



Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve sénégal
(O . M . V . S .)

Programme d'Optimisation de Gestion des Réservoirs

Manuel de gestion du barrage de DIAMA

**VERSION REVISEE POUR LES CONDITIONS D'ECOULEMENT PREVALANT
DEPUIS OCTOBRE 2003 (OUVERTURE DE LA BRECHE DANS LA LANGUE DE
BARBARIE)**

22 Juin 2004

Auteur : JC Bader


Institut de recherche
pour le développement

République Française
SERVICE DE COOPERATION ET D'ACTION
CULTURELLE
DAKAR – SENEGAL
S.C.A.C

AVANT PROPOS

Ce document est une adaptation du manuel de gestion de Diama établi par l'IRD en 2001. Cette adaptation a été rendue nécessaire par l'abaissement global du niveau de plan d'eau à l'aval de l'ouvrage, survenu depuis l'ouverture d'une brèche dans la Langue de Barbarie en Octobre 2003.

Comme dans le premier manuel, l'objectif consiste ici à établir des règles de gestion permettant de maintenir un plan d'eau amont élevé tout en respectant la règle de sécurité de l'ouvrage relative à la dissipation d'énergie (produit du débit par la dénivelée inférieur à $1000 \text{ m}^4/\text{s}$).

Sauf pour l'étalonnage des vannes noyées, toutes les modélisations présentées dans le manuel de 2001 ont dû être modifiées, sur la base des relevés effectués par la SOGED (niveaux, réglages) depuis 7 mois. Les résultats présentés ici s'appuient donc sur un ensemble de données plus restreint que pour le premier manuel. Ils sont adaptés au contexte présent, qui risque par ailleurs d'évoluer sur le plan hydraulique. Il est probable en effet que la migration naturelle de l'embouchure du fleuve vers le sud, avec formation progressive d'un bouchon sableux, reprenne à partir de la situation actuelle.

Une nouvelle version du programme GESDIAM d'aide à la gestion en temps réel de Diama, utilisant les résultats présentés dans ce nouveau manuel, sera fournie à l'OMVS d'ici fin juin 2004.

TABLE DES MATIERES

1 Synthèse des résultats.....	5
1.1 Etalonnage des vannes en écoulement noyé.....	5
1.2 Relation moyenne entre le niveau de plan d'eau aval et le débit lâché, en régime établi.....	5
1.3 Relation moyenne entre le niveau amont, le palier de réglage des vannes et le débit lâché (vannes noyées, régime établi)	5
1.4 Relation moyenne entre le niveau amont, le palier de réglage des vannes et le niveau aval (vannes noyées, régime établi)	6
1.5 Relations concernant l'écoulement libre	6
1.6 Valeurs de débit et d'indice de dissipation d'énergie en régime établi, en fonction du niveau amont et du palier de réglage des vannes. Fluctuations avec la marée	6
1.7 Niveau amont en fonction du palier de réglage des vannes et de l'indice de dissipation d'énergie (vannes noyées, régime établi). Statistique de l'effet de marée.....	7
1.8 Gestion du barrage en période d'étiage	8
1.9 Gestion du barrage en début de crue	8
1.10 Gestion du barrage en période de crue	8
1.11 Gestion du barrage en fin de crue.....	9
2 Caractéristiques des nouvelles conditions d'écoulement	10
3 Etalonnage des vannes en écoulement noyé.....	10
4 Relation moyenne entre le niveau de plan d'eau aval et le débit lâché, en régime d'écoulement établi.	10
5 Relation moyenne entre le niveau amont, le palier de réglage des vannes et le débit lâché (vannes noyées, régime établi)	11
6 Relation moyenne entre le niveau amont, le palier de réglage des vannes et le niveau aval (vannes noyées, régime établi)	11
7 Relations concernant l'écoulement libre	12
8 Valeurs de débit et d'indice de dissipation d'énergie en régime établi, en fonction du niveau amont et du palier de réglage des vannes. Fluctuations avec la marée	13
8.1 Vannes noyées.....	13
8.2 Vannes effacées.....	14
9 Niveau amont en fonction du palier de réglage des vannes et de l'indice de dissipation d'énergie (vannes noyées, régime établi). Statistique de l'effet de marée.....	14
10 Procédures générales de gestion du barrage	15
10.1 Période d'étiage.....	15
10.2 Début de crue	15
10.2.1 Objectif de gestion	15
10.2.2 Eléments permettant d'élaborer une stratégie optimale d'abaissement du niveau	16
10.2.3 Procédure préconisée pour abaisser le plan d'eau	18
10.3 Période de crue.....	19
10.3.1 Ouverture des vannes à un palier inférieur au palier critique P0.....	19
10.3.2 Ouverture des vannes à un palier supérieur au palier critique P0.....	20
10.4 Fin de crue.....	20

1 SYNTHÈSE DES RESULTATS

1.1 ETALONNAGE DES VANNES EN ECOULEMENT NOYE

L'étalonnage des vannes noyées, valable en régime établi ou transitoire, est inchangé par rapport à l'ancien manuel :

$$Q = f_1(H_m - H_v, P) = 1,0566 * E(P) * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{0,3761}$$

- Q : débit lâché instantané (m³/s)
- E : ouverture verticale de vanne (m)
- P : palier de réglage des vannes
- L : largeur de vanne (= 20 m)
- g : accélération de la pesanteur (= 9,81 m/s²)
- H_m : niveau instantané de plan d'eau amont (m)
- H_v : niveau instantané de plan d'eau aval (m)

1.2 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU DE PLAN D'EAU AVAL ET LE DEBIT LACHE, EN REGIME ETABLI

A l'aval du barrage, le niveau du plan d'eau varie en fonction du débit lâché (régime établi) et des conditions imposées par la marée. La relation moyenne avec le débit s'exprime comme suit (fig. 1):

$$H_v = f_2(Q) = (Q/1683,2)^{(1/1,3891)} - 0,22194$$

- H_v : niveau moyen du plan d'eau aval (m)
- Q : débit lâché instantané (m³/s)

1.3 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU AMONT, LE PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET LE DEBIT LACHE (VANNES NOYEEES, REGIME ETABLI)

Les relations f1 et f2 permettent d'établir un barème de correspondance donnant le débit moyen en fonction du niveau amont et du palier de réglage des vannes. Cette relation peut être paramétrée comme suit (fig. 2 et 3):

$$Q = f_3(H_m, P) = a * P^3 + b * P^2 + c * P$$
$$a = -0,0175 H_m^3 + 0,1246 H_m^2 - 0,3394 H_m + 0,3031$$
$$b = 0,2651 H_m^3 - 2,1839 H_m^2 + 7,8918 H_m - 12,382$$
$$c = -8,0007 H_m^2 + 73,285 H_m + 132,55$$

- Q : débit moyen (m³/s)
- H_m : niveau de plan d'eau amont (m)
- P : palier de réglage des vannes

1.4 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU AMONT, LE PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET LE NIVEAU AVAL (VANNES NOYÉES, RÉGIME ÉTABLI)

Les fonctions f_2 et f_3 permettent d'exprimer de la façon suivante le niveau aval moyen en fonction du niveau amont et du palier de réglage des vannes :

$$H_v = f_4(H_m, P) = f_2(f_3(H_m, P))$$

L'erreur type de cette relation (fig. 4), représentative des fluctuations dues à l'effet de marée, peut être reliée au palier de réglage des vannes de la façon suivante (fig. 5) :

$$S = f_5(P) = 0,00017444 (23 - P)^{2,4128} + 0,02$$

S : erreur type (m) de la relation $H_v = f_4(H_m, P)$

P : palier de réglage des vannes

1.5 RELATIONS CONCERNANT L'ÉCOULEMENT LIBRE

Ce régime d'écoulement n'ayant pas été observé depuis l'ouverture de la brèche, les relations moyennes suivantes sont obtenues sur la base des mesures effectuées en 1999, dans l'hypothèse forte d'une relation linéaire et inchangée entre débit et dénivelée :

$$H_m - H_v = f_6(Q) = 0,00003716 Q$$

$$H_m = f_7(Q) = 0,00003716 Q + (Q/1683,2)^{(1/1,3891)} - 0,22194$$

$$Q = f_8(H_m) = 38,995 H_m^4 - 241,07 H_m^3 + 800,71 H_m^2 + 1233,3 H_m + 203,58$$

H_m : niveau amont en écoulement libre (m)

H_v : niveau aval en écoulement libre (m)

Q : débit en écoulement libre (m^3/s)

1.6 VALEURS DE DÉBIT ET D'INDICE DE DISSIPATION D'ÉNERGIE EN RÉGIME ÉTABLI, EN FONCTION DU NIVEAU AMONT ET DU PALIER DE REGLAGE DES VANNES. FLUCTUATIONS AVEC LA MAREE

VANNES NOYÉES

En faisant l'hypothèse d'une répartition normale des écarts de niveau aval dus à la marée, autour d'une valeur moyenne liée au niveau amont et au réglage des vannes, on obtient les relations suivantes :

$$H_v = f_9(H_m, P, f) = f_4(H_m, P) + n(f) * S = f_2(f_3(H_m, P)) + n(f) * f_5(P)$$

$$H_m - H_v = f_{10}(H_m, P, f) = H_m - f_9(H_m, P, 1-f)$$

$$Q = f_{12}(H_m, P, f) = f_1(f_{10}(H_m, P, f), P)$$

$$W = f_{13}(H_m, P, f) = Q * (H_m - H_v) = f_1(f_{10}(H_m, P, f), P) * f_{10}(H_m, P, f)$$

H_v : niveau aval (m) dépassé avec la fréquence f pour H_m et P donnés

H_m : niveau amont (m)

P : palier de réglage des vannes

$n(f)$: écart à la moyenne pour une fréquence f dans une distribution normale réduite (tab. 1)

Hm – Hv : dénivellée amont aval (m) dépassée avec la fréquence f pour Hm et P donnés
 Q : débit (m³/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm et P donnés
 W : indice d'énergie (m⁴/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm et P donnés

Les fonctions f10, f12 et f13 sont représentées sur les tableaux 2A à 2D et les figures 7A à 7D et 8A à 8D. Comme avant l'ouverture de la brèche, c'est pour les paliers d'ouverture intermédiaires que le risque de dépassement de la limite d'énergie dissipée autorisée (1000 m⁴/s) est le plus élevé.

VANNES EFFACEES

Les relations concernant l'écoulement libre donnent selon le même principe :

$$Hm-Hv = f14(Hm, f) = Hm - (f6(Q) + n(1-f) * 0,02) = Hm - f6(f8(Hm)) - n(1-f) * 0,02$$

$$W = f15 (Hm, f) = f8(Hm) * (Hm - f6(f8(Hm)) - n(1-f) * 0,02)$$

Q : débit (m³/s)

Hm : niveau amont (m)

Hm – Hv : dénivellée amont aval dépassée avec la fréquence f pour Hm donné

W : indice d'énergie (m⁴/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm donné

L'écoulement libre ne pose pas de problème de dissipation d'énergie (tab. 2A à 2D).

1.7 NIVEAU AMONT EN FONCTION DU PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET DE L'INDICE DE DISSIPATION D'ENERGIE (VANNES NOYEEES, REGIME ETABLI). STATISTIQUE DE L'EFFET DE MAREE

Par inversion numérique la fonction f13, il est possible de relier de la façon suivante le niveau amont au palier de réglage des vannes et à l'indice de dissipation d'énergie (fig. 9A à 9C) :

$$\text{Si } P < P0 \quad : \quad Hm = f16(W, P, f) = Hm0 + (a2*P^2 + a1*P + a0) * (P0-P)^d$$

$$\text{Si } P > P0 \quad : \quad Hm = f16(W, P, f) = b4*P^4 + b3*P^3 + b2*P^2 + b1*P + b0$$

P : palier de réglage des vannes

W : indice de dissipation d'énergie (m⁴/s) égal à Q*(Hm-Hv)

f : fréquence de dépassement de W, associé à l'effet de marée

Hm : niveau amont (m) qui, associé à P, entraîne le dépassement de W avec la fréquence f

Hm0 : cote minimale de crue (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

P0 : palier d'ouverture critique dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

a0...a2 : paramètres (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

b0...b4 : paramètres (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

Déterminés numériquement à partir de la fonction f16 et indiqués dans le tableau 3 en fonction de Hm, P et f, les paliers limites d'ouverture P1 (<P0) et P2 (>P0) sont tels que :

- Si P < P1 alors le seuil W est dépassé avec une fréquence inférieure à f
- Si P1 < P < P2 alors le seuil W est dépassé avec une fréquence supérieure à f
- Si P2 < P alors le seuil W est dépassé avec une fréquence inférieure à f

1.8 GESTION DU BARRAGE EN PERIODE D'ETIAGE

L'objectif consiste à maintenir un niveau amont objectif élevé dans la retenue. Les manœuvres de vannes consistent à augmenter ou diminuer l'ouverture, selon que le niveau tend à passer au dessus ou au dessous du niveau objectif.

Compte tenu de la faiblesse des apports pendant l'étiage, l'ouverture des vannes reste très limitée. Le maintien de la cote 2,20 m peut être fait avec un risque de dépassement de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ inférieur à $1/25$, dès lors que le débit moyen à évacuer est inférieur à $361 \text{ m}^3/\text{s}$

1.9 GESTION DU BARRAGE EN DEBUT DE CRUE

L'objectif consiste à maintenir le plus tard possible le plan d'eau amont au niveau objectif d'étiage, avant de l'abaisser jusqu'à un niveau dépendant à la fois de la progression des cotes observées à l'échelle de Bakel, et du niveau de garantie souhaité pour le non dépassement des $1000 \text{ m}^4/\text{s}$. A tout moment, le niveau amont doit être suffisamment bas pour permettre un abaissement en huit jours jusqu'à la cote minimale de crue Hm0 si les apports de débit de l'amont le nécessitent.

La procédure générale d'abaissement, valable quel que soit le niveau de départ, doit être menée en maintenant le palier d'ouverture en deçà de la limite P1, fonction du niveau amont et du niveau de garantie souhaitée pour le respect de la limite d'énergie dissipée.(fig. 11A). Elle consiste, dès qu'un certain seuil a été dépassé par la cote moyenne sur 5 jours à l'échelle de Bakel, à abaisser le plan d'eau amont à Dama par ouverture progressive des vannes jusqu'au niveau de crue associé à ce seuil (fig. 10A à 10D). Ce niveau Hm est ensuite maintenu par ajustement de l'ouverture des vannes en deçà de P1(Hm) (fig. 11A), jusqu'à ce qu'un nouveau seuil soit éventuellement dépassé à Bakel, nécessitant alors la poursuite de l'abaissement.

Pendant toute cette phase, si l'on constate que des apports imprévus nécessitent l'ouverture des vannes à un palier supérieur à P1(Hm) pour empêcher le dépassement de la cote Hm, il est conseillé de poursuivre progressivement l'ouverture des vannes sans attendre, jusqu'à ce que le niveau amont diminue et repasse en dessous de la limite $f16(W, P, f)$ (fig. 9B). Ceci entraînera un dépassement limité de l'énergie dissipée autorisée, mais diminuera le risque d'un dépassement ultérieur plus important.

1.10 GESTION DU BARRAGE EN PERIODE DE CRUE

Lorsque les débits à évacuer du barrage pendant la crue sont suffisamment faibles pour permettre de respecter la norme d'énergie dissipée avec un palier d'ouverture inférieur à P0, c'est la procédure préconisée pour le début de crue qui continue à s'appliquer, avec le maintien du plan d'eau amont à un niveau de crue lié au plus haut seuil dépassé par les cotes à l'échelle de Bakel.

Lorsque ces débits nécessitent un palier d'ouverture supérieur à P0, la gestion consiste à ouvrir (resp. fermer) les vannes à mesure de l'augmentation (resp. la diminution) de ces débits, en s'assurant de maintenir un palier supérieur à la limite P2 (fig. 11B). Pendant cette phase, le niveau amont et l'ouverture des vannes augmentent donc en fonction du débit à évacuer.

En pratique, lorsque l'ouverture des vannes se situe au-delà de P0, le gestionnaire doit veiller à ce que le niveau amont Hm reste toujours inférieur ou égal à la limite $f16(W,P,f)$ (fig. 9B). Dès que ce niveau tend à dépasser la limite, il faut ouvrir progressivement les vannes. Dès qu'il tend à s'éloigner en dessous de cette limite, on peut se permettre de fermer progressivement les vannes.

1.11 GESTION DU BARRAGE EN FIN DE CRUE

L'objectif consiste à faire remonter le plan d'eau amont le plus tôt possible jusqu'au niveau objectif d'étiage, sans risquer de dépasser la limite des 1000 m⁴/s. La procédure préconisée, illustrée sur la figure 12, est la suivante :

Le rehaussement du plan d'eau par fermeture progressive des vannes ne peut être entamé qu'à partir du moment où les débits à évacuer du barrage sont suffisamment faibles pour voir le maintien du plan d'eau amont réalisé avec un palier P inférieur ou égal au palier critique P0.

La seconde condition concerne la certitude de décroissance des apports de l'amont. Le rehaussement ne peut être engagé qu'après le passage du maximum de crue, qui peut facilement être repéré par suivi des niveaux observés aux stations hydrométriques de l'amont, en particulier celle de Rosso.

Dès lors, la fermeture progressive des vannes peut être menée comme il était préconisé dans le manuel publié en 2001, par paliers ou demis paliers, en respectant simplement la nouvelle limite P1 de palier maximal d'ouverture dépendant de Hm et de la fréquence f acceptée pour le dépassement des 1000 m⁴/s (fig 11A, tab 3). Le principe est le suivant :

- Dès que l'on constate sur une journée à palier P constant une stabilisation du niveau Hm, voire une tendance à la baisse, on diminue l'ouverture des vannes.
- Si le niveau Hm a trop monté et dépasse la limite $f_{16}(W, P, f)$ (fig. 9B) relative au palier P de réglage en cours, on augmente l'ouverture des vannes.

2 CARACTERISTIQUES DES NOUVELLES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT

Afin de remédier à l'inondation de la ville de Saint Louis provoquée par la crue du Fleuve Sénégal, les Autorités Sénégalaises décident début octobre 2003 d'ouvrir une brèche dans la Langue de Barbarie, quelques kilomètres à l'aval de la ville. Cette modification importante du contrôle hydraulique régissant l'écoulement à l'aval de Diama se remarque dès le 6 Octobre à 7h30 sur les relevés effectués à l'ouvrage par la SOGED : un abaissement sensible du plan d'eau aval se produit indépendamment de toute manœuvre de vanne et alors que l'influence de la marée est forcément très réduite vu l'importance du débit évacué. Cette tendance à l'abaissement se poursuit jusqu'au relevé du 7 Octobre à 15h25, date à partir de laquelle un nouveau contrôle hydraulique aval semble être stabilisé.

Depuis cette date, le régime d'écoulement à Diama présente essentiellement les différences suivantes par rapport à l'ancien régime :

- Pour un même débit lâché par le barrage, le niveau moyen du plan d'eau aval est moins élevé
- Pour ce niveau de plan d'eau aval, l'amplitude de variation due à l'effet de marée est plus importante

3 ETALONNAGE DES VANNES EN ECOULEMENT NOYE

Lorsque les vannes sont complètement noyées (niveau aval plus élevé que le point le plus haut de l'orifice d'écoulement) le débit lâché est fonction de leur ouverture et de la dénivelée entre plans d'eau amont et aval. L'étalonnage établi précédemment reste donc valable, tant pour le régime établi que pour le régime transitoire succédant aux manœuvres de vannes :

$$Q = f_1(H_m - H_v, P) = 1,0566 * E(P) * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{0,3761}$$

- Q : débit lâché instantané (m³/s)
E : ouverture verticale de vanne (m)
P : palier de réglage des vannes
L : largeur de vanne (= 20 m)
g : accélération de la pesanteur (= 9,81 m/s²)
H_m : niveau instantané de plan d'eau amont (m)
H_v : niveau instantané de plan d'eau aval (m)

4 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU DE PLAN D'EAU AVAL ET LE DEBIT LACHE, EN REGIME D'ÉCOULEMENT ETABLI.

L'analyse est effectuée sur la base des 473 relevés effectués par la SOGED entre 6 Octobre 2003 et le 13 Mai 2004. Dans ces relevés, le niveau aval correspond à une lecture effectuée soit en dehors de toute modification de réglage des vannes, soit précédant d'éventuelles modifications. De ce fait, les relevés peuvent être considérés comme représentatifs du régime d'écoulement établi, excluant le bref régime transitoire succédant aux changements de réglage. Sur la période analysée, l'écoulement s'effectue en permanence par les vannes noyées (réglées de façon homogène) et il est possible de calculer le débit lâché avec la fonction f1.

La relation obtenue entre le débit Q et le niveau aval H_v, valable indépendamment de la position des vannes (noyées ou effacées) est illustrée sur la figure 1. La méthode des moindres carrés permet d'ajuster la relation moyenne suivante :

$$H_v = f_2(Q) = (Q/1683,2)^{(1/1,3891)} - 0,22194$$

- H_v : niveau moyen du plan d'eau aval (m)

Q : débit lâché instantané (m³/s)

On remarque que la nouvelle relation $H_v = f_2(Q)$ se situe nettement en dessous de la relation précédemment calée sur les relevés de la période 1986-1999 et confirmée par les relevés effectués entre le 01/01/2000 et le 05/10/2003.

Comme pour l'ancien régime d'écoulement, le niveau aval fluctue autour de la relation moyenne $f_2(Q)$ sous l'influence de la marée. L'amplitude de ces fluctuations diminue comme précédemment en fonction du débit, mais atteint désormais des valeurs beaucoup plus élevées pour les faibles débits.

5 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU AMONT, LE PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET LE DEBIT LACHE (VANNES NOYEEES, REGIME ETABLI)

De façon moyenne (schématiquement : à mi-chemin entre marée haute et marée basse), le niveau amont H_m , le palier P de réglage et le débit Q sont reliés de la façon suivante :

$$Q = f_1(H_m - H_v, P) = 1,0566 E(P) * N * L * (2 g * (H_m - H_v))^{0,3761}$$

$$H_v = f_2(Q) = (Q/1683,2)^{(1/1,3891)} - 0,22194$$

Par résolution numérique de ce système de deux équations, il est possible de déduire le débit Q pour une série de paliers P incrémentés d'une unité entre 0 et 23 et pour une série de niveaux H_m incrémentés de 0,10 m entre 1,00 et 2,50 m. A partir des points obtenus (figures 2 et 3), une relation inversant les deux précédentes s'établit de la façon suivante :

$$Q = f_3(H_m, P) = a * P^3 + b * P^2 + c * P$$

$$a = -0,0175 H_m^3 + 0,1246 H_m^2 - 0,3394 H_m + 0,3031$$

$$b = 0,2651 H_m^3 - 2,1839 H_m^2 + 7,8918 H_m - 12,382$$

$$c = -8,0007 H_m^2 + 73,285 H_m + 132,55$$

Q : débit moyen (m³/s)

H_m : niveau de plan d'eau amont (m)

P : palier de réglage des vannes

6 RELATION MOYENNE ENTRE LE NIVEAU AMONT, LE PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET LE NIVEAU AVAL (VANNES NOYEEES, REGIME ETABLI)

Les relations f_2 et f_3 déterminées plus haut permettent d'exprimer le niveau aval moyen en fonction du niveau amont et du palier de réglage des vannes :

$$H_v = f_4(H_m, P) = f_2(f_3(H_m, P))$$

La figure 4 permet de comparer les valeurs de Hv ainsi obtenues avec les valeurs observées. On constate que les valeurs observées fluctuent autour de $f_4(H_m, P)$. Ces fluctuations, dont l'amplitude décroît en fonction de $f_4(H_m, P)$, sont essentiellement dues à l'effet de marée.

Le regroupement des relevés en sous-échantillons de même palier P de réglage des vannes, permet de constater que l'erreur type S de la fonction $f_4(H_m, P)$, traduisant l'amplitude de l'effet de marée, est globalement décroissante en fonction de P. La méthode des moindres carrés appliquée en tenant compte des effectifs des sous-échantillons, permet d'ajuster la relation suivante (figure 5):

$$S = f_5(P) = 0,00017444 (23 - P)^{2,4128} + 0,02$$

S : erreur type (m) de la relation $H_v = f_4(H_m, P)$

P : palier de réglage des vannes

7 RELATIONS CONCERNANT L'ÉCOULEMENT LIBRE

La modification du contrôle hydraulique aval intervenue début octobre 2003 rend obsolète l'étalonnage établi en 2001 pour le cas des vannes effacées (écoulement libre). Les nouvelles conditions d'écoulement présentent à débit égal un niveau aval très abaissé par rapport à l'ancien régime. L'abaissement constaté, qui ne dépasse pas 80 cm, correspond cependant à une diminution relativement faible de la section en écoulement libre, puisque le radier se situe à la cote -8,97 m au droit des vannes. De ce fait, et faute de données supplémentaires, il peut être admis en première approximation que la dénivelée entre niveaux amont et aval reste reliée au débit de façon inchangée par rapport à l'ancien régime d'écoulement. Il est donc possible de caler une relation entre le débit et la dénivelée, à partir des six points jaugés en écoulement libre en 1999. La dénivelée étant par ailleurs forcément nulle pour un débit nul, l'ajustement d'une relation linéaire sur les sept points donne la relation suivante (figure 6) :

$$H_m - H_v = f_6(Q) = 0,00003716 Q$$

$H_m - H_v$: dénivelée entre amont et aval en écoulement libre (m)

Q : débit (m^3/s)

Les relations $H_v = f_2(Q)$ et $H_m - H_v = f_6(Q)$ permettent d'exprimer de façon moyenne le niveau amont en fonction du débit en écoulement libre, de la façon suivante:

$$H_m = f_7(Q) = 0,00003716 Q + (Q/1683,2)^{(1/1,3891)} - 0,22194$$

H_m : niveau amont en écoulement libre (m)

Q : débit (m^3/s)

L'inversion numérique de la relation f7 permet d'exprimer le débit en fonction du niveau amont dans le cas de l'écoulement libre :

$$Q = f_8(H_m) = 38,995 H_m^4 - 241,07 H_m^3 + 800,71 H_m^2 + 1233,3 H_m + 203,58$$

Q : débit (m³/s)
Hm : niveau amont (m) en écoulement libre

Les relations établies ici pour l'écoulement libre sont basées sur des mesures peu nombreuses et sur des hypothèses fortes (relation inchangée et linéaire entre débit et dénivelée) Ces relations devront être précisées par des mesures directes de débit et niveaux, quand des conditions d'écoulement libre se présenteront.

8 VALEURS DE DEBIT ET D'INDICE DE DISSIPATION D'ENERGIE EN REGIME ETABLI, EN FONCTION DU NIVEAU AMONT ET DU PALIER DE REGLAGE DES VANNES. FLUCTUATIONS AVEC LA MAREE

8.1 VANNES NOYEES

L'influence de la marée sur le niveau aval Hv entraîne une fluctuation de ce dernier autour d'une valeur moyenne reliée au niveau amont Hm et au palier P de réglage des vannes par la fonction f4. L'erreur type S de la fonction f4, reliée au palier P par la fonction f5, traduit l'influence de la marée sur Hv. En faisant l'hypothèse d'une distribution normale des erreurs de la fonction f4(Hm, P), il est donc possible d'exprimer Hv comme la somme de deux termes : le premier donne la valeur moyenne en fonction de Hm et P ; le second donne la fonction de répartition de l'influence positive ou négative de la marée sur Hv :

$$Hv = f9(Hm, P, f) = f4(Hm, P) + n(f) * S = f2(f3(Hm, P)) + n(f) * f5(P)$$

Hv : niveau aval (m) dépassé avec la fréquence f pour Hm et P donnés

Hm : niveau amont (m)

P : palier de réglage des vannes

n(f) : écart à la moyenne pour une fréquence f dans une distribution normale réduite (tab. 1)

Les valeurs de dénivelée Hm - Hv, de débit Q et d'indice W de dissipation d'énergie peuvent dès lors s'exprimer de la même façon sous forme de fonction de répartition, leurs valeurs dépassées avec la fréquence f correspondant aux valeurs de niveau aval dépassées avec la fréquence 1 - f :

$$Hm - Hv = f10(Hm, P, f) = Hm - f9(Hm, P, 1-f)$$

$$Q = f12(Hm, P, f) = f1(f10(Hm, P, f), P)$$

$$W = f13(Hm, P, f) = Q * (Hm - Hv) = f1(f10(Hm, P, f), P) * f10(Hm, P, f)$$

Hm - Hv : dénivelée amont aval (m) dépassée avec la fréquence f pour Hm et P donnés

Q : débit (m³/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm et P donnés

W : indice d'énergie (m⁴/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm et P donnés

Hm : niveau amont (m)

P : palier de réglage des vannes

Les tableaux 2A à 2D donnent la dénivelée, le débit et l'indice de dissipation d'énergie ainsi estimés pour différentes valeurs de P et Hm, respectivement pour les fréquences de dépassement 0,5 (valeurs

médianes), 0,2 (valeurs dépassées un cinquième du temps), 0,1 (valeurs dépassées un dixième du temps) et 0,04 (valeurs dépassées un vingt-cinquième du temps).

Les figures 7A à 7D donnent pour un niveau amont Hm variant entre 1,00 m et 2,50 m par incrément de 1 m, la variation du débit Q en fonction du palier P de réglage des vannes pour différentes fréquences f de dépassement. Les figures 8A à 8D donnent l'équivalent pour l'indice W (= Q*(Hm-Hv)) de dissipation d'énergie.

8.2 VANNES EFFACEES

La fonction f8 permet d'exprimer le débit Q en fonction du niveau amont Hm pour l'écoulement libre. Comme pour l'écoulement par les vannes noyées, le niveau aval peut être considéré comme la somme d'un terme décrivant l'influence du débit (fonction f6) et d'un terme exprimant de façon statistique l'influence de la marée. En considérant pour la fonction f6 une erreur type de 0,02 m (valeur de la fonction S = f5(P) pour P=23), on obtient ainsi :

$$Q = f8(Hm)$$

$$Hm - Hv = f14(Hm, f) = Hm - (f6(Q) + n(1-f) * 0,02) = Hm - f6(f8(Hm)) - n(1-f) * 0,02$$

$$W = f15(Hm, f) = f8(Hm) * (Hm - f6(f8(Hm)) - n(1-f) * 0,02)$$

Q : débit (m³/s)

Hm : niveau amont (m)

Hm - Hv : dénivelée amont aval dépassée avec la fréquence f pour Hm donné

W : indice d'énergie (m⁴/s) dépassé avec la fréquence f pour Hm donné

Les valeurs de dénivelée, débit et indice de dissipation d'énergie ainsi estimées pour l'écoulement libre en fonction du niveau amont sont portées dans les tableaux 2A à 2D pour les fréquences de dépassement 0,5, 0,2, 0,10 et 0,04. On constate que l'indice de dissipation d'énergie W ne dépasse pas la limite imposée de 1000 m⁴/s en écoulement libre, sauf éventuellement pour des débits de l'ordre de 5000 m³/s de probabilité quasiment nulle. Ce mode d'écoulement ne posant donc pas de problème, la suite du manuel est essentiellement consacrée à l'étude de l'écoulement par les sept vannes noyées.

9 NIVEAU AMONT EN FONCTION DU PALIER DE REGLAGE DES VANNES ET DE L'INDICE DE DISSIPATION D'ENERGIE (VANNES NOYÉES, REGIME ETABLI). STATISTIQUE DE L'EFFET DE MAREE

Comme il est montré plus haut, la fonction f13 permet d'exprimer l'indice de dissipation d'énergie W = Q*(Hm-Hv) en fonction du niveau amont Hm, du palier P de réglage des vannes et de la fréquence f de dépassement. Par inversion numérique de cette fonction, il est possible de déterminer Hm en fonction de W, P et f.

Les figures 9A à 9C donnent ainsi pour un indice W de 800, 1000 et 1200 m⁴/s respectivement, la variation de Hm en fonction de P pour diverses fréquences f de dépassement de W. Les relations obtenues peuvent être paramétrées de la façon suivante :

$$\text{Si } P < P0 \quad : \quad Hm = f16(W, P, f) = Hm0 + (a2 * P^2 + a1 * P + a0) * (P0 - P)^d$$

$$\text{Si } P > P0 \quad : \quad Hm = f16(W, P, f) = b4 * P^4 + b3 * P^3 + b2 * P^2 + b1 * P + b0$$

P : palier de réglage des vannes

W : indice de dissipation d'énergie (m^4/s) égal à $Q^*(H_m - H_v)$

f : fréquence de dépassement de W , associé à l'effet de marée

H_m : niveau amont (m) qui, associé à P , entraîne le dépassement de W avec la fréquence f

H_{m0} : cote minimale de crue (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

P_0 : palier d'ouverture critique, dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

$a_0 \dots a_2$: paramètres (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

$b_0 \dots b_4$: paramètres (m) dépendant de W et f (valeurs indiquées sur fig. 9A à 9C)

Le paramétrage de la fonction f_{16} permet de faire les deux remarques suivantes :

- Pour $H_m < H_{m0}$, la fréquence de dépassement de W est inférieure à f pour tous les paliers P de réglage des vannes
- Le palier de réglage critique P_0 est celui qui nécessite le plus bas niveau amont (H_{m0}) pour limiter le risque de dépassement de W à la fréquence f .

La fonction f_{16} permet enfin de déterminer numériquement en fonction de H_m les paliers limites de réglage de vannes P_1 ($<P_0$) et P_2 ($>P_0$) qui correspondent à la fréquence f de dépassement de W (voir tableau 3). Ces paliers limites sont tels que :

- Si $P < P_1$ alors le seuil W est dépassé avec une fréquence inférieure à f
- Si $P_1 < P < P_2$ alors le seuil W est dépassé avec une fréquence supérieure à f
- Si $P_2 < P$ alors le seuil W est dépassé avec une fréquence inférieure à f

10 PROCEDURES GENERALES DE GESTION DU BARRAGE

10.1 PERIODE D'ETIAGE

Pendant l'étiage, l'objectif de gestion consiste à maintenir le plan d'eau amont à un niveau élevé (vers 2,20 m ces dernières années) pour faciliter l'alimentation des périmètres irrigués. Le gestionnaire doit donc augmenter l'ouverture des vannes s'il constate une tendance au dépassement du niveau objectif amont, et la diminuer dans le cas inverse. Du fait des faibles débits arrivant de l'amont, l'ouverture des vannes reste donc réduite durant toute cette période, et leur fermeture totale est même très fréquente.

Le tableau 3 montre que pour un niveau amont de 2,20 m, l'indice de dissipation d'énergie dépasse $1000 m^4/s$ la moitié du temps avec les vannes réglées au palier 2, et un vingt cinquième du temps avec les vannes réglées au palier 1,5. La finesse de réglage des vannes étant supposée limitée au demi palier près, c'est donc le palier 1,5 qu'il sera préconisé de ne pas dépasser pour maintenir le plan d'eau amont à la cote 2,20 m pendant l'étiage.

Pour $H_m = 2,20$ m et $P = 1,5$, la fonction f_4 permet d'estimer le niveau aval moyen à 0,12 m, et la fonction f_1 indique alors un débit moyen de $361 m^3/s$.

Ces différentes considérations permettent de conclure qu'un niveau amont de 2,20 m peut être maintenu sans risque pendant l'étiage avec un palier de réglage des vannes inférieur ou égal à 1,5, dès lors que le débit à lâcher du barrage n'excède pas $361 m^3/s$. Ces dernières années, le débit évacué du barrage en étiage était toujours inférieur à cette valeur. La gestion de Diama à 2,20 m en étiage peut donc être envisagée sans risque concernant la dissipation d'énergie, malgré l'abaissement du contrôle hydraulique aval intervenue en octobre 2003.

10.2 DEBUT DE CRUE

10.2.1 OBJECTIF DE GESTION

Au début de la crue, l'objectif de gestion consiste à faire baisser le plus tard possible le niveau du plan d'eau à l'amont du barrage, tout en ne prenant aucun risque de dépassement de la limite admise pour la dissipation d'énergie. Les deux situations suivantes doivent donc être évitées :

- Une augmentation trop tardive de l'ouverture des vannes peut entraîner le risque de devoir évacuer du barrage des débits déjà très forts alors que le niveau amont est encore très élevé. Il y a alors un risque important de dépassement de la dissipation d'énergie autorisée.
- Une augmentation trop précoce de l'ouverture des vannes représente certes une sécurité vis-à-vis de la dissipation d'énergie, mais pénalise de façon superflue l'agriculture irriguée du delta.

Pour éviter ces deux écueils, il est nécessaire de coordonner l'abaissement du plan d'eau avec l'arrivée de la crue.

10.2.2 ELEMENTS PERMETTANT D'ELABORER UNE STRATEGIE OPTIMALE D'ABAISSEMENT DU NIVEAU

Comme il a été montré dans le manuel de gestion publié en 2001, l'abaissement du niveau amont opéré en phase d'augmentation des débits doit être effectuée par une ouverture progressive des vannes. Toute augmentation brutale de l'ouverture est à proscrire, du fait qu'elle risque d'entraîner une dissipation d'énergie transitoire dépassant très largement la limite autorisée.

Si l'on écarte pour le moment la solution qui consisterait à ajuster au moins quatre fois par jour le réglage des vannes en fonction de la marée, les valeurs du paramètre Hm0 indiquées sur la figure 9B nous montrent que l'abaissement possible du plan d'eau amont doit être envisagé jusqu'aux cotes minimales de crue Hm0 suivantes :

- 1,36 m si l'on ne désire à aucun moment dépasser 1000 m⁴/s de dissipation d'énergie pendant plus de la moitié du cycle de marée, même avec un réglage des vannes au palier 8,8 qui correspond alors à un débit évacué moyen de 1555 m³/s
- 1,28 m si l'on ne désire à aucun moment dépasser 1000 m⁴/s de dissipation d'énergie pendant plus du tiers du cycle de marée, même avec un réglage des vannes au palier 8,0 qui correspond alors à un débit évacué moyen de 1391 m³/s;
- 1,20 m si l'on ne désire à aucun moment dépasser 1000 m⁴/s de dissipation d'énergie pendant plus du cinquième du cycle de marée, même avec un réglage des vannes au palier 7,3 qui correspond alors à un débit évacué moyen de 1253 m³/s ;
- 1,10 m si l'on ne désire à aucun moment dépasser 1000 m⁴/s de dissipation d'énergie pendant plus du dixième du cycle de marée, même avec un réglage des vannes au palier 6,8 qui correspond alors à un débit évacué moyen de 1124 m³/s ;
- 1,00 m si l'on ne désire à aucun moment dépasser 1000 m⁴/s de dissipation d'énergie pendant plus du vingt-cinquième du cycle de marée, même avec un réglage des vannes au palier 6,8 qui correspond alors à un débit évacué moyen de 998 m³/s ;

Cela ne signifie pas que le plan d'eau devra forcément être abaissé jusqu'à ces cotes minimales de crue, mais simplement que le gestionnaire doit être à tout moment en mesure de le faire dans les limites de l'énergie dissipée autorisée, si les débits provenant de l'amont le nécessitent.

Pendant la phase d'abaissement du niveau, le barrage doit évacuer, aux pertes et prélèvements près, un volume d'eau équivalent à celui des apports de l'amont, augmenté du volume que représente la tranche d'eau comprise dans le réservoir entre la cote de crue définie ci-dessus et la cote 2,20m dans la retenue. En faisant l'hypothèse d'une retenue s'étendant sur 350 km de long pendant l'étiage, avec une largeur au miroir de 400 m en moyenne, le volume d'une tranche d'eau de 50 cm peut être évalué très grossièrement à 0,07 km³ (70 millions de m³).

Au démarrage de la crue, la propagation des débits s'effectue dans le lit mineur à une vitesse assez rapide. Ainsi, le temps de propagation entre Bakel et Rosso est de l'ordre de 10 jours pour une cote de 4 m à l'échelle de Bakel (débit de 660 m³/s environ). Pour aller dans le sens de la sécurité, le laminage des débits sera négligé. Ceci compense en outre le fait que les apports de débit non connus arrivant entre Bakel et Diama, généralement faibles, seront toujours négligés. En première approximation, un débit observé à Bakel en début de crue sera donc attendu 10 jours plus tard dans la retenue de Diama, diminué des pertes et prélèvements intermédiaires.

L'abaissement sera effectué de telle sorte que le couple de paramètres (P, Hm) reste compatible avec le niveau de risque accepté pour le dépassement des 1000 m⁴/s en régime établi. La relation entre Hm et P correspondant à ce niveau de risque (fig. 9B et 11A) permet de déterminer le palier d'ouverture maximal P1 en fonction de la cote amont. On en déduit (tableaux 4A à 4D, selon le niveau de risque envisagé, pour une limite de 1000 m⁴/s) la succession des différents réglages effectués par demi-paliers, qui permettent d'abaisser le niveau amont Hm par tranches de 5 cm depuis 2,40 m jusqu'à la cote la plus basse nécessaire. Le fait d'augmenter l'ouverture des vannes par demi-paliers, minimise les risques de dépassement de l'énergie limite en régime transitoire, et permet un abaissement de niveau plus rapide que le réglage par paliers entiers.

Pour les tranches successives permettant d'effectuer l'abaissement jusqu'à la cote de crue, il est possible de calculer le débit lâché médian (fig. 11A) et le produit Q*(Hm-Hv) médian (tableaux 4A à 4D) en appliquant la relation $Q = f12(Hm, P, f)$ définie plus haut. Il suffit pour cela de fixer la fréquence f à la valeur 0,5, et d'effectuer le calcul pour les cotes Hm relatives au début et à la fin de chaque tranche.

Compte tenu du temps de propagation de 10 jours entre Bakel et la retenue, et afin de conserver une marge de sécurité de 2 jours, il est souhaitable d'être à tout moment en mesure d'abaisser le niveau à la cote de crue en moins de 8 jours (192 heures). Or, la durée de l'abaissement effectué avec les paliers de réglage indiqués dans les tableaux 4A à 4C dépend des apports, des prélèvements et des pertes dans la retenue. Dans l'hypothèse d'un débit constant passant à Bakel, et de pertes et prélèvements constants entre Bakel et Diama, on a ainsi la relation suivante :

$$(T2 - T1) = ((Hm(T1) - Hm(T2)) * Z * Y / (Q - Qbak + Pbd)) / 3600$$

- T1 (heures) : date
- T2 (heures) : date postérieure à T1
- Hm(T1) (m) : niveau du plan d'eau amont à la date T1
- Hm(T2) (m) : niveau du plan d'eau amont à la date T2
- Z (m) : longueur du plan d'eau à abaisser (ordre de grandeur : 350000 m)
- Y (m) : largeur du plan d'eau à abaisser (ordre de grandeur : 400 m)
- Q (m³/s) : débit moyen lâché du barrage entre les dates T1 et T2
- Qbak (m³/s) : débit constant passant à Bakel
- Pbd (m³/s) : débit des prélèvements et pertes entre Bakel et Diama

En première approximation, le débit Pbd des pertes et prélèvements peut être estimé de l'ordre de 100 m³/s entre Bakel et Diama pendant le mois de juillet, pour une superficie totale irriguée de 130000 ha (scénario A2 de SCP). La relation ci-dessus permet alors de calculer en fonction d'un débit constant à Bakel, la durée de chaque tranche d'abaissement défini dans les tableaux 4A à 4D. Inversement, il suffit de déterminer la valeur de débit constant à Bakel pour laquelle la somme des durées des tranches d'abaissement successives est égale à 192 heures. Ces résultats sont indiqués dans les tableaux 4A à 4D.

En début de crue, les débits passant à Bakel sont à tendance croissante, et non pas constants comme envisagé ci-dessus. Les résultats obtenus avec des débits constants (tableaux 4A à 4D) peuvent néanmoins être utilisés pour abaisser le plan d'eau en se plaçant en situation de sécurité. Il suffit pour cela d'envisager le cas très pessimiste et fortement improbable (en montée de crue) où le débit à évacuer du barrage entre les jours j et j+7 correspond au débit observé à Bakel le jour j. La procédure à suivre, déduite des tableaux 4A à 4D, est décrite ci-dessous.

10.2.3 PROCEDURE PRECONISEE POUR ABAISSER LE PLAN D'EAU

Pour différents risques de dépassement de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ d'énergie dissipée (resp. 1/2, 1/5, 1/10 et 1/25), les figures 10A à 10D résumement la procédure à respecter pour abaisser le plan d'eau jusqu'à la cote minimale de crue Hm0 s'il le faut, quelle que soit sa cote initiale. Elle consiste, dès qu'un certain seuil a été dépassé par la cote moyenne sur 5 jours à l'échelle de Bakel, à abaisser le plan d'eau amont à Diama par ouverture progressive des vannes jusqu'au niveau de crue associé à ce seuil (fig. 10A à 10D). Ce niveau Hm est ensuite maintenu par ajustement de l'ouverture des vannes en deçà de P1(Hm), (fig. 11A) jusqu'à ce qu'un nouveau seuil soit éventuellement dépassé à Bakel, nécessitant alors la poursuite de l'abaissement.

Pendant toute cette phase, si l'on constate que des apports imprévus nécessitent l'ouverture des vannes à un palier supérieur à P1(Hm) pour empêcher le dépassement de la cote Hm, il est conseillé de poursuivre progressivement l'ouverture des vannes sans attendre, jusqu'à ce que le niveau amont diminue et repasse en dessous de la limite $f_{16}(W, P, f)$ (fig. 9B). Ceci entraînera un dépassement limité de l'énergie dissipée autorisée, mais diminuera le risque d'un dépassement ultérieur plus important..

Cette procédure est explicitée ci-dessous pour un indice de dissipation d'énergie dépassant $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ avec une fréquence inférieure à 1/5 (moins d'un cinquième du temps de cycle de marée), dans le cas où la cote de départ, maintenue jusqu'à la fin de l'étiage, se situe à 2,20 m :

- Le plan d'eau est maintenu à la cote 2,20 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 285 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 2,15 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 1,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 2,15 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 291 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 2,10 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 1,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 2,10 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 298 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 2,05 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 1,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 2,05 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 304 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 2,00 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 1,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 2,00 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 312 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,95 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 1,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,95 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 330 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,90 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,90 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 334 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,85 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,85 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 338 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,80 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,80 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 343 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,75 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,75 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 348 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,70 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,70 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 375 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,65 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2,5).

- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,65 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 378 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,60 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,60 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 382 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,55 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 2,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,55 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 410 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,50 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 3).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,50 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 412 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,45 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 3).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,45 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 436 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,40 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 3,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,40 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 438 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,35 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 3,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,35 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 460 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,30 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 4).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,30 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 483 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,25 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 4,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,25 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 523 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,20 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 5 ,5).
- Le plan d'eau est maintenu à la cote 1,20 m tant que la cote à l'échelle de Bakel n'a pas dépassé 542 cm. Dès que cette limite a été dépassée, le plan d'eau est abaissé jusqu'à la cote 1,20 m (palier théoriquement inférieur ou égal à 4).

L'expérience montre qu'on pourra considérer la cote à l'échelle de Bakel en moyenne mobile sur 5 jours, pour régler ainsi l'abaissement du plan d'eau à Diama. Ceci permet d'éviter un abaissement prématuré en fonction de pointes ponctuelles observées à Bakel

Il faut par ailleurs signaler que compte tenu des hypothèses pessimistes effectuées pour élaborer la stratégie d'abaissement de niveau, le risque de dépassement des 1000 m⁴/s sera la plupart du temps inférieur au risque envisagé.

10.3 PERIODE DE CRUE

10.3.1 OUVERTURE DES VANNES A UN PALIER INFERIEUR AU PALIER CRITIQUE P0

La consigne de gestion définie ci-dessus pour l'abaissement du plan d'eau en début de crue continue à s'appliquer pendant tout le passage de la crue, lorsque les débits à évacuer nécessitent un palier d'ouverture inférieur au palier critique P0 (fig. 9B), variable selon la fréquence acceptée pour le dépassement des 1000 m⁴/s. Tant que les niveaux observés à Bakel ne nécessitent pas un abaissement supplémentaire, l'objectif consiste alors à maintenir le plan d'eau amont à la cote de crue atteinte pendant la phase d'abaissement. Le gestionnaire doit augmenter l'ouverture des vannes s'il constate une tendance au dépassement de la cote de crue, et la diminuer dans le cas inverse. Si les niveaux observés à Bakel le nécessitent (fig 10A à 10D), l'abaissement doit être poursuivi.

Comme pour la phase de début de crue, ce mode de gestion revient à conserver un plan d'eau amont suffisamment bas pour toujours être en mesure de respecter le palier maximal P1 (tab. 3, fig 11A) pour tous les débits qui vont devoir être lâchés.

Le rehaussement du niveau amont ne peut envisagé avec des paliers inférieurs au palier critique P0, qu'à partir du moment où l'on est certain que le maximum de débit de crue est déjà passé à Diama (voir phase suivante : fin de crue)

10.3.2 OUVERTURE DES VANNES A UN PALIER SUPERIEUR AU PALIER CRITIQUE P0

Quand les débits à évacuer nécessitent un palier d'ouverture au moins égal au palier critique P0 pour respecter la norme d'énergie dissipée, l'ouverture des vannes doit être réglée progressivement de façon à respecter le palier minimal P2, variable en fonction du niveau amont et de la fréquence acceptée pour le dépassement des 1000 m⁴/s (tab. 3, fig 11 B). En fonction des débits à évacuer, ce mode de gestion peut alors s'accompagner d'un rehaussement du plan d'eau amont. Pour une fréquence 1/10 de dépassement des 1000 m⁴/s, le niveau amont peut alors passer de la cote 1,10 m (P = 6,5 ; Q moyen = 1089) à 1,20 m (P = 11 ; Q moyen = 1688) ou 1,30 m (P = 13,5 ; Q = 2035).

En pratique, lorsque l'ouverture des vannes se situe au-delà de P0, le gestionnaire doit veiller à ce que le niveau amont Hm reste toujours inférieur ou égal à la limite f16(W,P,f) (fig. 9B). Dès que ce niveau tend à dépasser la limite, il faut ouvrir progressivement les vannes. Dès qu'il tend à s'éloigner en dessous de cette limite, on peut se permettre de fermer progressivement les vannes.

10.4 FIN DE CRUE

A la fin de la crue, l'objectif de gestion consiste à faire remonter le plus rapidement possible le niveau du plan d'eau à l'amont du barrage, tout en ne prenant aucun risque de dépassement de la limite admise pour la dissipation d'énergie. Les deux situations suivantes doivent donc être évitées :

- Une diminution trop précoce de l'ouverture des vannes peut entraîner le risque de devoir évacuer du barrage des débits encore très forts alors que le niveau amont aura déjà été rehaussé de façon importante. Il y a alors un risque élevé de dépassement de la dissipation d'énergie autorisée.
- Une diminution trop tardive de l'ouverture des vannes représente certes une sécurité vis-à-vis de la dissipation d'énergie, mais pénalise de façon superflue l'agriculture irriguée du delta.

Le rehaussement du plan d'eau par fermeture progressive des vannes ne peut être entamé qu'à partir du moment où les débits à évacuer du barrage sont suffisamment faibles pour voir le maintien du plan d'eau amont réalisé avec un palier P inférieur ou égal au palier critique P0.

La seconde condition concerne la certitude de décroissance des apports de l'amont. Le rehaussement ne peut être engagé qu'après le passage du maximum de crue, qui peut facilement être repéré par suivi des niveaux observés aux stations hydrométriques de l'amont, en particulier celle de Rosso.

Dès lors, la fermeture progressive des vannes peut être menée comme il était préconisé dans le manuel publié en 2001, par paliers ou demis paliers, en respectant simplement la nouvelle limite P1 de palier maximal d'ouverture dépendant de Hm et de la fréquence f acceptée pour le dépassement des 1000 m⁴/s (fig 11A, tab 3). Le principe est le suivant :

- Dès que l'on constate sur une journée à palier P constant une stabilisation du niveau Hm, voire une tendance à la baisse, on diminue l'ouverture des vannes.
- Si le niveau Hm a trop monté et dépasse la limite f16(W, P, f) (fig. 9B) relative au palier P de réglage en cours, on augmente l'ouverture des vannes.

Les apports de débit dans la retenue étant encore assez importants mais en phase de diminution, ce processus permet d'aboutir inévitablement, le plus rapidement possible et sans dépasser le niveau de risque accepté, au rehaussement du niveau à la cote souhaitée de 2,20 m.

A titre d'exemple, la figure 12 illustre la procédure à suivre pour rehausser la cote amont de 1,20 m à 2,20 m dans le cas d'une énergie dissipée limitée à 1000 m⁴/s, avec un risque de dépassement de 1/5.

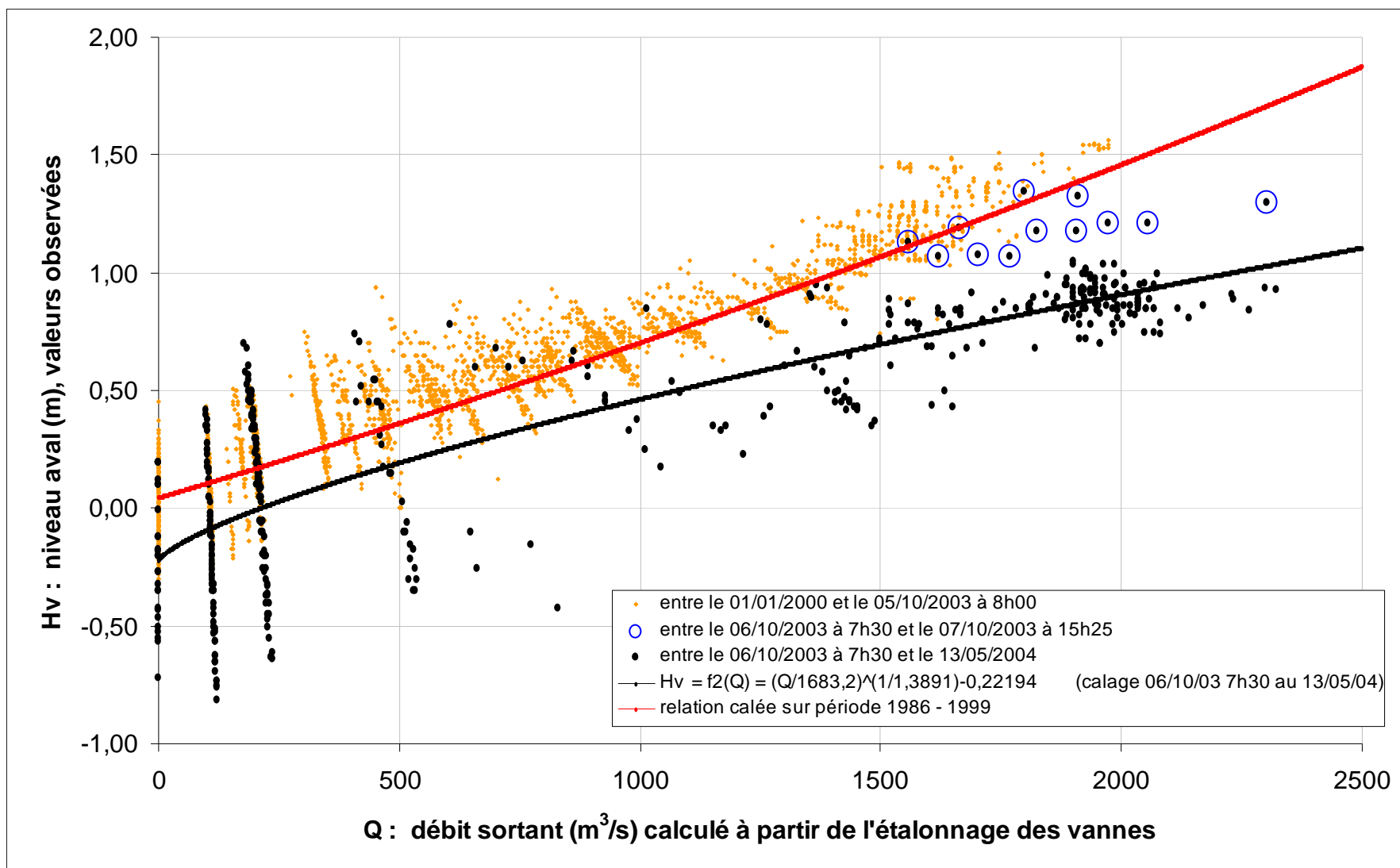


Figure 1 : relation moyenne permettant d'exprimer le niveau aval H_v (m) en fonction du débit sortant Q (m^3/s)

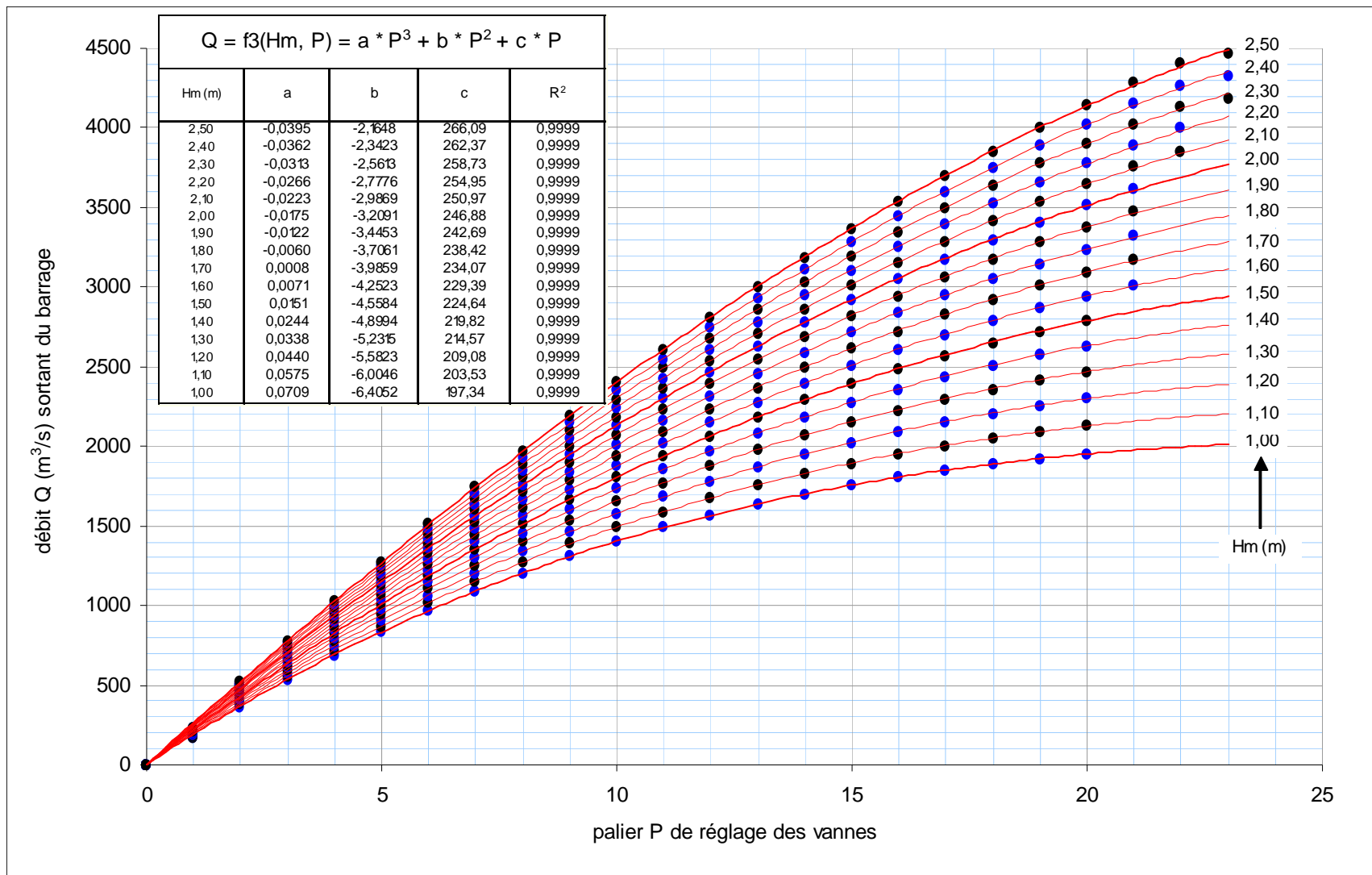


Figure 2 : valeur moyenne du débit Q (m³/s) sortant du barrage en fonction du niveau amont Hm (m) et du palier P de réglage des vannes

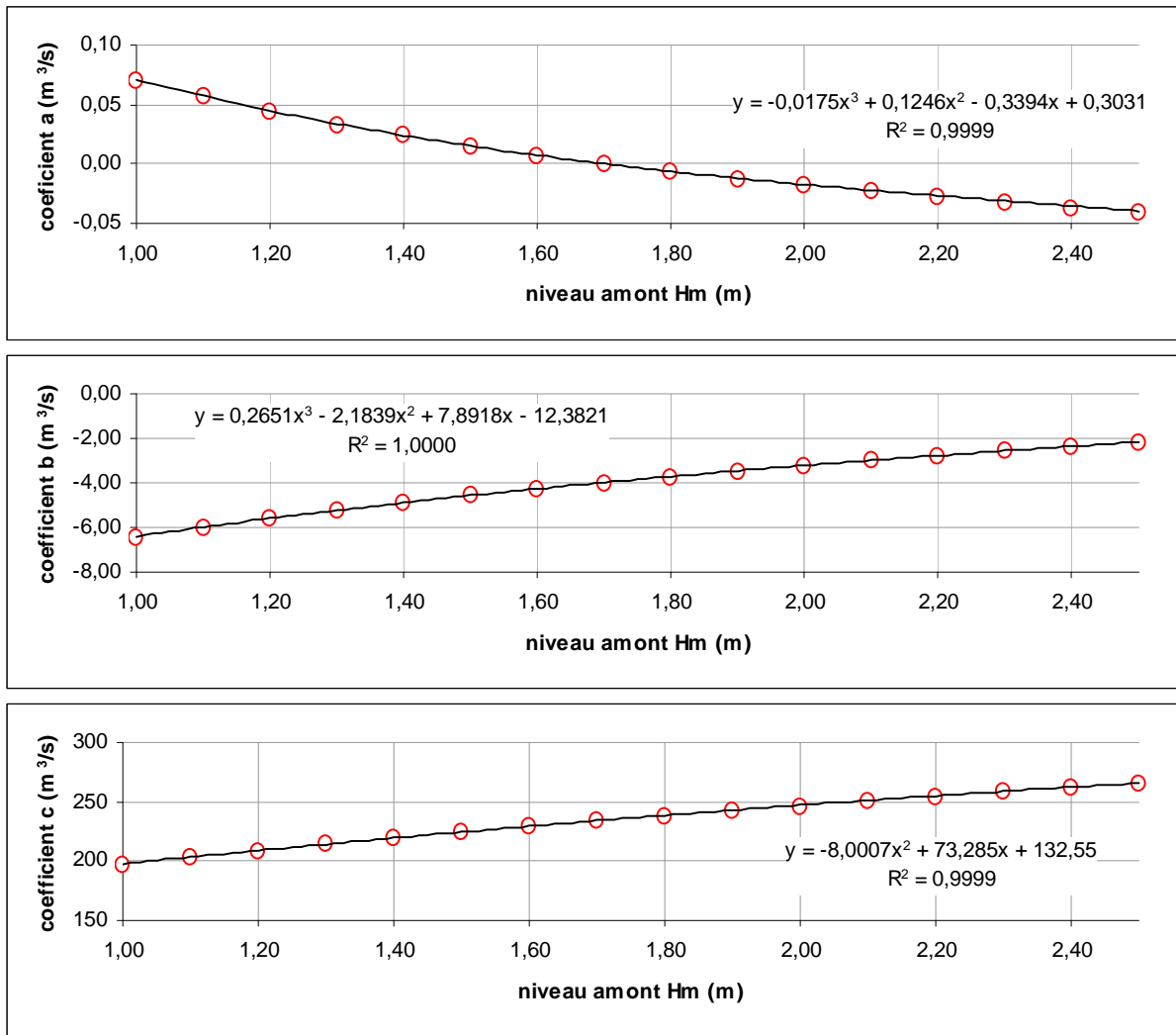


Figure 3 : détermination des coefficients a, b et c de la relation $Q = f_3(H_m, P) = a \cdot P^3 + b \cdot P^2 + c \cdot P$, en fonction du niveau amont H_m (m)

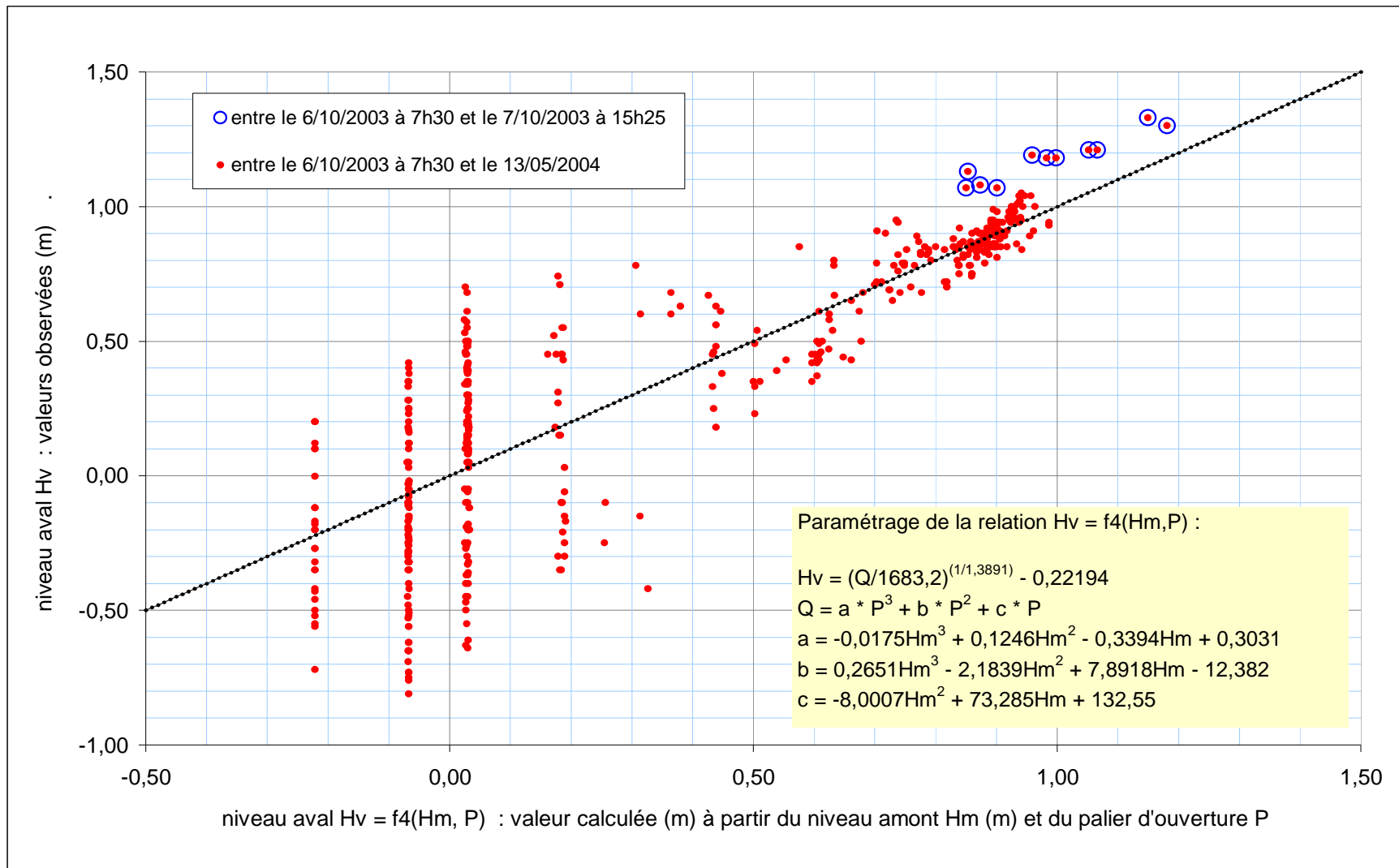


Figure 4 : comparaison des valeurs de niveau aval H_v calculées de façon moyenne en fonction du niveau amont H_m (m) et du palier P de réglage des vannes, avec les valeurs observées.

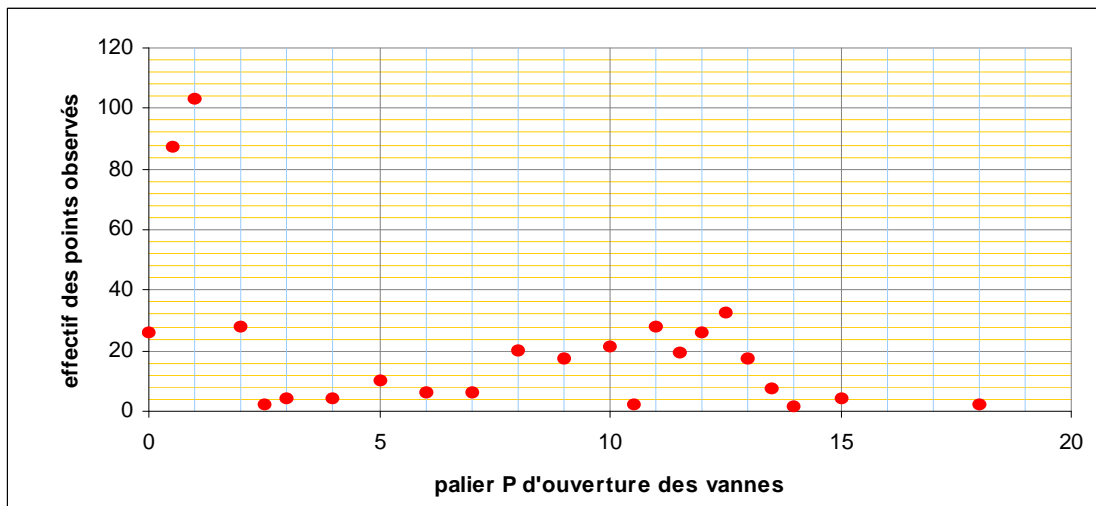
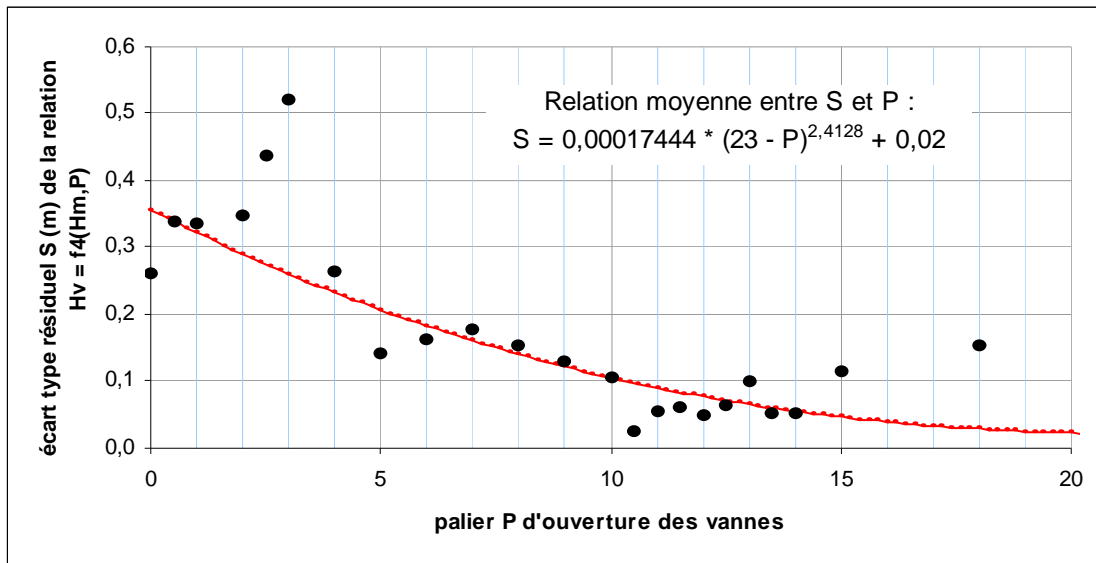


Figure 5 : écart type résiduel S de la relation $H_v = f_4(H_m, P)$, en fonction du palier P de réglage des vannes. Paramétrage établi en tenant compte des effectifs de points observés pour les différents paliers

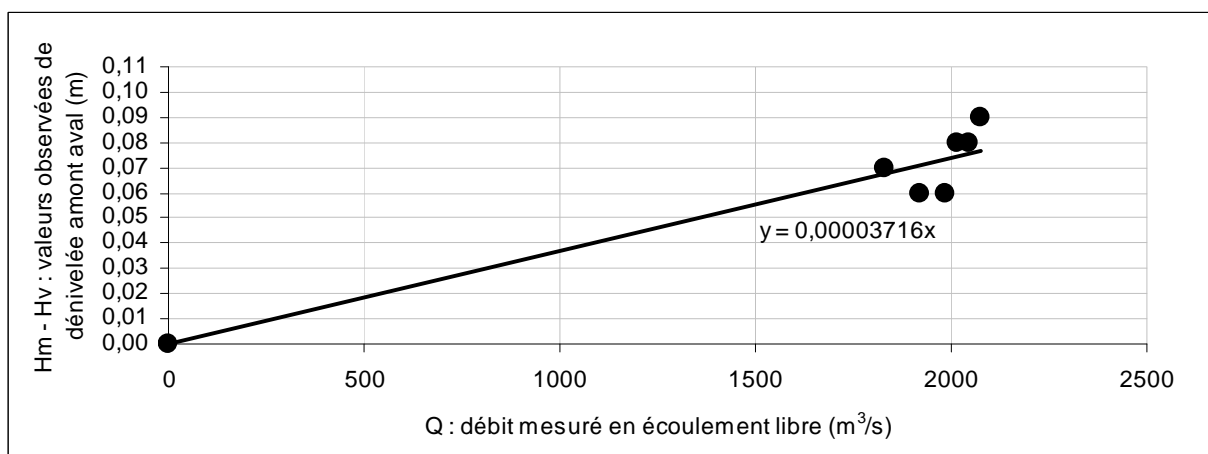


Figure 6 : relation entre débit Q et dénivelée amont aval $H_m - H_v$ en écoulement libre.

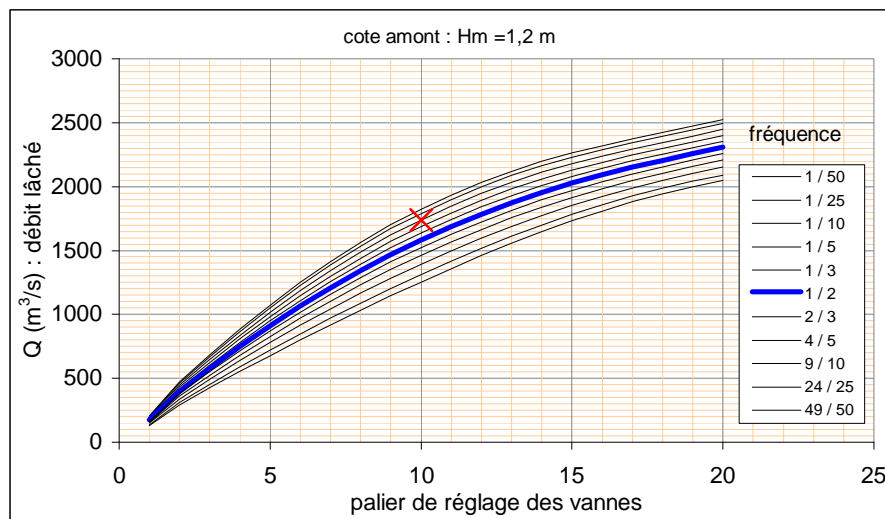
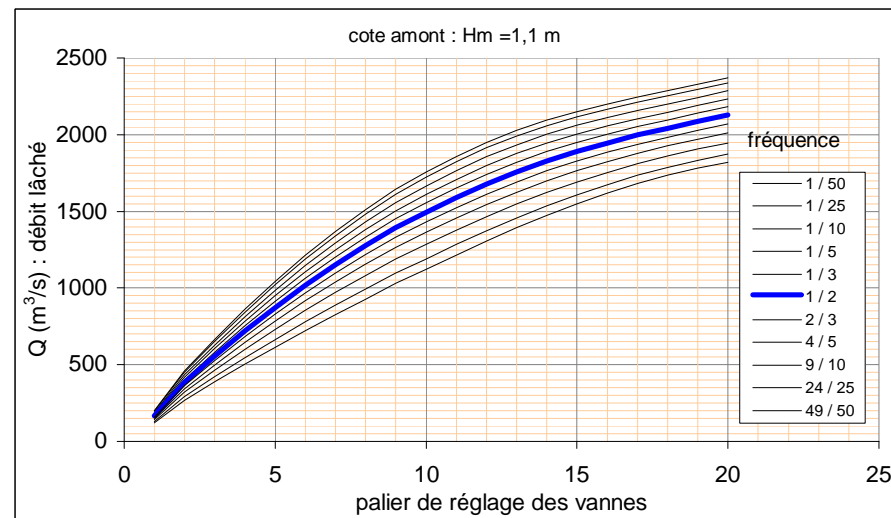
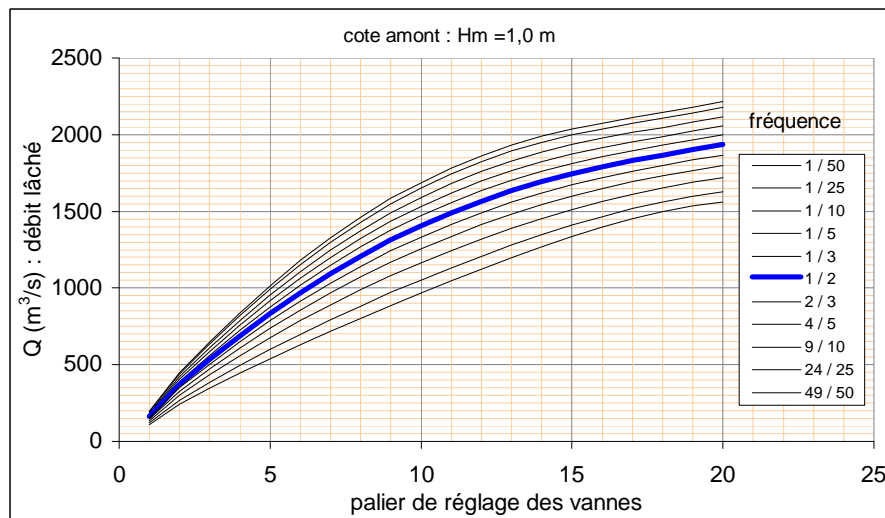


Figure 7A : Débit Q lâché du barrage pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 100, 110, 120 ou 130 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 120 cm et les sept vannes réglées au palier 10, le débit dépasse 1738 m³/s une fois sur 10

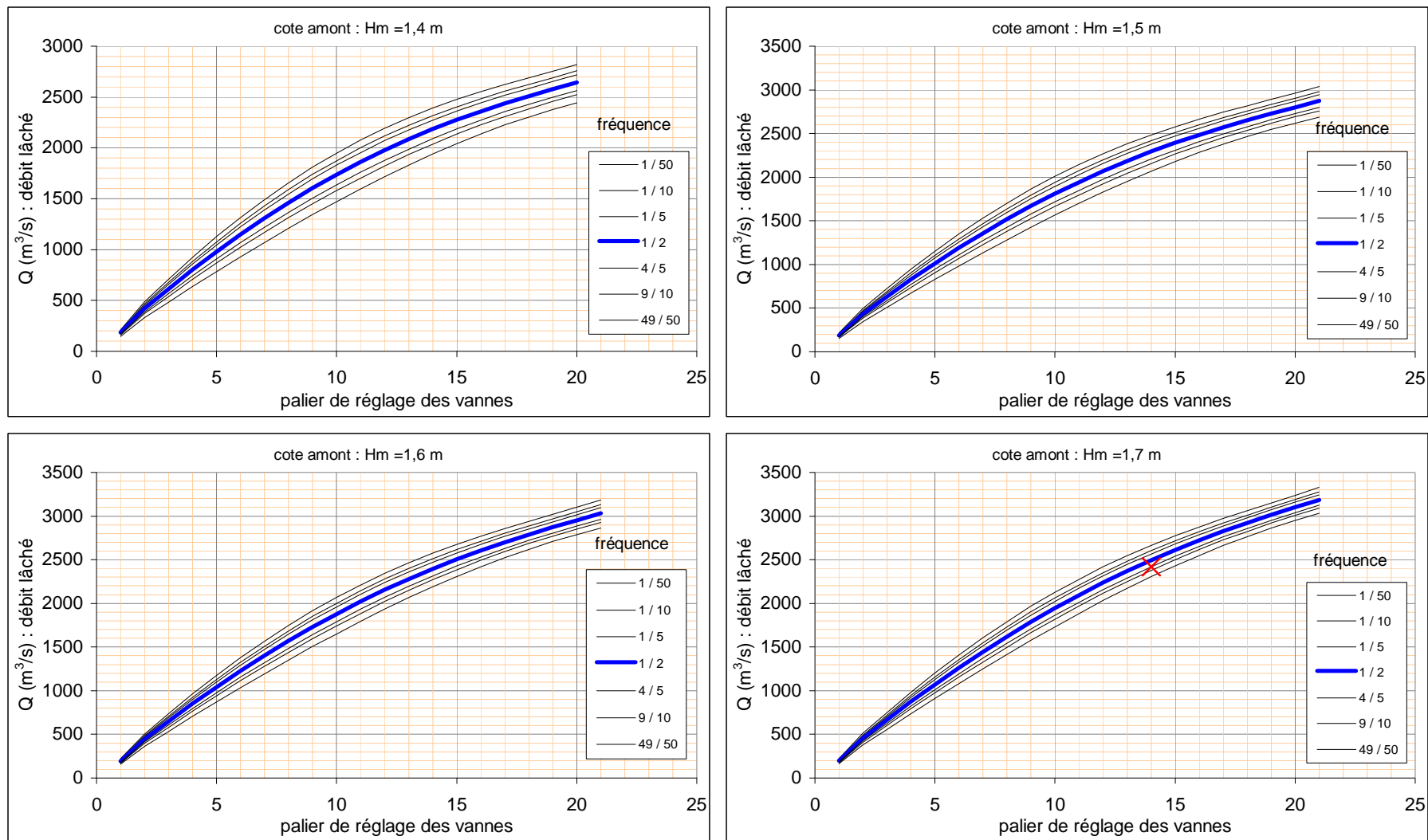


Figure 7B : Débit Q lâché du barrage pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 140, 150, 160 ou 170 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 170 cm et les sept vannes réglées au palier 14, le débit dépasse 2421 m³/s quatre fois sur cinq

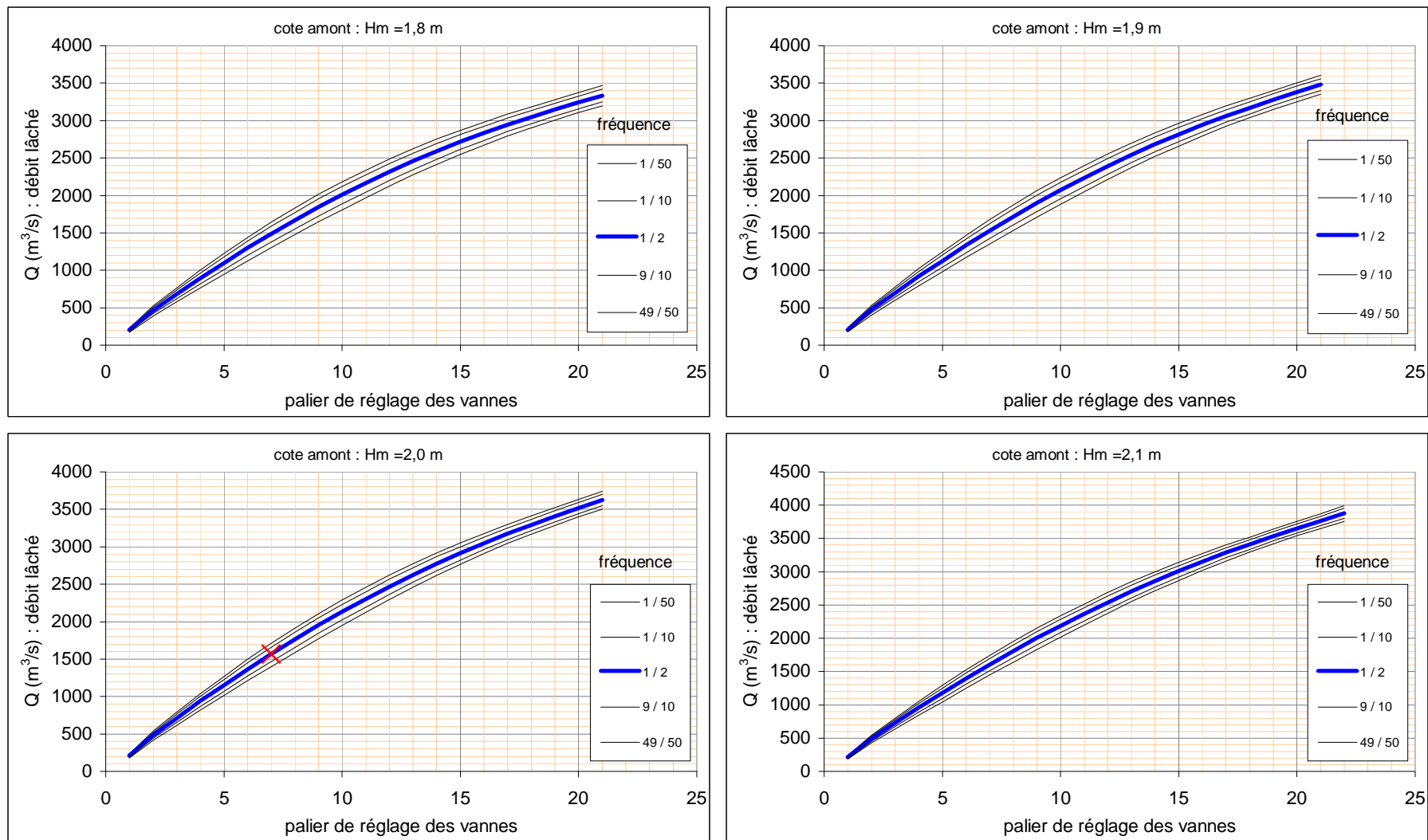


Figure 7C : débit Q lâché du barrage pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 180, 190, 200 ou 210 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 200 cm et les sept vannes réglées au palier 7, le débit dépasse 1567 m³/s une fois sur deux

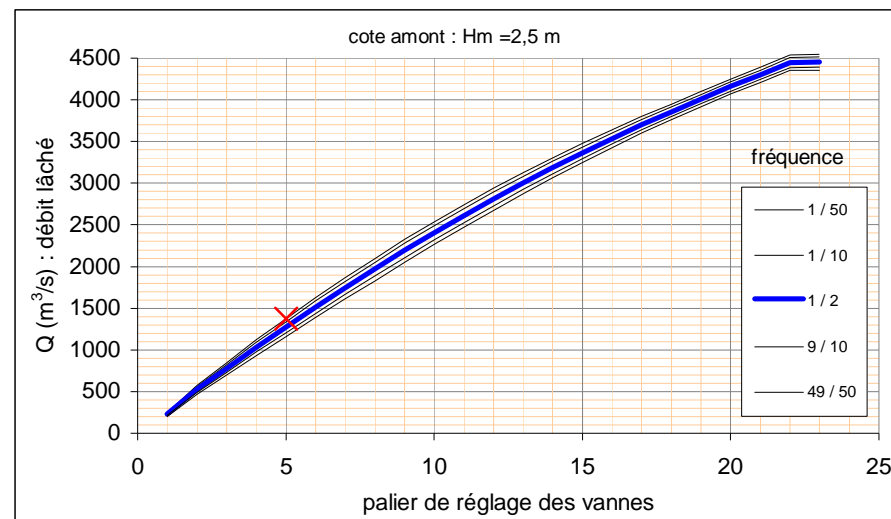
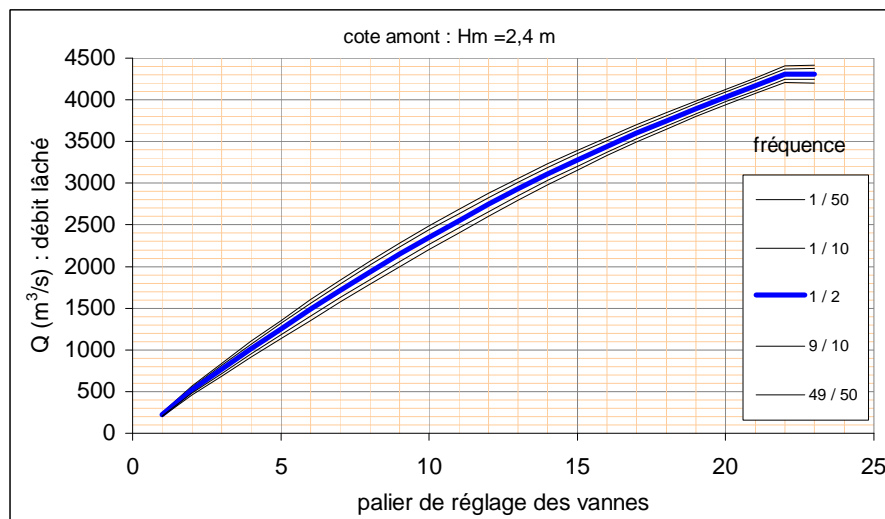
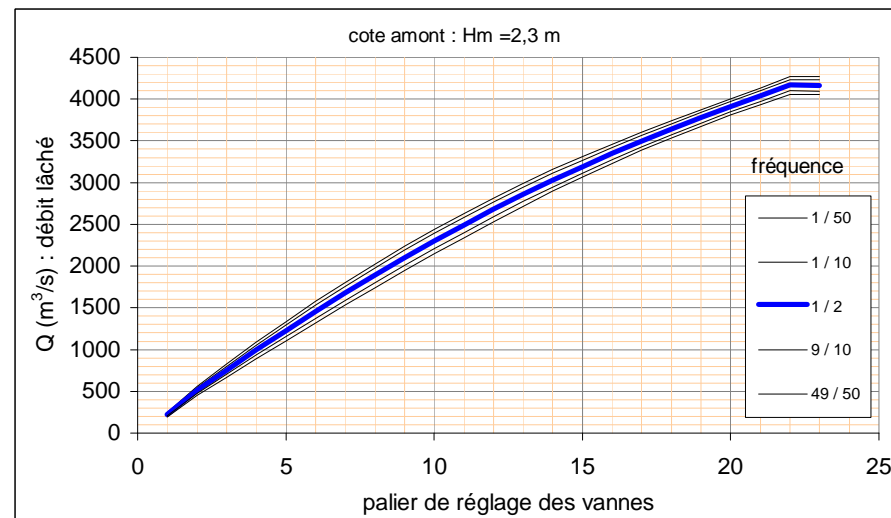
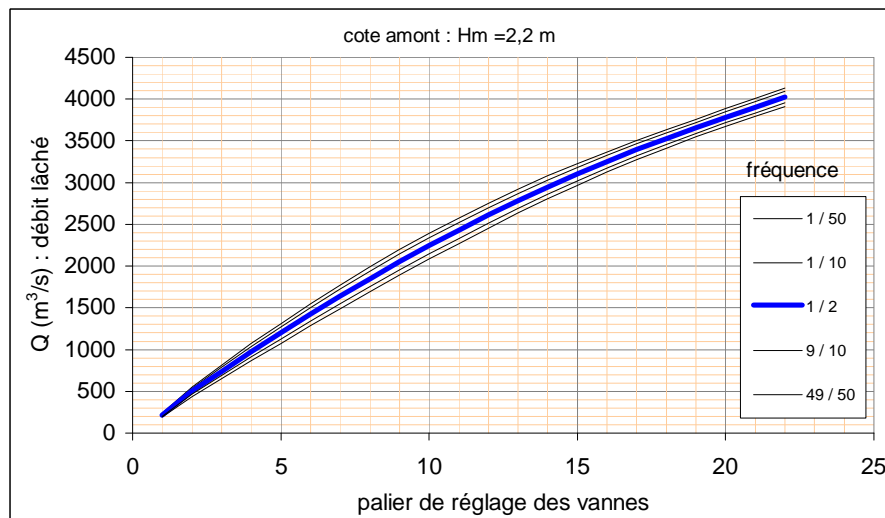


Figure 7D : débit Q lâché du barrage pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont H_m égal à 220, 230, 240 ou 250 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 250 cm et les sept vannes réglées au palier 5, le débit dépasse $1376 \text{ m}^3/\text{s}$ une fois sur 50

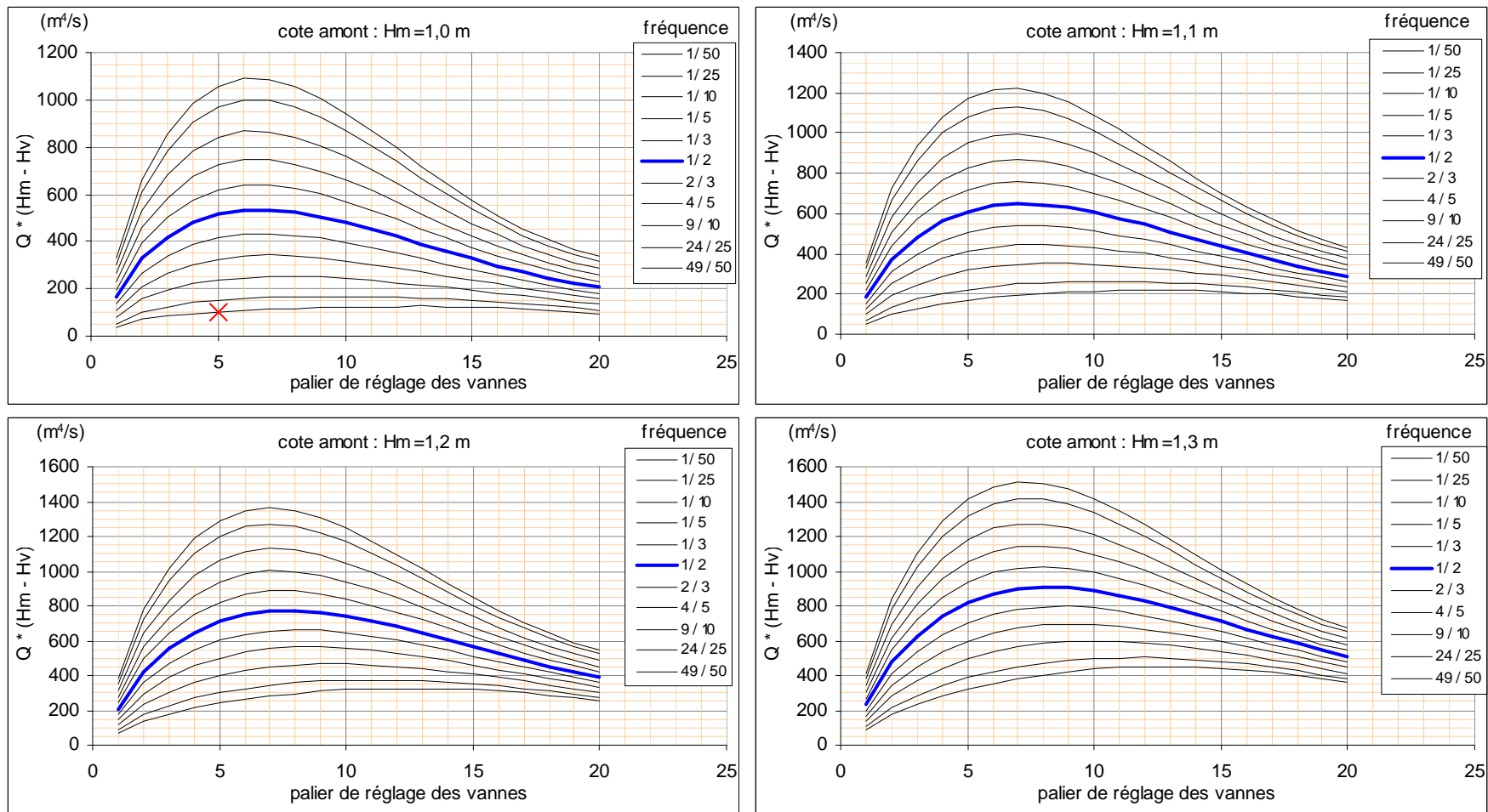


Figure 8A : Valeur de l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(Hm - Hv)$ pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 100, 110, 120 ou 130 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 100 cm et les sept vannes réglées au palier 5, le produit $Q^*(Hm - Hv)$ dépasse 104 m⁴/s 49 fois sur 50

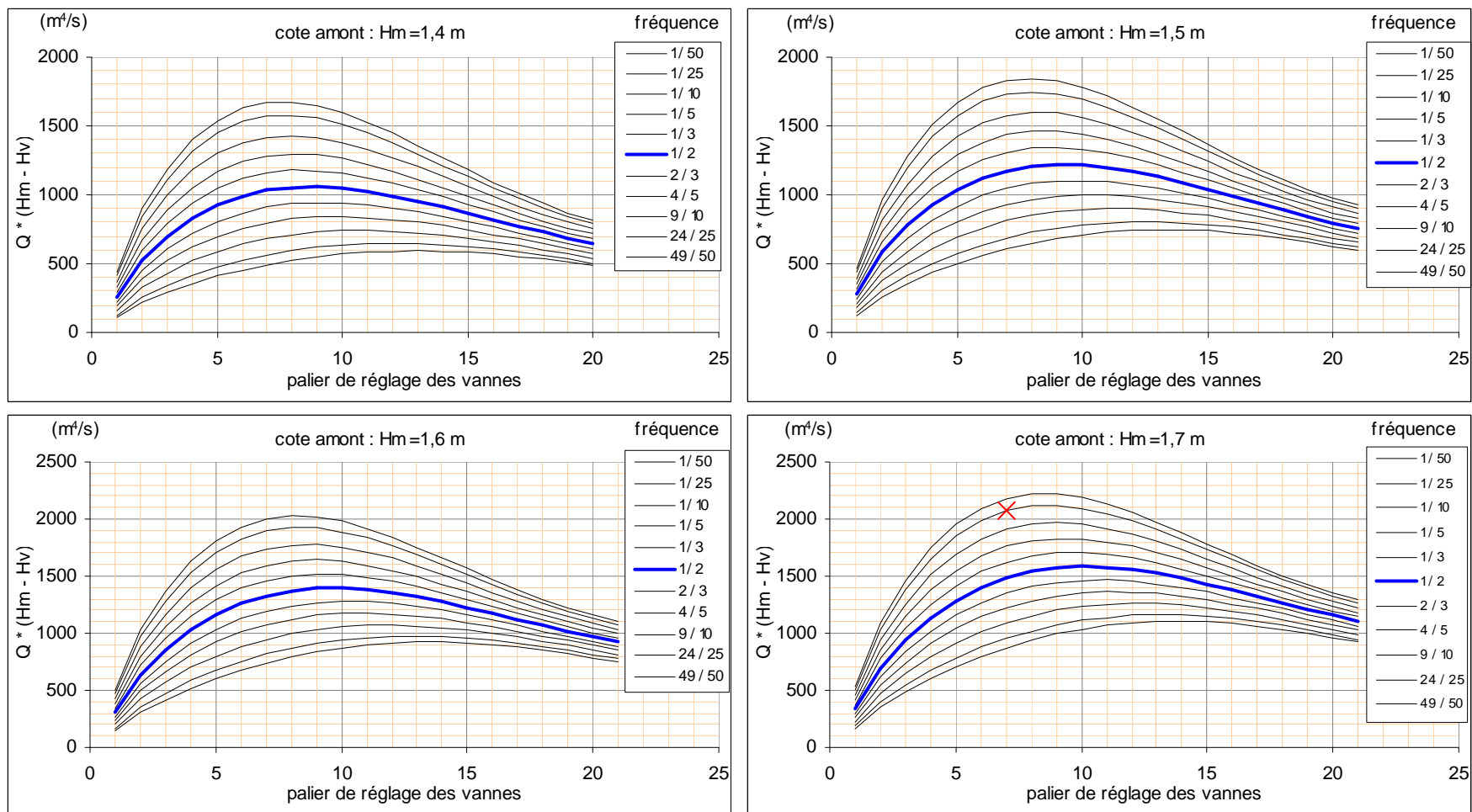


Figure 8B : Valeur de l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(Hm - Hv)$ pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 140, 150, 160 ou 170 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 170 cm et les sept vannes réglées au palier 7, le produit $Q^*(Hm - Hv)$ dépasse 2069 m^4/s une fois sur 25

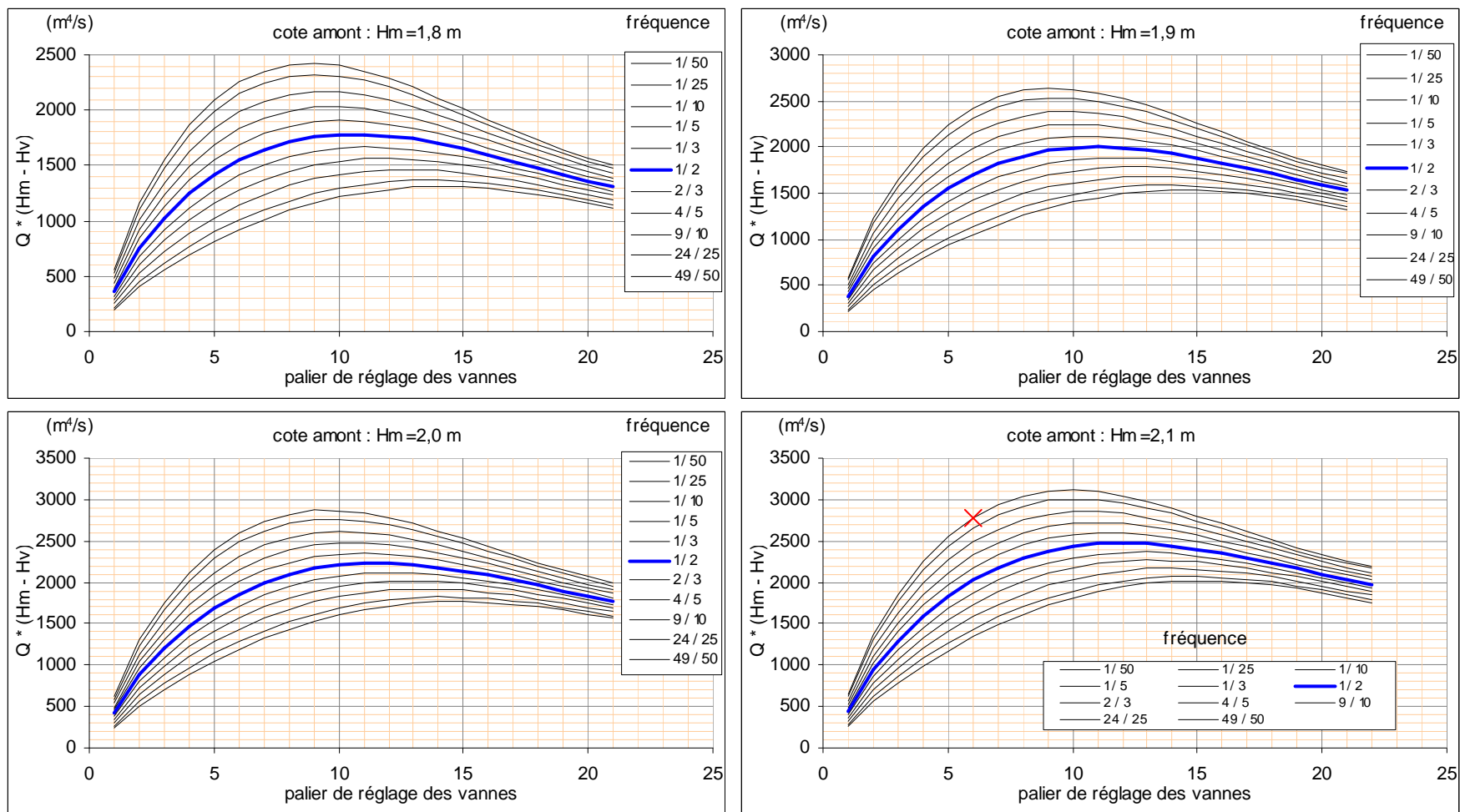


Figure 8C : Valeur de l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(Hm-Hv)$ pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 180, 190, 200 ou 210 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 210 cm et les sept vannes réglées au palier 6, le produit $Q^*(Hm-Hv)$ dépasse 2777 m⁴/s une fois sur 50

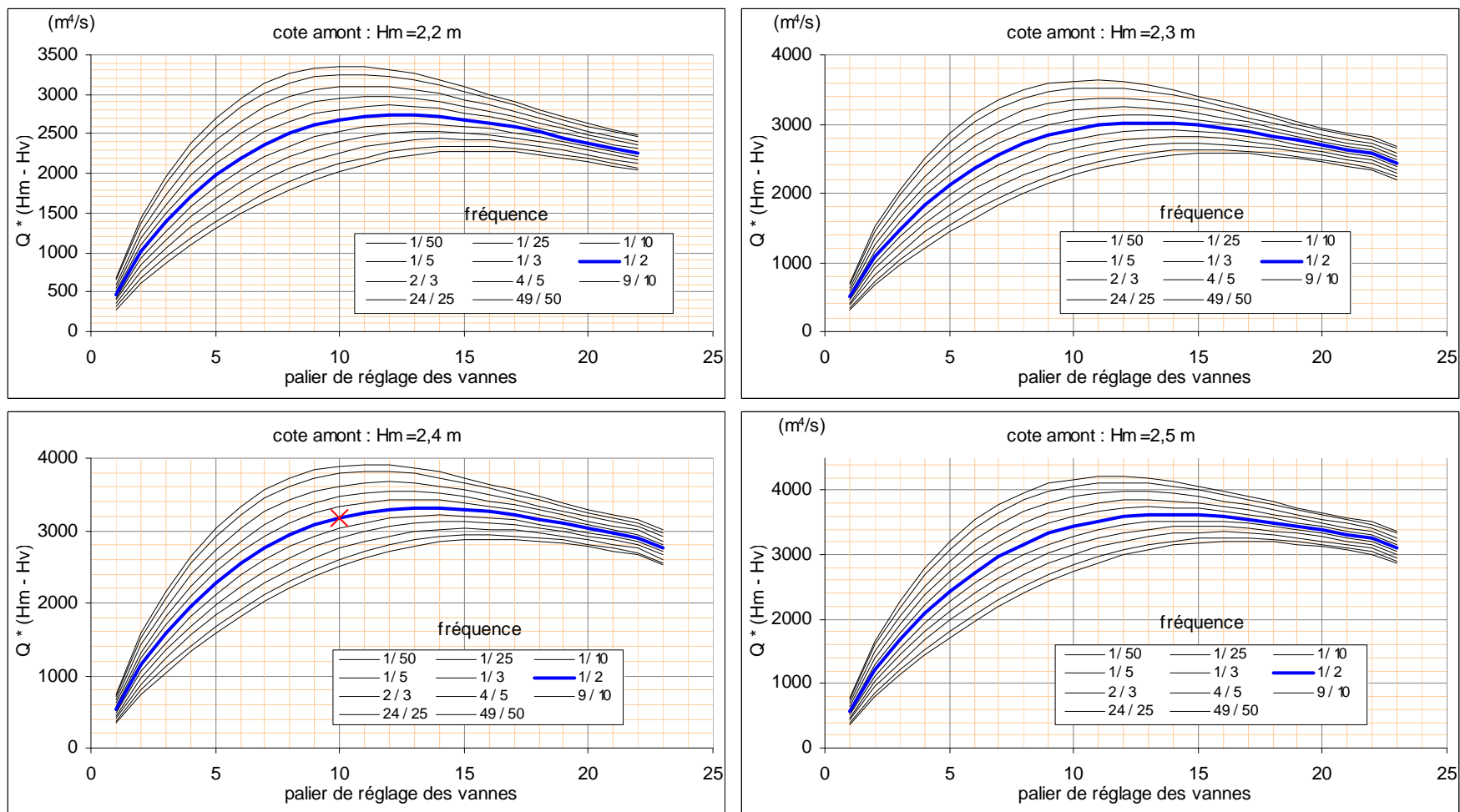


Figure 8D : Valeur de l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(Hm-Hv)$ pour différentes fréquences de dépassement et pour un niveau amont Hm égal à 220, 230, 240 ou 250 cm, en fonction du palier P de réglage des sept vannes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 240 cm et les sept vannes réglées au palier 10, le produit $Q^*(Hm-Hv)$ dépasse 3175 m⁴/s une fois sur deux

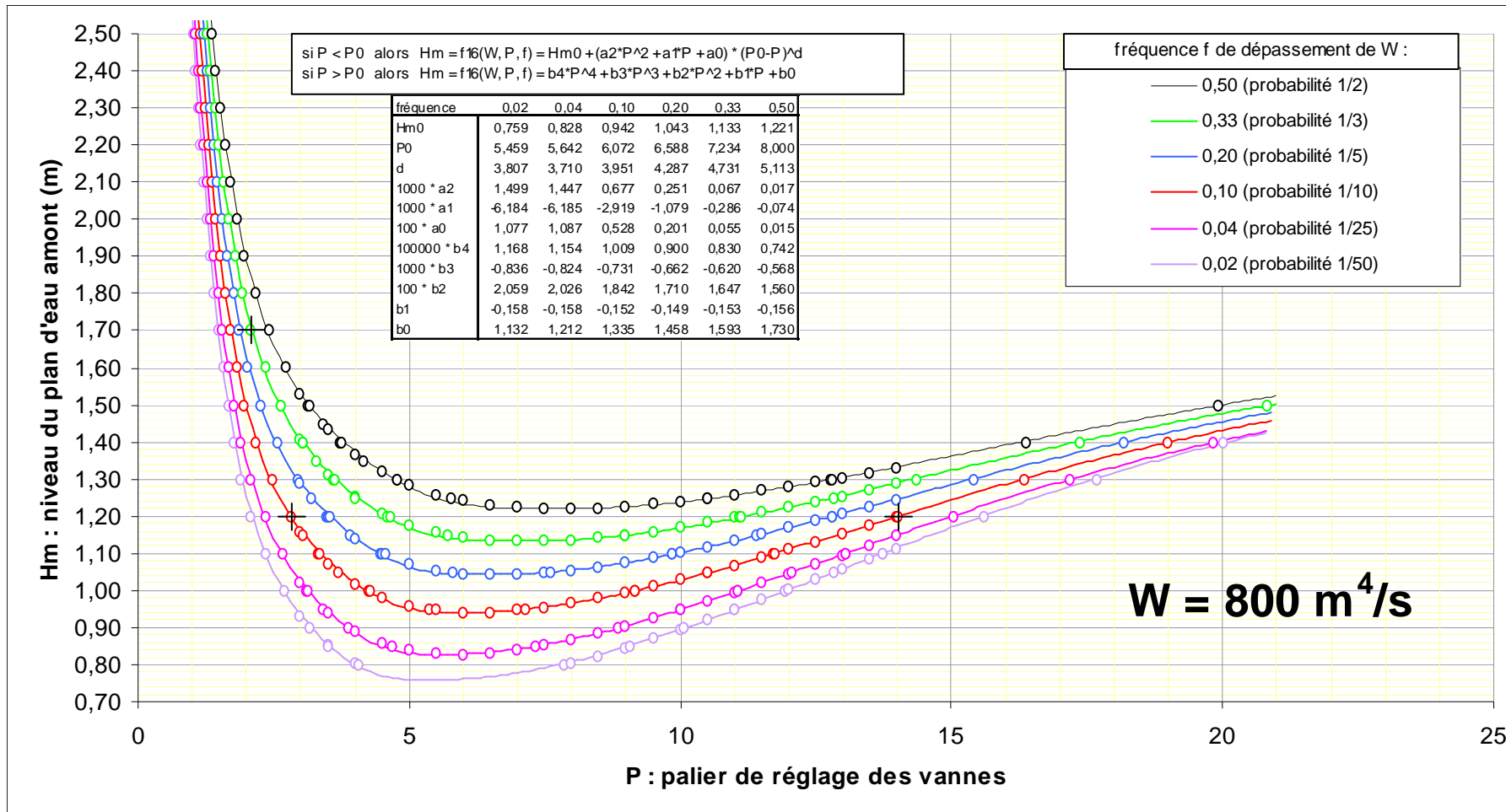


Figure 9A : Valeurs maximales du niveau H_m de plan d'eau amont en fonction du palier P de réglage des vannes, pour différents niveaux de risque de dépassement de $800 \text{ m}^4/\text{s}$ par l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(H_m - H_v)$.

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 3 (un tiers du temps) le risque de dépassement de $800 \text{ m}^4/\text{s}$ pour un niveau amont de 1,70 m, il est nécessaire de maintenir l'ouverture des vannes à un palier inférieur à 2,09 ; pour limiter à 1 sur 10 (un dixième du temps) le risque de dépassement de $800 \text{ m}^4/\text{s}$ avec une cote amont de 1,20 m, le palier de réglage des vannes doit être soit inférieur à 2,83, soit supérieur à 14,03.

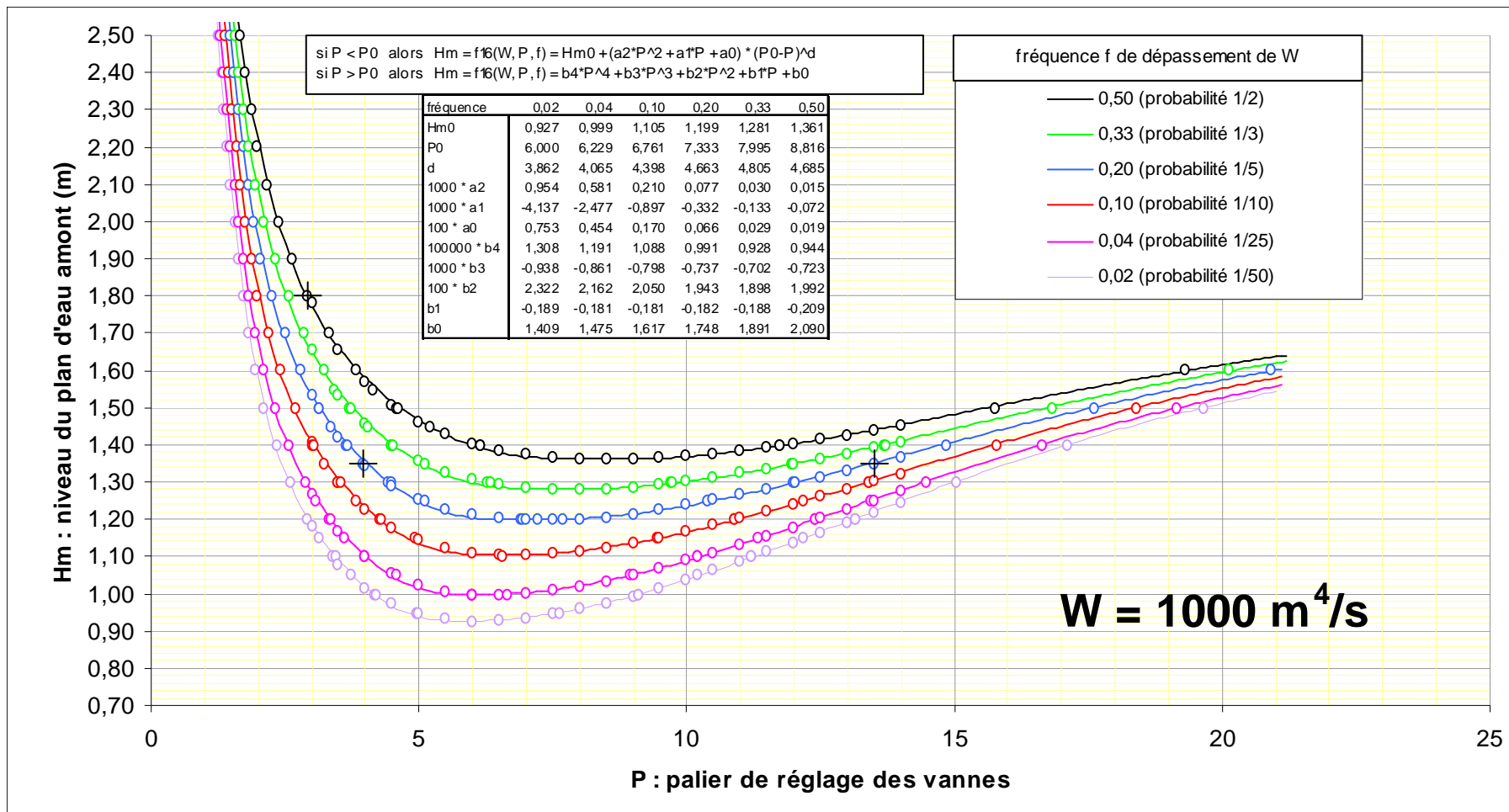


Figure 9B : Valeurs maximales du niveau H_m de plan d'eau amont en fonction du palier P de réglage des vannes, pour différents niveaux de risque de dépassement de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ par l'indice de dissipation d'énergie $W = Q \cdot (H_m - H_v)$.

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 2 (la moitié du temps) le risque de dépassement de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ pour un niveau amont de 1,80 m, il est nécessaire de maintenir l'ouverture des vannes à un palier inférieur à 2,92 ; pour limiter à 1 sur 5 (un cinquième du temps) le risque de dépassement de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ avec une cote amont de 1,35 m, le palier de réglage des vannes doit être soit inférieur à 3,97, soit supérieur à 13,49.

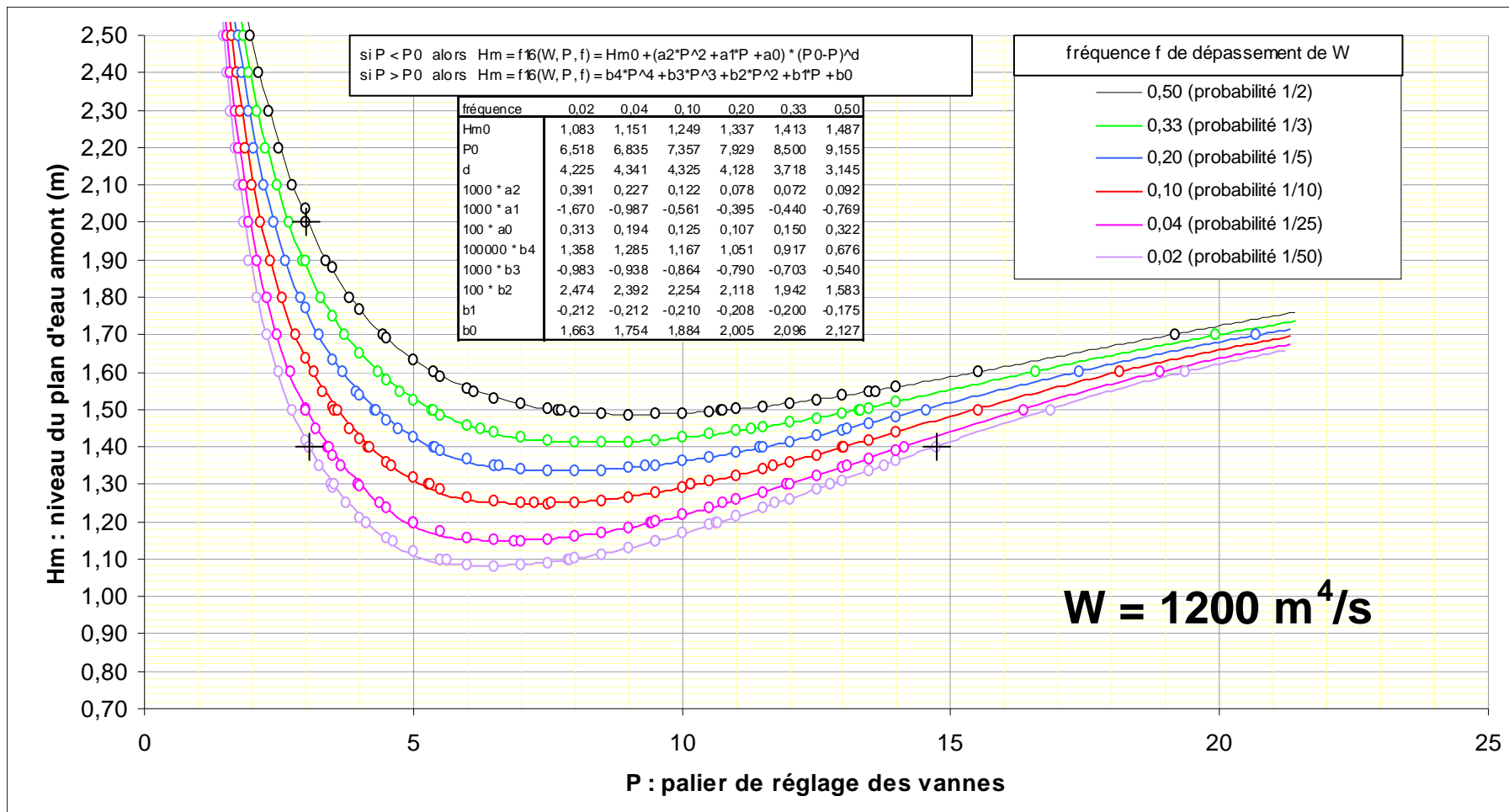


Figure 9C : Valeurs maximales du niveau H_m de plan d'eau amont en fonction du palier P de réglage des vannes, pour différents niveaux de risque de dépassement de $1200 \text{ m}^4/\text{s}$ par l'indice de dissipation d'énergie $W = Q \cdot (H_m - H_v)$.

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 2 (la moitié du temps) le risque de dépassement de $1200 \text{ m}^4/\text{s}$ pour un niveau amont de 2,00 m, il est nécessaire de maintenir l'ouverture des vannes à un palier inférieur à 3,01 ; pour limiter à 1 sur 50 (un cinquantième du temps) le risque de dépassement de $1200 \text{ m}^4/\text{s}$ avec une cote amont de 1,40 m, le palier de réglage des vannes doit être soit inférieur à 3,07, soit supérieur à 14,75.

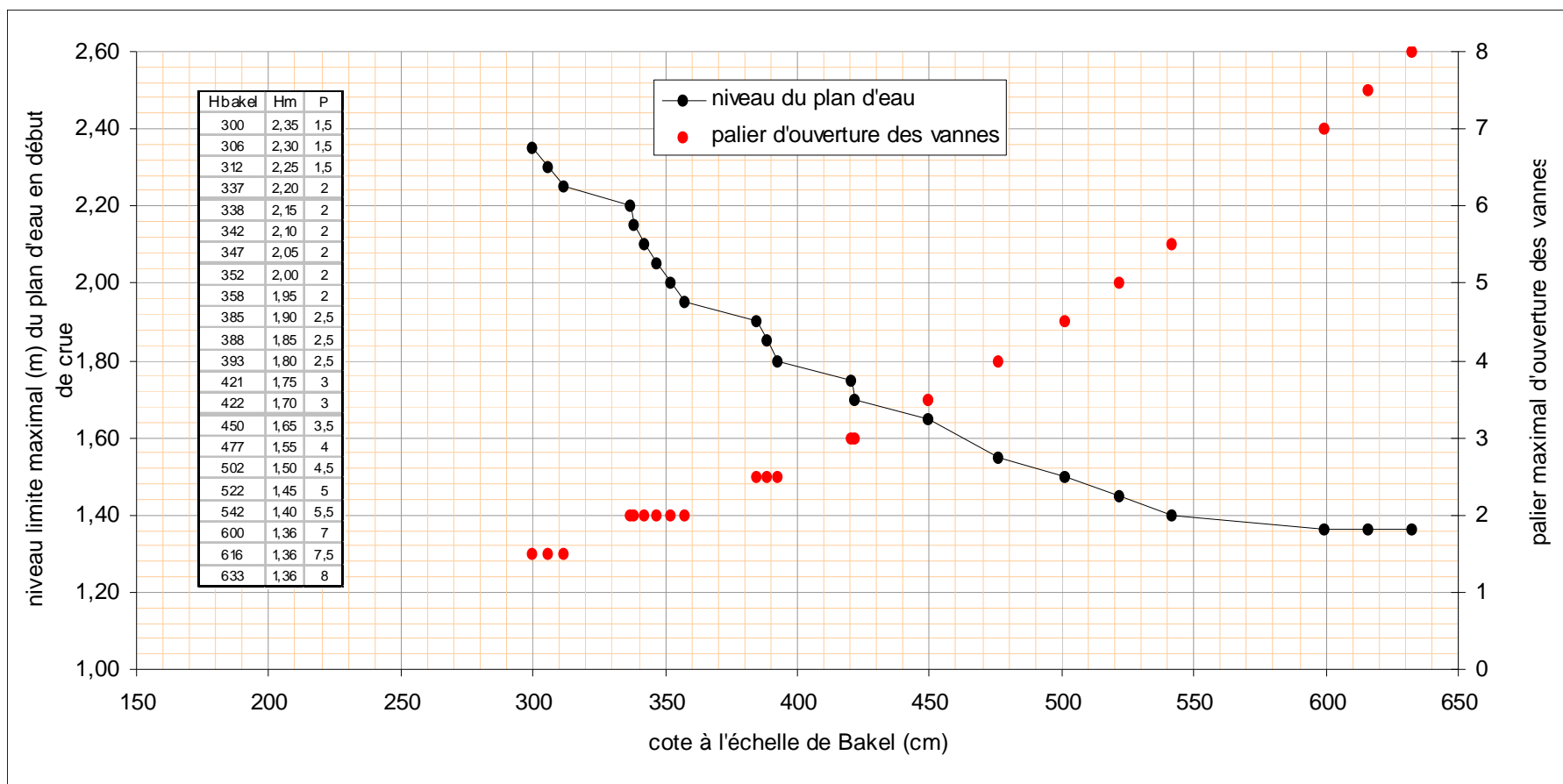


figure 10 A : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un indice de dissipation d'énergie pouvant dépasser 1000 m⁴/s à la fréquence 1 / 2 (la moitié du temps de cycle de marée). Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote moyenne mobile sur 5 jours dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 422 cm est dépassée à Bakel en moyenne mobile sur 5 jours, le plan d'eau amont doit être abaissé jusqu'à la cote 1,70 m à Diama, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 2,5 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/2, tableau 3, fig.9B et 11A)

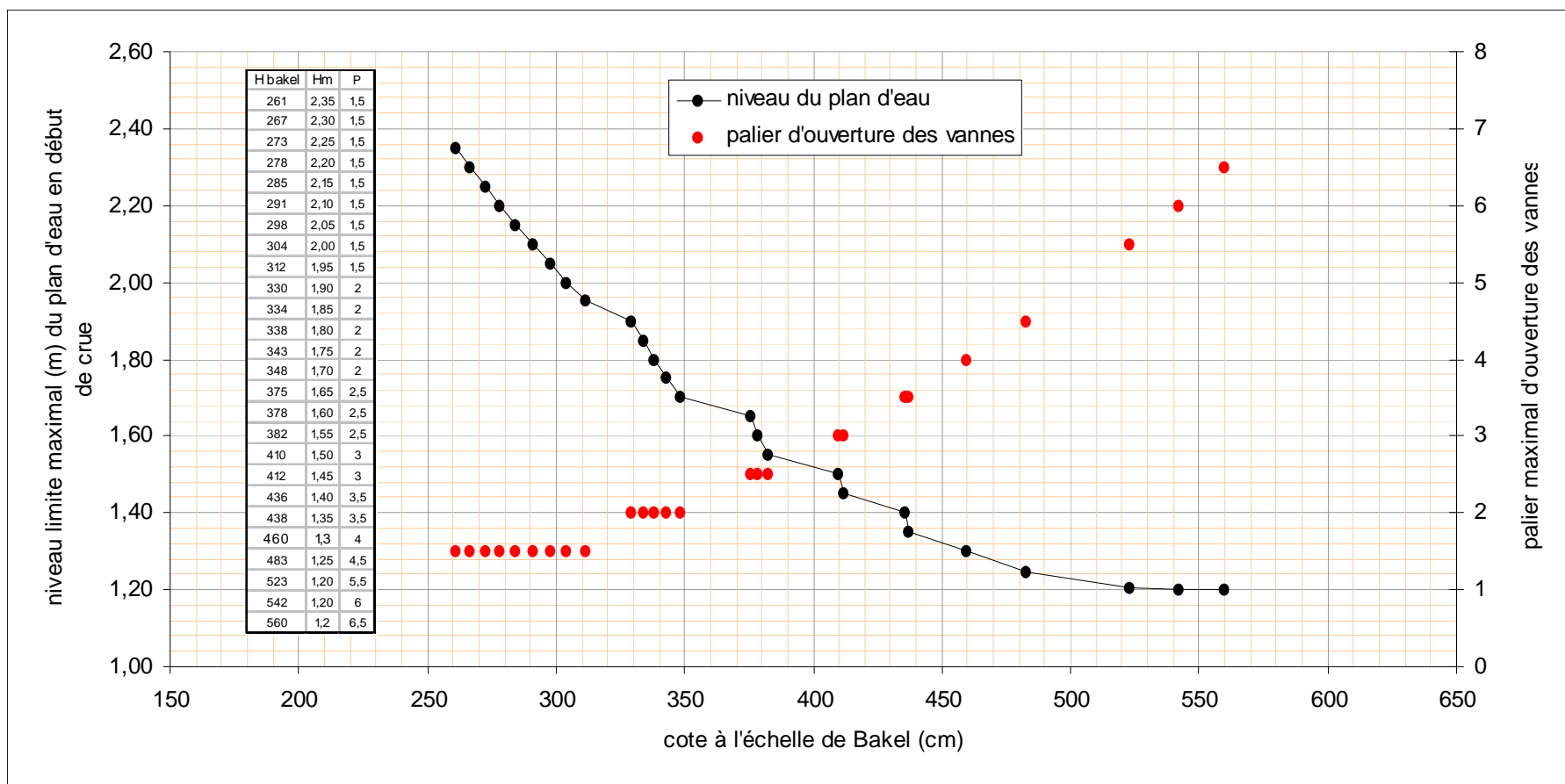


figure 10 B : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un indice de dissipation d'énergie pouvant dépasser 1000 m⁴/s à la fréquence 1 / 5 (un cinquième du temps de cycle de marée). Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote moyenne mobile sur 5 jours dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 291 cm est dépassée à Bakel en moyenne mobile sur 5 jours, le plan d'eau amont doit être abaissé jusqu'à la cote 2,10 m à Diama, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 1,5 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/5, tableau 3, fig.9B et 11A)

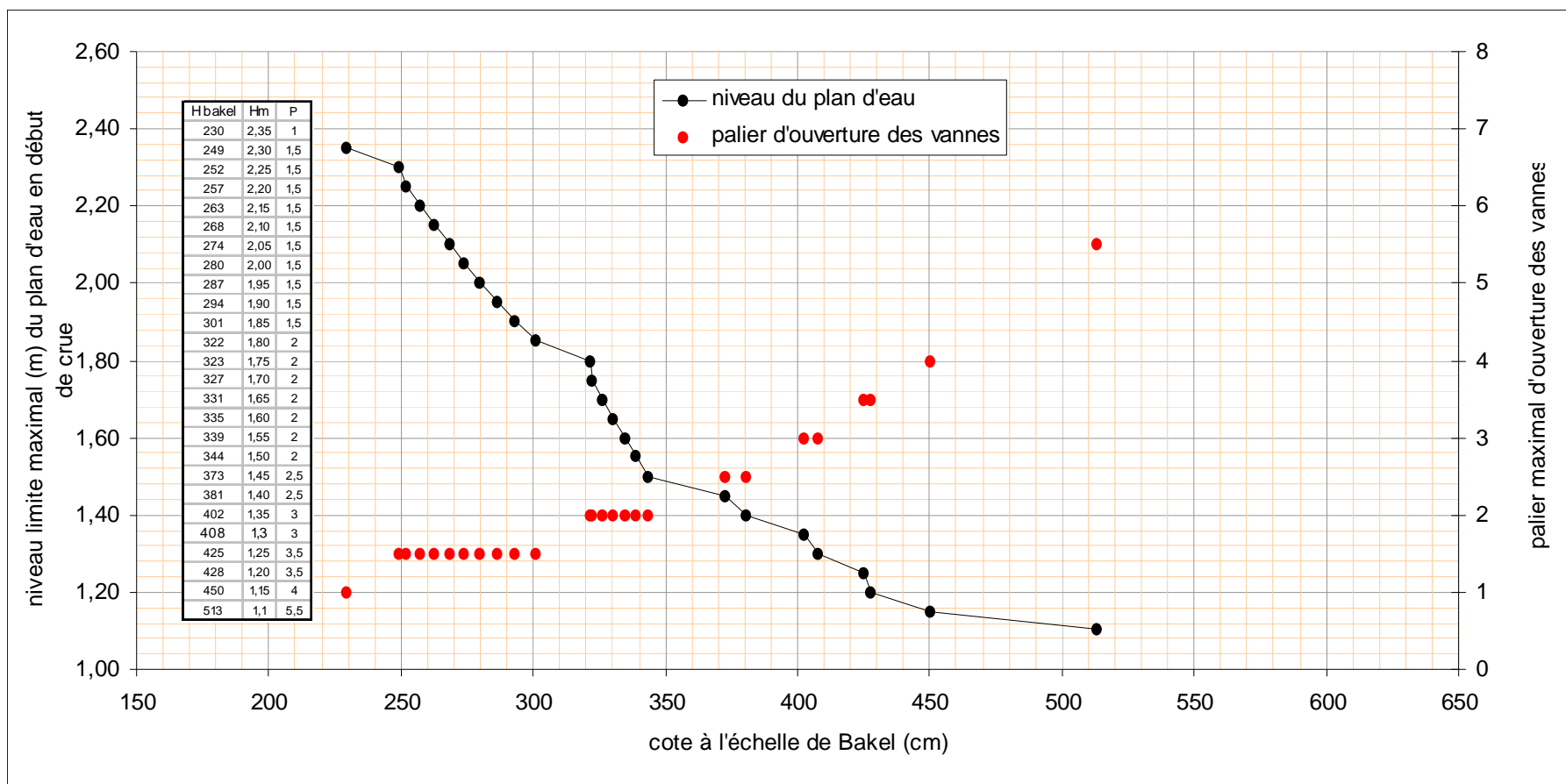


figure 10 C : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un indice de dissipation d'énergie pouvant dépasser 1000 m⁴/s à la fréquence 1 / 10 (un dixième du temps de cycle de marée). Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote moyenne mobile sur 5 jours dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 513 cm est dépassée à Bakel en moyenne mobile sur 5 jours, le plan d'eau amont doit être abaissé jusqu'à la cote 1,10 m à Diama, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 5,5 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/10, tableau 3, fig.9B et 11A)

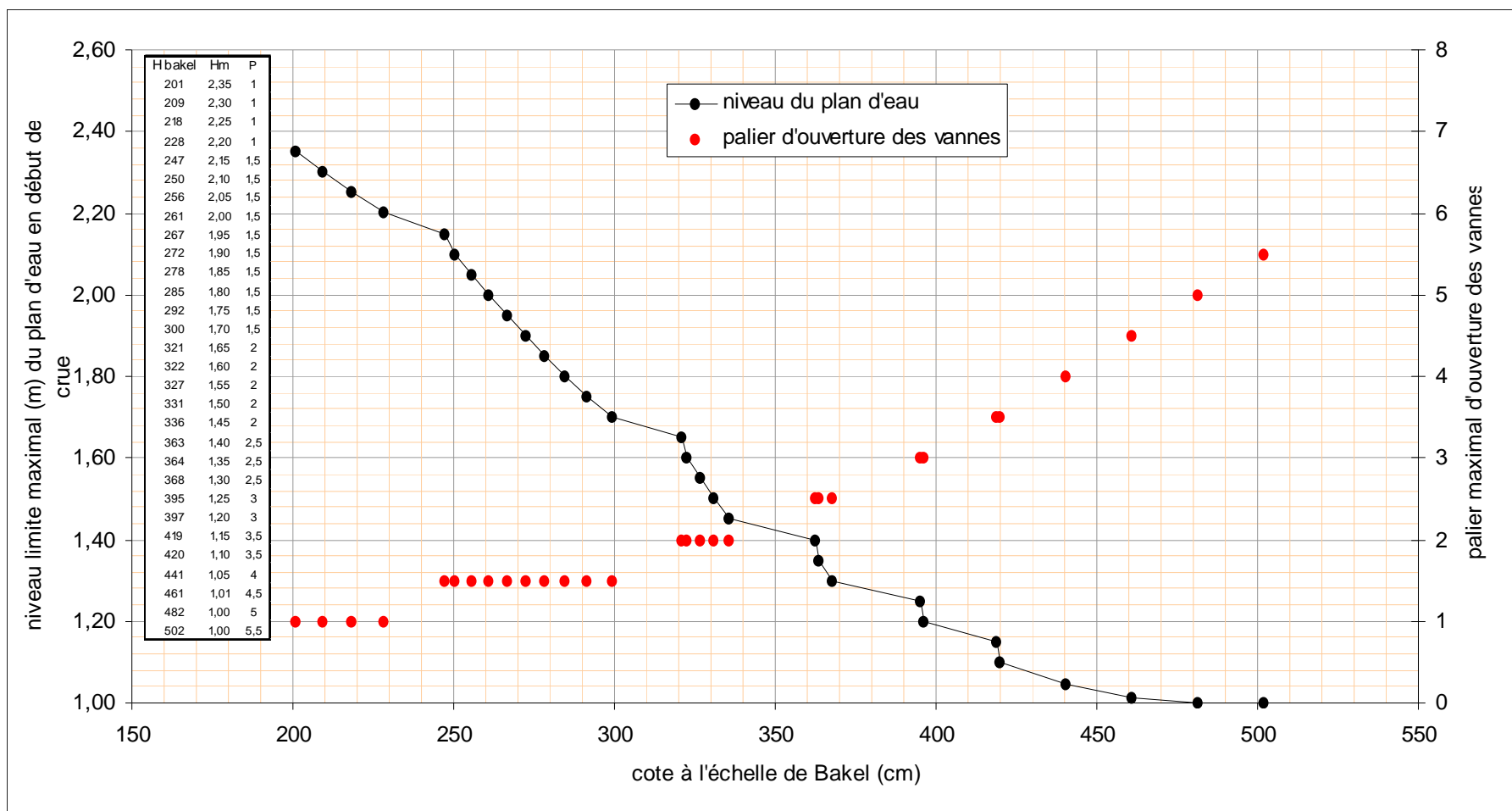


figure 10 D : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un indice de dissipation d'énergie pouvant dépasser 1000 m⁴/s à la fréquence 1 / 25 (un vingt-cinquième du temps de cycle de marée). Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote moyenne mobile sur 5 jours dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 331 cm est dépassée à Bakel en moyenne mobile sur 5 jours, le plan d'eau amont doit être abaissé jusqu'à la cote 1,50 m à Diama, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 2 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/25, tableau 3, fig.9B et 11A)

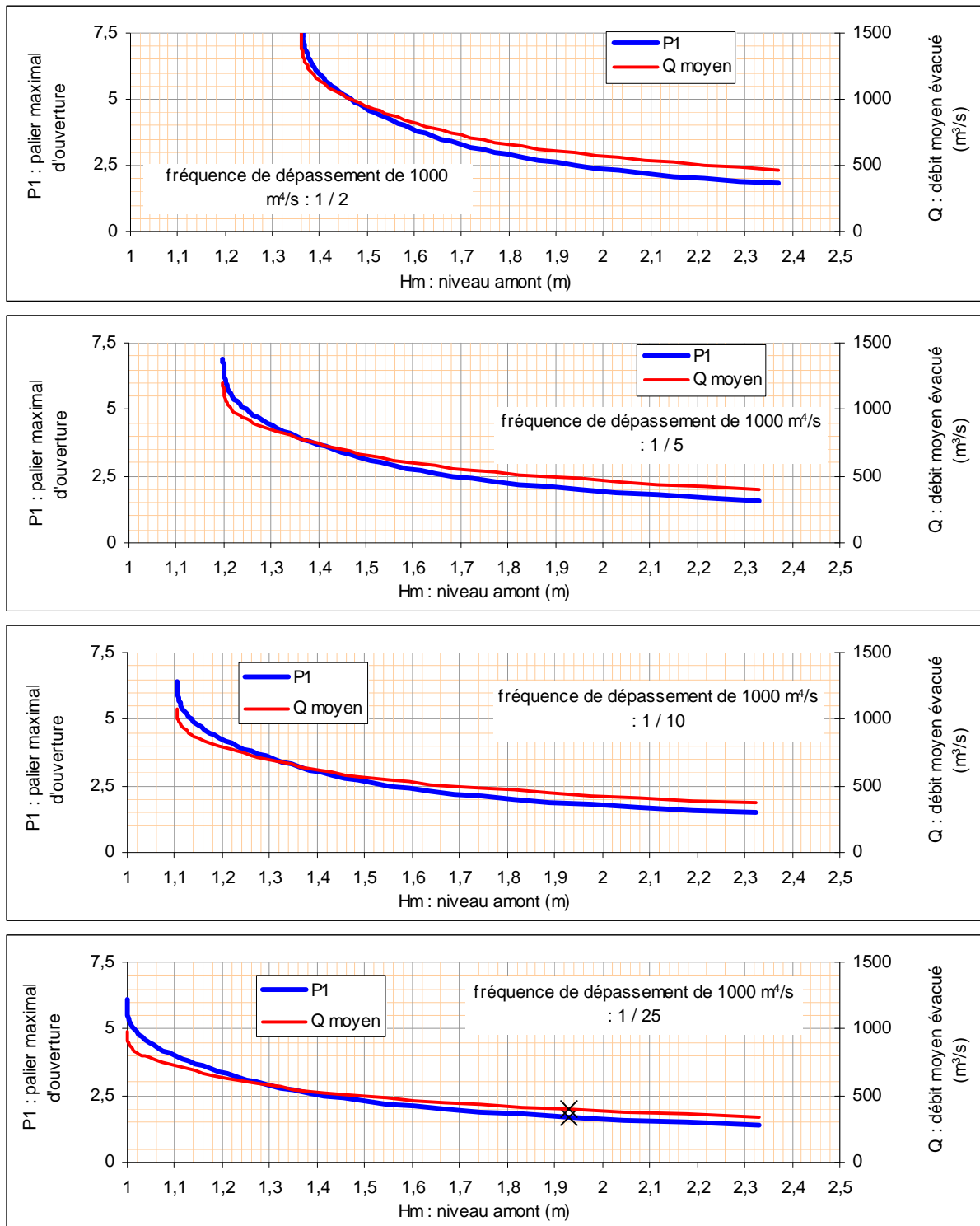


Figure 11A : palier maximal P1 d'ouverture des vannes en fonction du niveau amont de plan d'eau, associé à une fréquence 1/2, 1/5, 1/10 ou 1/25 de dépassement des 1000 m⁴/s ; valeurs de débit moyen lâché associées.

Exemple d'interprétation : pour un niveau amont Hm de 1,93 m, le risque de dépassement de 1000 m⁴/s par l'indice de dissipation d'énergie est inférieur ou égal à 1/25 (un vingt-cinquième du temps de cycle de marée) si le palier d'ouverture des vannes est supérieur à P1 = 1,7. Pour Hm = 1,93 m et P = 1,7, le débit moyen évacué s'élève à 398 m³/s.

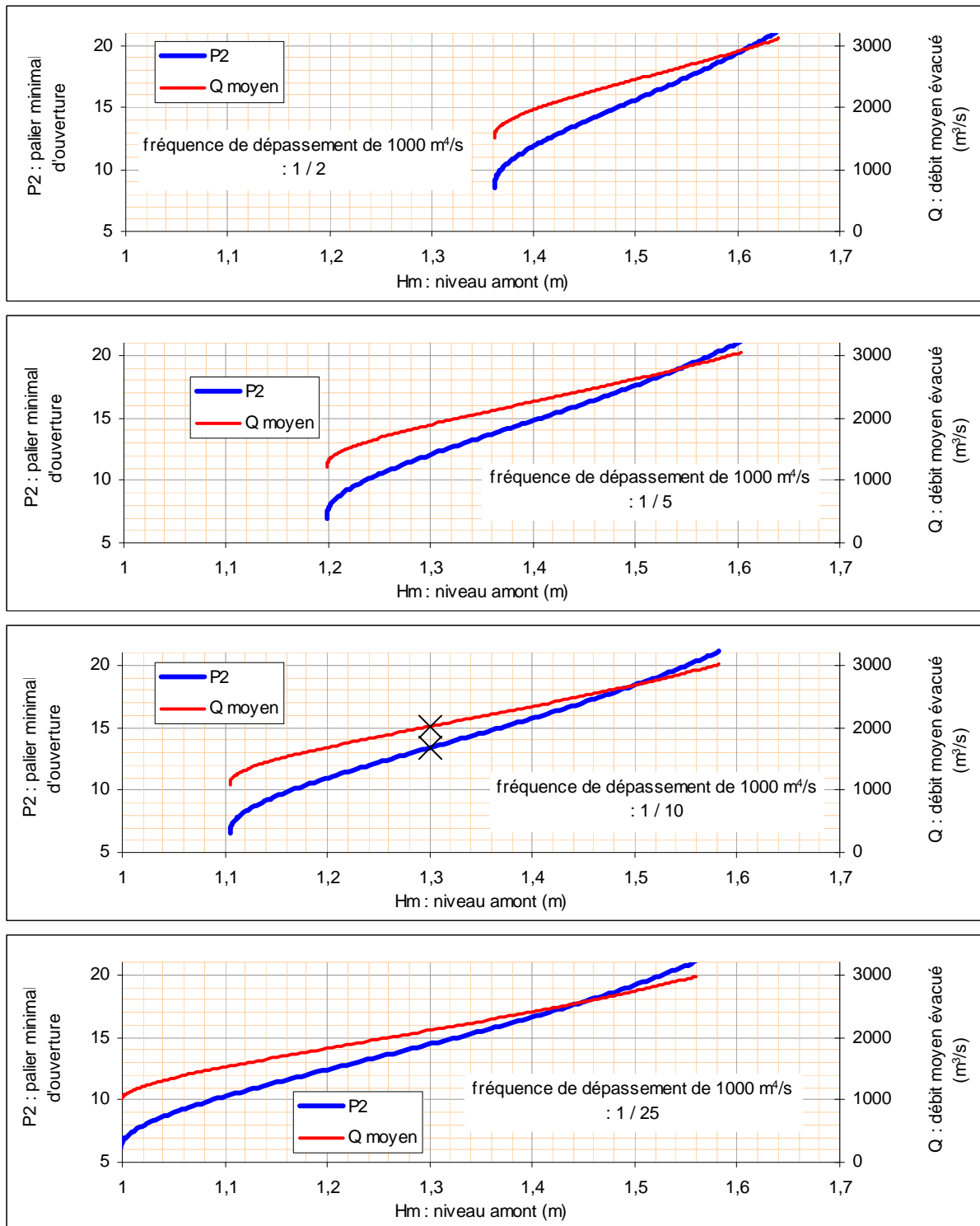


Figure 11B : palier minimal P2 d'ouverture des vannes en fonction du niveau amont de plan d'eau, associé à une fréquence 1/2, 1/5, 1/10 ou 1/25 de dépassement des 1000 m³/s ; valeurs de débit moyen lâché associées.

Exemple d'interprétation : pour un niveau amont Hm de 1,30 m, le risque de dépassement de 1000 m³/s par l'indice de dissipation d'énergie est inférieur ou égal à 1/ 10 (un dixième du temps de cycle de marée) si le palier d'ouverture des vannes est supérieur à P2 = 13,4. Pour Hm = 1,30 m et P = 13,4, le débit moyen évacué s'élève à 2021 m³/s.

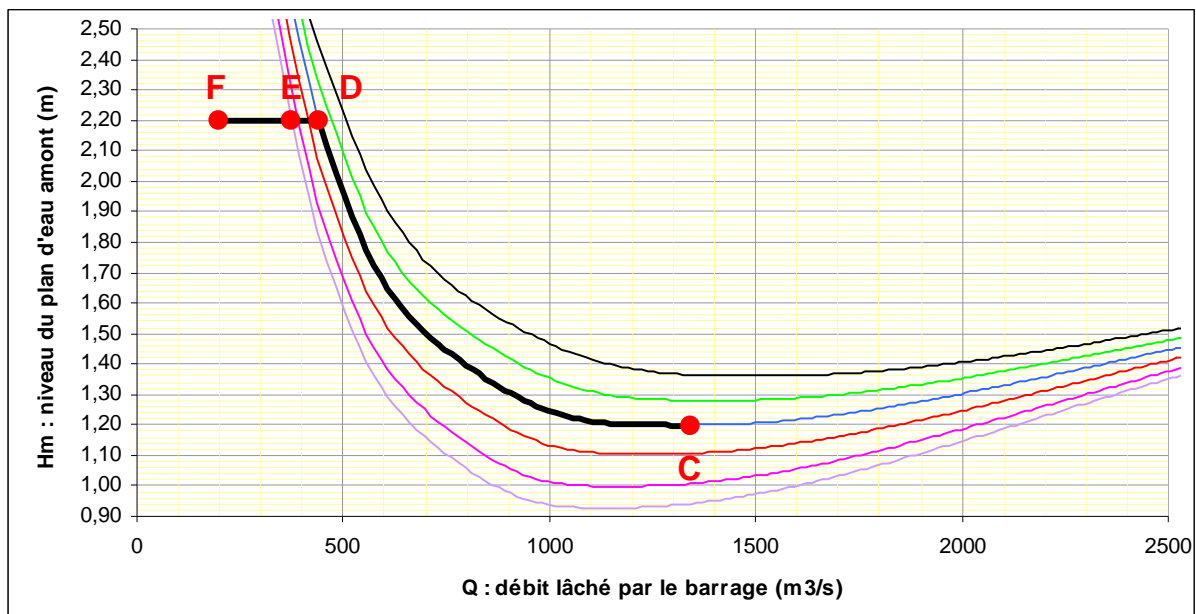
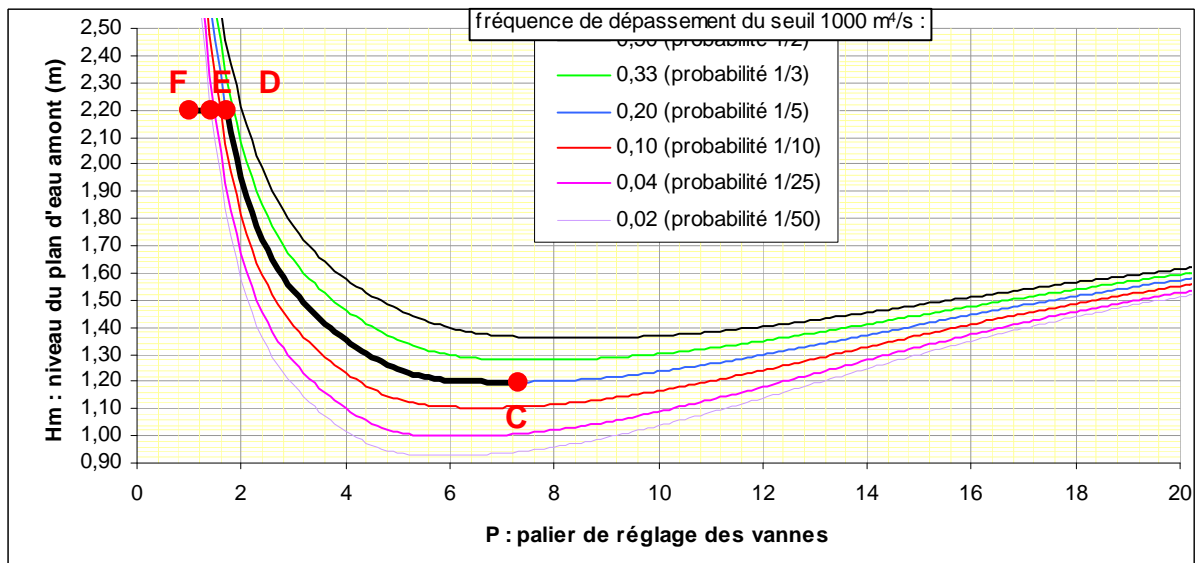


Figure 12 : exemple de procédure de rehaussement de la cote amont de 1,20 m à 2,20 m en début de décrue, pour une fréquence 1/5 de dépassement des 1000 m⁴/s.

Phase de remontée du niveau : à partir du point C, on rehausse le plan d'eau par une fermeture progressive des vannes, effectuée plus ou moins rapidement selon la vitesse de diminution des débits à évacuer, en maintenant à 1/5 le risque de dépassement de 1000 m⁴/s. Ce rehaussement permet d'aboutir au point D (Hm = 2,20 m ; palier 1,71 ; Qmoyen = 441 m³/s)

Phase succédant à la remontée : à partir du point D, le niveau est maintenu à 2,20 m en poursuivant la fermeture des vannes. Durant cette phase, le risque de dépassement des 1000 m⁴/s diminue, passant à 1/50 au point E (Hm = 2,20 m ; P=1,42 ; Q = 375 m³/s)

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hm (m)																								
0,7	1,22	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48	0,41	0,35	0,30	0,26	0,22	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,07	0,07	0,07
0,8	1,32	1,09	0,95	0,83	0,72	0,63	0,55	0,48	0,42	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08
0,9	1,42	1,19	1,04	0,91	0,81	0,71	0,63	0,55	0,48	0,42	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08
1	1,52	1,28	1,13	1,00	0,89	0,79	0,70	0,62	0,55	0,49	0,43	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,09	0,09	0,09
1,1	1,62	1,38	1,22	1,09	0,97	0,87	0,78	0,70	0,62	0,55	0,49	0,44	0,39	0,34	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,10	0,10	0,10
1,2	1,72	1,47	1,31	1,18	1,06	0,95	0,86	0,77	0,69	0,62	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,11	0,11	0,11
1,3	1,82	1,57	1,41	1,27	1,15	1,04	0,94	0,85	0,77	0,69	0,62	0,56	0,50	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,22	0,12	0,12	0,12
1,4	1,92	1,67	1,50	1,36	1,23	1,12	1,02	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,57	0,51	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29	0,26	0,13	0,13	0,13
1,5	2,02	1,76	1,59	1,45	1,32	1,20	1,10	1,00	0,91	0,83	0,76	0,69	0,63	0,57	0,52	0,47	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,14	0,14
1,6	2,12	1,86	1,68	1,54	1,41	1,29	1,18	1,08	0,99	0,91	0,83	0,76	0,69	0,63	0,58	0,53	0,48	0,44	0,41	0,37	0,35	0,32	0,15	0,15
1,7	2,22	1,95	1,78	1,63	1,49	1,37	1,26	1,16	1,07	0,98	0,90	0,83	0,76	0,70	0,64	0,59	0,54	0,50	0,46	0,42	0,39	0,36	0,16	0,16
1,8	2,32	2,05	1,87	1,72	1,58	1,46	1,35	1,24	1,15	1,06	0,97	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,60	0,55	0,51	0,47	0,44	0,41	0,17	0,17
1,9	2,42	2,15	1,97	1,81	1,67	1,55	1,43	1,32	1,23	1,13	1,05	0,97	0,90	0,83	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52	0,49	0,46	0,18	0,18
2	2,52	2,24	2,06	1,90	1,76	1,63	1,52	1,41	1,31	1,21	1,12	1,04	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,51	0,19	0,19
2,1	2,62	2,34	2,15	2,00	1,85	1,72	1,60	1,49	1,39	1,29	1,20	1,12	1,04	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,68	0,63	0,59	0,56	0,53	0,20
2,2	2,72	2,44	2,25	2,09	1,94	1,81	1,69	1,58	1,47	1,37	1,28	1,19	1,11	1,04	0,97	0,90	0,84	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,21
2,3	2,82	2,54	2,34	2,18	2,03	1,90	1,78	1,66	1,55	1,45	1,36	1,27	1,19	1,11	1,04	0,97	0,91	0,85	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,60
2,4	2,92	2,63	2,44	2,27	2,13	1,99	1,86	1,75	1,64	1,53	1,44	1,35	1,26	1,18	1,11	1,04	0,98	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69	0,66
2,5	3,02	2,73	2,54	2,37	2,22	2,08	1,95	1,83	1,72	1,62	1,52	1,43	1,34	1,26	1,18	1,11	1,05	0,99	0,93	0,88	0,83	0,79	0,75	0,71
Hm (m)																								
0,7	0	162	365	522	670	801	920	1024	1116	1197	1261	1314	1359	1392	1417	1434	1446	1456	1463	1472	1482	1386	1386	1386
0,8	0	168	379	544	701	842	971	1086	1189	1281	1357	1423	1480	1526	1562	1590	1612	1631	1646	1663	1682	1595	1595	1595
0,9	0	173	392	565	730	880	1019	1143	1257	1360	1447	1525	1593	1650	1697	1736	1768	1797	1822	1847	1874	1812	1812	1812
1	0	178	405	585	758	916	1064	1198	1321	1434	1532	1619	1698	1766	1824	1874	1916	1955	1988	2022	2057	2036	2036	2036
1,1	0	183	417	604	784	950	1106	1249	1382	1504	1611	1709	1798	1877	1945	2004	2056	2105	2147	2190	2233	2265	2265	2265
1,2	0	187	429	622	809	983	1147	1298	1439	1571	1687	1794	1893	1982	2060	2129	2190	2248	2299	2350	2401	2501	2501	2501
1,3	0	192	440	639	833	1014	1186	1344	1494	1635	1759	1876	1984	2082	2169	2248	2318	2386	2445	2504	2563	2742	2742	2742
1,4	0	196	450	656	857	1044	1223	1389	1547	1696	1829	1954	2071	2178	2274	2362	2442	2518	2585	2653	2719	2988	2988	2988
1,5	0	200	461	672	879	1073	1259	1432	1597	1754	1895	2029	2155	2270	2376	2472	2560	2645	2721	2796	2870	3239	3239	3239
1,6	0	204	471	687	900	1101	1293	1474	1646	1811	1960	2101	2236	2369	2493	2618	2735	2844	2945	3039	3126	3495	3495	3495
1,7	0	208	480	702	921	1128	1327	1514	1693	1865	2022	2171	2314	2446	2568	2681	2786	2888	2980	3071	3159	3756	3756	3756
1,8	0	212	490	717	941	1154	1359	1553	1739	1918	2082	2239	2389	2529	2660	2781	2894	3004	3104	3202	3297	4021	4021	4021
1,9	0	216	499	731	961	1179	1391	1590	1783	1970	2140	2305	2463	2610	2749	2878	2999	3117	3224	3331	3433	4292	4292	4292
2	0	220	508	745	980	1204	1421	1627	1827	2020	2197	2368	2534	2689	2835	2972	3101	3227	3342	3456	3566	4568	4568	4568
2,1	0	223	516	758	999	1228	1451	1663	1868	2068	2252	2431	2603	2766	2920	3064	3201	3334	3457	3579	3696	4850	4850	4850
2,2	0	226	525	771	1017	1251	1480	1697	1909	2115	2306	2491	2671	2841	3002	3154	3298	3439	3570	3699	3824	4945	4945	4945
2,3	0	230	533	784	1034	1274	1508	1731	1949	2162	2359	2550	2737	2914	3082	3242	3393	3542	3680	3817	3949	5078	5078	5078
2,4	0	233	541	796	1052	1296	1536	1764	1988	2207	2410	2608	2802	2986	3161	3328	3487	3643	3788	3933	4073	5209	5209	5209
2,5	0	236	549	808	1069	1318	1563	1797	2026	2251	2460	2665	2865	3056	3238	3412	3578	3742	3895	4047	4195	5339	5339	5339
Hm (m)																								
0,7	0	162	313	387	429	444	440	421	394	361	324	287	251	217	187	159	136	117	101	88	78	95	95	95
0,8	0	183	359	450	507	532	536	522	496	463	424	383	343	303	266	233	203	177	155	138	123	121	121	121
0,9	0	206	408	516	588	625	638	630	608	577	536	493	448	404	361	321	285	253	225	202	183	153	153	153
1	0	229	458	586	674	724	747	746	729	700	660	615	567	518	470	424	382	344	310	281	258	188	188	188
1,1	0	252	509	658	764	828	862	870	859	834	794	749	699	647	594	543	494	450	411	376	348	229	229	229
1,2	0	276	563	732	857	937	984	1001	997	977	940	895	844	789	733	677	623	573	527	487	453	275	275	275
1,3	0	301	618	810	954	1050	1111	1139	1143	1129	1096	1052	1002	945	886	826	767	712	661	615	576	326	326	326
1,4	0	327	675	889	1055	1168	1244	1284	1298	1291	1262	1222	1172	1115	1054	990	927	867	810	759	714	382	382	382
1,5	0	353	733	972	1169	1291	1383	1436	1460	1462	1439	1402	1355	1298	1236	1170	1103	1039	977	921	871	827	444	444
1,6	0	380	793	1056	1266	1418	1527	1594	1631	1642	1626	1594	1550	1495	1432	1364	1295	1227	1161	1100	1045	996	513	513
1,7	0	407	854	1143	1377	1549	1676	1758	1808	1831	1823	1797	1758	1705	1643	1574	1503	1432	1362	1297	1237	1183	587	587
1,8	0	435	917	1232	1490	1684	1831	1929	1994	2028	2029	2011	1977	1928	1868	1799	1727	1655	1581	1512	1448	1389	669	669
1,9	0	464	981	1323	1607	1824	1990	2107	2186	2234	2245	2236	2209	2164	2107	2040	1967	1894	1818	1746	1678	1615	757	757
2	0	493	1046	1417	1727	1967	2155	2290	2386	2448	2471	2471	2452	2413	2360	2295	2224	2150	2073	1998	1927	1861	852	852
2,1	0	522	1112	1512	1850	2114	2324	2479	2593	2670	2706	2717	2707	2675	2627	2566	2496	2424	2346	2270	2197	2129	2069	956
2,2	0	552	1180	1610	1976	2265	2499	2674	2806	2901	2950	2973	2973	2950	2908	2852	2786	2715	2638	2562	2488	2418	2356	1068
2,3	0	583	1250	1709	2104	2420	2678	2875	3026	3139	3203	3239</												

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hm (m)																								
0,7	1,38	1,14	0,99	0,85	0,74	0,64	0,56	0,48	0,41	0,35	0,30	0,26	0,22	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08
0,8	1,48	1,24	1,08	0,94	0,82	0,72	0,63	0,55	0,48	0,42	0,36	0,31	0,27	0,23	0,19	0,17	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
0,9	1,58	1,33	1,17	1,03	0,91	0,80	0,71	0,62	0,55	0,48	0,42	0,36	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09
1	1,68	1,43	1,26	1,12	0,99	0,88	0,78	0,69	0,61	0,54	0,48	0,42	0,37	0,32	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,10	0,10	0,10
1,1	1,78	1,52	1,35	1,20	1,08	0,96	0,86	0,77	0,68	0,61	0,54	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,11	0,11	0,11
1,2	1,88	1,62	1,44	1,29	1,16	1,04	0,94	0,84	0,75	0,68	0,60	0,54	0,48	0,43	0,38	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,12	0,12	0,12
1,3	1,98	1,71	1,53	1,38	1,25	1,13	1,02	0,92	0,83	0,74	0,67	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,35	0,31	0,28	0,26	0,23	0,13	0,13	0,13
1,4	2,08	1,81	1,63	1,47	1,33	1,21	1,10	0,99	0,90	0,82	0,74	0,66	0,60	0,54	0,49	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,14	0,14	0,14
1,5	2,18	1,90	1,72	1,56	1,42	1,29	1,18	1,07	0,98	0,89	0,81	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,29	0,15	0,15
1,6	2,28	2,00	1,81	1,65	1,51	1,38	1,26	1,15	1,05	0,96	0,88	0,80	0,73	0,66	0,60	0,55	0,50	0,46	0,42	0,39	0,36	0,33	0,16	0,16
1,7	2,38	2,10	1,91	1,74	1,60	1,46	1,34	1,23	1,13	1,03	0,95	0,87	0,79	0,73	0,66	0,61	0,56	0,51	0,47	0,43	0,40	0,37	0,17	0,17
1,8	2,48	2,19	2,00	1,83	1,69	1,55	1,43	1,31	1,21	1,11	1,02	0,94	0,86	0,79	0,73	0,67	0,61	0,57	0,52	0,48	0,45	0,42	0,18	0,18
1,9	2,58	2,29	2,09	1,93	1,77	1,64	1,51	1,40	1,29	1,19	1,10	1,01	0,93	0,86	0,79	0,73	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50	0,47	0,19	0,19
2	2,68	2,39	2,19	2,02	1,86	1,72	1,60	1,48	1,37	1,27	1,17	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,59	0,55	0,52	0,20	0,20
2,1	2,78	2,48	2,28	2,11	1,95	1,81	1,68	1,56	1,45	1,34	1,25	1,16	1,07	1,00	0,92	0,86	0,80	0,74	0,69	0,65	0,60	0,57	0,24	0,21
2,2	2,88	2,58	2,38	2,20	2,05	1,90	1,77	1,65	1,53	1,42	1,33	1,23	1,15	1,07	0,99	0,92	0,86	0,80	0,75	0,70	0,66	0,62	0,59	0,22
2,3	2,98	2,68	2,47	2,30	2,14	1,99	1,86	1,73	1,61	1,51	1,40	1,31	1,22	1,14	1,06	0,99	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,64	0,61
2,4	3,08	2,77	2,57	2,39	2,23	2,08	1,94	1,82	1,70	1,59	1,48	1,39	1,30	1,21	1,14	1,06	1,00	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67
2,5	3,18	2,87	2,66	2,48	2,32	2,17	2,03	1,90	1,78	1,67	1,56	1,47	1,37	1,29	1,21	1,13	1,07	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,72
Hm (m)																								
0,7	0	170	385	551	708	848	976	1087	1186	1272	1342	1400	1448	1484	1510	1528	1540	1550	1557	1568	1581	1386	1386	1386
0,8	0	175	398	571	737	886	1022	1143	1252	1350	1430	1499	1558	1605	1642	1670	1691	1710	1725	1743	1764	1595	1595	1595
0,9	0	180	410	591	764	921	1066	1196	1315	1423	1513	1592	1662	1720	1767	1806	1837	1865	1889	1915	1943	1812	1812	1812
1	0	185	422	609	790	954	1108	1247	1375	1492	1591	1681	1761	1829	1887	1935	1976	2014	2047	2081	2117	2036	2036	2036
1,1	0	190	433	627	814	986	1148	1295	1431	1558	1666	1766	1856	1934	2001	2060	2110	2158	2199	2241	2285	2265	2265	2265
1,2	0	194	444	644	838	1017	1186	1341	1486	1621	1738	1847	1946	2034	2111	2179	2239	2296	2346	2396	2447	2501	2501	2501
1,3	0	198	454	660	861	1047	1223	1385	1538	1681	1807	1924	2033	2130	2217	2294	2363	2429	2487	2546	2605	2742	2742	2742
1,4	0	202	464	676	883	1075	1258	1428	1588	1739	1874	1999	2117	2223	2318	2405	2483	2557	2624	2691	2757	2988	2988	2988
1,5	0	206	474	691	904	1103	1293	1469	1637	1796	1938	2072	2198	2312	2417	2512	2598	2682	2756	2831	2904	3239	3239	3239
1,6	0	210	484	706	924	1129	1326	1509	1684	1850	2000	2142	2276	2399	2512	2615	2710	2802	2885	2968	3048	3495	3495	3495
1,7	0	214	493	720	944	1165	1358	1548	1729	1903	2060	2210	2352	2483	2604	2716	2819	2919	3010	3100	3188	3756	3756	3756
1,8	0	218	502	734	964	1180	1389	1585	1774	1954	2118	2275	2425	2565	2694	2814	2925	3033	3132	3230	3325	4021	4021	4021
1,9	0	221	511	748	983	1205	1419	1622	1817	2004	2175	2340	2497	2644	2781	2909	3028	3145	3251	3357	3459	4292	4292	4292
2	0	225	519	761	1001	1229	1449	1657	1858	2053	2231	2402	2567	2721	2866	3002	3129	3253	3367	3480	3590	4568	4568	4568
2,1	0	228	528	774	1019	1252	1478	1692	1899	2100	2284	2463	2635	2797	2949	3092	3227	3359	3481	3602	3719	4850	4850	4850
2,2	0	231	536	787	1037	1274	1506	1726	1939	2146	2337	2522	2701	2870	3030	3181	3323	3463	3592	3721	3845	4967	4967	4967
2,3	0	235	544	799	1054	1297	1533	1759	1978	2191	2388	2580	2766	2942	3109	3267	3417	3565	3702	3838	3970	5092	5092	5092
2,4	0	238	551	811	1070	1318	1560	1791	2016	2235	2439	2637	2830	3013	3187	3352	3510	3665	3809	3953	4092	5229	5229	5229
2,5	0	241	559	823	1087	1339	1586	1823	2053	2278	2488	2692	2892	3082	3263	3435	3600	3763	3915	4066	4213	5358	5358	5358
Hm (m)																								
0,7	0	194	379	471	526	547	544	524	491	452	406	361	316	274	235	201	172	147	127	111	98	107	107	107
0,8	0	217	428	538	608	640	646	630	600	560	513	463	413	365	320	278	242	211	185	163	147	135	135	135
0,9	0	240	478	607	693	738	753	743	717	679	630	578	524	470	419	371	327	290	257	230	209	168	168	168
1	0	264	530	680	783	841	867	865	843	808	759	705	648	589	532	478	428	384	345	312	286	206	206	206
1,1	0	289	584	755	876	949	987	993	978	946	899	844	784	722	660	600	544	493	448	410	378	249	249	249
1,2	0	314	640	832	973	1062	1113	1129	1121	1094	1049	994	933	869	802	737	675	619	567	523	486	297	297	297
1,3	0	340	697	912	1073	1179	1244	1271	1272	1251	1209	1156	1095	1029	959	889	822	760	703	653	611	350	350	350
1,4	0	366	755	994	1177	1301	1381	1421	1431	1418	1380	1329	1270	1202	1130	1057	985	918	855	800	752	408	408	408
1,5	0	393	815	1079	1284	1427	1523	1576	1598	1593	1561	1514	1456	1389	1315	1239	1164	1092	1024	963	910	865	473	473
1,6	0	420	877	1166	1394	1557	1671	1738	1772	1777	1752	1710	1655	1589	1515	1437	1359	1283	1210	1145	1086	1036	543	543
1,7	0	449	940	1255	1508	1692	1824	1907	1954	1970	1952	1917	1866	1802	1729	1650	1569	1491	1414	1343	1280	1225	620	620
1,8	0	477	1004	1346	1624	1830	1982	2082	2143	2171	2163	2134	2089	2028	1957	1878	1796	1715	1635	1561	1493	1433	704	704
1,9	0	506	1069	1440	1744	1973	2145	2262	2339	2380	2382	2362	2324	2268	2199	2121	2038	1957	1874	1796	1725	1660	795	795
2	0	536	1136	1535	1866	2119	2313	2449	2542	2598	2612	2601	2570	2520	2455	2379	2297	2215	2130	2051	1976	1908	893	893
2,1	0	566	1204	1633	1992	2269	2486	2642	2752	2824	2850	2850	2828	2785	2725	2653	2572	2491	2406	2325	2248	2177	999	999
2,2	0	597	1274	1733	2120	2423	2664	2840	2969	3057	3097	3109	3098	3063	3009	2941	2864	2785	2700	2618	2540	2468	1113	1113
2,3	0	628	1344	1834	2251	2581	2846	3044	3193	329														

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hm (m)																								
0,7	1,55	1,29	1,12	0,98	0,85	0,74	0,64	0,56	0,48	0,41	0,35	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,09	0,09	0,09
0,8	1,65	1,39	1,21	1,06	0,93	0,82	0,72	0,63	0,54	0,47	0,41	0,35	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
0,9	1,75	1,48	1,30	1,15	1,02	0,90	0,79	0,70	0,61	0,53	0,47	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,10	0,10
1	1,85	1,58	1,39	1,24	1,10	0,98	0,87	0,77	0,68	0,60	0,53	0,46	0,40	0,35	0,31	0,27	0,23	0,21	0,18	0,16	0,15	0,11	0,11	0,11
1,1	1,95	1,67	1,49	1,33	1,19	1,06	0,95	0,84	0,75	0,66	0,59	0,52	0,46	0,40	0,36	0,31	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,12	0,12	0,12
1,2	2,05	1,77	1,58	1,41	1,27	1,14	1,02	0,92	0,82	0,73	0,65	0,58	0,52	0,46	0,41	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21	0,13	0,13	0,13
1,3	2,15	1,86	1,67	1,50	1,36	1,22	1,10	0,99	0,89	0,80	0,72	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,14	0,14	0,14
1,4	2,25	1,96	1,76	1,59	1,44	1,31	1,18	1,07	0,97	0,87	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,46	0,42	0,37	0,34	0,31	0,28	0,15	0,15	0,15
1,5	2,35	2,06	1,86	1,68	1,53	1,39	1,26	1,15	1,04	0,94	0,85	0,77	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,16	0,16
1,6	2,45	2,15	1,95	1,77	1,62	1,48	1,35	1,23	1,12	1,02	0,93	0,84	0,76	0,69	0,63	0,57	0,52	0,47	0,43	0,40	0,37	0,34	0,16	0,16
1,7	2,55	2,25	2,04	1,86	1,71	1,56	1,43	1,31	1,20	1,09	1,00	0,91	0,83	0,76	0,69	0,63	0,57	0,53	0,48	0,45	0,41	0,38	0,17	0,17
1,8	2,65	2,34	2,14	1,96	1,79	1,65	1,51	1,39	1,27	1,17	1,07	0,98	0,90	0,82	0,75	0,69	0,63	0,58	0,54	0,49	0,46	0,43	0,18	0,18
1,9	2,75	2,44	2,23	2,05	1,88	1,73	1,60	1,47	1,35	1,24	1,14	1,05	0,97	0,89	0,82	0,75	0,69	0,64	0,59	0,55	0,51	0,48	0,19	0,19
2	2,85	2,54	2,32	2,14	1,97	1,82	1,68	1,55	1,43	1,32	1,22	1,13	1,04	0,96	0,88	0,81	0,75	0,70	0,65	0,60	0,56	0,53	0,20	0,20
2,1	2,95	2,63	2,42	2,23	2,06	1,91	1,77	1,64	1,51	1,40	1,30	1,20	1,11	1,03	0,95	0,88	0,82	0,76	0,70	0,66	0,61	0,58	0,55	0,22
2,2	3,05	2,73	2,51	2,32	2,15	2,00	1,85	1,72	1,60	1,48	1,37	1,28	1,18	1,10	1,02	0,95	0,88	0,82	0,76	0,72	0,67	0,63	0,60	0,23
2,3	3,15	2,83	2,61	2,42	2,25	2,09	1,94	1,81	1,68	1,56	1,45	1,35	1,26	1,17	1,09	1,01	0,95	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69	0,65	0,62
2,4	3,25	2,93	2,70	2,51	2,34	2,18	2,03	1,89	1,76	1,64	1,53	1,43	1,33	1,24	1,16	1,08	1,01	0,95	0,89	0,84	0,79	0,75	0,71	0,68
2,5	3,35	3,02	2,80	2,60	2,43	2,27	2,12	1,98	1,85	1,73	1,61	1,51	1,41	1,32	1,23	1,16	1,08	1,02	0,96	0,90	0,85	0,81	0,77	0,73
Hm (m)																								
0,7	0	178	404	579	746	894	1030	1148	1253	1346	1420	1482	1533	1572	1599	1618	1630	1641	1649	1661	1677	1386	1386	1386
0,8	0	183	416	598	772	929	1072	1200	1314	1417	1500	1573	1634	1683	1720	1749	1770	1789	1804	1822	1845	1859	1859	1859
0,9	0	188	427	616	797	961	1113	1249	1373	1484	1577	1660	1731	1790	1837	1875	1906	1934	1957	1983	2013	1812	1812	1812
1	0	192	438	633	821	993	1152	1296	1428	1549	1651	1743	1824	1893	1950	1998	2038	2075	2106	2140	2178	2036	2036	2036
1,1	0	197	449	650	844	1023	1190	1341	1482	1611	1722	1823	1914	1992	2059	2116	2166	2212	2252	2294	2339	2265	2265	2265
1,2	0	201	459	666	867	1052	1226	1385	1533	1671	1790	1900	2000	2088	2164	2231	2289	2345	2393	2444	2496	2501	2501	2501
1,3	0	205	469	681	888	1080	1261	1427	1583	1728	1856	1974	2083	2180	2265	2341	2409	2473	2531	2589	2648	2742	2742	2742
1,4	0	209	479	696	909	1107	1294	1468	1631	1784	1920	2046	2164	2269	2364	2449	2525	2598	2664	2730	2796	2988	2988	2988
1,5	0	212	488	711	929	1133	1327	1507	1677	1838	1982	2116	2242	2356	2459	2553	2638	2720	2793	2867	2941	3016	3239	3239
1,6	0	216	497	725	949	1159	1359	1545	1723	1891	2041	2184	2318	2440	2552	2654	2747	2838	2919	3001	3082	3164	3495	3495
1,7	0	220	506	739	968	1183	1390	1583	1767	1942	2100	2249	2391	2522	2642	2752	2854	2952	3042	3132	3220	3308	3756	3756
1,8	0	223	515	752	987	1208	1420	1619	1809	1991	2156	2314	2463	2601	2729	2848	2958	3064	3162	3259	3354	3449	4021	4021
1,9	0	227	523	765	1005	1231	1449	1654	1851	2040	2212	2376	2533	2679	2815	2941	3059	3174	3279	3384	3486	3588	4292	4292
2	0	230	531	778	1023	1254	1478	1688	1892	2087	2265	2437	2601	2755	2898	3032	3158	3281	3394	3506	3616	3724	4568	4568
2,1	0	233	539	791	1040	1277	1506	1722	1931	2133	2318	2496	2668	2829	2980	3121	3255	3385	3506	3626	3743	3858	3978	4850
2,2	0	236	547	803	1057	1298	1533	1755	1970	2178	2369	2554	2733	2901	3059	3209	3350	3488	3616	3744	3868	3991	4117	5139
2,3	0	239	555	815	1074	1320	1560	1787	2008	2222	2420	2611	2797	2972	3137	3294	3443	3589	3724	3860	3992	4121	4255	4258
2,4	0	243	562	826	1090	1341	1586	1818	2045	2265	2469	2667	2859	3041	3214	3378	3534	3687	3831	3974	4113	4250	4391	4397
2,5	0	246	570	838	1106	1362	1611	1849	2081	2307	2517	2721	2920	3109	3289	3460	3623	3784	3935	4086	4233	4378	4527	4536
Hm (m)																								
0,7	0	231	453	566	635	663	663	639	602	554	500	444	390	338	290	248	212	181	156	137	122	120	120	120
0,8	0	254	504	636	721	761	769	751	716	669	612	552	493	434	379	330	286	248	217	182	173	150	150	150
0,9	0	278	556	709	810	863	881	870	839	793	735	672	608	544	483	426	374	330	292	262	238	185	185	185
1	0	303	611	784	904	971	1000	996	970	927	869	804	737	668	600	537	478	427	383	346	317	225	225	225
1,1	0	329	667	862	1001	1083	1124	1130	1110	1071	1013	948	878	805	732	662	598	540	489	446	412	270	270	270
1,2	0	355	724	942	1101	1200	1255	1270	1257	1223	1168	1103	1031	955	878	803	732	668	611	562	522	320	320	320
1,3	0	381	783	1025	1205	1321	1390	1417	1413	1385	1333	1269	1197	1119	1039	959	883	813	749	695	649	375	375	375
1,4	0	409	844	1110	1311	1446	1531	1570	1576	1566	1509	1447	1376	1296	1213	1129	1048	973	904	843	792	436	436	436
1,5	0	437	905	1197	1422	1576	1678	1730	1747	1736	1694	1636	1566	1487	1402	1315	1230	1150	1075	1009	952	905	503	503
1,6	0	465	969	1286	1535	1710	1829	1896	1926	1924	1889	1836	1769	1691	1605	1516	1427	1344	1264	1193	1130	1078	576	576
1,7	0	494	1033	1378	1651	1848	1986	2069	2112	2121	2093	2046	1984	1907	1822	1732	1641	1554	1469	1394	1326	1269	656	656
1,8	0	523	1099	1471	1771	1989	2148	2247	2304	2326	2308	2267	2210	2137	2053	1963	1870	1780	1693	1613	1541	1479	742	742
1,9	0	553	1166	1567	1893	2135	2314	2432	2504	2539	2531	2499	2448	2380	2298	2208	2115	2024	1934	1850	1775	1708	835	835
2	0	583	1235	1665	2018	2284	2486	2622	2711	2760	2764	2742	2698	2635	2557	2469	2377	2285	2193	2107	2028	1958	936	936
2,1	0	614	1304	1764	2146	2438	2662	2818	2925	2990	3006	2994	2960	2903	2830	2745	2654	2563	2470	2383	2302	2229	2168	1044
2,2	0	646	1375	1866	2277	2595	2842	3020	3146	3227	3257	3257	3233	3184	3137	3037	2948	2859	2766	2678	2596	2522	2459	1161
2,3	0	677	1447	1970	2410	2755	3028																	

W : indice de dissipation d'énergie	probabilité de dépassement de W	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	Hm
		800 m ⁴ /s	1/ 50	4,0 7,8	3,2 10,1	2,7 12,0	2,3 13,7	2,1 15,6	1,9 17,6	1,8 20,1	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1
1/ 25			3,9 8,9	3,1 11,1	2,6 13,0	2,3 15,0	2,1 17,2	1,9 19,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	P1 P2
1/ 10				4,2 9,2	3,4 11,8	2,8 14,0	2,4 16,3	2,2 19,0	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	P1 P2
1/ 5					4,4 10,0	3,5 12,8	2,9 15,4	2,5 18,2	2,3	2,0	1,9	1,8	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	P1 P2
1/ 3						4,6 11,2	3,7 14,3	3,0 17,3	2,6 20,9	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	P1 P2
1/ 2							4,7 12,8	3,8 16,3	3,1 20,0	2,7	2,4	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	P1 P2
1000 m ⁴ /s	1/ 50			4,2 9,2	3,4 11,3	2,9 13,1	2,6 15,0	2,3 17,1	2,1 19,7	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	P1 P2
	1/ 25			5,6 5,8	4,0 10,3	3,4 12,4	2,9 14,4	2,5 16,6	2,3 19,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	P1 P2
	1/ 10				6,5 6,5	4,3 11,0	3,5 13,4	3,0 15,7	2,7 18,4	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	P1 P2
	1/ 5					6,4 7,8	4,4 12,1	3,7 14,8	3,1 17,6	2,7 21,0	2,5	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	P1 P2
	1/ 3						5,9 9,9	4,5 13,7	3,8 16,7	3,2 20,2	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	P1 P2
	1/ 2							6,0 11,9	4,6 15,6	3,9 19,4	3,3	2,9	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	P1 P2
1200 m ⁴ /s	1/ 50				5,2 8,0	4,1 10,7	3,5 12,8	3,1 14,7	2,7 16,8	2,5 19,4	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	P1 P2
	1/ 25					4,8 9,5	4,0 12,0	3,4 14,1	3,0 16,3	2,7 18,9	2,4	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	P1 P2
	1/ 10						5,1 10,3	4,2 13,0	3,6 15,4	3,1 18,1	2,8	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	P1 P2
	1/ 5							5,3 11,5	4,3 14,5	3,7 17,3	3,2 20,8	2,9	2,6	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	P1 P2
	1/ 3								5,3 13,3	4,4 16,5	3,7 20,0	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	P1 P2
	1/ 2								7,5 11,0	5,4 15,5	4,4 19,1	3,8	3,4	3,0	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0	P1 P2

Tableau 3 : valeurs extrêmes de réglage de vanne P1 et P2 permettant de limiter, en régime d'écoulement établi, le risque de dépassement de 800, 1000 ou 1200 m⁴/s par l'indice de dissipation d'énergie $W = Q^*(Hm-Hv)$

Exemples d'interprétation :

- Pour un niveau amont de 0,90 m, le risque de dépassement de 800 m⁴/s est toujours inférieur à 1/10 quel que soit le réglage des vannes
- Pour un niveau amont de 1,30 m, le risque de dépassement de 1000 m⁴/s est inférieur à 1/5 si le palier d'ouverture des vannes se situe soit au dessous de P1 = 4,4, soit au dessus de P2 = 12,1
- Pour un niveau amont de 1,80 m, le risque de dépassement de 1200 m⁴/s est inférieur à 1/3 si le palier d'ouverture des vannes est inférieur à 3,3, ou si l'écoulement est libre (vannes effacées)

débit amont (m ³ /s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	Hv médián (m ³ /s)	Hm (m)																																					
			début	fin	P																																			
		E(m)																																						
		Q médián (m ³ /s)																																						
		W médián (m ³ /s)																																						
395	300		21	22	23	16	3	10	10	10	10	11	2	5	7	7	4	2	5	4	1	6	2	2	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0						
411	306			27	28	20	3	10	11	11	11	12	2	6	7	7	4	2	5	5	1	6	2	3	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0						
429	312				37	27	3	12	12	12	13	13	2	6	8	8	5	2	6	5	1	7	2	3	1	2	1	1	2	1	0	0	0	0						
451	320					50	4	13	14	14	15	15	3	7	8	9	5	2	6	5	1	7	2	3	1	2	1	1	2	1	0	0	0	0						
496	337						6	19	20	21	22	23	4	8	10	11	6	3	7	6	1	8	2	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
499	338							20	21	22	23	24	5	8	11	11	7	3	7	6	1	8	2	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
512	342								24	25	27	29	6	9	11	12	7	3	8	6	1	8	3	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
524	347									31	33	36	7	10	12	13	8	3	8	7	1	8	3	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
538	352										43	48	9	11	13	14	9	3	8	7	1	9	3	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
553	358											76	16	12	15	16	10	4	9	8	1	9	3	3	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
572	365												80	14	18	19	11	4	10	8	1	10	3	4	1	3	1	2	2	1	1	0	0	0	0					
627	385															26	35	40	26	5	14	12	1	12	4	4	2	3	1	2	2	1	1	0	0	0				
636	388																42	49	33	6	15	13	2	13	4	4	2	3	1	2	2	1	1	0	0	0				
648	393																	70	49	6	16	14	2	14	4	5	2	4	1	2	2	1	1	0	0	0				
661	398																					113	7	18	16	2	14	4	5	2	4	1	2	2	1	1	0	0	0	
736	421																						20	57	60	3	24	5	7	2	5	2	3	3	1	1	0	0	0	
740	422																							65	71	3	25	5	7	2	5	2	3	3	1	1	0	0	0	
751	425																								132	3	27	6	7	2	5	2	3	3	2	1	0	0	0	
833	450																									12	134	10	13	3	7	2	3	3	2	1	0	0	0	
834	450																										145	10	13	3	7	2	4	3	2	1	0	0	0	
921	477																											54	101	6	14	4	5	5	2	1	0	0	0	
925	478																												153	6	15	4	5	5	2	1	0	0	0	
1004	502																													36	127	7	10	7	3	1	0	0	0	
1006	502																													162	7	11	7	3	1	0	0	0	0	
1083	522																														46	125	13	5	2	1	0	0	0	
1085	522																															171	14	5	2	1	0	0	0	
1162	542																																179	9	3	1	0	0	0	
1237	561																																	185	5	1	0	0	0	
1313	580																																		189	3	0	0	0	
1387	600																																			191	1	0	0	
1461	616																																				192	0	0	
1533	633																																					192	0	0

Tableau 4A : abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,36 m, compatible avec un risque inférieur à 1 sur 2 de dépassement de la limite des 1000 m⁴/s, dans le cas d'un débit amont constant entrant dans la retenue, et pour des prélèvements et pertes évalués à 100 m³/s.

Exemple 1 : l'abaissement de la cote 1,94 à la cote 1,90 peut être effectué avec les 7 vannes ouvertes au palier 2,5, avec un débit lâché médian passant de 590 à 586 m³/s (moyenne 588 m³/s) Cet abaissement dure respectivement 5, 7 et 12 heures si le débit amont vaut 395, 451 et 553 m³/s.

Exemple 2 : pour des apports constants de 1085 m³/s (cote 522 à l'échelle de Bakel), l'abaissement de la cote 1,45 à la cote 1,36 du niveau amont Hm peut être mené en 192 heures en effectuant les réglages de palier suivants : P=5 (171h), P=5,5 (14h), P=6 (5h), P=6,5 (2h), P=7 (1h), P=7,5 (<1h) et P=7,5 (<1h)

débit amont (m³/s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	Hv médian (m⁴/s)	Hm (m)																																																																																																																																																											
			début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin																																																																																																																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">réglage</th> <th colspan="28">Q médian (m³/s)</th> </tr> <tr> <th>P</th><th>E(m)</th> <th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,5</td><td>0,61</td> <td>388</td><td>385</td><td>382</td><td>379</td><td>376</td><td>373</td><td>370</td><td>367</td><td>363</td><td>360</td><td>472</td><td>467</td><td>462</td><td>457</td><td>452</td><td>558</td><td>554</td><td>547</td><td>540</td><td>537</td><td>633</td><td>624</td><td>716</td><td>709</td><td>789</td><td>776</td><td>859</td><td>927</td><td>995</td><td>1064</td><td>1134</td></tr> <tr> <td>2,5</td><td>0,61</td> <td>387</td><td>384</td><td>381</td><td>378</td><td>375</td><td>372</td><td>368</td><td>365</td><td>362</td><td>474</td><td>470</td><td>465</td><td>460</td><td>455</td><td>451</td><td>556</td><td>550</td><td>543</td><td>539</td><td>636</td><td>628</td><td>723</td><td>713</td><td>704</td><td>783</td><td>775</td><td>852</td><td>922</td><td>992</td><td>1063</td><td>1134</td></tr> </tbody> </table>																												réglage		Q médian (m³/s)																												P	E(m)	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	1,5	0,61	388	385	382	379	376	373	370	367	363	360	472	467	462	457	452	558	554	547	540	537	633	624	716	709	789	776	859	927	995	1064	1134	2,5	0,61	387	384	381	378	375	372	368	365	362	474	470	465	460	455	451	556	550	543	539	636	628	723	713	704	783	775	852	922	992	1063	1134
réglage		Q médian (m³/s)																																																																																																																																																												
P	E(m)	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin																																																																																																																															
1,5	0,61	388	385	382	379	376	373	370	367	363	360	472	467	462	457	452	558	554	547	540	537	633	624	716	709	789	776	859	927	995	1064	1134																																																																																																																														
2,5	0,61	387	384	381	378	375	372	368	365	362	474	470	465	460	455	451	556	550	543	539	636	628	723	713	704	783	775	852	922	992	1063	1134																																																																																																																														
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">W médian (m⁴/s)</th> <th colspan="28">Hv médian (m⁴/s)</th> </tr> <tr> <th>début</th><th>fin</th> <th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th><th>début</th><th>fin</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>883</td><td>858</td> <td>833</td><td>808</td><td>783</td><td>759</td><td>735</td><td>711</td><td>687</td><td>664</td><td>812</td><td>782</td><td>752</td><td>723</td><td>693</td><td>812</td><td>788</td><td>753</td><td>719</td><td>802</td><td>777</td><td>738</td><td>796</td><td>770</td><td>786</td><td>736</td><td>771</td><td>758</td><td>751</td><td>753</td><td>759</td></tr> <tr> <td>858</td><td>833</td> <td>808</td><td>783</td><td>759</td><td>735</td><td>711</td><td>687</td><td>664</td><td>812</td><td>782</td><td>752</td><td>723</td><td>693</td><td>812</td><td>788</td><td>753</td><td>719</td><td>802</td><td>777</td><td>738</td><td>796</td><td>770</td><td>786</td><td>736</td><td>771</td><td>758</td><td>751</td><td>753</td><td>759</td></tr> </tbody> </table>																												W médian (m⁴/s)		Hv médian (m⁴/s)																												début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	883	858	833	808	783	759	735	711	687	664	812	782	752	723	693	812	788	753	719	802	777	738	796	770	786	736	771	758	751	753	759	858	833	808	783	759	735	711	687	664	812	782	752	723	693	812	788	753	719	802	777	738	796	770	786	736	771	758	751	753	759					
W médian (m⁴/s)		Hv médian (m⁴/s)																																																																																																																																																												
début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin																																																																																																																															
883	858	833	808	783	759	735	711	687	664	812	782	752	723	693	812	788	753	719	802	777	738	796	770	786	736	771	758	751	753	759																																																																																																																																
858	833	808	783	759	735	711	687	664	812	782	752	723	693	812	788	753	719	802	777	738	796	770	786	736	771	758	751	753	759																																																																																																																																	

Tableau 4B : abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,20 m, compatible avec un risque inférieur à 1 sur 5 de dépassement de la limite des 1000 m⁴/s, dans le cas d'un débit amont constant entrant dans la retenue, et pour des prélèvements et pertes évalués à 100 m³/s.

débit amont (m ³ /s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	Hv médian (m ⁴ /s)	Hm (m)																																					
			début	2,40 2,35 2,33 2,30 2,25 2,20 2,15 2,10 2,05 2,00 1,95 1,90 1,85 1,81 1,80 1,75 1,70 1,65 1,60 1,55 1,50 1,45 1,41 1,40 1,35 1,31 1,30 1,25 1,23 1,20 1,17 1,15 1,13 1,11 1,11																																				
			fin	2,35 2,33 2,30 2,25 2,20 2,15 2,10 2,05 2,00 1,95 1,90 1,85 1,81 1,80 1,75 1,70 1,65 1,60 1,55 1,50 1,45 1,41 1,40 1,35 1,31 1,30 1,25 1,23 1,20 1,17 1,15 1,13 1,11 1,11 1,10																																				
			P	1 1 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 2 2 2 2 2 2 2 2,5 2,5 2,5 3 3 3 3 3,5 3,5 3,5 4 4 4,5 4,5 5 5,5																																				
Q médian (m ³ /s)	E(m)	0,36 0,36 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,61 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 1,07 1,07 1,07 1,07 1,29 1,29 1,29 1,52 1,52 1,52 1,75 1,75 1,98 1,98 2,21 2,45																																						
		début	260 258 384 382 379 376 373 370 367 363 360 357 353 464 462 457 452 447 442 437 533 526 520 615 606 598 687 676 672 749 742 815 811 880 950																																					
		fin	258 257 382 379 376 373 370 367 363 360 357 353 350 462 457 452 447 442 437 431 526 520 519 606 598 597 676 672 665 742 736 811 804 877 949																																					
W médian (m ⁴ /s)	début	259 258 383 381 378 375 372 368 365 362 358 355 352 463 460 455 450 444 439 434 529 523 519 611 602 598 682 674 668 746 739 813 807 878 950																																						
		fin	0,04 0,04 0,12 0,12 0,12 0,12 0,11 0,11 0,11 0,11 0,11 0,10 0,10 0,17 0,17 0,17 0,17 0,16 0,16 0,16 0,15 0,21 0,21 0,21 0,26 0,26 0,25 0,30 0,30 0,29 0,34 0,33 0,37 0,37 0,40 0,44																																					
fin	614 597 845 833 808 783 759 735 711 687 663 640 617 760 752 723 693 665 636 610 580 652 624 619 662 632 625 645 630 605 624 604 620 601 616 631																																							
	597 588 833 808 783 759 735 711 687 663 640 617 600 752 723 693 665 636 610 580 652 624 619 662 632 625 645 630 605 624 604 620 601 616 631																																							
250	230		18	9	4	8	9	9	9	9	9	9	10	7	2	6	6	7	7	6	7	5	4	1	4	4	1	4	1	2	2	2	1	1	0	0				
273	242			11	5	9	9	10	10	10	10	10	11	8	2	7	7	7	7	7	8	5	5	1	4	4	1	4	1	3	2	2	1	1	0	0				
287	249				5	10	10	10	11	11	11	11	12	9	2	7	7	7	8	7	8	6	5	1	5	4	1	4	1	3	2	2	1	1	0	0				
292	252					10	10	11	11	11	11	12	12	9	2	7	7	8	8	7	9	6	5	1	5	4	1	4	1	3	2	2	1	1	0	0				
304	257						11	11	12	12	12	13	13	10	2	8	8	8	8	8	9	6	5	1	5	4	1	4	1	3	2	2	1	1	0	0				
316	263							12	12	13	13	14	14	11	2	8	8	8	9	8	9	6	5	1	5	4	1	4	2	3	2	2	1	1	0	0				
328	268								14	14	14	15	15	15	12	2	8	9	9	9	9	10	6	6	1	5	4	1	4	2	3	2	2	1	1	0	0			
340	274									15	16	16	16	17	13	2	9	9	9	10	9	11	7	6	1	5	4	1	4	2	3	2	2	1	1	0	0			
353	280										17	18	19	19	15	2	9	10	10	10	11	7	6	1	5	5	1	5	2	3	2	2	1	1	0	0				
367	287											21	21	22	17	3	10	10	11	11	12	7	7	1	6	5	1	5	2	3	2	2	1	2	0	0				
382	294												26	27	21	3	11	11	12	12	12	14	8	7	1	6	5	1	5	2	3	2	2	1	2	0	0			
399	301													35	27	3	12	12	13	13	13	15	8	7	1	6	5	1	5	2	3	2	2	1	2	0	0			
420	309														45	4	14	14	15	16	15	18	9	8	1	7	6	1	5	2	4	2	2	1	2	1	0			
455	322															5	19	19	21	22	26	11	10	2	8	7	1	6	2	4	3	2	1	2	1	0	0			
458	323																19	20	21	22	22	27	11	10	2	8	7	1	6	2	4	3	2	1	2	1	0	0		
468	327	duré des étapes d'abaissement (h), pour une durée totale de 192 h																																						
479	331																																							
491	335																																							
503	339																																							
515	344																																							
594	373																																							
605	377																																							
616	381																																							
676	402																																							
686	405																																							
695	408																																							
750	425																																							
758	427																																							
760	428																																							
830	449																																							
833	450																																							
901	471																																							
903	471																																							
977	494																																							
1049	513																																							

Tableau 4C : abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,10 m, compatible avec un risque inférieur à 1 sur 10 de dépassement de la limite des 1000 m⁴/s, dans le cas d'un débit amont constant entrant dans la retenue, et pour des prélèvements et pertes évalués à 100 m³/s.

débit amont (m ³ /s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	Hv médian (m ⁴ /s)	Hm (m)																																					
			début	2,40	2,35	2,30	2,25	2,20	2,18	2,15	2,10	2,05	2,00	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,70	1,67	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,42	1,40	1,35	1,30	1,27	1,25	1,20	1,18	1,15	1,10	1,05	1,01	1,00	1,00	
			fin	2,35	2,30	2,25	2,20	2,18	2,15	2,10	2,05	2,00	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,70	1,67	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,42	1,40	1,35	1,30	1,27	1,25	1,20	1,18	1,15	1,10	1,05	1,01	1,00	1,00	1,00	
			P	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,5	
		E(m)																																						
		début	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,29	1,29	1,29	1,52	1,52	1,75	1,98	2,21	2,45		
		fin	258	256	254	252	251	373	370	367	363	360	357	353	349	346	342	340	447	442	436	431	425	421	519	511	504	499	587	578	578	659	653	641	707	772	838	906		
		moyen	259	257	255	253	252	374	372	368	365	362	358	355	351	348	344	341	448	444	439	434	428	423	520	515	507	502	589	583	575	656	647	714	777	841	906			
duré des étapes d'abaissement (h), pour une durée totale de 192 h	201	209	Hv médian																																					
			début	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,21	0,20	0,20	0,20	0,25	0,24	0,24	0,28	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42
			fin	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,21	0,20	0,20	0,20	0,25	0,24	0,24	0,28	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,42	
			W médian	début	614	597	580	563	547	772	759	735	711	687	663	640	617	594	571	549	676	665	636	608	580	553	629	619	587	555	606	589	554	585	566	562	541	529	528	
		fin	597	580	563	547	539	759	735	711	687	663	640	617	594	571	549	535	665	636	608	580	553	619	587	555	538	589	554	537	566	528	518	514	518	526				
197	201		12	12	12	12	6	4	7	7	7	7	7	8	8	8	8	5	2	6	6	6	6	6	4	1	5	5	3	2	4	2	2	3	3	2	1	0		
212	209			13	14	14	6	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5	2	6	6	6	6	6	4	1	5	5	3	2	4	2	2	4	4	2	1	0		
229	218				15	16	7	4	8	8	8	8	8	9	9	9	9	6	2	6	6	6	6	7	5	2	5	5	3	2	4	2	2	4	4	2	1	0		
248	228					18	8	5	9	9	9	9	9	9	10	10	10	6	3	7	7	7	7	7	5	2	5	5	3	2	4	2	2	4	4	2	1	0		
270	240						11	5	10	10	10	10	10	11	11	11	11	7	3	7	7	7	7	8	5	2	6	6	3	2	5	2	2	4	4	2	1	0		
283	247							6	10	10	11	11	11	11	12	12	12	8	3	7	8	8	8	6	2	6	6	3	2	5	2	2	4	4	2	1	0			
289	250								11	11	11	11	11	12	12	12	13	8	3	8	8	8	8	6	2	6	6	3	2	5	2	2	4	4	2	1	0			
300	256									12	12	12	12	13	13	13	14	8	3	8	8	8	8	9	6	2	6	6	4	2	5	3	2	4	4	2	1	0		
312	261										13	13	13	14	14	14	15	9	3	8	9	9	9	6	2	6	7	4	2	5	3	2	4	4	2	1	0			
324	267											14	14	15	15	16	16	10	3	9	9	9	10	7	2	7	7	4	2	5	3	2	5	4	2	1	0			
336	272												16	16	17	17	18	11	4	9	10	10	10	7	2	7	7	4	3	6	3	2	5	4	2	1	0			
349	278													18	19	20	21	13	4	10	10	11	11	8	2	7	8	4	3	6	3	2	5	5	2	1	0			
363	285														22	23	24	15	4	11	11	11	12	8	2	8	8	4	3	6	3	3	5	5	2	1	0			
378	292															28	30	19	4	12	12	13	13	9	2	8	8	5	3	6	3	3	5	5	3	1	0			
395	300																40	26	5	13	14	14	15	10	3	9	9	5	3	7	3	3	5	5	3	1	0			
416	307	duré des étapes d'abaissement (h), pour une durée totale de 192 h																	48	6	15	16	17	17	13	3	10	10	6	3	7	4	3	6	5	3	1	0		
453	321																				8	21	23	24	26	19	4	12	13	7	4	8	4	3	7	6	3	1	0	
457	322																					22	24	25	27	20	4	12	13	7	4	9	4	3	7	6	3	1	0	
468	327																						28	30	33	25	4	13	14	8	4	9	5	3	7	6	3	1	0	
480	331																							37	41	31	4	14	15	9	4	10	5	4	7	6	3	1	0	
494	336																								56	45	5	16	17	10	5	10	5	4	8	7	3	1	0	
509	341																									92	5	18	20	11	5	11	6	4	8	7	3	1	0	
567	363																											11	40	48	30	7	17	9	5	11	9	4	1	0
570	364																											43	52	33	7	17	9	5	11	9	4	1	0	
581	368																												72	50	8	19	10	6	12	9	4	1	0	
592	372																													116	9	22	12	6	12	10	4	1	0	
655	395																														25	69	46	10	21	13	6	2	0	
659	397																													82	57	10	22	14	6	2	0			
668	400																													134	11	24	14	6	2	0				
731	419																														39	116	25	9	2	0				
735	420																															154	27	9	2	0				
802	441																																171	17	4	0				
870	461																																	184	7	1				
938	482																																		191	1				
1005	502																																				192			

Tableau 4D : abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,00 m, compatible avec un risque inférieur à 1 sur 25 de dépassement de la limite des 1000 m⁴/s, dans le cas d'un débit amont constant entrant dans la retenue, et pour des prélèvements et pertes évalués à 100 m³/s.