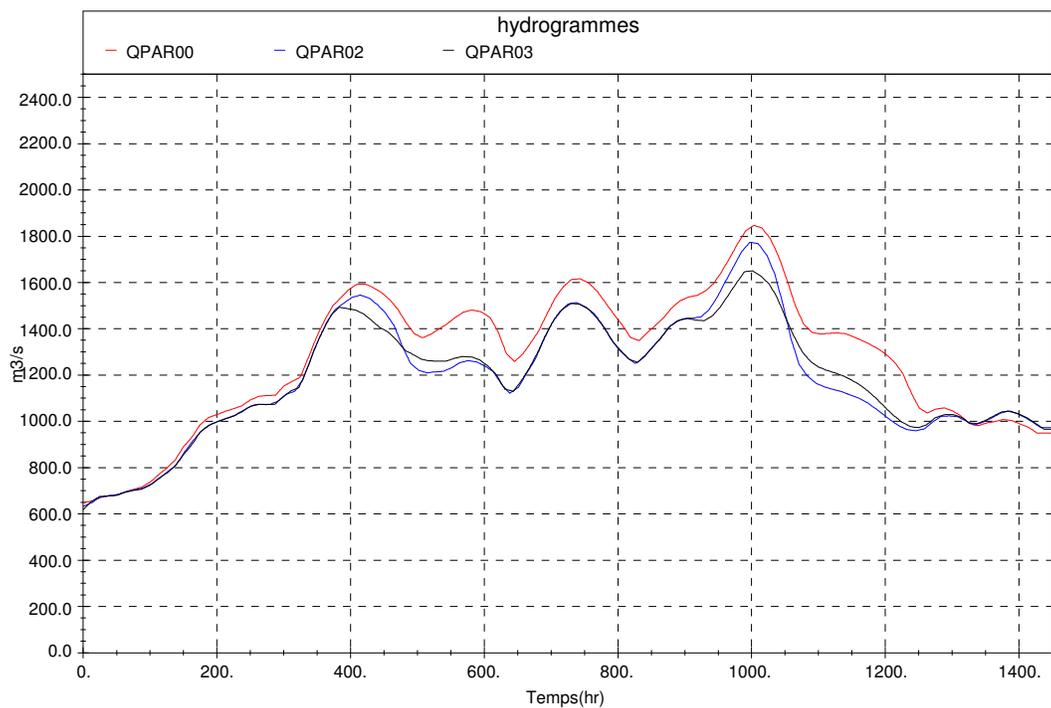
La cote Zc1 est calée pour prélever 55 Mm³ au total sur les deux pointes. C'est le scénario de gestion de référence du chapitre 3. La cote Zc1 est dans ce cas égale à 48.44 mNGF et la cote Zc2 égale à 48.24. Cette dernière cote est suffisamment haute pour permettre la vidange complète des casiers avant le démarrage du pompage pour la seconde pointe (cf. figure 5.1). Ce mode de gestion est « optimal » mais peu réaliste en pratique car il est impossible en l'état actuel, de prévoir le second épisode de crue un mois après le premier.

Figure 5-1 : scénario de gestion de référence

echelle de Montreau - comparaison des scenarios 00, 02 et 03



echelle du pont d'Austerlitz - comparaison des scenarios 00, 02 et 03



5.2.2 Scénario 2 : gestion locale

Dans ce scénario on cale la cote Zc1 pour maximiser le volume de remplissage des casiers (et donc l'écrêtement de l'hydrogramme à Montereau) pour chaque pointe de crue prise isolément. Ce mode de gestion est réaliste et peut être appliqué de façon opérationnelle à condition de l'appuyer sur un calcul de prévision des apports comme décrit au § 4.2.

La cote Zc1 est trouvée égale à 48.34. La figure 5.2 montre que l'on écrête mieux la pointe de crue de décembre mais la cote Zc2 de démarrage de la vidange (égale à 48.14) ne permet pas de totalement vidanger les casiers avant le démarrage du pompage pour la crue de janvier.

Il en résulte une saturation du volume de stockage pour la crue de janvier et un mauvais écrêtement de la pointe à Montereau.

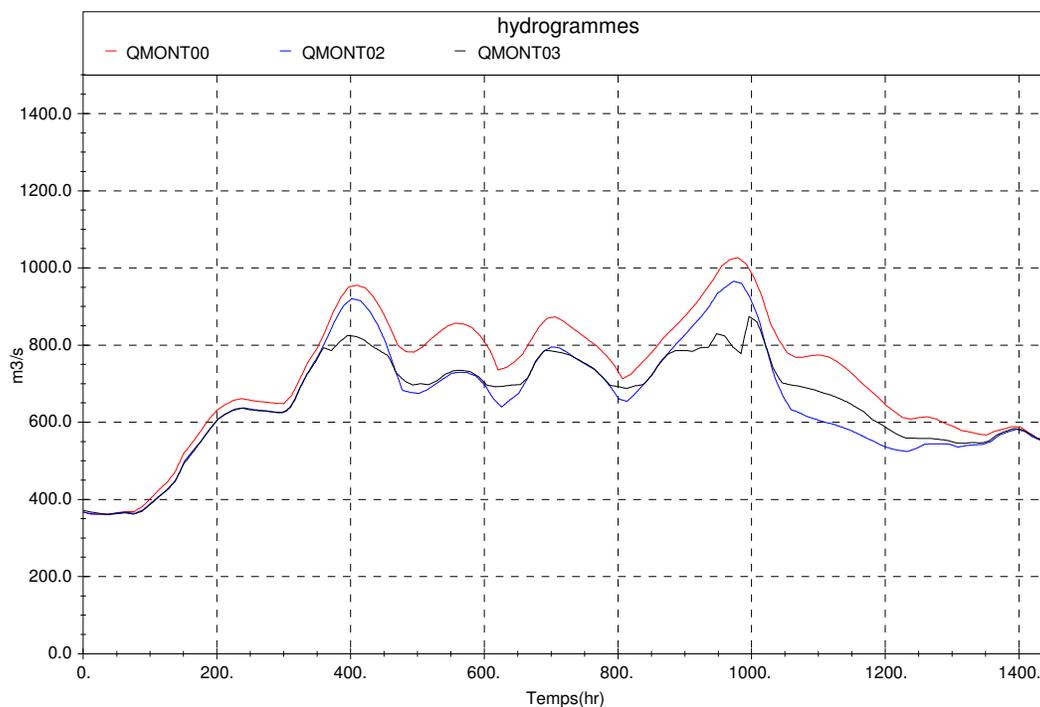
Ce cas de figure montre qu'il est hasardeux de laminier chaque pointe de crue en maximisant le volume de stockage pour cette pointe, sans tenir compte de l'évolution possible des événements météorologiques.

Une adaptation de ce mode de gestion pourrait prévenir des risques de saturation des casiers et un mauvais écrêtement de la crue dans le cas d'épisodes multiples.

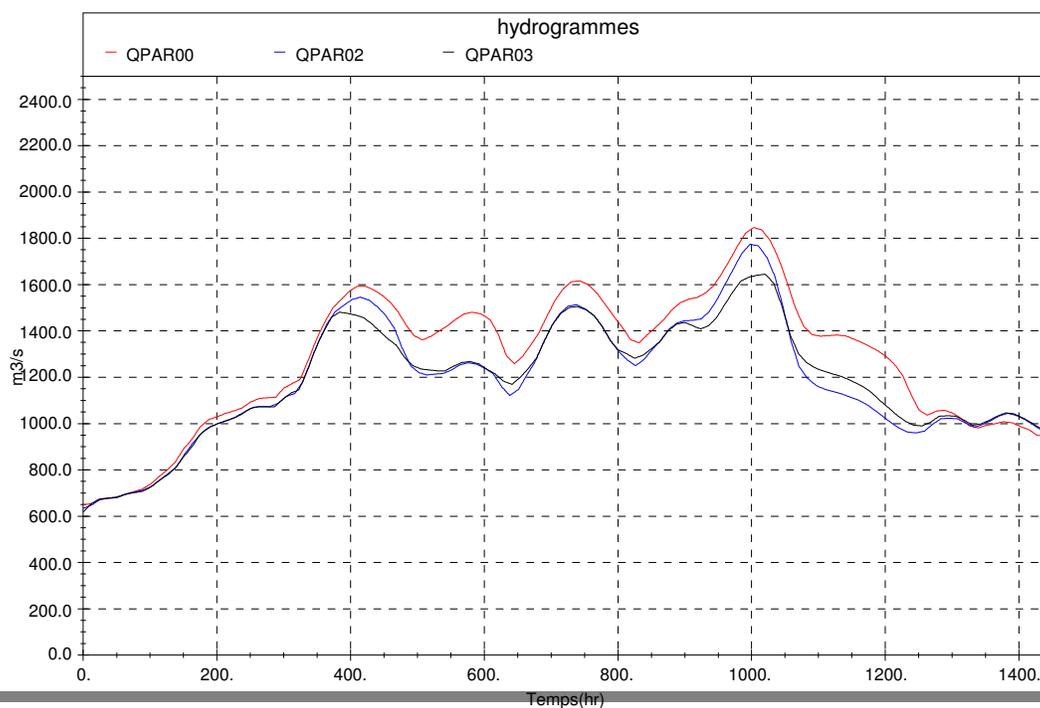
Remarque : Des tests ont été réalisés en prenant la cote de vidange Zc2 égale à la cote de pompage Zc1 de manière à optimiser la vidange des casiers entre les deux pics et donc l'écrêtement de la seconde pointe de crue. Toutefois, le niveau de Seine élevé entre les deux pics de crue ne permet pas la vidange gravitaire complète de la zone de stockage. Les résultats obtenus sont similaires à ceux présentés ci-dessus.

Figure 5-2 : scénario 2 : gestion locale

échelle de Montreau - comparaison des scénarios 00, 02 et 03



échelle du pont d'Austerlitz - comparaison des scénarios 00, 02 et 03



5.2.3 Scénario 3 : gestion alternative

Aucun des scénarios de gestion précédents ne convient pour une crue multiple de type J82 :

- le scénario 1 donne des résultats satisfaisants, mais il est inapplicable en pratique car on ne peut pas prévoir l'évolution des événements météorologiques plus de 7 jours à l'avance avec une précision suffisante,
- le scénario 2, bien qu'applicable en pratique, génère des risques de saturations des casiers lors d'épisodes de crue postérieures à l'épisode en cours.

Une solution de compromis consiste à limiter l'écrêtement de chaque pointe de crue à la cote minimale de 48.5 mNGF à Montereau en régulant le pompage pour suivre cette consigne. Cette cote de 48.5 mNGF est le seuil en deçà duquel on ne juge pas intéressant de solliciter le pompage vis-à-vis des risques de désordres à Montereau et à l'aval. Le diagramme de la figure 3.3 montre que l'adoption de cette règle aurait conduit à solliciter les 20 crues historiques à l'exception d'avril 1983 et janvier 1995. Cette règle modifie donc peu le nombre d'années où le pompage aurait été sollicité.

En revanche le fait de régler la cote Zc1 sur 48.5 mNGF au minimum réduit le volume de remplissage des casiers pour les crues moyennes. Autrement dit on ne cherche plus à maximiser l'écrêtement de la crue à Montereau à partir du moment où la cote 48.5 mNGF est dépassée, mais on régule le pompage pour maintenir cette cote pendant toute la durée du pompage.

La règle alternative proposée consiste donc à sélectionner Zc1 telle que :

$Zc1 = \text{Max} (Zc1_0, 48.5 \text{ mNGF})$, où $Zc1_0$ est la cote correspondant à un écrêtement maximum de la pointe de crue en cours.

L'application de cette règle pour la crue de janvier 1982 conduit aux résultats de la figure 5.3 : la cote Zc2 est égale à 48.3 mNGF : cette cote est suffisante pour autoriser la vidange gravitaire totale des casiers après la première pointe et écrêter efficacement la seconde pointe.

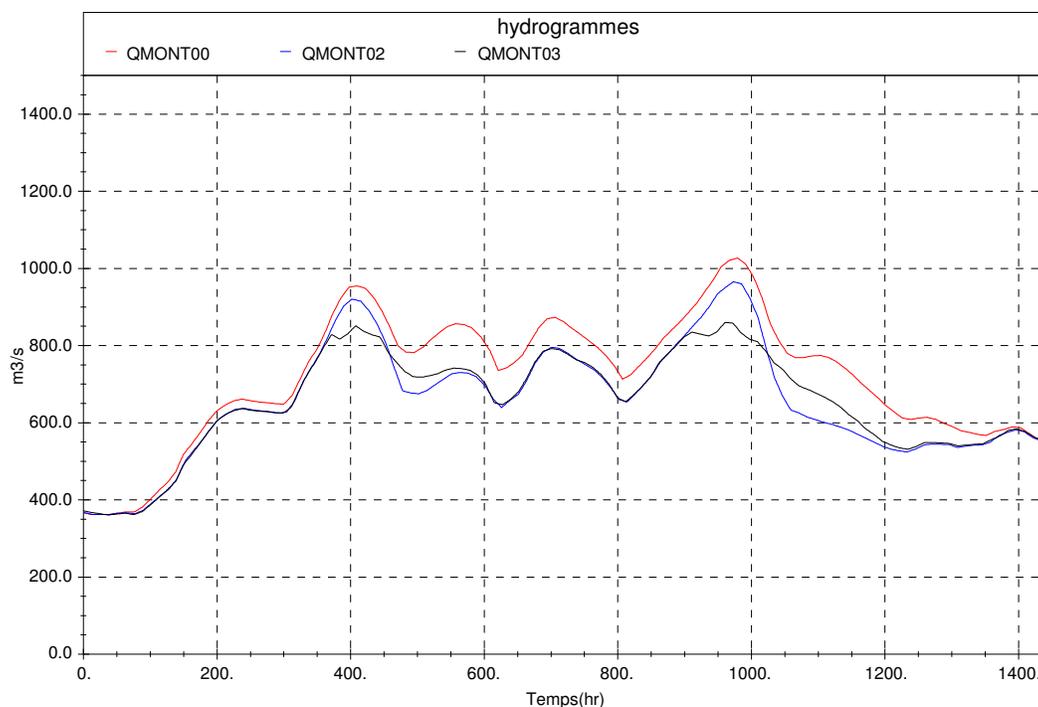
Dans le chapitre 6 cette règle est appliquée à l'ensemble des 20 crues. Les implications y sont discutées plus en détails.

Le tableau suivant récapitule les gains observés à Montereau et Paris pour les scénarios 1 à 3.

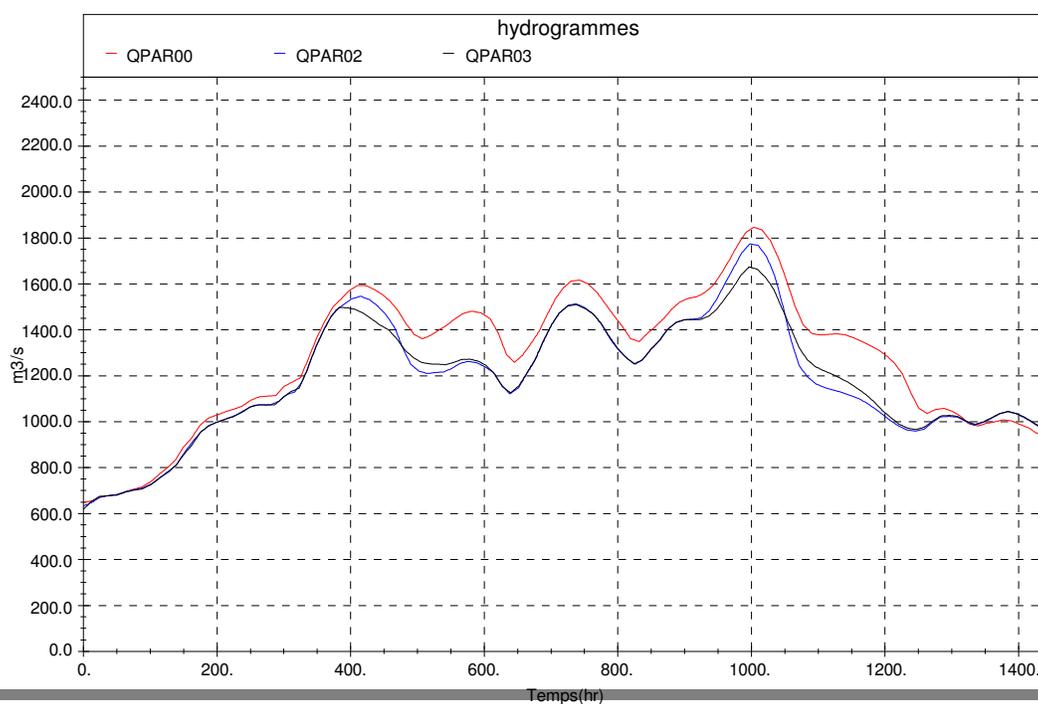
Scénario	Gain moyen à Montereau (cm)	Gain moyen à Paris (cm)
Gestion de référence	41	35
Gestion locale	30	37
Gestion améliorée	34	28

Figure 5-3 : scénario 3 : gestion améliorée

echelle de Montereau - comparaison des scenarios 00, 02 et 03



echelle du pont d'Austerlitz - comparaison des scenarios 00, 02 et 03



5.3 ETUDE D'ÉVÉNEMENTS SYNTHÉTIQUES DE CRUES EXTREMES

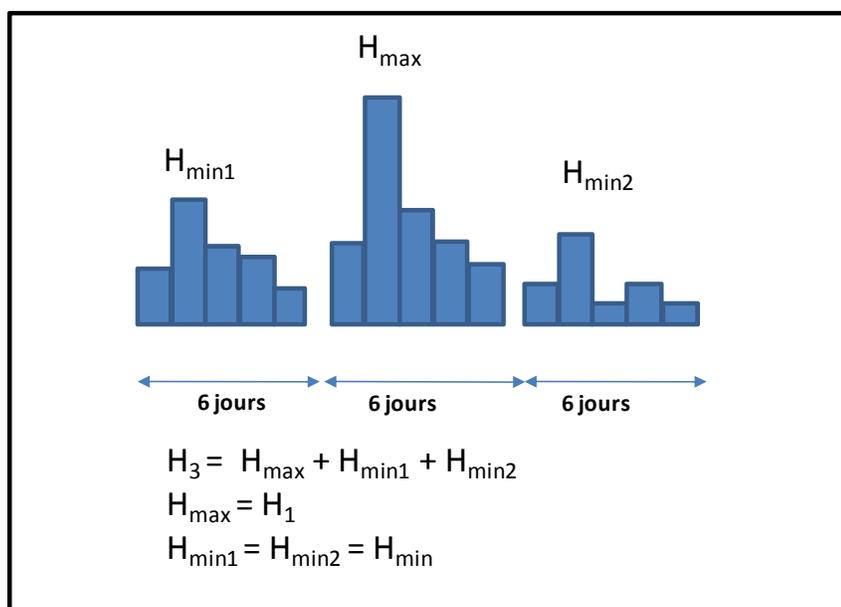
Les événements synthétiques sont construits selon des principes statistiques exposés dans le rapport de phase 1 : ils peuvent être exploités pour qualifier les aléas en tout point de la zone d'étude, et notamment caractériser les débits d'occurrence 50, 100 et 200 ans, notamment à Paris, et recadrer avec cette approche l'estimation des périodes de retour associées aux crues majeures du 20^{ème} siècle.

Cette analyse est valorisée ici pour définir et justifier la signature des hydrogrammes générés pour tester les événements de crue exceptionnels, et évaluer l'impact de la Bassée vis-à-vis de ces événements.

5.3.1 Méthodologie de construction d'une hydrologie synthétique d'un événement exceptionnel

La méthode de construction est détaillée dans le rapport de phase 1. On en rappelle ici les principaux aspects :

1. L'hydrologie est générée à partir de la définition des épisodes pluvieux, à l'aide de lois de production calées en phase 2.2. Le modèle d'événement pluvieux retenu est défini par le diagramme suivant :



Il est constitué d'une séquence de trois épisodes se succédant à intervalle de temps de 6 jours ; chaque événement est caractérisé par :

- la zone pluviométrique dans laquelle il est généré,
- la hauteur totale de précipitation H_3 ,

- la hauteur de précipitation H1 associée à l'épisode le plus intense,
 - les séquences de passage des épisodes,
 - l'état initial des sols.
2. L'analyse statistique réalisée en phase 1 a conduit à définir des événements hydrométéorologiques équiprobables, associés à une période de retour globale T. Le tableau suivant précise les paramètres associés à chaque combinaison, pour la période de retour T100ans :

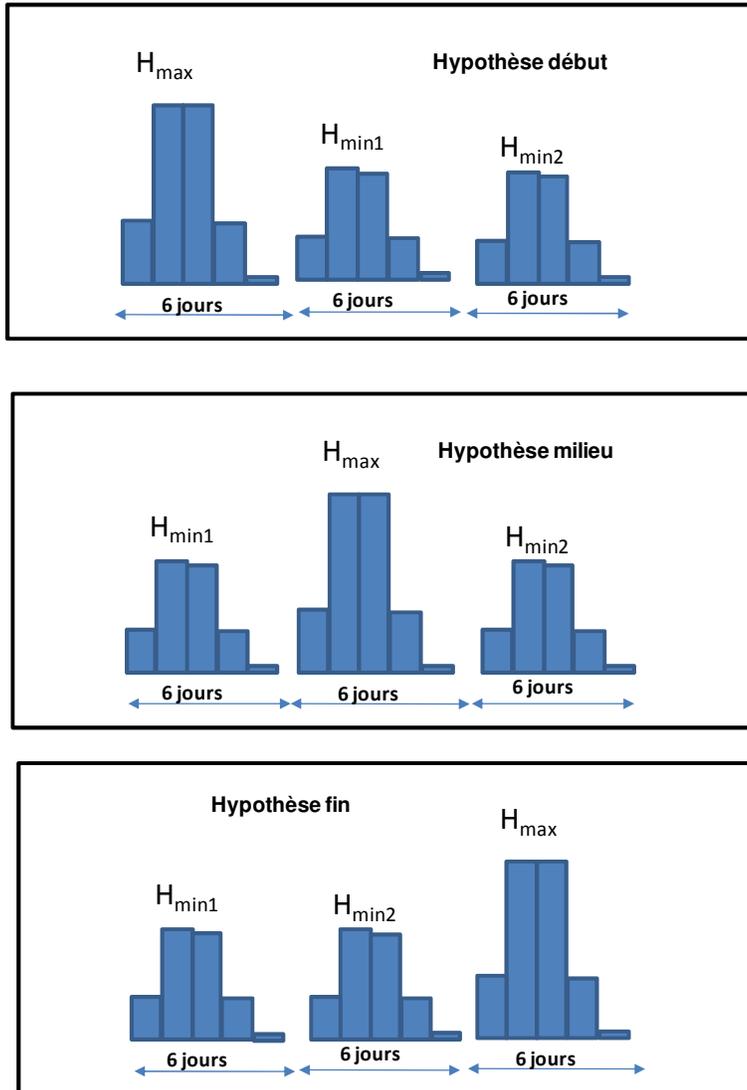
T_{H3}	Conditions initiales de sol	Position épisode pluvieux intense
100 ans	Sols secs	début
100 ans	Sols secs	milieu
100 ans	Sols secs	fin
50 ans	Sols humides	début
50 ans	Sols humides	milieu
50 ans	Sols humides	fin

L'hypothèse « sols secs » est associée à des conditions initiales de sols se traduisant par un débit de base à Paris de 150 m³/s.

L'hypothèse « sols humides » est associée à des conditions initiales de sols se traduisant par un débit de base à Paris de 500 m³/s.

Le diagramme 5.4 ci-dessous illustre les hypothèses de positionnement des épisodes pluvieux :

Figure 5-4 : hypothèses de séquençage des épisodes pluvieux

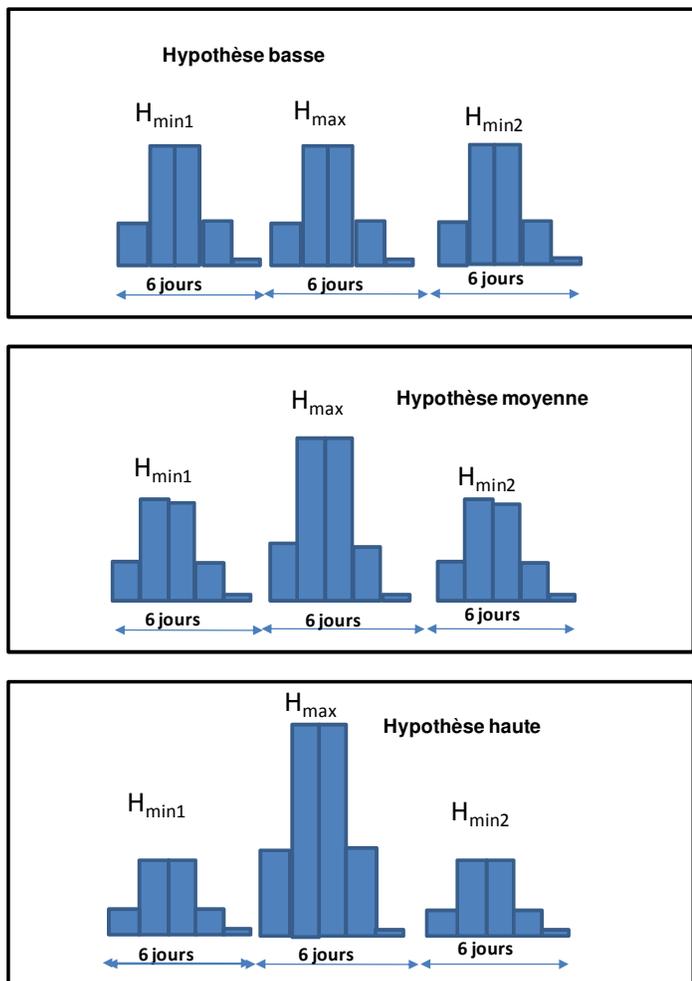


Un quatrième paramètre est la répartition de la lame d'eau totale précipitée H_3 entre les 3 épisodes. Trois hypothèses de répartition sont associées à chaque combinaison :

- une hypothèse moyenne résultant de l'ajustement moyen trouvée à la relation $H1(H3)$ sur chaque zone pluviométrique, cette hypothèse est associée à un coefficient d'occurrence de 0.5,
- une hypothèse basse revenant à donner la même hauteur de précipitation à chaque épisode, cette hypothèse est associée à un coefficient d'occurrence de 0.25,
- une hypothèse haute dans laquelle la période de retour de la précipitation $H1$ est pratiquement égale à la période de retour T_{H3} cette hypothèse est associée à un coefficient d'occurrence de 0.25.

Le diagramme suivant illustre la répartition associée à chaque hypothèse, dans le cas où l'épisode intense est centré :

Figure 5-5 : hypothèses de répartition des hauteurs de précipitation



3. Cette méthode associe donc à une période de retour donnée « T » 24 épisodes hydrologiques dont la combinaison des résultats permet d'obtenir l'aléa associé à « T » en tout point de la zone d'étude.

5.3.2 Sélection des épisodes de crues pour les tests de sensibilité

Parmi le panel d'événements hydro météorologiques on retient 4 crues synthétiques caractérisées par les paramètres suivants :

Désignation	Position de l'épisode pluvieux intense	Hypothèse sur la lame d'eau de l'épisode pluvieux intense	Période de retour global de l'événement hydro météorologique
T100S1R2	début	moyenne	100 ans
T100S2R2	milieu	moyenne	100 ans
T100S2R3	milieu	forte	100 ans
T100S3R2	fin	moyenne	200 ans

Pour ces 4 crues on sélectionne des conditions humides de sols en début d'événement.

Les graphes des figures 5.4 à 5.7 montrent les hydrogrammes obtenus à Montereau et Paris avec et sans barrages pour chacune de ces crues.

On constate dans tous les cas que les ouvrages existants ont une action bénéfique, les gains sur les débits maxima se situent dans la fourchette [100 – 200 m³/s] à Montereau et [120 - 280 m³/s] à Paris.

Une analyse plus détaillée des graphes montre que les gains maxima sont atteints tant à Montereau qu'à Paris lorsque l'épisode pluvieux intense vient en seconde position, car l'abattement de débit induit par les barrages Seine et Aube sur la seconde pointe de crue se fait sentir à Montereau au moment du passage de la troisième pointe de l'Yonne.

Ces gains sont en revanche plus limités lorsque l'épisode pluvieux intense vient en troisième position car l'abattement opéré par les barrages sur la seconde pointe de crue de la Seine est moins efficace et induit donc un creux plus faible sur la troisième pointe de crue de l'Yonne lors du passage simultanée de cette lâchure et de la troisième pointe de l'Yonne à Montereau.

Les ondes de crues modifiées à Montereau par l'action des barrages sont intéressantes à étudier vis-à-vis de l'aménagement Bassée :

- les épisodes pluvieux en début et en milieu d'événement font apparaître deux pointes d'égale importance, la troisième pointe étant plus marquée dans l'hypothèse « milieu d'événement ». L'action de l'aménagement Bassée va dans ces cas rester assez limitée car l'intervalle de temps séparant les deux pointes ne va pas permettre d'optimiser la gestion du pompage,
- par contre le troisième cas favorise une action plus efficace de l'aménagement Bassée car une seule pointe de crue reste à laminer, et de plus la forme de l'hydrogramme a été affinée par l'action des barrages, ce qui augmente les gains attendus par le stockage de la Bassée.

Le test T100S2R3 est similaire au test T100S2R2 mais l'épisode intense du milieu est caractérisé par une hypothèse forte, avec un plus grand déséquilibre entre la lame d'eau précipitée pendant cet épisode que les lames des précipitées pendant au cours des 2 autres épisodes.

Cette crue présente deux pointes d'importance comparable à Montereau et induit le plus fort débit à Paris sur toute la série de crues reconstituées :

- l'action des barrages atténue la troisième pointe de crue à Paris, mais a peu d'effet sur la seconde qui, par conséquent, présente un maximum marqué ; l'impact des barrages existants à Montereau sur le débit maximum reste limité,
- à Paris l'hydrogramme écrêté est très plat du fait des actions concomitantes des trois barrages : l'impact attendu de la Bassée devrait rester limité pour cette crue.

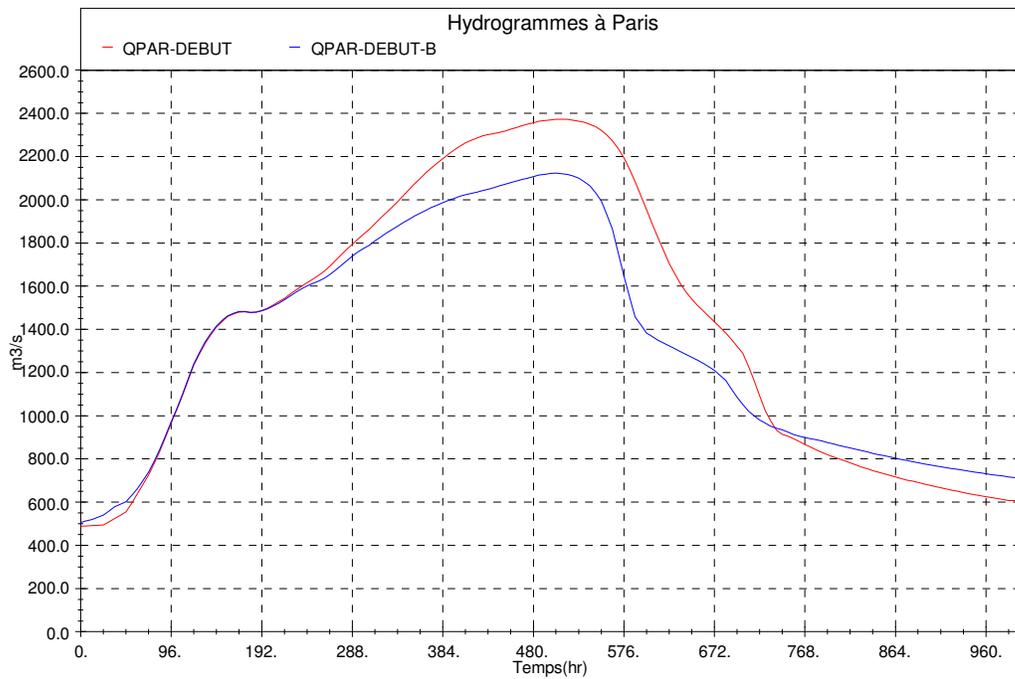
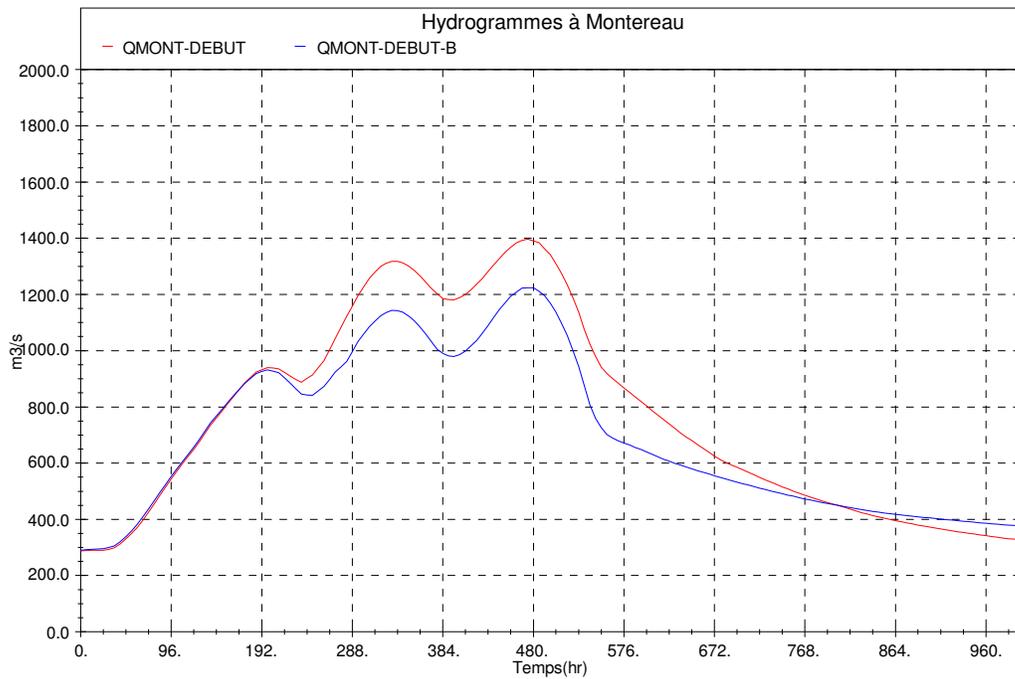
Comparaison avec la crue historique de janvier 1910 :

La crue synthétique qui se rapproche le plus de la crue J10 est T100S2R2 : les conditions pluviométriques sont similaires et l'épisode pluvieux intense se produit au milieu de la séquence des 3 épisodes : les graphes de l'annexe 1 reportées pour la crue J10 montrent que les formes d'hydrogrammes et les débits atteints à Montereau et Paris sont proches pour ces deux crues.

La comparaison des hydrogrammes des tests T100S2R2 et T100S3R2 montre en conséquence que en Janvier 1910 si l'épisode intense s'était produit en fin d'événement et no en milieu d'événement (toutes choses égales par ailleurs) le débit de pointe à Montereau aurait été aggravé de +150 m³/s, par contre le débit maximum à Paris aurait été légèrement inférieur.

Figure 5-6 : scénario T100S1R2

Action des barrages réservoirs - Episode pluvieux intense en début d'événement

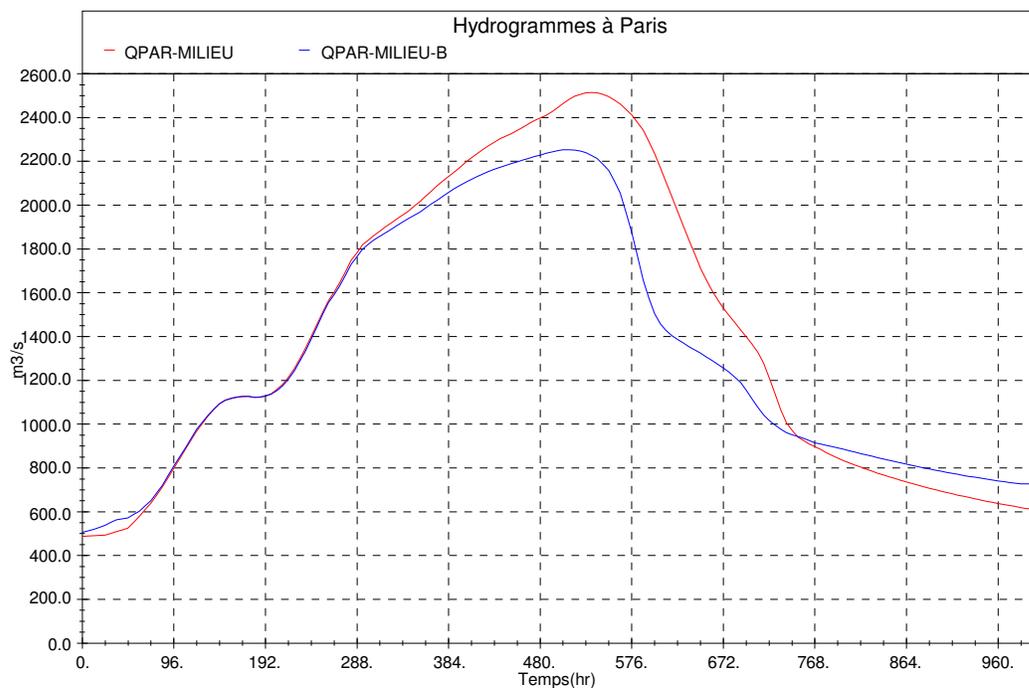
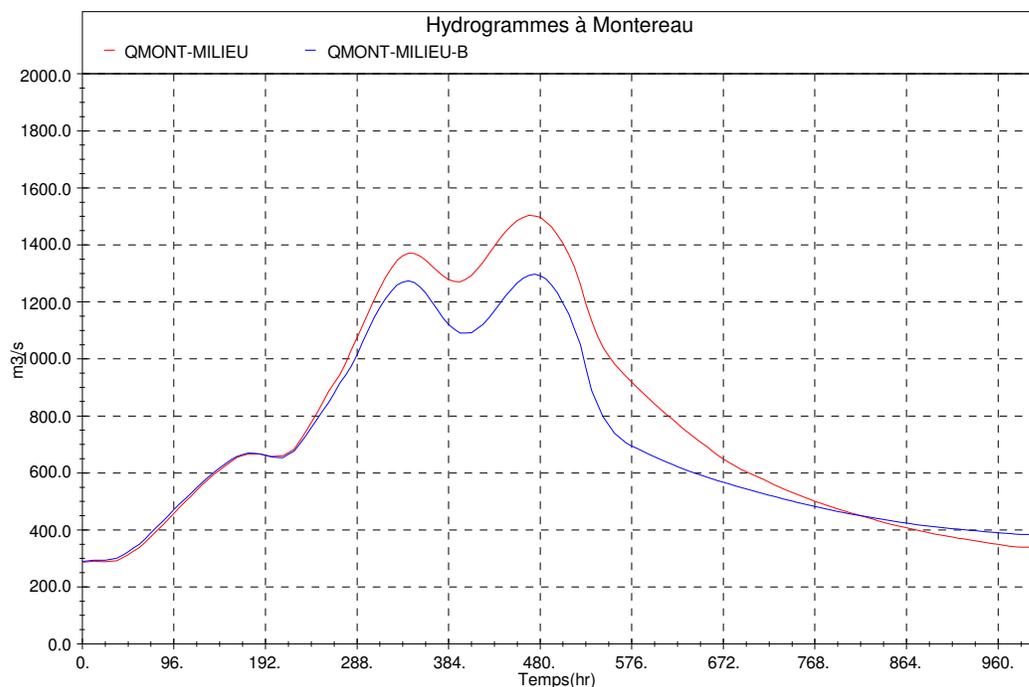


T100ans - hyp.moyenne sur H1 - Sol humide en debut de crue



Figure 5-7 : scénario T100S2R2

Action des barrages réservoirs - Episode pluvieux en milieu d'événement

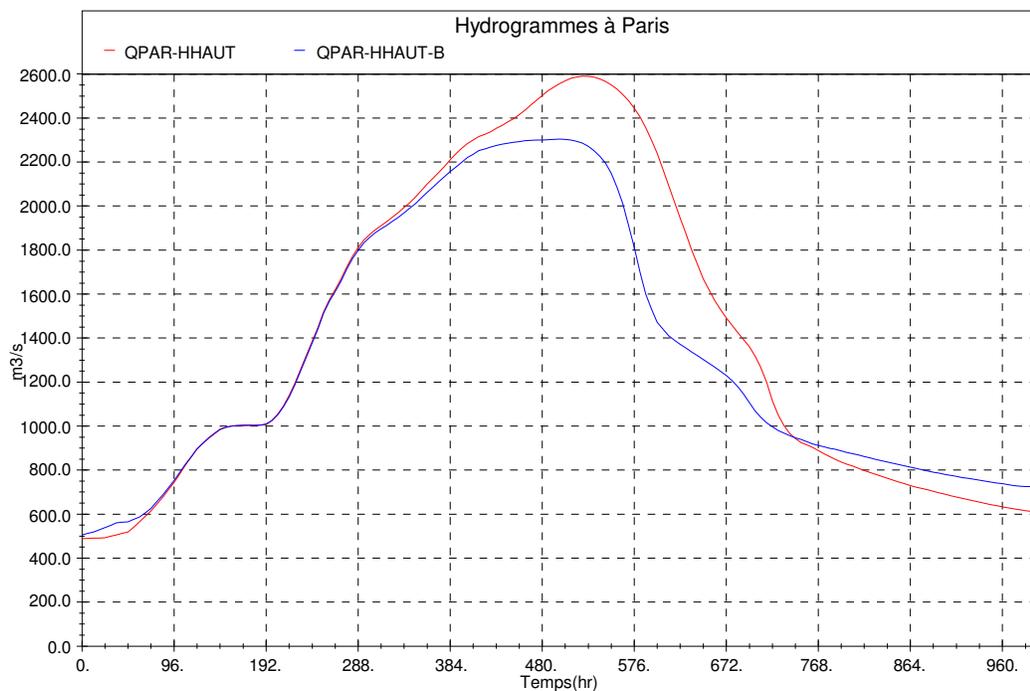
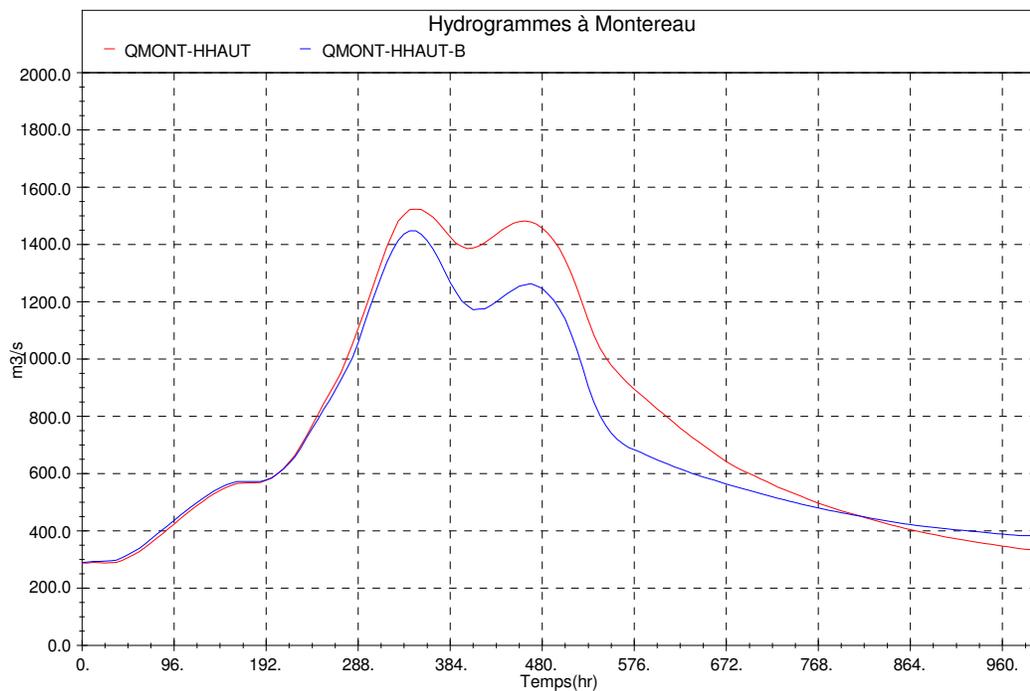


T100ans - hyp.moyenne sur H1 - Sol humide en debut de crue



Figure 5-8 : scénario T100S2R3

Action des barrages réservoirs - Episode pluvieux en milieu d'événement

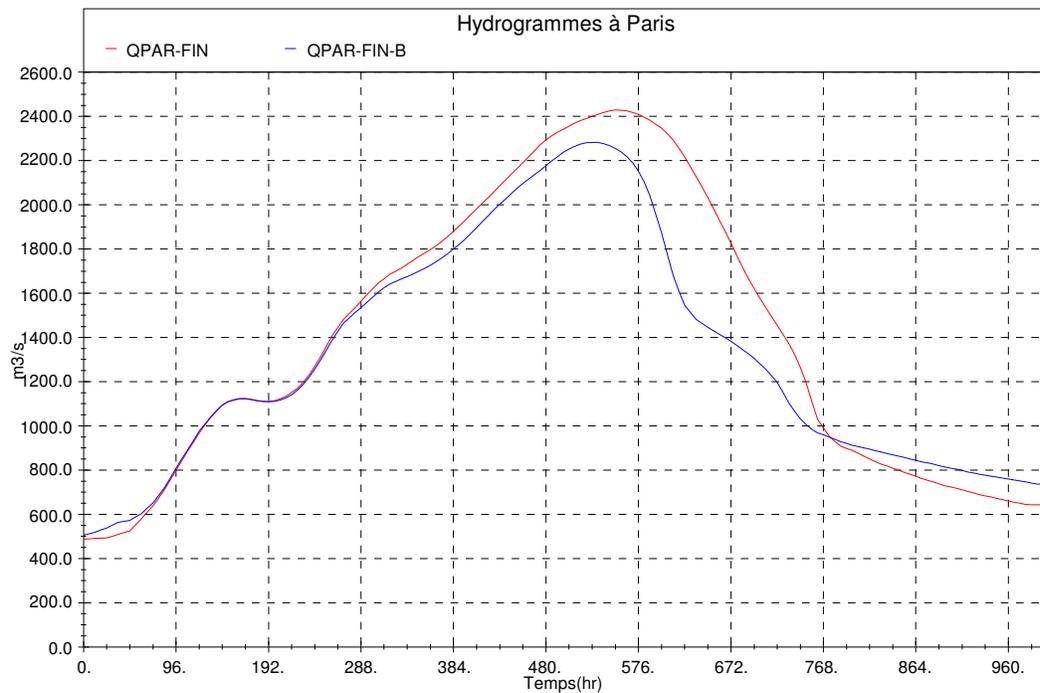
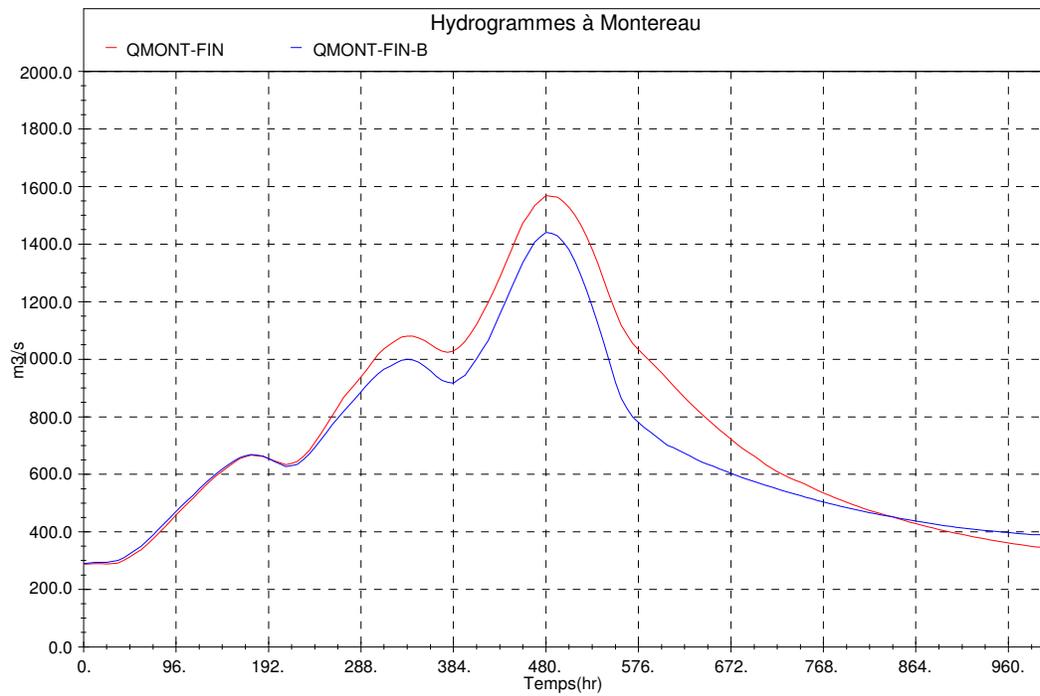


T100ans - hyp.forte sur H1 - Sol humide en debut de crue



Figure 5-9 : scénario T100S3R2

Action des barrages réservoirs - Episode pluvieux en fin d'événement



T100ans - hyp.moyenne sur H1 - Sol humide en debut de crue



5.3.3 Tests de gestion avec l'aménagement Bassée

5.3.3.1 Scénario de référence : gestion en horizon hydrologique connu

Pour ces quatre crues synthétiques on détermine la cote Zc1 par rapport à l'ensemble des pics, de façon à maximiser le volume de stockage disponible.

Les hydrogrammes et limnigrammes résultants à Montereau et Paris sont présentés en annexe 4 Les gains obtenus sont récapitulés ci-dessous :

crue	Horizon connu : gestion standard						
	ZC1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.25	49.72	49.29	0.43	33.32	33.16	0.16
S2R2	49.55	49.92	49.58	0.34	33.63	33.51	0.12
S2R3	49.56	50.30	49.84	0.45	33.69	33.63	0.05
S3R2	49.49	50.32	49.85	0.47	33.79	33.59	0.20
			Moyenne	0.42		Moyenne	0.13

crue	Horizon connu : gestion standard						
	Qmax Montereau 02	Qmax Montereau 03	Gain	Qmax Paris 02	Qmax Paris 03	Gain	
S1R2	1228	1184	45	2195	2141	54	
S2R2	1302	1274	28	2300	2258	42	
S2R3	1457	1275	182	2318	2300	19	
S3R2	1447	1284	163	2354	2286	67	
			Moyenne	104		Moyenne	46

Les gains obtenus avec ce mode de gestion sont maxima à Montereau, , mais plus contrastés à Paris.

A Paris les résultats de gains sont affectés par la combinaison des ondes de crues de la Marne et de la Seine, qui ne produisent pas des pics homogènes : un pic maximum à Montereau ne l'est pas forcément à Paris et donc le fait d'agir sur le pic maximum à Montereau peut induire un faible gain à Paris. C'est le cas de la crue S2R3.

5.3.3.2 Limitation du volume objectif de remplissage

Afin d'éviter de remplir prématurément les casiers on base la gestion sur un volume objectif de stockage de 40 Mm³ au lieu de 55 Mm³. Les résultats obtenus sont les suivants.

crue	Horizon connu : volume 40Mm3						
	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.23	49.72	49.33	0.39	33.32	33.15	0.18
S2R2	49.45	49.92	49.72	0.20	33.63	33.45	0.18
S2R3	49.65	50.30	49.85	0.45	33.69	33.61	0.07
S3R2	49.61	50.32	49.84	0.48	33.79	33.64	0.15
			Moyenne	0.38		Moyenne	0.15

Les gains observés à Montereau sont inférieurs en moyenne au scénario précédent, mais ils sont supérieurs à Paris car on répartit mieux les volumes stockés entre les pics de crue.

5.3.3.3 Imposition d'une cote minimale Zc1 supérieure à 48.5 NGF

L'hétérogénéité de ces crues synthétiques rend délicat la mise en place d'une gestion systématique de celles-ci. En particulier la présence de deux pics successifs importants et rapprochés rend la gestion difficile. Afin d'éviter un remplissage précoce des casiers lors du passage du premier pic de crue tout en assurant une protection minimum, il peut être choisi de définir une cote minimale de déclenchement du pompage. Celle-ci doit-être fixée en fonction du début de risque de dommage.

La cote 49.50 mNGF à Montereau est la cote de début de dommage important en Seine. Il paraît donc difficile de fixer la nouvelle cote de régulation à une valeur supérieure à 49.50 mNGF. En fixant Zc1 = 49.50 NGF on obtient les résultats suivants :

crue	Horizon connu : Zc1 à 49.5 mNGF						
	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.50	49.72	49.52	0.20	33.32	33.27	0.05
S2R2	49.50	49.92	49.62	0.30	33.63	33.48	0.15
S2R3	49.56	50.30	49.84	0.45	33.69	33.63	0.05
S3R2	49.50	50.32	49.84	0.48	33.79	33.61	0.19
			Moyenne	0.36		Moyenne	0.11

Les gains obtenus sont similaires à ceux des tests précédents, mais légèrement moins bons.

5.3.3.4 Tests de gestion en horizon hydrologique incertain

La gestion de type « horizon connu » sur ces crues synthétiques à pics multiples est une gestion théorique qui sert de gestion de référence mais qui n'est pas applicable en pratique en raison des délais de prévision trop importants entre le passage de deux pics successifs de crue.

Les données d'entrée du système étant déjà issues des modèles Pluie-Débit de tête du modèle, il ne peut pas être testé ici la prévision en hydrologie incertaine comme il l'a été fait avec les crues historiques. Par contre, il est possible de se placer 4 jours avant le premier pic de crue observé et de considérer que l'on a une vision de prévision à 7 jours (comme par ailleurs dans cette étude).

Dans ce cadre il est possible d'adopter différents comportements face au premier pic de crue.

- Test 1 : gestion locale attachée au premier pic dépassant la cote 48.5 NGF à Montereau

La première gestion possible est d'écrêter ce pic au maximum sans se soucier des événements suivants :

crue	Prévision : gestion de standard						
	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	48.86	49.72	49.73	-0.01	33.32	33.31	0.01
S2R2	49.16	49.92	49.93	-0.01	33.63	33.63	0.00
S2R3	49.50	50.30	49.84	0.46	33.69	33.63	0.05
S3R2	48.46	50.32	50.34	-0.02	33.79	33.79	0.00
			Moyenne	0.11		Moyenne	0.02

Le mode de gestion testé n'est pas satisfaisant. Seule la crue S2R3 est correctement traitée à Montereau par cette gestion.

- Test 2 : limitation du volume objectif à 40 Mm³

Une seconde solution consiste à écrêter le premier pic sur la base d'un volume de 40 Mm³ de manière à conserver une marge de volume de disponible pour agir sur le début de montée du second pic.

crue	Prévision : volume 40Mm3						
	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	48.96	49.72	49.72	0.00	33.32	33.25	0.07
S2R2	49.24	49.92	49.92	0.00	33.63	33.62	0.01
S2R3	49.63	50.30	49.84	0.46	33.69	33.62	0.07
S3R2	48.58	50.32	50.33	-0.01	33.79	33.78	0.02
			Moyenne	0.11		Moyenne	0.04

La méthode de gestion utilisée ici apporte un léger mieux mais n'est toujours pas satisfaisante.

□ Test 3 : augmentation de la cote minimale Zc1

Les cotes 49.00 NGF, 49.25 NGF et 49.50 NGF sont successivement testées.

L'imposition de ces cotes minimales désactive le pompage sur le premier pic d'une crue alors qu'il était actif dans les tests précédents. Le système de gestion en mode prévision est donc appliqué au pic suivant :

Prévision : Zc1 > 49.00 mNGF							
crue	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.00	49.72	49.69	0.03	33.32	33.20	0.12
S2R2	49.16	49.92	49.93	-0.01	33.63	33.63	0.00
S2R3	49.50	50.30	49.84	0.46	33.69	33.63	0.05
S3R2	49.00	50.32	50.15	0.17	33.79	33.58	0.21
			Moyenne	0.16		Moyenne	0.10

Prévision : Zc1 > 49.25 mNGF							
crue	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.25	49.72	49.29	0.43	33.32	33.16	0.16
S2R2	49.25	49.92	49.93	-0.02	33.63	33.63	0.01
S2R3	49.50	50.30	49.84	0.46	33.69	33.63	0.05
S3R2	49.49	50.32	49.85	0.47	33.79	33.59	0.20
			Moyenne	0.34		Moyenne	0.11

Prévision : Zc1 > 49.50 mNGF							
crue	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain
S1R2	49.50	49.72	49.52	0.20	33.32	33.27	0.05
S2R2	49.50	49.92	49.62	0.30	33.63	33.48	0.16
S2R3	49.50	50.30	49.84	0.46	33.69	33.63	0.05
S3R2	49.50	50.32	49.84	0.48	33.79	33.61	0.19
			Moyenne	0.36		Moyenne	0.11

Ces tests illustrent l'intérêt majeur d'adapter la cote Zc1 à la typologie de la crue, en cas de crue extrême. En particulier, l'écrêtement à Montereau est très sensible à la valeur de cote retenue. Le problème principal vient de la difficulté d'apprécier à l'avance comment vont se succéder les pics de crue dans le cas d'événements multiples : le calage précis de Zc1 n'est pas réaliste.

□ Test4 : relèvement de la cote minimum Zc1 et limitation du volume de stockage objectif

Un compromis intéressant consiste à caler la cote Zc1 sur pic de crue en cours mais en imposant une double condition :

- Cote Zc1 minimum égale à 49 NGF,
- Cote réglée pour stoker un volume maximum de 30 Mm³.

Une solution probablement plus robuste pour ces crues extrêmes serait de moduler la cote Zc1 par rapport à un volume de remplissage limité à 30 Mm³ environ. Cette double condition permettrait de disposer d'un creux disponible pour faire face au pic de crue suivant, tout en limitant les stockages pour les pics de crue dommageables mais non véritablement non critiques, c'est-à-dire inférieurs à la cote 49.0 NGF.

Le tableau suivant récapitule les gains obtenus pour ce test :

crue	Horizon connu : volume 40Mm ³ et Zc1 à 49.0 mNGF							
	Zc1 (mNGF)	Zmax Montereau 02	Zmax Montereau 03	Gain	Zmax Paris 02	Zmax Paris 03	Gain	
S1R2	49.04	49.72	49.67	0.06	33.32	33.13	0.20	
S2R2	49.32	49.92	49.90	0.02	33.63	33.57	0.07	
S2R3	49.73	50.30	49.85	0.45	33.69	33.63	0.05	
S3R2	49.00	50.32	50.15	0.17	33.79	33.58	0.21	
			Moyenne	0.17		Moyenne	0.13	

Les gains sont en moyenne plus élevés que le test avec volume objectif de 40 Mm³, mais on continue de noter de fortes disparités de gains d'un test à l'autre.

5.4 SYNTHÈSE

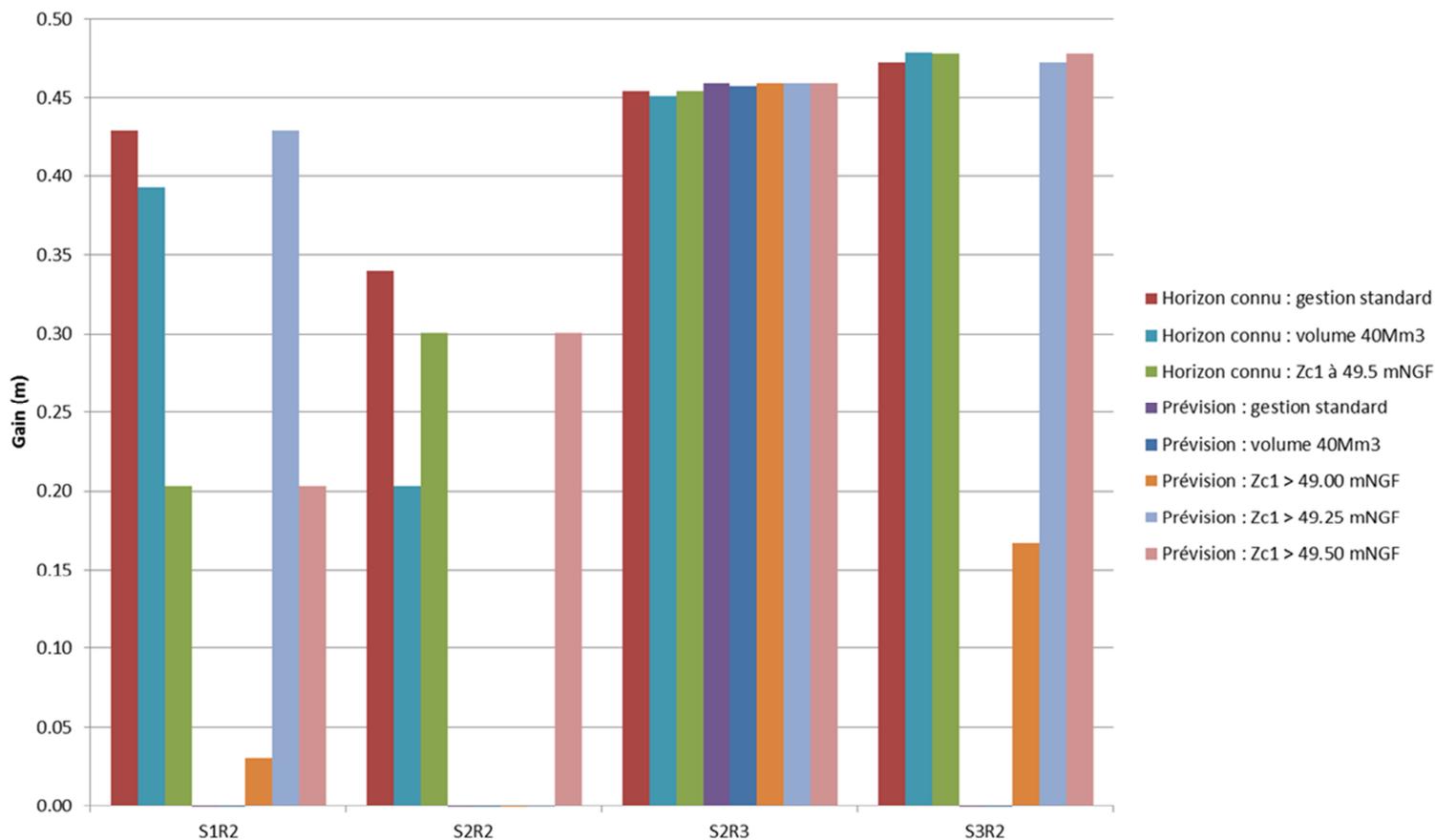
La problématique des crues multiples constitue une difficulté pour la gestion de l'aménagement Bassée car la vidange des casiers est généralement limitée entre deux passages de pics de crue.

Afin de s'affranchir des niveaux élevés de Seine et assurer des temps de vidange limités entre deux crues, il convient de définir une borne minimum égale à 48.5 NGF pour la cote Zc1

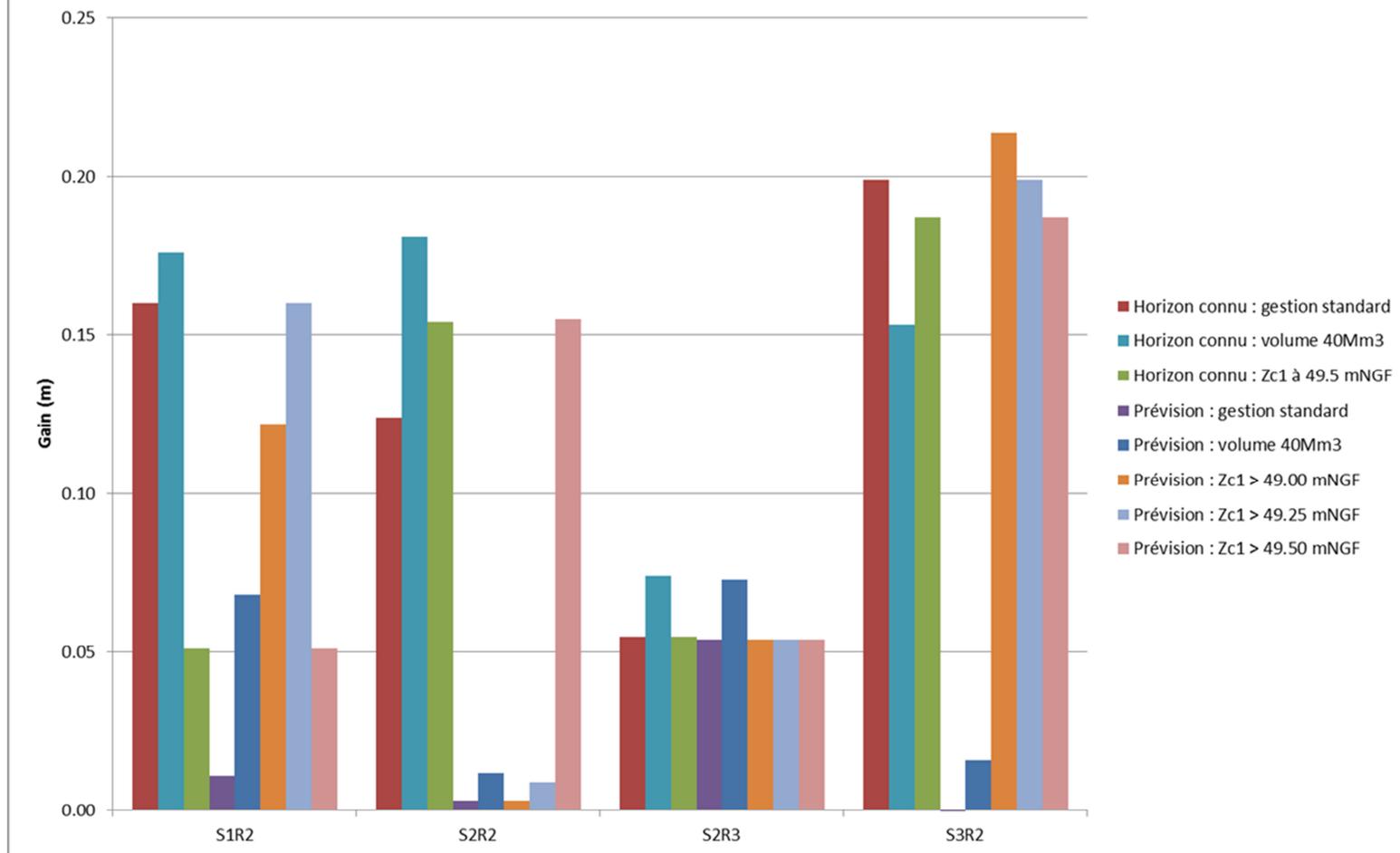
D'autre part les crues à caractère exceptionnel (de période de retour 100 ans et au-delà) sont généralement formées d'une succession d'ondes de crue à intervalles de temps rapprochés. Afin de conserver une certaine efficacité à l'aménagement de la Bassée pour ces crues une solution possible, en l'absence de prévision à 6 jours, consiste d'une part à relever le seuil Zc1 minimum à 49.0 NGF et d'autre part limiter le volume objectif de stockage de chaque pic de crue à 30 Mm³. A noter que seule la crue J10 rentre dans cette catégorie de « crue exceptionnelle » parmi les crues historiques analysées.

Une autre solution, plus réaliste, consiste adapter la cote Zc1 à l'évolution de la crue, ce point est analysé au chapitre 7.

Gain à Montereau : influence de différents paramètres sur le crues synthétiques



Gain à Paris : influence de différents paramètres sur le crues synthétiques



6 PROPOSITION D'ALTERNATIVE A LA REGLE DE GESTION DE REFERENCE

6.1 LA NOUVELLE REGLE

Afin, de limiter le problème de gestion de la vidange pour les crues multiples on propose de modifier les règles de la gestion de référence en modulant le pompage de façon à limiter le pompage à des niveaux supérieurs à 48.5 mNGF à Montereau.

La cote de régulation correspondant à un écrêtement maximum de la pointe de crue en cours est calculée. Si cette cote est supérieure à 48,5 mNGF, la cote Zc1 de régulation calculée est conservée, sinon Zc1 est fixé à 48,5 mNGF.

Cette solution évite de solliciter inutilement la totalité du stockage disponible et présente en outre deux avantages :

- limitation des coûts de pompage pour les crues moyennes : 14 des crues testées bénéficieraient de ces limitations,
- meilleure gestion des crues présentant des pointes multiples rapprochées. Un remplissage prématuré de l'ouvrage sur une pointe de crue moyenne peut saturer prématurément les casiers et empêcher un écrêtement efficace de l'onde de crue suivante.

crue	Zc1 (mNGF)	Zc1 > 48.5 (mNGF)
j10	49.40	49.40
n10	48.64	48.64
j19	48.55	48.55
j24	48.79	48.79
n44	48.49	48.50
f45	48.98	48.98
j55	48.85	48.85
j59	48.31	48.50
f70	48.48	48.50
f77	48.26	48.50
a78	48.30	48.50
f80	48.18	48.50
j82	48.44	48.50
d82	48.25	48.50
a83	48.15	48.50
d93	48.22	48.50
j95	48.13	48.50
m99	48.19	48.50
d99	48.11	48.50
m01	48.23	48.50

Remarque : Dans le cadre de cette gestion alternative, les crues dont la pointe à Montereau est inférieure à la cote 48.5 mNGF ne sollicitent pas l'ouvrage de la Bassée. C'est le cas des événements de Janvier 1995 et Avril 1978.

Les tableaux suivants récapitulent les résultats obtenus avec cette adaptation de la gestion de référence à Montereau, Corbeil, Villeneuve St-Georges, Alfortville et Paris.

Gains à Montereau et Corbeil – gestion de référence adaptée

Crue	Montereau				Gain gestion de référence non adaptée (m)	Crue	Montereau				Gain gestion de référence non adaptée (m)
	Zmax sans barrages (mNGF)	Zmax sans Bassée (mNGF)	Zmax avec Bassée (mNGF)	Gain (m)			Qmax sans barrages (m ³ /s)	Qmax sans Bassée (m ³ /s)	Qmax avec Bassée (m ³ /s)	Gain (m ³ /s)	
j10	50.28	49.79	49.59	0.20	0.34	j10	1433	1278	1177	101	149
n10	49.03	49.02	48.83	0.19	0.19	n10	1014	1013	950	63	63
j19	49.39	49.20	48.77	0.42	0.42	j19	1137	1069	910	160	160
j24	49.85	49.22	48.84	0.38	0.38	j24	1304	1070	931	139	139
n44	49.03	48.90	48.63	0.28	0.32	n44	1022	974	880	95	102
f45	49.79	49.26	48.99	0.27	0.26	f45	1293	1088	999	89	89
j55	49.95	49.37	48.96	0.42	0.47	j55	1348	1117	985	132	145
j59	48.97	48.77	48.53	0.24	0.29	j59	984	911	841	71	88
f70	49.19	49.05	48.68	0.37	0.37	f70	1065	1014	888	126	122
f77	48.85	48.78	48.53	0.25	0.33	f77	946	919	838	80	97
a78	48.96	48.68	48.50	0.18	0.32	a78	965	871	835	36	90
f80	48.74	48.69	48.51	0.17	0.40	f80	898	879	827	52	106
j82	49.18	49.00	48.66	0.34	0.41	j82	1027	965	860	105	122
d82	48.83	48.74	48.51	0.23	0.32	d82	927	894	832	62	88
a83	48.60	48.47	48.47	0.00	0.26	a83	863	825	825	0	70
d93	48.84	48.64	48.51	0.12	0.29	d93	951	882	850	32	80
j95	48.43	48.39	48.38	0.01	0.21	j95	812	800	798	2	77
m99	48.63	48.59	48.51	0.08	0.30	m99	866	856	832	24	84
d99	48.72	48.59	48.51	0.07	0.32	d99	891	849	831	19	81
m01	48.93	48.90	48.65	0.24	0.58	m01	971	957	871	86	113
		Moyenne		0.22	0.33			Moyenne		74	100
		Min		0.00	0.19			Min		0	63
		Max		0.42	0.58			Max		160	160

Crue	Corbeil				Gain gestion de référence non adaptée (m)	Crue	Corbeil				Gain gestion de référence non adaptée (m)
	Zmax sans barrages (mNGF)	Zmax sans Bassée (mNGF)	Zmax avec Bassée (mNGF)	Gain (m)			Qmax sans barrages (m ³ /s)	Qmax sans Bassée (m ³ /s)	Qmax avec Bassée (m ³ /s)	Gain (m ³ /s)	
j10	37.72	37.20	37.02	0.18	0.21	j10	1744	1560	1505	56	67
n10	35.64	35.55	35.36	0.19	0.19	n10	1109	1112	1031	81	81
j19	36.14	35.93	35.57	0.36	0.36	j19	1243	1176	1070	106	106
j24	36.83	36.14	35.77	0.37	0.37	j24	1456	1237	1122	115	115
n44	35.69	35.52	35.20	0.32	0.40	n44	1104	1063	971	92	112
f45	36.73	36.09	35.85	0.25	0.25	f45	1406	1229	1160	69	69
j55	36.80	36.25	35.72	0.53	0.47	j55	1468	1281	1122	159	139
j59	35.81	35.48	35.35	0.13	0.24	j59	1124	1051	1010	41	76
f70	35.93	35.77	35.44	0.33	0.39	f70	1182	1135	1037	98	112
f77	35.55	35.44	35.36	0.08	0.25	f77	1073	1050	1022	28	80
a78	36.07	35.71	35.53	0.18	0.35	a78	1195	1101	1050	50	98
f80	35.55	35.50	35.40	0.10	0.29	f80	1073	1059	1033	27	85
j82	36.41	36.23	35.87	0.36	0.43	j82	1329	1266	1149	117	134
d82	35.87	35.79	35.60	0.19	0.43	d82	1147	1123	1068	55	120
a83	35.64	35.63	35.63	0.00	0.06	a83	1076	1070	1070	1	9
d93	35.41	35.15	35.02	0.13	0.30	d93	1031	964	929	35	80
j95	35.28	35.23	35.22	0.01	0.28	j95	986	974	971	3	79
m99	35.25	35.20	35.15	0.05	0.28	m99	1006	996	978	19	79
d99	35.63	35.48	35.44	0.04	0.30	d99	1054	1012	1000	12	84
m01	35.64	35.59	35.32	0.27	0.37	m01	1108	1095	1017	78	108
		Moyenne		0.20	0.31			Moyenne		62	92
		Min		0.00	0.06			Min		1	9
		Max		0.53	0.53			Max		159	159

Gains à Villeneuve St Georges et Alfortville – gestion de référence adaptée

Crue	Villeneuve-St-Georges				Gain gestion de référence non adaptée (m)	Crue	Villeneuve-St-Georges				Gain gestion de référence non adaptée (m)
	Zmax sans barrages (mNGF)	Zmax sans Bassée (mNGF)	Zmax avec Bassée (mNGF)	Gain (m)			Qmax sans barrages (m ³ /s)	Qmax sans Bassée (m ³ /s)	Qmax avec Bassée (m ³ /s)	Gain (m3/s)	
j10	35.38	34.87	34.69	0.18	0.23	j10	1753	1618	1565	53	43
n10	33.18	33.00	32.78	0.22	0.22	n10	1152	1157	1075	82	82
j19	33.64	33.44	33.14	0.30	0.30	j19	1273	1208	1140	68	68
j24	34.50	33.66	33.27	0.39	0.39	j24	1476	1290	1198	91	91
n44	33.23	33.00	32.66	0.34	0.41	n44	1161	1118	1027	92	112
f45	34.50	33.56	33.35	0.21	0.21	f45	1438	1287	1228	59	59
j55	34.43	33.77	33.44	0.33	0.38	j55	1442	1303	1165	138	122
j59	33.42	32.90	32.84	0.06	0.15	j59	1163	1096	1072	24	41
f70	33.37	33.20	32.91	0.29	0.35	f70	1219	1176	1092	84	92
f77	32.98	32.80	32.75	0.05	0.20	f77	1116	1088	1064	24	66
a78	33.71	33.19	33.02	0.17	0.34	a78	1244	1161	1111	50	72
f80	32.96	32.87	32.76	0.11	0.25	f80	1122	1112	1088	24	61
j82	33.93	33.73	33.40	0.33	0.41	j82	1371	1326	1222	104	122
d82	33.42	33.35	33.19	0.16	0.41	d82	1222	1201	1156	45	115
a83	33.20	33.19	33.19	0.00	0.04	a83	1179	1175	1174	1	14
d93	32.90	32.59	32.47	0.11	0.26	d93	1074	1004	973	31	77
j95	32.82	32.75	32.75	0.00	0.27	j95	1048	1040	1037	3	70
m99	32.49	32.42	32.37	0.05	0.27	m99	1038	1025	1013	13	73
d99	33.32	33.19	33.16	0.03	0.29	d99	1120	1080	1066	15	92
m01	32.99	32.90	32.66	0.25	0.27	m01	1140	1125	1051	74	101
		Moyenne		0.18	0.28			Moyenne		54	80
		Min		0.00	0.04			Min		1	14
		Max		0.39	0.41			Max		138	138

Crue	Alfortville				Gain gestion de référence non adaptée (m)	Crue	Alfortville				Gain gestion de référence non adaptée (m)
	Zmax sans barrages (mNGF)	Zmax sans Bassée (mNGF)	Zmax avec Bassée (mNGF)	Gain (m)			Qmax sans barrages (m ³ /s)	Qmax sans Bassée (m ³ /s)	Qmax avec Bassée (m ³ /s)	Gain (m3/s)	
j10	34.87	34.28	34.12	0.16	0.23	j10	1787	1635	1556	79	78
n10	32.63	32.27	32.14	0.13	0.13	n10	1150	1156	1075	80	80
j19	33.01	32.82	32.51	0.30	0.30	j19	1272	1209	1137	72	72
j24	33.97	33.02	32.62	0.40	0.40	j24	1461	1290	1199	91	91
n44	32.64	32.35	32.00	0.34	0.39	n44	1160	1119	1027	92	113
f45	33.96	32.92	32.74	0.18	0.18	f45	1430	1286	1228	58	58
j55	33.89	33.21	32.93	0.28	0.33	j55	1430	1299	1165	134	117
j59	32.84	32.25	32.20	0.05	0.15	j59	1162	1097	1069	28	43
f70	32.72	32.54	32.26	0.28	0.35	f70	1218	1176	1092	84	93
f77	32.33	32.12	32.08	0.04	0.18	f77	1118	1088	1064	25	66
a78	33.13	32.55	32.39	0.16	0.33	a78	1243	1160	1111	49	69
f80	32.29	32.19	32.06	0.13	0.27	f80	1121	1111	1087	23	60
j82	33.29	33.07	32.76	0.32	0.40	j82	1367	1321	1220	101	120
d82	32.79	32.72	32.55	0.17	0.41	d82	1219	1197	1152	45	114
a83	32.54	32.53	32.53	0.00	0.03	a83	1178	1177	1175	1	12
d93	32.27	31.94	31.83	0.11	0.24	d93	1076	1006	975	31	77
j95	32.20	32.13	32.11	0.01	0.27	j95	1048	1039	1036	3	69
m99	31.76	31.68	31.65	0.03	0.25	m99	1037	1023	1012	11	70
d99	32.77	32.64	32.62	0.02	0.27	d99	1122	1082	1068	14	92
m01	32.31	32.21	32.05	0.16	0.19	m01	1140	1124	1053	71	100
		Moyenne		0.16	0.26			Moyenne		55	81
		Min		0.00	0.03			Min		1	12
		Max		0.40	0.41			Max		134	134

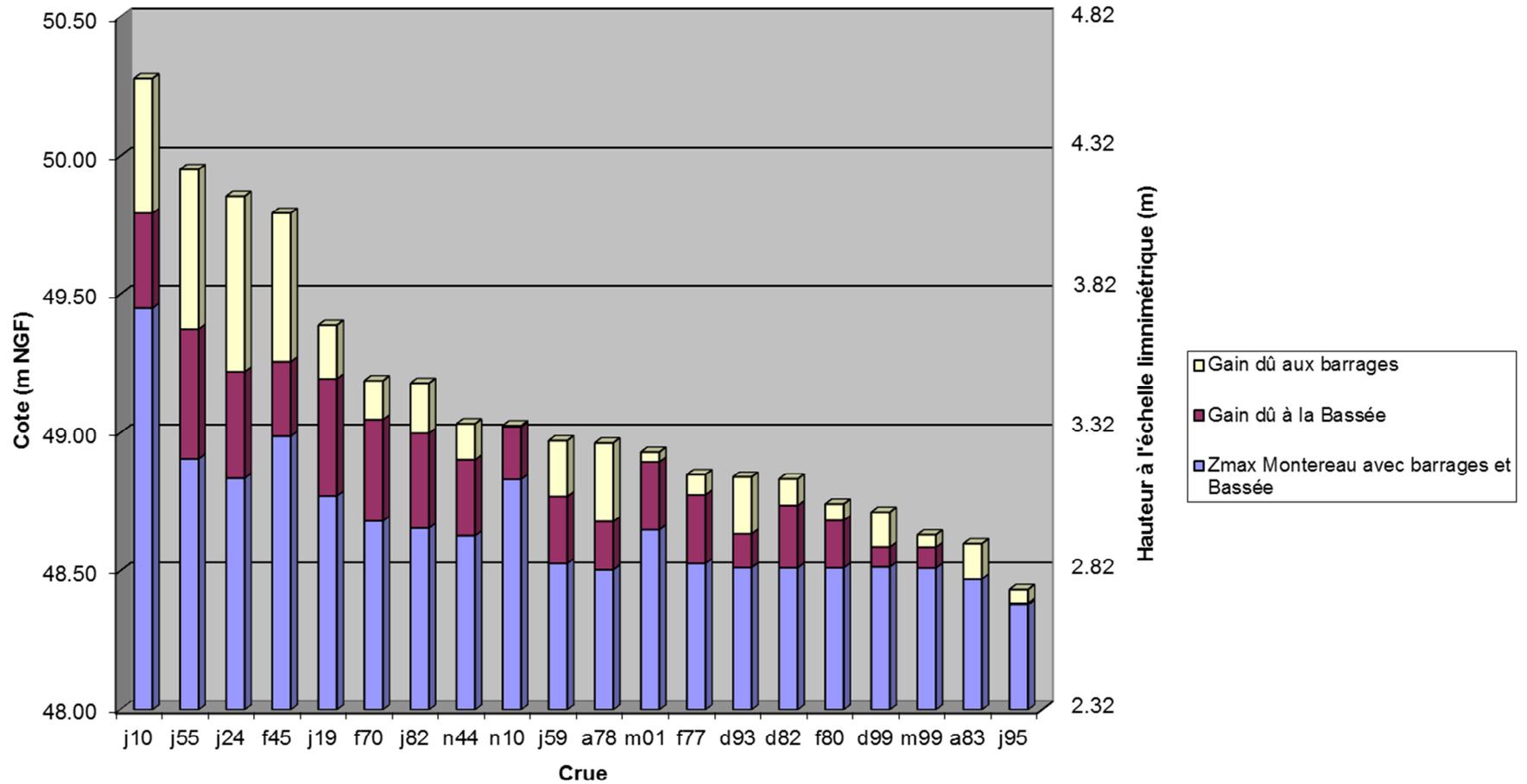
Gains à Paris – gestion de référence adaptée :

Crue	Paris				Gain gestion de référence non adaptée (m)	Crue	Paris				Gain gestion de référence non adaptée (m)
	Zmax sans barrages (mNGF)	Zmax sans Bassée (mNGF)	Zmax avec Bassée (mNGF)	Gain (m)			Qmax sans barrages (m ³ /s)	Qmax sans Bassée (m ³ /s)	Qmax avec Bassée (m ³ /s)	Gain (m ³ /s)	
j10	33.93	33.25	33.12	0.13	0.20	j10	2400	2171	2127	44	69
n10	31.76	31.32	31.25	0.07	0.07	n10	1661	1516	1495	22	22
j19	32.05	31.88	31.60	0.28	0.28	j19	1760	1701	1607	94	94
j24	33.02	32.05	31.73	0.31	0.31	j24	2092	1760	1651	109	109
n44	31.84	31.42	31.12	0.30	0.32	n44	1688	1550	1452	98	105
f45	33.01	31.96	31.81	0.14	0.14	f45	2087	1728	1678	50	50
j55	32.96	32.31	32.07	0.24	0.24	j55	2071	1850	1768	82	74
j59	31.94	31.34	31.29	0.04	0.13	j59	1723	1522	1508	14	43
f70	31.77	31.60	31.34	0.26	0.31	f70	1662	1606	1523	83	100
f77	31.40	31.20	31.17	0.02	0.13	f77	1541	1476	1469	7	43
a78	32.20	31.61	31.47	0.14	0.29	a78	1814	1610	1564	46	93
f80	31.35	31.25	31.13	0.12	0.24	f80	1526	1494	1455	39	78
j82	32.30	32.08	31.80	0.28	0.35	j82	1846	1774	1674	100	123
d82	31.85	31.78	31.62	0.15	0.37	d82	1690	1666	1615	51	122
a83	31.59	31.58	31.58	0.00	0.03	a83	1603	1602	1600	1	9
d93	31.37	31.07	30.98	0.09	0.19	d93	1531	1435	1407	28	62
j95	31.31	31.24	31.23	0.01	0.23	j95	1512	1492	1488	3	74
m99	30.85	30.79	30.78	0.01	0.20	m99	1364	1345	1343	2	63
d99	31.89	31.78	31.76	0.01	0.24	d99	1706	1665	1661	4	78
m01	31.40	31.26	31.19	0.07	0.10	m01	1542	1498	1474	24	32
		Moyenne		0.13	0.22				Moyenne	45	71
		Min		0.00	0.03				Min	1	9
		Max		0.31	0.37				Max	109	123

Le tableau ci-dessous quantifie les volumes stockés dans l'ensemble de l'aménagement pour chaque crue dans les deux modes de gestion, avec et sans cote minimale de pompage à 48.50 mNGF.

Crue	Volume stocké avec Zc1 > 48.5 mNGF	
	Volume stocké (Mm ³)	
j10	54.0	54.0
n10	44.6	44.6
j19	52.9	52.9
j24	51.6	51.6
n44	51.0	50.7
f45	40.7	40.7
j55	53.2	53.2
j59	51.7	17.4
f70	53.5	53.4
f77	49.0	18.1
a78	49.4	14.0
f80	38.2	7.6
j82	49.4	42.6
d82	49.4	18.4
a83	39.5	0.0
d93	35.2	6.5
j95	39.4	0.0
m99	21.2	1.6
d99	49.2	2.4
m01	46.4	20.6
Moyenne	46.0	27.5

Impacts des barrages et de l'aménagement Bassée sur les cotes maximales obtenues pour chaque crue à Montereau pour Zc1 > 48.5 mNGF



Impacts des barrages et de l'aménagement Bassée sur les cotes maximales obtenues pour chaque crue à Corbeil pour Zc1 > 48.5 mNGF

