



ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL
(O. M. V. S.)

PROGRAMME D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS

MANUEL DE GESTION DU BARRAGE DE DIAMA

Version finale

Octobre 2001

Auteur : JC Bader



**Institut de recherche
pour le développement**

TABLE DES MATIERES

Avant-propos.....	3
1 Synthèse des résultats.....	3
1.1 Etalonnage des vannes	3
1.2 Relation entre le débit lâché et la cote à l'aval de l'ouvrage	3
1.3 Relation entre cote amont et cote aval en régime d'écoulement établi	4
1.4 Distribution des valeurs de débit lâché et de dissipation d'énergie en régime établi, en fonction du niveau amont et du réglage des vannes.....	4
1.5 Dépassement de la limite 1000 m ⁴ /s en régime établi.....	5
1.6 Energie dissipée pendant le régime transitoire succédant au changement de réglage des vannes.....	5
1.7 Cas où le nombre de vannes utilisées est inférieur à 7	6
1.8 Gestion du barrage en période d'étiage	6
1.9 Gestion du barrage en période de crue	6
1.10 Gestion du barrage en fin de crue.....	6
1.11 Gestion du barrage en début de crue	7
1.12 Impossibilité de laminier les débits de crue à l'aide du barrage.....	8
1.13 Evacuation des végétaux aquatiques flottants	8
2 Etalonnage des vannes	9
2.1 Mesures de débit	9
2.2 Mise en équation de l'étalonnage des vannes.	9
2.2.1 Etalonnage utilisé par la SOGED.....	9
2.2.2 Calage de la formule d'écoulement à partir des mesures de débit	9
2.2.2.1 Ecoulement à travers les vannes complètement noyées	9
2.2.2.2 Ecoulement à travers les vannes partiellement noyées.....	10
2.2.2.3 Ecoulement libre par les vannes complètement ouvertes.....	10
2.3 Conclusion	12
3 Calcul des débits lâchés par le barrage entre 1986 et 1999.....	13
4 Influence du débit lâché sur le niveau aval en régime d'écoulement établi	13
5 Relation entre cote amont et cote aval en régime d'écoulement établi	14
5.1 Vannes noyées.....	14
5.2 Vannes effacées.....	15
6 Débit lâché en régime établi, en fonction de la cote amont et du réglage des vannes.....	16
7 Energie dissipée en régime établi, en fonction de la cote amont et du réglage des vannes	17
8 Régime transitoire succédant au changement de réglage de vanne	18
8.1 diminution de l'ouverture des vannes	19
8.2 Augmentation de l'ouverture des vannes	19
9 Cas où le nombre de vannes utilisées est inférieur à sept.....	20
10 Procédures générales de gestion du barrage.....	21
10.1 Période d'étiage.....	21
10.2 Période de crue.....	21
10.3 Fin de crue.....	21
10.3.1 Rehaussement du plan d'eau à date fixe.	22
10.3.2 Rehaussement à date optimale	23
10.4 Début de crue	24
10.4.1 Objectif de gestion	24
10.4.2 Eléments permettant d'élaborer une stratégie optimale d'abaissement du niveau	24
10.4.3 Procédure préconisée pour abaisser le plan d'eau	25
10.4.4 Dates probables de l'abaissement de niveau	26
11 Erreurs de gestion à éviter.....	27
11.1 Laminage des débits de pointes de crue	27
11.2 Manœuvres de chasse d'eau	27
Liste des variables utilisées.....	28
Annexe 1 : Notice d'utilisation de la feuille de calcul Excel destinée à la gestion en temps réel du barrage	67
Annexe 2 : Barème donnant le débit évacué par les vannes noyées en fonction de la dénivelée amont aval et du réglage des vannes	70

AVANT - PROPOS

Le premier objectif de cet étude consiste à décrire par quelques équations mathématiques, les grandes règles physiques de fonctionnement du barrage de Diama. Cette modélisation s'appuie sur une analyse de l'ensemble des données hydrologiques recueillies au barrage depuis le début de son exploitation. Un accent tout particulier est mis sur l'étalonnage des vannes.

Le second objectif, essentiel, consiste à utiliser les équations ainsi établies pour proposer des consignes d'exploitation permettant à la SOGED d'atteindre ses objectifs de gestion (maintien d'un plan d'eau amont élevé le plus longtemps possible hors période de crue), tout en respectant une importante règle de sécurité imposée par le constructeur du barrage. Celle-ci limite à $1000\text{m}^4/\text{s}$ au maximum, le produit du débit par la dénivelée entre les plans d'eau amont et aval.

Une feuille de calcul Excel, dont la notice d'utilisation est placée en annexe 1, est par ailleurs proposée pour assister la gestion en temps réel du barrage en utilisant les résultats présentés dans ce manuel.

1 SYNTHÈSE DES RESULTATS

1.1 ETALONNAGE DES VANNES

Le débit lâché par le barrage peut être calculé à l'aide des formules suivantes, relatives chacune à un régime d'écoulement particulier :

Vannes noyées (plongées dans l'eau), régime établi ou transitoire (juste après modification de réglage) (voir barème en annexe 2) :

$$Q1 = 1,0566 * E * N * L * (2 * g * (Hm - Hv))^{0,3761}$$

Vannes effacées, régime établi (différence de niveau entre amont et aval inférieure à 20 cm) :

$$Q2 = 9,494 * N * L * (Hm - 0,01)^{0,8293}$$

Vannes effacées, régime transitoire (différence de niveau entre amont et aval supérieure à 20 cm) :

$$Q3 = 1,1607 * N * L * (Hv + 8,97) * (2 * g * (Hm - Hv))^{0,4053}$$

Signification des paramètres:

E (m)	: ouverture verticale des vannes
N	: nombre de vannes ouvertes
L (m)	: largeur des vannes, égale à 20 m
g (m/s ²)	: accélération de pesanteur (= 9,81)
Hm (m)	: cote à l'amont du barrage
Hv (m)	: cote à l'aval du barrage
Q1, Q2, Q3 (m ³ /s)	: débit sortant du barrage

1.2 RELATION ENTRE LE DEBIT LACHE ET LA COTE A L'AVAL DE L'OUVRAGE

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 (tab. 2). La relation moyenne avec le débit s'exprime comme suit (fig. 3):

$$Hv = 4,907 * 10^{-8} * Q^2 + 6,099 * 10^{-4} * Q + 0,04603$$

L'influence de la marée se traduit par une dispersion des cotes aval autour de cette relation moyenne. Cette dispersion décroît avec le débit. Dans 96% des cas, le niveau aval se situe entre les cotes Hv1 et Hv2, qui sont reliées au débit lâché (régime établi) de la façon suivante (fig. 4) :

$$Hv1 (Q) = -2,834 * 10^{-11} * Q^3 + 1,283 * 10^{-7} * Q^2 + 4,160 * 10^{-4} * Q + 4,857 * 10^{-1}$$

$$Hv2 (Q) = 7,975 * 10^{-12} * Q^3 + 1,283 * 10^{-7} * Q^2 + 4,160 * 10^{-4} * Q - 2,561 * 10^{-1}$$

Signification des paramètres :

- Hv (m) : niveau moyen du plan d'eau à l'aval du barrage, en fonction du débit
 Q (m³/s) : débit lâché du barrage
 Hv1 (m) : pour Q donné, la cote aval Hv n'a que 1 chance sur 50 d'être supérieure à Hv1
 Hv2 (m) : pour Q donné, la cote aval Hv n'a que 1 chance sur 50 d'être inférieure à Hv2

1.3 RELATION ENTRE COTE AMONT ET COTE AVAL EN REGIME D'ECOULEMENT ETABLI

La relation moyenne entre les deux niveaux s'exprime comme suit quand les vannes sont noyées (fig. 5A, 5B et 6) :

$$Hv = (-2,09 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 + 8,70 \cdot 10^{-2} \cdot P - 2,42 \cdot 10^{-2}) \cdot Hm + 0,09$$

$$S = 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 - 1,39 \cdot 10^{-2} \cdot P + 1,90 \cdot 10^{-1}$$

Quand les vannes sont effacées, cette relation est la suivante (fig.7) :

$$Hv = -0,0686 \cdot Hm^2 + 1,0644 \cdot Hm$$

$$\sigma = 0,016$$

Signification des paramètres :

- Hv (m) : niveau moyen du plan d'eau à l'aval du barrage, en fonction du niveau amont
 Hm (m) : niveau du plan d'eau à l'amont du barrage
 P : palier de réglage des vannes
 S (m) : écart type résiduel de la relation Hv(Hm) quand les vannes sont noyées
 σ (m) : écart type résiduel de la relation Hv(Hm) quand les vannes sont effacées

1.4 DISTRIBUTION DES VALEURS DE DEBIT LACHE ET DE DISSIPATION D'ENERGIE EN REGIME ETABLI, EN FONCTION DU NIVEAU AMONT ET DU REGLAGE DES VANNES

Quand les vannes sont noyées, les relations suivantes permettent d'évaluer les valeurs du débit et du produit Q*(Hm-Hv) (représentatif de l'énergie dissipée) qui sont dépassées à la fréquence f (tab. 4 ; fig 8A à 8D et 9A à 9D) :

$$Hv(f, Hm, P) = (-2,09 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 + 8,70 \cdot 10^{-2} \cdot P - 2,42 \cdot 10^{-2}) \cdot Hm + 0,09 + n(f) \cdot (2,54 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 - 1,39 \cdot 10^{-2} \cdot P + 1,90 \cdot 10^{-1})$$

$$Q1a(f, Hm, P) = 1,0566 \cdot E(P) \cdot N \cdot L \cdot (2 \cdot g \cdot (Hm - Hv(f, Hm, P)))^{0,3761}$$

$$[Q \cdot (Hm - Hv)]_{(f, Hm, P)} = Q1a(f, Hm, P) \cdot (Hm - Hv(f, Hm, P))$$

Signification des paramètres :

- Hv(f,Hm,P) (m) : cote aval dépassée à la fréquence f, pour Hm et P donnés
 f : fréquence de dépassement (entre 0 et 1)
 Hm (m) : cote du plan d'eau amont
 P : palier de réglage des vannes
 n : paramètre associé à la fréquence de dépassement f (tab. 5)
 Q1a(f,Hm,P) (m³/s) : débit dépassé à la fréquence f, pour Hm et P donnés
 E (m) : ouverture verticale des vannes
 N : nombre de vannes ouvertes
 L (m) : largeur des vannes, égale à 20 m

g (m/s ²)	:	accélération de pesanteur (= 9,81)
Hv (m)	:	cote à l'aval du barrage
$[Q * (Hm-Hv)]_{(f,Hm,P)}$:	valeur de $Q*(Hm-Hv)$ dépassée à la fréquence f , pour Hm et P donnés

Quand les vannes sont effacées, le produit $Q*(Hm-Hv)$ représentatif de la dissipation d'énergie vaut (tab. 4 ; fig 9A à 9D):

$$Q * (Hm-Hv) = 9,494 * N * L * (Hm - 0,01)^{0,8293} * (Hm - (- 0,0686 * Hm^2 + 1,0644 * Hm))$$

1.5 DEPASSEMENT DE LA LIMITE 1000 M⁴/S EN REGIME ETABLI

Afin de préserver la stabilité de l'ouvrage, le constructeur préconise de maintenir la valeur du produit $Q*(Hm-Hv)$ en deçà de 1000m⁴/s. En régime établi, le risque maximum de dépassement de cette limite se situe autour des paliers de réglage 6 et 7.

Pour limiter le dépassement des 1000m⁴/s en dessous d'une fréquence donnée, le palier de réglage des vannes doit être maintenu en dehors d'une plage [P1 ; P2]. Les limites P1 et P2 sont liées à la cote Hm du plan d'eau amont de la façon suivante :

$$P1 = a1 + b1 * (Hm - c1)^{d1}$$

$$P2 = a2 + b2 * (Hm - c2)^{d2}$$

Dans ces relations, les paramètres $a1$, $b1$, $c1$, $d1$, $a2$, $b2$, $c2$, $d2$ sont liés à la fréquence de dépassement de la limite 1000 m⁴/s (tab. 7 ; fig. 10 A à 10 C et 13)

1.6 ENERGIE DISSIPÉE PENDANT LE REGIME TRANSITOIRE SUCCEDANT AU CHANGEMENT DE REGLAGE DES VANNES

En régime établi, le niveau aval fluctue au gré de la marée autour d'une valeur médiane liée au réglage des vannes et au niveau amont. Dès que ce réglage est modifié, le niveau aval évolue vers la valeur liée au nouveau réglage, par remplissage du bief aval (augmentation d'ouverture de vanne) ou par vidange (diminution d'ouverture). D'une façon générale, le passage du palier P (inchangé depuis quelques temps, régime établi) au palier P+x entraîne, juste après la manœuvre, la valeur moyenne suivante pour le produit $Q*(Hm-Hv)$:

$$Q * (Hm-Hv) = 1,0566 * E(P+x) * N * L * (2 * g)^{0,3761} * (Hm - ((-2,09 * 10^{-3} * P^2 + 8,70 * 10^{-2} * P - 2,42 * 10^{-2}) * Hm + 0,09))^{1,3761}$$

Signification des paramètres :

E(P+x)	(m)	: nouvelle ouverture verticale des vannes
P		: ancien palier de réglage des vannes
P+x		: nouveau palier de réglage des vannes
N		: nombre de vannes ouvertes
L	(m)	: largeur des vannes, égale à 20 m
g	(m/s ²)	: accélération de pesanteur (= 9,81)
Hm	(m)	: cote amont
Hv	(m)	: cote aval

Contrairement à la diminution d'ouverture, l'augmentation d'ouverture des vannes peut entraîner pendant le régime transitoire lui succédant, des valeurs de produit $Q^*(H_m-H_v)$ beaucoup plus élevées que celles du régime établi. Plus l'ouverture est brutale (valeur de x élevée), plus le risque de dépassement de la limite $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ est important (fig. 11A à 11C).

1.7 CAS OU LE NOMBRE DE VANNES UTILISEES EST INFÉRIEUR A 7

Compte tenu des éléments disponibles, et pour aller dans le sens de la sécurité, il est préconisé de maintenir la valeur du produit $Q^*(H_m-H_v)$ en deçà de $143*N \text{ m}^4/\text{s}$, quel que soit le nombre N de vannes utilisées. Ceci revient à respecter, quel que soit N , les limites P1 et P2 définies plus haut.

1.8 GESTION DU BARRAGE EN PERIODE D'ETIAGE

L'objectif consiste à maintenir un niveau 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, l'ouverture des vannes reste très limitée et aucun risque de dépassement des $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ n'est alors à craindre pendant cette période.

1.9 GESTION DU BARRAGE EN PERIODE DE CRUE

L'objectif consiste à maintenir le niveau amont à la cote 1,50 m. Le principe de manœuvre des vannes est le même qu'en période d'étiage tant que le débit moyen à évacuer reste inférieur à $1850 \text{ m}^3/\text{s}$. Au delà, les vannes grandes ouvertes laissent le niveau évoluer au dessus de la cote 1,50m en fonction du débit évacué.

Avec une cote amont de 1,50 m, le risque maximal de dépassement des $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ en régime établi (environ 1/5) est rencontré lorsque les vannes doivent être ouvertes entre les paliers 6 et 7 pour évacuer un débit de l'ordre de $1200 \text{ m}^3/\text{s}$. Tous les paliers de réglage peuvent donc être utilisés pour ajuster le débit évacué et maintenir le niveau à 1,50 m sans risque important..

1.10 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 $1000 \text{ m}^4/\text{s}$. La procédure préconisée, illustrée sur la figure 13, est la suivante :

Le rehaussement ne débute que lorsque les deux conditions suivantes (rencontrées entre fin septembre et fin novembre selon les années) ont été vérifiées :

- Le passage du maximum de crue doit avoir été constaté sans ambiguïté à partir des cotes relevées sur les stations de l'amont.
- Le maintien du niveau amont à la cote 1,50 m doit être fait avec un palier de réglage inférieur à 7 ou, ce qui revient au même : le réglage au palier 7 entraîne un abaissement du plan d'eau en dessous de 1,50 m.

Dès lors, il suffit dans un premier temps de poursuivre la fermeture progressive des vannes pour maintenir la cote 1,50 m, jusqu'à ce que le palier de réglage corresponde au niveau de risque accepté pour le dépassement de la limite d'énergie dissipée (fig. 10 B). Ensuite, le rythme de fermeture peut être accéléré pour rehausser le plan d'eau.

Durant le rehaussement, il doit être constamment vérifié (figure 10 B) que le niveau H_m ne dépasse pas la relation $H_{m1}(P1)$ associée au niveau de risque accepté. En pratique, le rehaussement progressif mené par palier ou demi palier doit suivre les principes suivants :

- 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 dépasse la limite Hm1 (fig. 10 B) 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 2,0 m ou plus.

1.11 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'au niveau 1,50 m sans risquer de dépasser les 1000 m⁴/s.

La solution préconisée consiste à conserver un niveau élevé permettant toutefois, si l'évolution des débits à Bakel le nécessite, d'abaisser le niveau à la cote 1,50 m en 8 jours avec un risque faible de dépassement des 1000 m⁴/s. La procédure générale d'abaissement (tab. 9 A à 9 D ; fig.14 A à 14 D) est valable quel que soit le niveau de départ. Elle est explicitée ci-dessous dans le cas où celui-ci se situe à la cote 2,00 m, pour un risque de dépassement des 1000 m⁴/s limité à 1/10 :

- 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 356 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 2).
- 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 375 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 2,5).
- 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 379 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 2,5).
- 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 383 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 2,5).
- 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 387 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 3).
- 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 409 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 3).
- 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 412 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 3).
- 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 416 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 3,5).
- 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 441 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 3,5).
- 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 465 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 4).

Selon les années l'abaissement de niveau ainsi réalisé en fonction de l'arrivée de la crue peut débuter entre début juillet et mi-août. Il peut durer entre 1 et 7 semaines.

1.12 IMPOSSIBILITE DE LAMINER LES DEBITS DE CRUE A L'AIDE DU BARRAGE

En tant que barrage au fil de l'eau, Diama a une capacité de stockage insuffisante pour pouvoir laminier une pointe de crue dans le but de protéger la ville de Saint-Louis. Toute tentative de laminage est à la fois inefficace (faible diminution du débit lâché, pendant un temps court) et dangereuse, du fait qu'il se traduit par un rehaussement rapide du plan d'eau amont et de la courbe de remous, pouvant entraîner un risque de submersion des digues.

1.13 EVACUATION DES VEGETAUX AQUATIQUES FLOTTANTS

Les procédures de chasse d'eau (ouverture temporaire totale d'une vanne) destinées à évacuer vers l'aval les végétaux aquatiques flottants accumulés à l'amont du barrage, ne peuvent être envisagées qu'en cas de dénivellée faible entre l'amont et l'aval.

En cas de forte dénivellée, elles s'accompagnent d'une dissipation d'énergie dépassant largement la limite autorisée. L'évacuation doit alors être effectuée par l'écluse du barrage, comme le fait déjà la SOGED.

2 ETALONNAGE DES VANNES

2.1 MESURES DE DEBIT

Entre le 30/09/1998 et le 12/10/2000, l'IRD a réalisé seize mesures de débit par la méthode ADCP, pour différentes ouvertures de vannes réparties entre le palier 0 (vannes fermées) et le palier 22 (vannes effacées). Aucune modification de réglage de vanne n'ayant été effectuée dans les 6 heures précédant chacune de ces mesures, on peut considérer que celles-ci sont toutes représentatives d'un régime d'écoulement établi. Ces jaugeages, réalisés sur une section située à quelques dizaines de mètres à l'amont du barrage, prennent en compte la totalité du débit passant par les 7 vannes de l'ouvrage, toutes réglées de façon identique. Voir le tableau 1.

2.2 MISE EN EQUATION DE L'ETALONNAGE DES VANNES.

2.2.1 ETALONNAGE UTILISE PAR LA SOGED

L'ensemble des données de la période 1986-1999, concernant le réglage des vannes et les relevés de cote à l'amont et à l'aval du barrage, a été récupéré auprès de la SOGED sous forme de tableaux Excel. Dans ces tableaux, le débit Q_s passant par les vannes du barrage est calculé par la formule suivante, en m^3/s :

$$Q_s = K_s * E * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{0,5}$$

K_s	: coefficient de débit fixé à 0,85
E (m)	: ouverture verticale des vannes
N	: nombre de vannes ouvertes
L (m)	: largeur des vannes, égale à 20 m
g (m/s^2)	: accélération de pesanteur (= 9,81)
H_m (m)	: cote à l'amont du barrage
H_v (m)	: cote à l'aval du barrage

Cette formule peut être établie à partir de la relation de Bernoulli en négligeant les pertes de charge, pour l'écoulement au travers de vannes complètement noyées. Dans les tableaux fournis par la SOGED, elle est semble-t-il utilisée indifféremment pour ce type d'écoulement et (du 22/9 au 18/11/1999) pour certains cas où les vannes sont complètement effacées.

2.2.2 CALAGE DE LA FORMULE D'ECOULEMENT A PARTIR DES MESURES DE DEBIT

2.2.2.1 ECOULEMENT A TRAVERS LES VANNES COMPLETEMENT NOYEEES

Les vannes sont dites complètement noyées quand le niveau aval est plus élevé que le point le plus haut de l'orifice d'écoulement. Parmi les 16 mesures effectuées, celles qui correspondent à ce régime sont au nombre de 10. Sur le tableau 1 et la figure 1, on constate que la formule Q_s utilisée jusqu'à présent par la SOGED tend à surestimer légèrement le débit réel dans ces conditions d'écoulement. Il est donc nécessaire de recalibrer cette formule théorique, qui ne tient pas compte des pertes de charge. L'expérience montre en fait que l'exposant 0,5 peut prendre des valeurs n_1 différentes selon la géométrie des ouvrages. La formule préconisée est la suivante :

$$Q_1 = K_1 * E * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{n_1}$$

L'optimisation des paramètres K1 et n1 par la méthode des moindres carrés appliquée sur les 10 points mesurés, donne les résultats suivants, pour Q1 exprimé en m³/s:

$$K1 = 1,0566$$

$$n1 = 0,3761$$

$$\sigma = 23 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{erreur quadratique moyenne, ou écart type résiduel sur les 10 points})$$

Cette formule est calée sur des mesures réalisées en régime d'écoulement établi. Cependant, elle reste tout à fait valable pendant le régime transitoire succédant au changement de réglage des vannes, du fait qu'elle tient compte des cotes amont et aval de façon indépendante.

2.2.2.2 ECOULEMENT A TRAVERS LES VANNES PARTIELLEMENT NOYÉES

L'orifice d'écoulement est dit partiellement noyé quand le niveau aval se situe entre le bord supérieur et le bord inférieur de l'orifice, le niveau amont étant toujours plus élevé que le bord supérieur. Aucune mesure de débit n'a été effectuée dans ces conditions, qui ne concernent que cinq relevés (sur plus de douze mille) enregistrés par la SOGED entre 1986 et 1999. Il n'est cependant pas exclu que ce type d'écoulement puisse être observé fréquemment en régime transitoire, suite à une ouverture rapide des vannes.

La littérature (Lencastre, Manuel d'hydraulique générale, EDF 1986) propose pour ce type d'écoulement une formule identique à celle des vannes complètement noyées, à laquelle est ajouté un terme correctif basé sur la différence de cote entre bord supérieur de l'orifice et niveau aval. On ne dispose pas des éléments suffisants pour caler une telle formule. Aussi, en première approximation, la formule Q1 calée ci-dessus pour les vannes complètement noyées sera également utilisée dans le cas peu fréquent des vannes partiellement noyées.

2.2.2.3 ECOULEMENT LIBRE PAR LES VANNES COMPLETEMENT OUVERTES

D'après les relevés de la SOGEM, l'effacement total des vannes a été effectué durant 2,6 pourcent du temps depuis 1986, sur les trois périodes suivantes : du 22/9 au 28/10/1988 ; du 14/09 au 19/10/1995 ; du 22/9 au 18/11/1999. Le tableau 1 et la figure 1 montrent que la formule Qs utilisée par la SOGED sous-estime de façon importante les débits, lorsque les vannes sont complètement effacées.

Dans ces conditions d'écoulement, le débit lâché par le barrage ne dépend que du niveau du plan d'eau à l'amont de l'ouvrage, et des conditions aval imposées par l'onde de marée. En régime établi, l'influence des conditions aval tend à s'annuler lorsque le niveau amont augmente, et peut être négligée dès que celui-ci dépasse 0,80 m. En effet, on observe que le niveau aval ne dépasse jamais 0,60 m quand les vannes sont fermées.

Six mesures de débit ont été réalisées alors que les vannes étaient totalement ouvertes. Les niveaux amont étaient très élevés (> 1,48 m) lors de toutes ces mesures, et les débits obtenus peuvent donc être estimés sans tenir compte des conditions aval, par une formule du type suivant :

$$Q2 = K2 * N * L * (Hm - H2)^{n2}$$

L'optimisation des paramètres K2, H2 et n2 est effectuée selon les principes suivants :

- Il faut minimiser l'écart type résiduel sur les 6 débits mesurés (méthode des moindres carrés). Ce principe à lui seul ne permet cependant pas de lever toutes les indéterminations, car pour toutes les valeurs de n2 testées entre 0,1 et 1,6, on peut trouver un couple de paramètres K2 et H2 satisfaisant, chacun de ces triplets donnant un écart type résiduel d'environ 19 m³/s sur les 6 débits reconstitués.

- Le débit évalué par la formule Q2 doit s'annuler pour une cote amont Hm proche de la médiane des cotes observées à l'aval en l'absence d'écoulement. Sur les 3102 relevés indiquant un palier de réglage nul, la médiane de Hv se situe à 0,01 m.
- Pour de faibles valeurs de cote amont Hm, bien que surestimant les débits à marée haute et sous-estimant les débits à marée basse, la formule Q2 doit rendre compte correctement des conditions moyennes d'écoulement. En particulier, il faut que la relation entre Q2 et la cote aval soit conforme à celle qui existe entre Q1 (vannes noyées) et la cote aval. Cette relation, certes fortement brouillée par l'effet de la marée, peut néanmoins être mise en évidence de façon moyenne comme on verra plus bas (figure 3), grâce au grand nombre de relevés effectués par la SOGED.

Pour Q2 exprimé en m³/s, l'application des deux premiers principes donne les résultats suivants, qui permettent en outre de respecter le troisième :

$$K2 = 9,494$$

$$H2 = 0,01$$

$$n2 = 0,8293$$

$$\sigma = 19 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{erreur quadratique moyenne, ou écart type résiduel sur les 6 points})$$

La formule Q2 ne concerne que le régime d'écoulement établi au travers des vannes complètement ouvertes, caractérisé par une dénivelée faible (inférieure à 15 cm si Hm < 1,75 m) entre les niveaux amont et aval de la surface libre. Elle permet de calculer le débit lorsque la cote amont est supérieure à 0,80 m. Pour des cotes inférieures (situation peu probable), elle ne donne qu'une estimation du débit médian, autour duquel le débit réel fluctue en fonction du niveau aval. Cette fluctuation peut être très importante et aller même, théoriquement, jusqu'à une inversion du débit à marée haute en cas de cote amont très faible.

Une dénivelée importante entre l'amont et l'aval peut être observée après l'effacement rapide des vannes, lorsque la cote amont est élevée. Ce régime d'écoulement fortement transitoire, à éviter du fait qu'il entraîne une intense dissipation d'énergie, peut être accompagné d'un ressaut hydraulique. Le calcul du débit est alors complexe et il serait illusoire, a fortiori en l'absence de mesure, de vouloir l'effectuer ici de façon précise. Il est possible cependant d'estimer un ordre de grandeur du débit en appliquant une fois de plus la relation de Bernoulli. En première approximation, on obtient alors la formule suivante, proche de la formule de D'Aubuisson relative à l'écoulement entre les piles de pont:

$$Q3 = K3 * N * L * (Hv - Ho) * (2 * g * (Hm - Hv))^{n3}$$

K3	:	coefficient de débit
N	:	nombre de vannes ouvertes
L (m)	:	largeur de vanne (20 m)
Hv (m)	:	niveau aval
Ho (m)	:	niveau du fond (-8,97 m)
g (m/s ²)	:	accélération de la pesanteur (= 9,81)
n3	:	exposant égal à 0,5 d'après la relation de Bernoulli
Hm (m)	:	niveau amont

Faute de pouvoir caler cette formule sur des observations de régime transitoire, il faut se contenter d'ajuster les coefficients K3 et n3 à partir des 6 mesures effectuées en régime établi. Malheureusement, celles-ci présentent une dénivelée quasi-constante entre niveaux amont et aval (entre 0,06 et 0,09 m). De ce fait, elles ne suffisent pas pour déterminer les coefficients K3 et n3, et il est donc nécessaire d'introduire le critère supplémentaire suivant : pour des valeurs de cote amont et aval données, le débit Q3 correspondant aux vannes complètement effacées est logiquement supérieur ou égal au débit Q1 passant par les vannes noyées, réglées de façon à ce que celles-ci affleurent tout juste à la surface de l'eau (E = Hm-Ho). Ce critère est imposé pour des cotes amont Hm situées entre 1 m et 2,50 m, et pour des cotes aval Hv inférieures à Hm de 0,50 m à 2 m, les

deux variant au pas de 10 cm. L'ajustement sur les 6 débits jaugés donne alors les résultats suivants, pour Q3 exprimé en m³/s :

$$K3 = 1,1607$$

$$n3 = 0,4053$$

$$\sigma = 99 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{erreur quadratique moyenne, ou écart type résiduel sur les 6 points jaugés})$$

2.3 CONCLUSION

Les seize mesures de débit effectuées jusqu'à maintenant permettent de proposer les formules suivantes pour l'étalonnage des vannes du barrage de Diama :

En régime transitoire ou établi, la formule Q1 s'applique lorsque les vannes sont complètement noyées, et aussi, en première approximation, lorsque les vannes sont partiellement noyées (situation rare). Pour des cotes amont situés entre 1,50 m et 2,00 m, cette formule donne le débit à environ 20 m³/s près. En annexe 2 figure un barème centimétrique donnant le débit Q1 en fonction de la dénivelée entre cote amont et cote aval.

$$Q1 = 1,0566 * E * N * L * (2 * g * (Hm - Hv))^{0,3761}$$

En régime établi, la formule Q2 s'applique lorsque les vannes sont complètement effacées. Pour une cote amont située entre 1,40 m et 1,80 m, elle donne le débit à environ 20 m³/s près. Pour les cotes amont inférieures à 0,80 m, elle ne donne que l'ordre de grandeur d'un débit médian, autour duquel le débit réel fluctue en fonction de la marée.

$$Q2 = 9,494 * N * L * (Hm - 0,01)^{0,8293}$$

Pour le régime transitoire correspondant à l'effacement total des vannes associé à une forte dénivelée entre niveaux amont et aval (> 20 cm), l'ordre de grandeur du débit peut être estimé de façon très approximative par la formule Q3 :

$$Q3 = 1,1607 * N * L * (Hv + 8,97) * (2 * g * (Hm - Hv))^{0,4053}$$

Signification des paramètres:

E (m)	: ouverture verticale des vannes
N	: nombre de vannes ouvertes
L (m)	: largeur des vannes, égale à 20 m
g (m/s ²)	: accélération de pesanteur (= 9,81)
Hm (m)	: cote à l'amont du barrage
Hv (m)	: cote à l'aval du barrage
Q1, Q2, Q3 (m ³ /s)	: débit sortant du barrage

Le tableau 1 et la figure 1 montrent que les débits Q1 et Q2 ainsi calculés par ces formules sont très proches des valeurs mesurées.

3 CALCUL DES DEBITS LACHES PAR LE BARRAGE ENTRE 1986 ET 1999

Suite à un contrôle graphique, dix-sept points présentant des cotes aval très douteuses ont été éliminés des relevés fournis par la SOGED. Un point (23/11/1987 à 10H10) correspondant peut-être à un état fort transitoire a dû également être éliminé. Pour trois autres points enfin, une erreur flagrante sur la cote amont a pu être corrigée. Une correction a par ailleurs été effectuée sur les relevés de 1999 correspondant au palier 3, pour lesquels l'ouverture de vanne était légèrement erronée. En tout, c'est un ensemble de 12008 relevés portant sur la période 1986-1999 qui a pu être exploité.

Chaque relevé comporte essentiellement une date, une valeur de cote amont Hm, de cote aval Hv, de nombre N de vannes manœuvrées et d'ouverture verticale E de celles-ci. Conformément aux calculs effectués par la SOGED, un débit est calculé pour chaque relevé à partir des cotes Hv et Hm de ce relevé, et des paramètres de réglage N et E du relevé précédent. Dans plus de 97% des cas, les relevés se situent plus d'une demi-heure après le dernier changement de réglage de vanne. La quasi totalité des débits ainsi calculés correspond donc à un régime d'écoulement établi.

Pour savoir si la formule Q1 ou Q2 doit être utilisée, la différence de cote entre le bas des vannes secteur (estimée à partir de l'ouverture et de la cote Ho de fermeture à -8,97 m) et la cote Hm du plan d'eau amont est calculée pour chaque relevé. Selon que cette garde est positive ou non, c'est respectivement Q2 ou Q1 qui est utilisé pour calculer le débit Q évacué.

Sur les 12008 relevés, on peut faire les constatations suivantes :

- Une cote aval Hv plus élevée que la cote amont Hm apparaît à 5 reprises (en 1987, 1988 et 1991) alors que les vannes sont noyées, ce qui entraîne alors un débit négatif.
- Le débit est nul du fait de la fermeture totale des vannes pour 3102 enregistrements, et du fait de l'égalité des cotes amont et aval (avec vannes noyées) pour 36 autres enregistrements.
- Les vannes apparaissent totalement effacées pour 342 enregistrements, avec une dénivelée Hm – Hv toujours inférieure ou égale à 13 cm. A deux reprises, une dénivelée négative de –1 cm est constatée, pouvant être due aux imprécisions de lecture. Il n'en est pas tenu compte pour appliquer la formule Q2, qui donne donc toujours un débit positif.

La figure 2 permet de comparer les débits sortants Q calculés avec les formules Q1 et Q2, à ceux qui sont donnés par la SOGED. Les différences les plus importantes concernent essentiellement des débits calculés pour de grandes ouvertures de vannes, celles-ci étant complètement effacées ou presque. Dans ce cas, les valeurs données par la SOGED correspondent soit à une utilisation abusive de la formule Qs alors que les vannes sont complètement effacées (en 1999, sous-estimation du débit), soit à des valeurs dont l'origine n'est pas indiquée (en 1988 et 1995, surestimation du débit). Hormis ces cas particuliers, l'ordre de grandeur des débits donnés par la SOGED est globalement correct, avec toutefois une tendance à surestimer les débits inférieurs à 1000 m³/s passant par les vannes noyées.

4 INFLUENCE DU DEBIT LACHE SUR LE NIVEAU AVAL EN REGIME D'ECOULEMENT ETABLI

Pour un réglage de vannes et un niveau amont donnés, le débit lâché dépend du niveau aval (voir ci-dessus). Réciproquement, ce niveau aval est lui-même influencé par le débit lâché et par l'onde de marée. Ceci est mis en évidence sur la figure 3, où les valeurs de cote aval Hv sont reportées graphiquement en fonction du débit lâché Q, calculé avec les formules Q1 et Q2. Une relation moyenne se dessine nettement entre ces deux variables, indépendamment de la nature de l'écoulement (vannes noyées ou complètement effacées). L'ajustement d'un polynôme du second degré donne les résultats suivants :

$$Hv = 4,907 * 10^{-8} * Q^2 + 6,099 * 10^{-4} * Q + 0,04603 \quad (R^2 = 0,83)$$

La dispersion importante des points autour de cette relation moyenne est due essentiellement à l'effet de la marée, mais aussi à l'imprécision de mesure sur Hv (batillage) et à l'imprécision du calcul de débit Q. Pour essayer d'évaluer l'importance des fluctuations de Hv dues à la marée, l'échantillon de

12008 points analysés a été découpé par tranches de 100 m³/s sur le débit Q. Sur chacune de ces tranches, le calcul de la fonction de répartition des valeurs de Hv (tableau 2), permet de définir les valeurs extrêmes, marquant les limites de fluctuations dues à la marée. Il est ainsi possible de définir les relations Hv1(Q) et Hv2(Q) correspondant aux valeurs de cote aval qui ne sont respectivement dépassées ou non atteintes qu'une fois sur 50 (figure 4). Le calage d'un polynôme de degré 3 sur ces relations donne les résultats suivants :

$$Hv1(Q) = -2,834 \cdot 10^{-11} \cdot Q^3 + 1,283 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 + 4,160 \cdot 10^{-4} \cdot Q + 4,857 \cdot 10^{-1} \quad (R^2 = 0,96)$$

$$Hv2(Q) = 7,975 \cdot 10^{-12} \cdot Q^3 + 1,283 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 + 4,160 \cdot 10^{-4} \cdot Q - 2,561 \cdot 10^{-1} \quad (R^2 = 0,98)$$

Q (m³/s) : débit lâché du barrage

Hv1 (m) : pour Q donné, la cote aval Hv n'a que 1 chance sur 50 d'être supérieure à Hv1

Hv2 (m) : pour Q donné, la cote aval Hv n'a que 1 chance sur 50 d'être inférieure à Hv2

En première approximation, on peut considérer que la cote aval fluctue entre les relations Hv1(Q) et Hv2(Q) au gré de la marée. Les valeurs observées en dehors de cette fourchette peuvent correspondre à des marées d'amplitude exceptionnelle, ou être dues aux imprécisions mentionnées plus haut.

L'amplitude de variation de la cote aval en fonction de la marée peut être estimée par l'écart entre les relations Hv1(Q) et Hv2(Q), qui diminue avec le débit. De l'ordre de 74 cm pour les débits inférieurs à 500 m³/s, cette amplitude présente une valeur qui reste étonnamment élevée pour les forts débits. Elle se situe en effet à 45 cm pour 2000 m³/s, alors que les débits jaugés autour de cette valeur montrent une relation Hv(Q) très serrée (fig 3, points jaugés). Les points correspondant à un débit supérieur à 1960 m³/s se répartissent en fait en deux groupes : les points relevés en 1999 en écoulement libre d'une part, et ceux relevés en septembre et octobre 1994 (vannes noyées, N = 7, palier entre 11 et 15) d'autre part, qui pour un même débit présentent une cote aval inférieure d'environ 40 cm. Cette différence importante reste pour le moment inexplicée.

5 RELATION ENTRE COTE AMONT ET COTE AVAL EN REGIME D'ÉCOULEMENT ÉTABLI

5.1 VANNES NOYÉES

Sur l'ensemble des données disponibles, on observe une relation entre les cotes relevées simultanément à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, variable selon l'ouverture des vannes. Cette relation tend à se relâcher à mesure que les vannes sont refermées, pour disparaître totalement en cas de fermeture totale.

Sur les 8564 enregistrements concernant les vannes noyées avec une ouverture non nulle, 70% indiquent l'utilisation simultanée des 7 vannes, et plus de 98% indiquent l'utilisation d'au moins 6 vannes. De ce fait, aucune influence du nombre de vannes utilisées n'a pu être mise en évidence sur la relation cherchée entre Hm et Hv. L'analyse est donc menée séparément pour les différentes valeurs de réglage de vannes, sur la base de toutes les données disponibles.

La relation obtenue est du type suivant :

$$Hv(Hm,P) = A(P) \cdot Hm + B$$

P : palier de réglage (entre 1 et 21)

A : coefficient de régression, variable en fonction du palier de réglage

B (m) : constante identique pour tous les paliers de réglage (B = 0,09 m)

Le tableau 3 donne les valeurs du coefficient A obtenues pour les différents paliers de réglage, ainsi que les coefficients de corrélation et les écarts types résiduels S. Ces régressions linéaires entre Hv et Hm sont représentées sur les figures 5A et 5B, ainsi que les droites distantes de 2,055 écarts types résiduels de la relation moyenne, délimitant le domaine des valeurs qui ne sont dépassées ou non atteintes qu'une fois sur cinquante dans le cas d'une distribution normale. Pour les paliers 11 à 15, certains points présentent une valeur de Hv assez nettement inférieure aux relations moyennes Hv(Hm). Ils correspondent aux enregistrements de septembre et octobre 1994 déjà signalés plus haut, pour lesquels la cote Hv se situe assez bas par rapport à la relation moyenne Hv(Q).

Les valeurs obtenues pour le coefficient de régression A et l'écart type résiduel S, peuvent être reliées de la façon suivante au palier de réglage des vannes (figure 6):

$$A(P) = -2,09 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 + 8,70 \cdot 10^{-2} \cdot P - 2,42 \cdot 10^{-2} \quad (R^2 = 0,998 \text{ sur } 21 \text{ valeurs})$$

$$S = 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 - 1,39 \cdot 10^{-2} \cdot P + 1,90 \cdot 10^{-1} \quad (R^2 = 0,974 \text{ sur } 21 \text{ valeurs})$$

Par rapport à la régression moyenne établie en fonction de Hm, les valeurs de Hv présentent une dispersion (représentée par S) qui, principalement due aux fluctuations de marée, augmente à mesure que l'on ferme les vannes. A l'opposé, quand on va vers l'ouverture totale des vannes, cette dispersion tend vers une valeur très faible associée à l'imprécision des mesures.

Le tableau 4 donne, en fonction de la cote amont comprise entre 1 m et 2,50 m, et en fonction du palier de réglage, la valeur moyenne de la dénivelée Hm-Hv déduite de la relation A(P).

5.2 VANNES EFFACEES

La figure 7 montre la relation existant entre cote aval et cote amont quand les vannes sont complètement effacées, à partir des 342 points enregistrés dans ces conditions, avec une cote amont comprise entre 0,76 m et 1,73 m :

$$Hv = -0,0686 \cdot Hm^2 + 1,0644 \cdot Hm \quad (R^2 = 0,994 \text{ et } \sigma = 0,016 \text{ m})$$

Le tableau 4 donne en fonction de la cote amont, la dénivelée moyenne Hm-Hv déduite de cette relation.

La dispersion des valeurs de Hv autour de cette relation moyenne est principalement due aux imprécisions de mesure. Pour des cotes Hm inférieures à 0,94 m, la dénivelée entre cote amont et cote aval peut être considérée comme nulle.

6 DEBIT LACHE EN REGIME ETABLI, EN FONCTION DE LA COTE AMONT ET DU REGLAGE DES VANNES

Pour calculer le débit qui passe –ou est passé- par les vannes du barrage, il suffit d'appliquer les étalonnages Q1, Q2 et Q3 présentés plus haut, en utilisant les valeurs observées et connues de cote amont, cote aval et réglage de vanne.

Cependant, la connaissance en temps réel et a posteriori du débit lâché ne suffit pas pour gérer le barrage. Le maintien ou la modification du réglage des vannes doit tenir compte en permanence de l'évolution du débit qui découlera de cette opération :

- Maintien du réglage des vannes : malgré une cote amont peu variable à l'horizon de quelques dizaines de minutes, le régime d'écoulement va évoluer progressivement du fait des variations de la cote aval, soumise à l'effet de marée.
- Modification du réglage des vannes : il y a rupture du régime d'écoulement établi, dans lequel la cote aval fluctuait au gré de la marée autour d'une valeur moyenne directement liée à la cote amont et à l'ancien réglage de vanne. Un régime transitoire s'installe (pendant quelques dizaines de minutes probablement), le temps que la cote aval évolue vers la valeur moyenne correspondant à la cote amont (peu modifiée) et au nouveau réglage de vanne. Un nouveau régime établi s'installe alors, et on se retrouve dans le cas précédent.

On ne dispose pas, à l'heure actuelle, des données suffisantes pour établir une modélisation déterministe concernant les fluctuations de la cote aval et du débit, dues à l'effet de marée en régime d'écoulement établi. Ces fluctuations sont donc traitées de façon statistique, en utilisant les résultats obtenus ci-dessus pour la relation entre cote aval et cote amont.

Pour l'écoulement par les vannes noyées, la valeur de cote aval dépassée avec une fréquence donnée est estimée de la façon suivante en fonction de la cote amont et du réglage des vannes :

$$H_v(f, H_m, P) = A(P) * H_m + B + n(f) * S(P) \\ = (-2,09 * 10^{-3} * P^2 + 8,70 * 10^{-2} * P - 2,42 * 10^{-2}) * H_m + 0,09 + n(f) * (2,54 * 10^{-4} * P^2 - 1,39 * 10^{-2} * P + 1,90 * 10^{-1})$$

H_v (m) :	cote aval
f :	fréquence de dépassement (entre 0 et 1)
H_m (m) :	cote amont
P :	palier de réglage
n :	paramètre associé à la fréquence de dépassement f (voir tableau 5)

Les valeurs du paramètre n sont déterminées en fonction de la fréquence de dépassement f , en faisant l'hypothèse que pour chaque palier de réglage, l'écart entre la cote aval et sa valeur moyenne liée à la cote amont et au réglage de vanne, est distribué suivant une loi normale. Le paramètre n correspond alors au nombre d'écart types séparant une valeur de fréquence f de la valeur moyenne, dans une distribution normale. La relation $n(f)$ est donnée dans le tableau 5.

A cote amont et réglage de vanne constants, le débit lâché par les vannes noyées varie dans le sens inverse de la cote aval. Le débit dépassé avec la fréquence f correspond donc à la cote aval dépassée avec la fréquence $1-f$. Ainsi :

$$Q1a(f, H_m, P) = Q1(H_v(1-f, H_m, P), H_m, P) \\ = 1,0566 * E(P) * N * L * (2 * g * (H_m - H_v(1-f, H_m, P)))^{0,3761}$$

$Q1a$ (m ³ /s) :	débit par vannes noyées, estimé à partir des relations $Q1(H_v, H_m, E)$ et $H_v(H_m, P)$
f :	fréquence de dépassement du débit
H_m (m) :	cote à l'amont du barrage
P :	palier de réglage des vannes

E (m)	: ouverture verticale des vannes
N	: nombre de vannes ouvertes
L (m)	: largeur des vannes, égale à 20 m
g (m/s ²)	: accélération de pesanteur (= 9,81)
Hv (m)	: cote à l'aval du barrage

Pour le cas où toutes les sept vannes sont ouvertes, cette relation est représentée sous forme d'abaques sur les planches de figures 8A à 8D, ainsi que dans le tableau 4 pour les valeurs moyennes de débit (f=0,5). Sur ces graphiques et ce tableau figurent également les points représentatifs de l'écoulement quand les vannes sont complètement effacées. Dans ce cas, le débit est directement estimé à partir de la cote amont en utilisant la formule Q2. Les points jaugés ont également été portés sur les figures correspondant aux valeurs de cote amont les plus proches.

Par ailleurs, le débit lâché du barrage peut également être estimé de façon moyenne en fonction de la cote amont et du réglage des vannes en utilisant la relation établie plus haut entre le débit et la cote aval. Les relations entre cote amont et cote aval ne sont alors plus utilisées :

$$\begin{aligned}
 H_v &= 4,907 * 10^{-8} * Q^2 + 6,099 * 10^{-4} * Q + 0,04603 \\
 Q_1 &= 1,0566 * E(P) * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{0,3761} \\
 \Rightarrow E(P) &= Q / (1,0566 * N * L * (2 * g * (H_m - H_v))^{0,3761}) \\
 &= Q / (1,0566 * N * L * (2 * g * (H_m - (4,907 * 10^{-8} * Q^2 + 6,099 * 10^{-4} * Q + 0,04603))))^{0,3761}
 \end{aligned}$$

La résolution numérique de cette relation moyenne entre P, Q et Hm permet d'estimer directement Q en fonction de P et Hm. Cette estimation, notée Q1b, est également portée sur les figures 8A à 8D.

L'estimation Q1a du débit effectuée à partir des relations Q1(Hv,Hm,E) et Hv(Hm,P) présente une légère décroissance entre les paliers de réglage 14 et 19, pour les cotes amont Hm inférieures à 1,40 m (figure 8D). L'estimation Q1b donne quant à elle des débits légèrement supérieurs aux valeurs relatives à l'écoulement libre (vannes effacées) pour des paliers de réglage supérieurs à 17. Enfin, des différences assez nettes s'observent entre les estimations Q1a et Q1b. Ces différentes anomalies résultent de l'imprécision des modèles utilisés, inévitable dans les domaines où ils sont calés sur des mesures peu nombreuses ou très dispersées, et a fortiori dans leurs parties extrapolées.

Du fait que la relation Hv(Hm,P) semble calée de façon plus précise que la relation Hv(Q), c'est l'estimation Q1a qui sera désormais utilisée, plutôt que Q1b.

Schématiquement, le débit lâché augmente rapidement en fonction du palier de réglage, jusqu'au palier 10. Cette augmentation devient ensuite de plus en plus faible, à mesure que l'on se rapproche de l'ouverture totale des vannes.

7 ENERGIE DISSIPÉE EN RÉGIME ÉTABLI, EN FONCTION DE LA COTE AMONT ET DU RÉGLAGE DES VANNES

Si l'on néglige les différences de vitesse moyenne d'écoulement entre l'amont et l'aval de l'ouvrage, le produit du débit par la différence de cote entre amont et aval est directement proportionnel à l'énergie dissipée au passage du barrage, sous forme de frottements à l'intérieur et sur les parois de l'écoulement. Afin que cette dissipation d'énergie n'entraîne pas de danger pour l'ouvrage lui-même, le constructeur a donné comme consigne de toujours maintenir le produit Q*(Hm-Hv) en dessous de 1000 m⁴/s, sous-entendu pour 7 vannes ouvertes. Autrement dit, pour N vannes ouvertes, le produit Q*(Hm-Hv) doit rester en dessous de 1000 * N / 7 (voir plus bas).

Il est donc important de prévoir l'effet des manœuvres de vannes sur l'évolution du produit Q*(Hm-Hv). Cette prévision doit être faite de façon de statistique, pour les raisons déjà invoquées plus haut pour le débit.

Pour l'écoulement par les vannes noyées en régime établi, la valeur du produit $Q^*(H_m-H_v)$ dépassée avec la fréquence f peut être estimée de la façon suivante à partir des relations $Q_1(H_v, H_m, E)$ et $H_v(H_m, P)$:

$$[Q^*(H_m-H_v)]_{(f, H_m, P)} = Q_{1a}(f, H_m, p) * (H_m - H_v(1-f, H_m, P))$$

Dans le cas où les sept vannes sont ouvertes, cette relation est représentée sous forme d'abaques sur les planches de figures 9A à 9D, ainsi que dans le tableau 4 pour les valeurs moyennes ($f=0,5$). Sur ces graphiques et ce tableau figurent également les points représentatifs de l'écoulement quand les vannes sont complètement effacées.. Dans ce cas, le produit du débit par la dénivelée est estimé de la façon suivante, pour des valeurs de H_m supérieures à 0,94 m:

$$Q^*(H_m-H_v) = 9,494 * N * L * (H_m - 0,01)^{0,8293} * (H_m - (-0,0686 * H_m^2 + 1,0644 * H_m))$$

Pour des cotes inférieures à 0,94 m, le produit du débit par la dénivelée peut être considéré comme nul lorsque les vannes sont complètement effacées.

Enfin, comme il a été fait plus haut pour le débit avec l'estimation Q_{1b} , il est possible d'estimer le produit $Q^*(H_m-H_v)$ en fonction de P et H_m en utilisant la relation $H_v(Q)$ au lieu des relations $H_v(H_m, P)$. Les points correspondants, notés $Q_{1b}^*(H_m-H_v(Q))$, sont eux aussi portés sur les figures 9A à 9D, à titre indicatif.

Les figures 9A à 9D montrent que le maximum d'énergie dissipée se situe toujours entre les paliers de réglage 6 et 7, quelle que soit la cote amont. Le produit $Q^*(H_m - H_v)$ dépasse un seuil donné avec une certaine fréquence, lorsque le palier de réglage des vannes se situe entre deux limites P_1 et P_2 , variables en fonction de ce seuil et de cette fréquence. Le tableau 6 et les figures 10 A à 10 C donnent les valeurs de P_1 et P_2 relatives aux seuils 800, 1000 et 1200 m^3/s , pour différentes fréquences de dépassement.

En vue d'un calcul automatique des réglages de vannes compatibles avec une limite d'énergie, les valeurs de P_1 et P_2 correspondantes ont été modélisées en fonction de la cote amont (notée alors H_{m1} ou H_{m2}), de la limite d'énergie et de la fréquence de dépassement de celle-ci. On obtient les résultats suivants :

$$P_1 = a_1 + b_1 * (H_{m1} - c_1)^{d_1} \quad \leftrightarrow \quad H_{m1} = c_1 + ((P_1 - a_1)/b_1)^{(1/d_1)}$$

$$P_2 = a_2 + b_2 * (H_{m2} - c_2)^{d_2} \quad \leftrightarrow \quad H_{m2} = c_2 + ((P_2 - a_2)/b_2)^{(1/d_2)}$$

Sur les figures 10 A à 10 C, le report de ces relations (utilisant les valeurs de paramètres $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2$ et d_2 données dans le tableau 7) montre un bon ajustement sur les valeurs de P_1 et P_2 .

8 REGIME TRANSITOIRE SUCCEDANT AU CHANGEMENT DE REGLAGE DE VANNE

Lorsque le réglage des vannes reste constant, le niveau aval fluctue au gré de la marée autour d'une valeur médiane liée à la cote amont (lentement variable) et au réglage. On peut alors parler d'un régime d'écoulement établi, assez lentement variable.

A partir du moment où le réglage des vannes est modifié, la cote aval va fluctuer autour d'une médiane qui cette fois va évoluer, partant de la valeur correspondant à l'ancien réglage, pour arriver à la valeur correspondant au nouveau réglage. Cette évolution peut s'étaler sur plusieurs dizaines de minutes, cette durée augmentant avec l'importance de la modification de réglage.

On voit donc qu'avant de changer le réglage des vannes, il importe de se soucier à la fois de la dissipation d'énergie qui sera associée après plusieurs dizaines de minutes au nouveau régime établi (voir plus haut), et à celle qui va se produire dans les instants succédant à la modification, au début du régime transitoire.

8.1 DIMINUTION DE L'OUVERTURE DES VANNES

Lorsque le changement de réglage va dans le sens d'une fermeture des vannes, le régime transitoire présente une cote aval plus haute que celle du nouveau régime établi, et une dissipation d'énergie plus faible que celui-ci. Il suffit alors de s'assurer que la dissipation associée au nouveau régime établi sera plus faible que la limite autorisée, le régime transitoire ne posant aucun problème.

8.2 AUGMENTATION DE L'OUVERTURE DES VANNES

Juste après une augmentation d'ouverture des vannes, le niveau aval se situe en dessous de la valeur médiane qui sera atteinte pendant le nouveau régime établi. Le débit et l'énergie dissipée peuvent alors se situer bien au dessus de leurs nouvelles valeurs d'équilibre, si l'augmentation d'ouverture a été importante.

Lorsque l'on envisage de faire modifier le réglage des vannes en passant du palier P au palier P+x, alors que l'on connaît les cotes amont Hm et aval Hv, il est possible d'estimer l'énergie dissipée au début du régime transitoire qui va succéder à cette manœuvre, en calculant le produit $Q^*(Hm-Hv)$ de la façon suivante:

$$\begin{aligned}
 Q^*(Hm-Hv) &= Q1^*(Hm - Hv) \\
 &= K1 * E(P+x) * N * L * (2 * g * (Hm - Hv))^{n1} * (Hm - Hv) \\
 &= 1,0566 * E(P+x) * N * L * (2 * g * (Hm - Hv))^{0,3761} * (Hm - Hv) \\
 &= 1,0566 * E(P+x) * N * L * (2 * g)^{0,3761} * (Hm - Hv)^{1,3761}
 \end{aligned}$$

E(P+x) (m) : nouvelle ouverture verticale des vannes
 P : ancien palier de réglage des vannes
 P+x : nouveau palier de réglage des vannes
 N : nombre de vannes ouvertes
 L (m) : largeur des vannes, égale à 20 m
 g (m/s²) : accélération de pesanteur (= 9,81)
 Hm (m) : cote amont observée avant nouveau réglage
 Hv (m) : cote aval observée avant nouveau réglage

Lorsque l'on envisage à l'avance une manœuvre d'ouverture, par exemple pour abaisser le niveau de la retenue en début de crue, on ne sait pas précisément à quel niveau se situera la surface libre à l'aval de l'ouvrage au moment de cette opération. Il suffit alors d'utiliser la valeur médiane de cote aval Hv du régime établi lié au réglage avant manœuvre (relation Hv(Hm,P)), pour avoir une estimation générale du produit $Q^*(Hm - Hv)$ juste après la manœuvre :

$$Q^*(Hm-Hv) = 1,0566 * E(P+x) * N * L * (2 * g)^{0,3761} * (Hm - Hv)^{1,3761}$$

$$= 1,0566 \cdot E(P+x) \cdot N \cdot L \cdot (2 \cdot g)^{0,3761} \cdot (H_m - ((-2,09 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 + 8,70 \cdot 10^{-2} \cdot P - 2,42 \cdot 10^{-2}) \cdot H_m + 0,09))^{1,3761}$$

Les résultats de ce calcul sont présentés sur la figures 11A à 11C, pour différentes augmentations x de palier de réglage. Ces figures montrent que l'on a toujours intérêt à ouvrir les vannes de façon très progressive pour éviter un excès de dissipation d'énergie en régime transitoire. Concrètement, la vitesse d'ouverture des vannes doit être limitée pour tenir compte des délais de remplissage progressif du bief à l'aval de l'ouvrage.

9 CAS OU LE NOMBRE DE VANNES UTILISEES EST INFERIEUR A SEPT

En première approximation, le produit $Q^*(H_m - H_v)$ est proportionnel à l'énergie dissipée par l'écoulement au passage de l'ouvrage, sous forme de frottements au sein et sur les parois de l'écoulement. Le maintien de ce produit en dessous de la limite de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ imposée par le constructeur, est destiné à éviter des frottements trop importants sur le radier aval de l'ouvrage, qui risqueraient de provoquer des affouillements.

Lorsque les sept vannes sont utilisées simultanément et laissent toutes passer le même débit, la limite de dissipation d'énergie s'exprime de la façon suivante :

$$\begin{aligned} Q^*(H_m - H_v) &\leq 1000 \\ \Leftrightarrow \left(\sum_{i=1}^7 Q_i \right)^* (H_m - H_v) &\leq 1000 \\ \Leftrightarrow \sum_{i=1}^7 (Q_i \cdot c) &\leq 1000 \\ \Leftrightarrow Q_i^* (H_m - H_v) &\leq 1000/7 \dots \dots \dots \forall i \end{aligned}$$

Q : débit total

Qi : débit passant par la vanne de rang i

Le produit $Q_i^*(H_m - H_v)$ doit donc être limité à $1000/7 (= 143 \text{ m}^4/\text{s})$ sur chacune des vannes lorsque les 7 vannes sont utilisées. Qu'en est-il lorsqu'une seule vanne est ouverte ? La limite à prendre en compte est-elle 1000 ou bien $143 \text{ m}^4/\text{s}$?

Pour une valeur donnée du produit $Q^*(H_m - H_v)$, la dissipation d'énergie risque évidemment d'avoir des effets beaucoup plus dévastateurs si elle est concentrée à l'aval d'une seule vanne, plutôt que répartie sur l'ensemble des vannes. Quand une seule vanne est utilisée, la valeur maximale admissible pour le produit $Q^*(H_m - H_v)$ se situe donc forcément bien en dessous de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$.

Pour autant, il peut sembler un peu trop pessimiste d'envisager pour $Q^*(H_m - H_v)$ une limite directement proportionnelle au nombre de vannes utilisées (et donc $143 \text{ m}^4/\text{s}$ pour une seule vanne). Ce sont en effet les frottements sur le fond qui posent problème. Or les frottement au sein de la masse liquide doivent logiquement représenter une fraction plus importante de la dissipation d'énergie, quand l'écoulement se fait par une seule vanne plutôt que par les sept.

Enfin, que ce soit pour le régime d'écoulement établi ou transitoire, les paliers limites de réglage définis plus haut en fonction de la cote amont pour respecter la limite de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$, ont été calculés en utilisant la relation $H_v(H_m, P)$. Cette relation a été établie sur la base d'observations essentiellement représentatives de l'utilisation simultanée de 6 ou 7 vannes. Les quelques points disponibles avec moins de 6 vannes utilisées, insuffisants pour préciser l'influence du paramètre N, montrent néanmoins une tendance à des valeurs de cote aval H_v légèrement plus faibles que la relation $H_v(H_m, P)$. Par conséquent, les résultats présentés plus haut peuvent légèrement sous-estimer le débit Q et le produit $Q^*(H_m - H_v)$ quand le nombre de vannes utilisées est très inférieur à 7.

Au vu de ces différentes considérations, faute d'éléments supplémentaires et pour aller dans le sens de la sécurité, on peut préconiser ce qui suit :

- Pour un nombre N de vannes utilisées, le produit $Q^*(H_m - H_v)$ doit rester inférieur à : $1000 \cdot N/7$
- Les résultats présentés plus haut concernant les paliers limites de réglage P1 et P2 relatifs au respect des $1000 \text{ m}^4/\text{s}$, pourront être utilisés quel que soit le nombre de vannes ouvertes.

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 2,0 m actuellement) 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 produit $Q^*(H_m - H_v)$ étant toujours faible pour les petites valeurs de palier de réglage P (fig. 9B), aucun problème ne se pose pour la dissipation d'énergie à l'aval du barrage pendant l'étiage.

10.2 PERIODE DE CRUE

Pendant le passage de la crue, l'objectif de gestion consiste à maintenir le plan d'eau amont à la cote 1,50 m. Comme pendant l'étiage, le gestionnaire doit augmenter l'ouverture des vannes s'il constate une tendance au dépassement du niveau objectif amont, et la diminuer dans le cas inverse. Cette procédure permet de maintenir le plan d'eau à la cote désirée tant que le débit moyen à évacuer reste inférieur à environ $1850 \text{ m}^3/\text{s}$. Au delà, les vannes sont complètement effacées et le niveau évolue au dessus de 1,50 m en fonction du débit, tant que celui-ci reste supérieur à $1850 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour maintenir un niveau amont constant en période de crue, il faut pouvoir utiliser toute la gamme des paliers de réglage pour compenser l'amplitude de variation des débits arrivant de l'amont. Comme le montre la figure 9C, une cote amont de 1,50 m (contrairement à 2,0 m) permet d'utiliser tous les paliers avec très peu de risque de dépassement de la limite de $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ par le produit $Q^*(H_m - H_v)$ en régime d'écoulement établi. Tout au plus, ce risque s'élève à environ 1/5 lorsque les vannes doivent être ouvertes entre les paliers 6 et 7 pour évacuer un débit de l'ordre de 1100 à 1250 m^3/s (tab. 4) La seule précaution à prendre consiste donc à effectuer des augmentations d'ouverture progressives pour éviter les dépassements en régime transitoire.

10.3 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.

La cote 1,50 m est maintenue à l'amont de l'ouvrage en évacuant en permanence, par ajustement du réglage des vannes, un débit égal (aux prélèvements et pertes près) à celui qui entre dans la retenue. Tant que le maintien de cette cote nécessite une ouverture des vannes supérieure ou égale à celle du palier 7, il est imprudent d'engager le rehaussement du niveau par diminution de l'ouverture. En effet, les figures 9A à 9D montrent qu'au delà de ce palier, la diminution de P entraîne une

augmentation du produit $Q^*(H_m - H_v)$, qui s'amplifie encore en cas de rehaussement simultané de la cote H_m du plan d'eau. Le risque de dépassement des $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ est alors important. Au palier 7 il est de l'ordre de : une fois sur 3 pour $H_m=1,60 \text{ m}$; 1 fois sur 2 pour $H_m=1,70 \text{ m}$; 2 fois sur 3 pour $H_m = 1,80 \text{ m}$.

La première condition à respecter pour pouvoir engager le rehaussement du plan d'eau est donc de voir le maintien de la cote $1,50 \text{ m}$ réalisé à l'aide d'un palier de réglage inférieur à 7 sur l'ensemble des vannes, ce qui correspond à un débit évacué inférieur à $1242 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne (tableau 4).

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.

10.3.1 REHAUSSEMENT DU PLAN D'EAU A DATE FIXE.

La date d'occurrence des deux conditions énoncées ci-dessus peut être analysée à partir des données enregistrées depuis 1987. Il s'agit de trouver chaque année à partir de quelle date, après le passage du maximum de crue, le débit entrant dans la retenue (diminué des pertes et prélèvements) devient inférieur à $1242 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit entrant peut être estimé à la station de Rosso par une modélisation basée sur les équations suivantes, qui traduisent respectivement la relation de Manning et la conservation des volumes entre Rosso et Diama :

$$Q_r = k * l * (H_r - H_f)^{m_1} * ((H_r - H_m) / D)^{m_2}$$

$$Q_r - Q = Prd + D * l * (\text{grad}(H_m) + \text{grad}(H_r)) / 2$$

$Q_r \text{ (m}^3/\text{s)}$:	débit du Sénégal à Rosso
k	:	coefficient de Manning Strickler
$H_r \text{ (m)}$:	cote du Sénégal à Rosso
$H_f \text{ (m)}$:	cote du fond représentative du bief Rosso-Diama
$H_m \text{ (m)}$:	cote du plan d'eau à l'amont de Diama
m_1	:	exposant égal à $5/3$ dans la formule de Manning Strickler
m_2	:	exposant égal à $0,5$ dans la formule de Manning Strickler
$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$:	débit passant par les vannes de Diama
$Prd \text{ (m}^3/\text{s)}$:	débit représentatif des pertes et prélèvements entre Rosso et Diama
$D \text{ (m)}$:	longueur du bief Diama-Rosso, fixée à 105000
$l \text{ (m)}$:	largeur moyenne représentative du bief entre Rosso et Diama
$\text{grad}(H_m) \text{ (m/s)}$:	vitesse de variation de la cote du plan d'eau à l'amont de Diama
$\text{grad}(H_r) \text{ (m/s)}$:	vitesse de variation de la cote du Sénégal à Rosso

Ces deux équations permettent donc d'exprimer le débit lâché à Diama de la façon suivante, à partir des 6 paramètres k , m_1 , m_2 , H_f , Prd et l :

$$Q = k * l * (H_r - H_f)^{m_1} * ((H_r - H_m) / D)^{m_2} - Prd - D * l * (\text{grad}(H_m) + \text{grad}(H_r)) / 2$$

Les valeurs des 6 paramètres peuvent être déterminées en minimisant les écarts entre les débits de Diama ainsi estimés, et ceux qui sont calculés de façon précise à partir de l'étalonnage des vannes

(méthode des moindres carrés). Cette optimisation, effectuée au pas de temps journalier sur la période 1986-1999, donne les résultats suivants avec un écart absolu moyen de $134 \text{ m}^3/\text{s}$ sur un total de 2759 points:

$$k = 7,799$$

$$m1 = 1,629$$

$$m2 = 0,539$$

$$H_f = -13,88 \text{ m}$$

$$L = 1440 \text{ m}$$

$$\text{Prd} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$$

La figure 12 permet de comparer les débits journaliers du barrage calculés par les deux méthodes, sur l'échantillon de 2759 points utilisés pour faire l'ajustement des 6 paramètres.

En utilisant les valeurs déterminées pour les paramètres k , l , H_f , $m1$ et $m2$, la formule donnée plus haut permet de calculer les débits journaliers passés à Rosso à partir des cotes H_r et H_m relevées à Rosso et Diama amont. Ceci permet de déterminer pour chaque année de 1987 à 1999, la date souhaitable de début de rehaussement du plan d'eau. Il suffit pour cela de repérer, après le maximum de crue, le passage du débit en dessous de $1362 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 1242 + 120$). Comme le montre le tableau 8, la plupart de ces dates se répartissent de façon assez régulière entre le 21 septembre et le 2 novembre. Elles peuvent cependant être beaucoup plus précoces en cas de faible crue (12 septembre 1996) ou beaucoup plus tardives en cas de forte crue (26 novembre 1999).

Au vu de ces résultats, le fait de fixer à l'avance le début du rehaussement du plan d'eau à l'amont de Diama ne paraît pas être une bonne solution, puisque cela conduit selon les années à pénaliser inutilement l'irrigation, ou à prendre des risques au niveau de la dissipation d'énergie. La solution à préconiser est celle d'un rehaussement effectué à date optimale, dont la procédure est expliquée ci-dessous.

10.3.2 REHAUSSEMENT A DATE OPTIMALE

Les deux critères énoncés plus haut doivent être vérifiés avant d'entamer la procédure de rehaussement :

- Le passage du maximum de crue doit avoir été constaté sans ambiguïté à partir des cotes relevées sur les stations de l'amont.
- Le maintien du niveau amont à la cote 1,50 m doit être fait avec un palier de réglage inférieur à 7 ou, ce qui revient au même : le réglage au palier 7 entraîne un abaissement du plan d'eau en dessous de 1,50 m.

Dès lors, il suffit dans un premier temps de poursuivre la fermeture progressive des vannes pour maintenir la cote 1,50 m, jusqu'à ce que le palier de réglage corresponde au niveau de risque accepté pour le dépassement de la limite d'énergie dissipée (fig. 10 A à 10 C). Ensuite, le rythme de fermeture peut être accéléré pour rehausser le plan d'eau.

Durant le rehaussement, il doit être constamment vérifié (sur figure 10 A à 10 C, selon la limite d'énergie envisagée) que le niveau H_m ne dépasse pas la relation $H_{m1}(P1)$ associée au niveau de risque accepté. En pratique, le rehaussement progressif mené par palier ou demi palier doit suivre les principes suivants :

- Dès que l'on constate sur une journée à palier P constant une stabilisation du niveau H_m , voire une tendance à la baisse, on diminue l'ouverture des vannes.
- Si le niveau H_m dépasse la limite H_{m1} (fig. 10 A à 10 C) 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 2,0 m ou plus.

A titre d'exemple, la figure 13 illustre la procédure à suivre pour rehausser la cote amont de 1,50 m à 2,10 m dans le cas d'une énergie dissipée limitée à 1000 m⁴/s, avec un risque de dépassement de 1/5 ou de 1/25.

Remarque : comme le montrent les figures 10 A à 10 C, le risque de dépassement de la limite d'énergie dissipée est de l'ordre de 1/2 pour 800 m⁴/s, 1/5 pour 1000 m⁴/s et 1/25 pour 1200 m⁴/s, lorsqu'on maintient un niveau 1,50 m alors que le débit à évacuer se situe autour de 1200 m³/s. Ce risque se présente en fin de crue durant une durée assez brève, avant même le début de la remontée du plan d'eau. Il devient très faible dès que le débit à évacuer passe en dessous de 1000 m³/s. La seule façon de l'annuler complètement serait d'accepter un abaissement du plan d'eau en dessous de 1,50 m.

10.4 DEBUT DE CRUE

10.4.1 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. Celle-ci se produisant à une date variable suivant les années (Manantali ne contrôle que la moitié des apports), la solution d'un abaissement à date prédéterminée ne peut être préconisée.

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

Par un raisonnement analogue à celui qui a été mené pour la fin de la crue, on voit que le plan d'eau amont doit avoir été abaissé à la cote 1,50 m avant que les débits entrant dans la retenue ne dépassent le seuil de 1242 m³/s. Pendant cette 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 entre les cotes 1,50 m et 2,00 m 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 de cette 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 Dama, 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 Dama, diminué des pertes et prélèvements intermédiaires.

Comme pour la phase de remontée du niveau en fin de crue, 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 P1 correspondant à ce niveau de risque (fig. 10 A à 10 C, selon l'énergie limite envisagée), identique à celle donnée plus haut pour la remontée du niveau, permet de déterminer le palier d'ouverture maximal en fonction de la cote amont. On en déduit (tableaux 9A à 9D, 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 entre les cotes 2,50 m et 1,50 m. Le fait d'augmenter l'ouverture des vannes par

demi-paliers, minimise les risques de dépassement de l'énergie limite en régime transitoire (figure 11A), et permet un abaissement de niveau plus rapide que le réglage par paliers entiers.

Pour les différents réglages permettant d'effectuer l'abaissement jusqu'à la cote 1,50 m, il est possible de calculer le débit lâché médian et le produit $Q^*(H_m - H_v)$ médian (tableaux 9A à 9D) en appliquant la relation $Q_{1a}(f, H_m, P)$ 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 H_m relatives au début et à la fin de chaque demi-palier.

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 1,50 m en moins de 8 jours (192 heures). Or, la durée de l'abaissement effectué avec les paliers de réglage indiqués dans les tableaux 9A à 9D 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 :

$$(T_2 - T_1) = ((H_m(T_1) - H_m(T_2)) * Z * Y / (Q - Q_{bak} + P_{bd})) / 3600$$

T1 (heures)	:	date
T2 (heures)	:	date postérieure à T1
$H_m(T_1)$ (m)	:	niveau du plan d'eau amont à la date T1
$H_m(T_2)$ (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 (m^3/s)	:	débit moyen lâché du barrage entre les dates T1 et T2
Q_{bak} (m^3/s)	:	débit constant passant à Bakel
P_{bd} (m^3/s)	:	débit des prélèvements et pertes entre Bakel et Diama

En première approximation, le débit P_{bd} des pertes et prélèvements peut être estimé de l'ordre de $100 m^3/s$ 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 demi-palier de réglage défini dans les tableaux 9A à 9D. Inversement, il suffit de déterminer la valeur de débit constant à Bakel pour laquelle la somme des durées des différents demi-paliers est égale à 192 heures. Ces résultats sont indiqués dans les tableaux 9A à 9D.

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 9A à 9D) 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 9A à 9D, est décrite ci-dessous.

10.4.3 PROCEDURE PRECONISEE POUR ABAISSER LE PLAN D'EAU

Pour différents risques de dépassement de $1000 m^4/s$ d'énergie dissipée (resp. 1/5, 1/10, 1/25, 1/50), les figures 14 A à 14 D résument la procédure à respecter pour abaisser le plan d'eau jusqu'à la cote 1,50 m quelle que soit sa cote initiale. Cette procédure est explicitée ci-dessous pour un risque 1/10 de dépassement de $1000 m^4/s$, dans le cas où la cote de départ, maintenue jusqu'à la fin de l'étiage, se situe à 2,00 m :

- 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 356 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 2).

- 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 375 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 2,5).
- 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 379 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 2,5).
- 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 383 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 2,5).
- 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 387 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 3).
- 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 409 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 3).
- 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 412 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 3).
- 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 416 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 3,5).
- 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 441 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 3,5).
- 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 465 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 4).

10.4.4 DATES PROBABLES DE L'ABAISSMENT DE NIVEAU

L'analyse des débits observés à Bakel de 1986 à 1999, permet de repérer les dates de dépassement des débits seuils indiqués dans le tableau 9 B (procédure d'abaissement relative à un risque 1/10 de dépassement de 1000 m⁴/s d'énergie dissipée). Ces dates sont celles à partir desquelles l'abaissement de niveau aurait été déclenché selon la procédure décrite ci-dessus. Elles sont données année par année dans le tableau 10, et leurs fonctions de répartition sont représentées sur la figure 15.

Selon les années, la date à partir de laquelle le niveau ne peut être maintenu au dessus de 2,00 m (début de l'abaissement) se situe entre le 3 juillet et le 18 août. Celle à partir de laquelle le niveau ne peut être maintenu au dessus de 1,55 m (quasi fin de l'abaissement) se situe entre le 1er août et le 2 septembre.

La durée de l'abaissement est également très variable. Pour une année comme 1987, la cote à Bakel passant en 5 jours de 205 à 412 cm, l'abaissement du niveau de la retenue, déclenché le 18 août, doit être effectué en 8 jours. Lors d'une année comme 1992, il peut s'écouler 52 jours entre le moment où le niveau passe en dessous de 2,00 m, et celui où il passe en dessous de 1,55 m.

11 ERREURS DE GESTION A EVITER

11.1 LAMINAGE DES DEBITS DE POINTES DE CRUE

La capacité de stockage du barrage de Diama est très limitée. En considérant, en première approximation, un réservoir de 350 km de long sur 400 m de large, on peut estimer qu'une tranche d'eau de 50 cm y représente un volume de 70 millions de m^3 . Cela signifie par exemple que le niveau amont augmente de 50 cm lorsque le débit entrant diminué des pertes et prélèvements, dépasse le débit lâché de $810 m^3/s$ pendant 24 heures, ou de $1620 m^3/s$ pendant 12 heures. De ce fait, il est complètement illusoire de vouloir protéger la ville de Saint-Louis contre les crues en limitant le débit lâché par le barrage. Ceci peut être illustré par l'exemple suivant :

On envisage le cas où le niveau amont H_m est stabilisé à la cote 1,85 m, alors que toutes les vannes sont grandes ouvertes (palier $P = 22$). Ceci correspond à un débit lâché constant de $2204 m^3/s$, égal au débit entrant Q_e diminué des pertes et prélèvements P_e dans la retenue, eux-mêmes également constants. A partir du temps $T = 0$, on décide de limiter le débit lâché en réglant désormais les sept vannes au palier 20, 16 ou 13. A partir de cet instant, l'évolution du niveau amont, du débit lâché et du produit $Q^*(H_m - H_v)$ peut être décrite par une modélisation simple (régime transitoire négligé) basée sur les relations $Q_1(H_m ; P)$ et $H_v(f=0,5 ; H_m ; P)$, ainsi que sur une relation $Q(Q_e ; P_e ; dH_m/dt)$ traduisant le bilan d'eau dans la retenue. Pour cette dernière relation, on envisage une longueur de réservoir de 150 km au lieu de 350, car on peut considérer que pour des débits transités de l'ordre de $2000 m^3/s$, l'influence de la cote maintenue à Diama devient négligeable au delà de cette distance. Les résultats de la modélisation (figure 16) montrent à la fois l'inefficacité et le danger d'une telle tentative de laminage de crue :

Inefficacité : la diminution du débit lâché est relativement peu importante et limitée aux premières heures suivant la manœuvre. Les apports et pertes étant constants, un stockage et un rehaussement du plan d'eau se produisent dans la retenue, entraînant une augmentation du débit lâché. Cette évolution se poursuit jusqu'à ce que le débit lâché ait rattrapé sa valeur initiale.

Danger. Le rehaussement du plan d'eau amont entraîné par la manœuvre, peut aboutir au dépassement de la limite autorisée de $1000 m^4/s$. Un risque de submersion des digues à l'amont de l'ouvrage peut également se présenter du fait du rehaussement du remous sur une assez longue distance.

11.2 MANŒUVRES DE CHASSE D'EAU

Depuis quelques années, on constate une prolifération de végétaux aquatiques flottants dans la retenue de Diama. Lorsque les vannes sont noyées, et a fortiori quand elles sont fermées ou presque, le passage de l'eau en dessous des vannes ne permet pas d'évacuer ces végétaux vers l'aval, et ceux-ci s'accumulent derrière l'ouvrage.

Des procédures de chasse d'eau, consistant à effacer complètement une vanne de façon temporaire, ont été envisagées pour combattre ce fléau. Ceci ne doit cependant pas être effectué lorsqu'une dénivelée importante existe entre les plans d'eau amont et aval, car on rencontre alors les problèmes décrits plus haut pour le régime transitoire, même si une seule vanne est ouverte. Ceci peut être illustré par la situation suivante, rencontrée lors d'une de ces chasses opérée en 2000 :

Une vanne est grande ouverte, les six autres restant fermées. Les plans d'eau amont et aval se situent respectivement aux cotes 2,00 m et 0,30 m. La formule Q_3 permet alors d'évaluer à $892 m^3/s$ le débit passant par cette unique vanne. Le produit $Q_3^*(H_m - H_v)$ s'élève quant à lui à $1516 m^4/s$, dépassant de 960 % la limite envisagée par vanne (voir plus haut), et dépassant même de 52% la limite autorisée pour l'ensemble des 7 vannes. Pour un niveau amont restant fixé à 2 m, ce débit transitoire diminue jusqu'à l'obtention d'un régime établi qu'on peut approximativement situer (en utilisant les relations $H_v(Q)$ et $Q_3(H_m, H_v)$) vers : $Q = 851 m^3/s$; $H_v = 0,60 m$; $Q^*(H_m - H_v) = 1191 m^4/s$.

Lorsqu'une dénivelée importante existe entre l'amont et l'aval, la meilleure solution pour évacuer les végétaux flottants consiste à utiliser l'écluse du barrage, comme le fait la SOGED depuis quelque temps. La chasse par une vanne grande ouverte doit être évitée, du fait qu'elle s'accompagne d'une dissipation d'énergie pouvant dépasser largement la limite autorisée par le constructeur du barrage.

LISTE DES VARIABLES UTILISEES

- A : pente de variation de la cote aval en fonction de la cote amont (cas des vannes noyées)
- a1 : paramètre de la relation $P1(Hm)$
- a2 : paramètre de la relation $P2(Hm)$
- B : constante dans la relation entre cote amont et cote aval (cas des vannes noyées)
- b1 : paramètre de la relation $P1(Hm)$
- b2 : paramètre de la relation $P2(Hm)$
- c1 : paramètre de la relation $P1(Hm)$
- c2 : paramètre de la relation $P2(Hm)$
- D : longueur du bief Diama-Rosso
- d1 : paramètre de la relation $P1(Hm)$
- d2 : paramètre de la relation $P2(Hm)$
- E : ouverture verticale des vannes (entre 0 (vannes fermées) et 11,25 m)
- f : fréquence de dépassement
- g : accélération de pesanteur (= 9,81 m)
- grad(Hm) : vitesse de variation de la cote du plan d'eau à l'amont de Diama
- grad(Hr) : vitesse de variation de la cote du Sénégal à Rosso
- Hf : cote du fond représentative du bief Rosso-Diama
- Hm : cote à l'amont du barrage
- Hm1 : niveau amont maximal qui, pour un palier de réglage donné, permet de dépasser la limite $1000 \text{ m}^4/\text{s}$ avec un risque inférieur à 1 sur 5
- Hm2 : niveau du plan d'eau amont à la date T2
- Hr : cote du Sénégal à Rosso
- H2 : cote amont pour laquelle s'annule la formule de débit Q2
- Ho : niveau du fond, où reposent les vannes fermées (= -8,97 m)
- Hv : cote à l'aval du barrage
- Hv1 : cote à l'aval du barrage, qui pour un débit lâché donné, n'est dépassée qu'une fois sur 50
- Hv2 : cote à l'aval du barrage, qui pour un débit lâché donné, est dépassée 49 fois sur 50
- k : coefficient de Manning Strickler
- Ks : coefficient de débit dans la formule Qs
- K1 : coefficient de débit dans la formule Q1
- K2 : coefficient de débit dans la formule Q2
- K3 : coefficient de débit dans la formule Q3
- L : largeur de vanne (= 20 m)
- l : largeur moyenne représentative du bief entre Rosso et Diama
- m1 : exposant égal à $5/3$ dans la formule de Manning Strickler
- m2 : exposant égal à $0,5$ dans la formule de Manning Strickler

- N : nombre de vannes ouvertes
- n : nombre d'écarts types séparant une valeur (dépassée à la fréquence f) de la valeur moyenne, dans le cas d'une distribution normale
- n1 : exposant de la dénivelée (cote amont moins cote aval), dans la formule Q1
- n2 : exposant de la cote amont dans la formule Q2
- n3 : exposant de la dénivelée (cote amont moins cote aval), dans la formule Q3
- P : palier de réglage des vannes (entre 0 (vannes fermées) et 23)
- Pe : débit des prélèvements et pertes dans la retenue.
- Pbd : débit des prélèvements et pertes entre Bakel et Diama
- Prd : débit représentatif des pertes et prélèvements moyens entre Rosso et Diama
- P1 : palier maximal de réglage de vanne permettant, pour une cote amont donnée, de maintenir la valeur du produit $Q^*(H_m - H_v)$ en dessous de 1000 m⁴/s avec une probabilité donnée
- P2 : palier minimal de réglage de vanne permettant, pour une cote amont donnée, de maintenir la valeur du produit $Q^*(H_m - H_v)$ en dessous de 1000 m⁴/s avec une probabilité donnée
- Q : débit lâché par le barrage
- Qbak : débit constant passant à Bakel
- Qe : débit entrant dans la retenue
- Qi : débit lâché par la vanne de rang i
- Qr : débit du Sénégal à Rosso
- Qs : débit lâché par le barrage, formule utilisée par la SOGEM
- Q1 : débit lâché par le barrage, calculé à partir de H_m , H_v et E. Formule utilisée dans le cas des vannes noyées
- Q1a : débit par vannes noyées, estimé à partir des relations $Q_1(H_v, H_m, E)$ et $H_v(H_m, P)$
- Q1b : débit par vannes noyées, estimé à partir des relations $Q_1(H_v, H_m, E)$ et $H_v(Q)$
- Q2 : débit lâché par le barrage en régime établi, calculé à partir de H_m . Formule utilisée dans le cas des vannes effacées
- Q3 : débit lâché par le barrage en régime transitoire, calculé à partir de H_m , H_v et E. Formule utilisée dans le cas des vannes effacées
- σ : écart type résiduel (écart type des erreurs d'ajustement d'une formule par rapport aux valeurs mesurées)
- S : écart type résiduel de la relation donnant la cote aval à partir de la cote amont (cas des vannes noyées)
- T1 : date
- T2 : date postérieure à T1
- Y : largeur du plan d'eau à abaisser (ordre de grandeur : 400 m)
- Z : longueur du plan d'eau à abaisser (ordre de grandeur : 350000 m)
- x : nombre de paliers associé à la modification de réglage des vannes

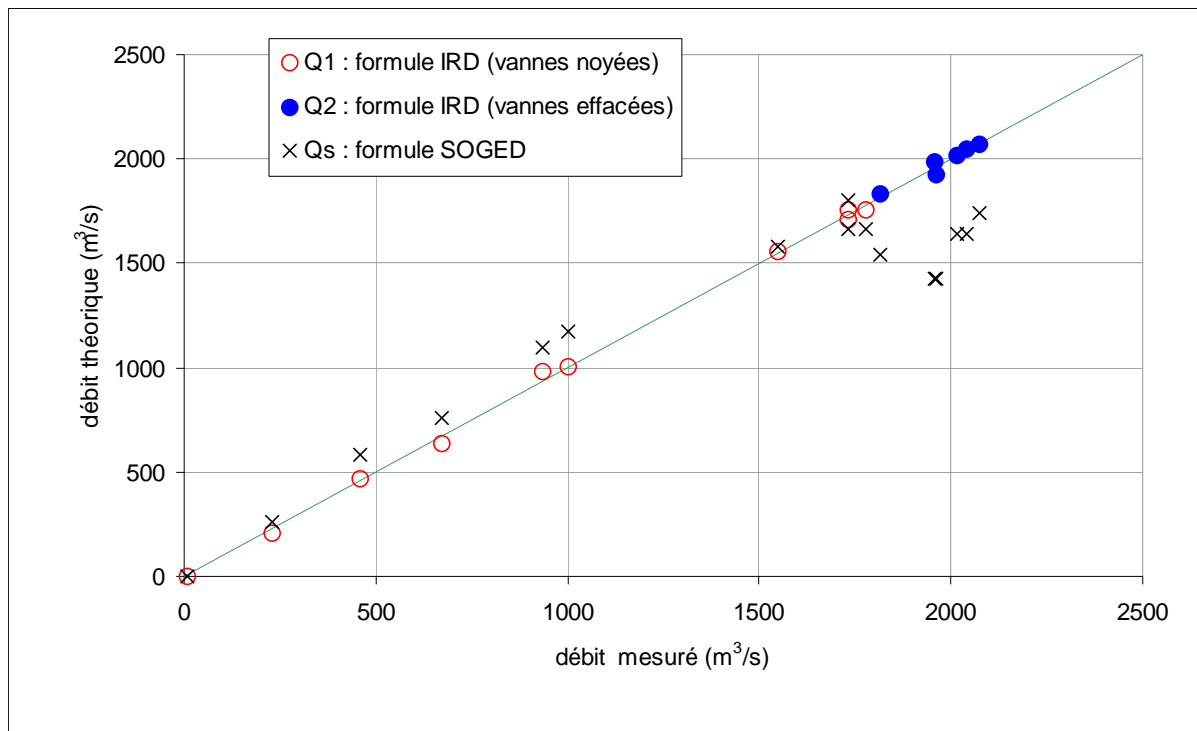


figure 1 : comparaison des valeurs de débit mesurées et des valeurs théoriques obtenues par les formules Q1 et Q2 (calage IRD) et Qs (utilisé par SOGED).

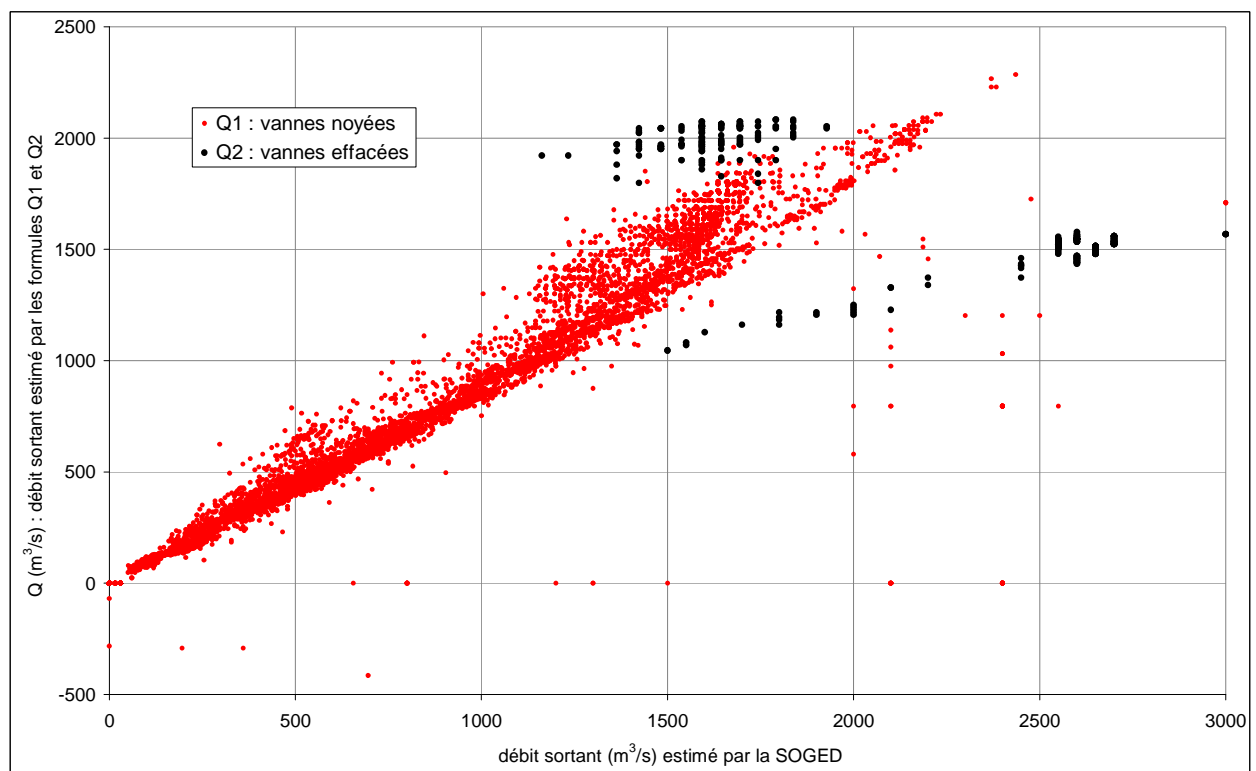


figure 2 : Comparaison des débits sortants estimés par la SOGED et par l'IRD, sur 12008 relevés effectués entre 1986 et 1999.

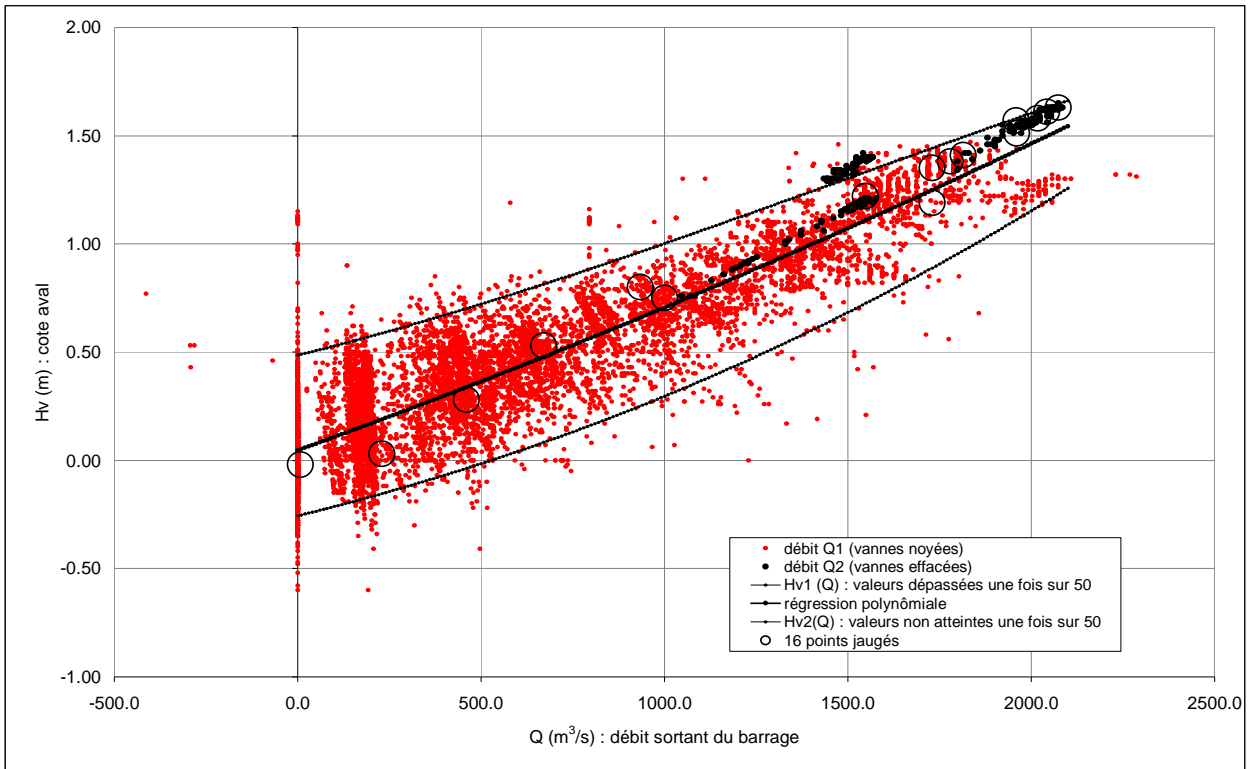


figure 3 : relation entre le débit sortant du barrage (calculé par les formules Q1 et Q2) et la cote relevée à l'aval de l'ouvrage

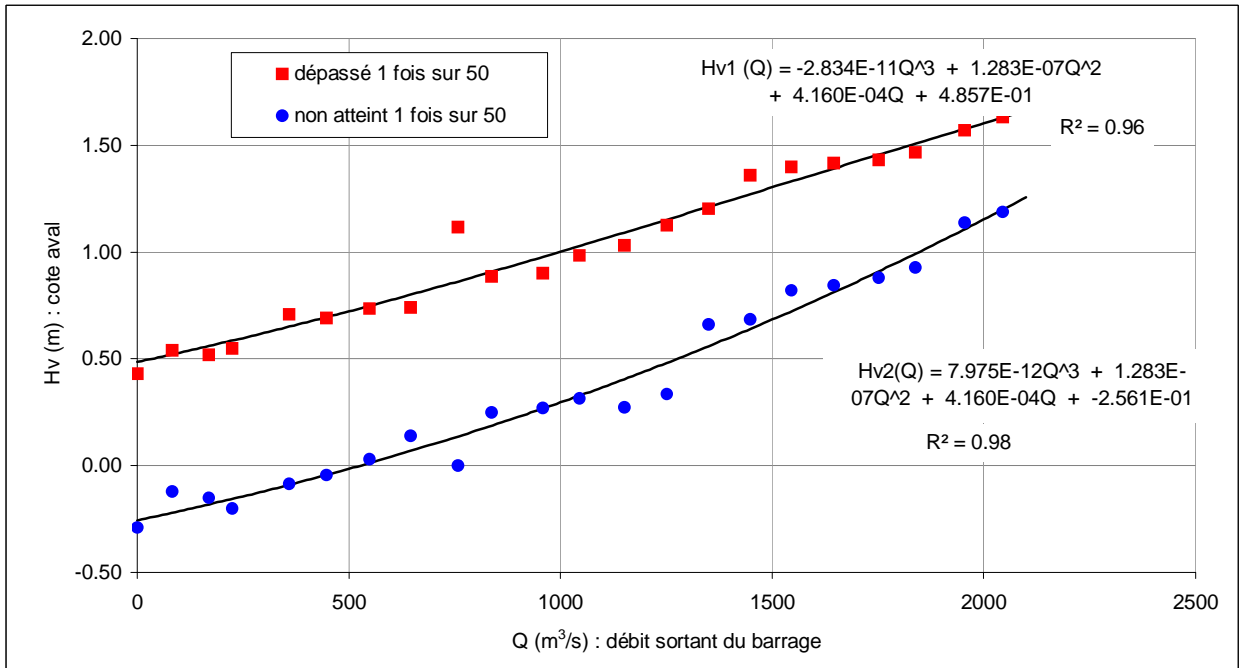


figure 4 : Valeurs extrêmes (quantiles 1/50 et 49/50) de la cote aval H_v , en fonction du débit sortant du barrage.

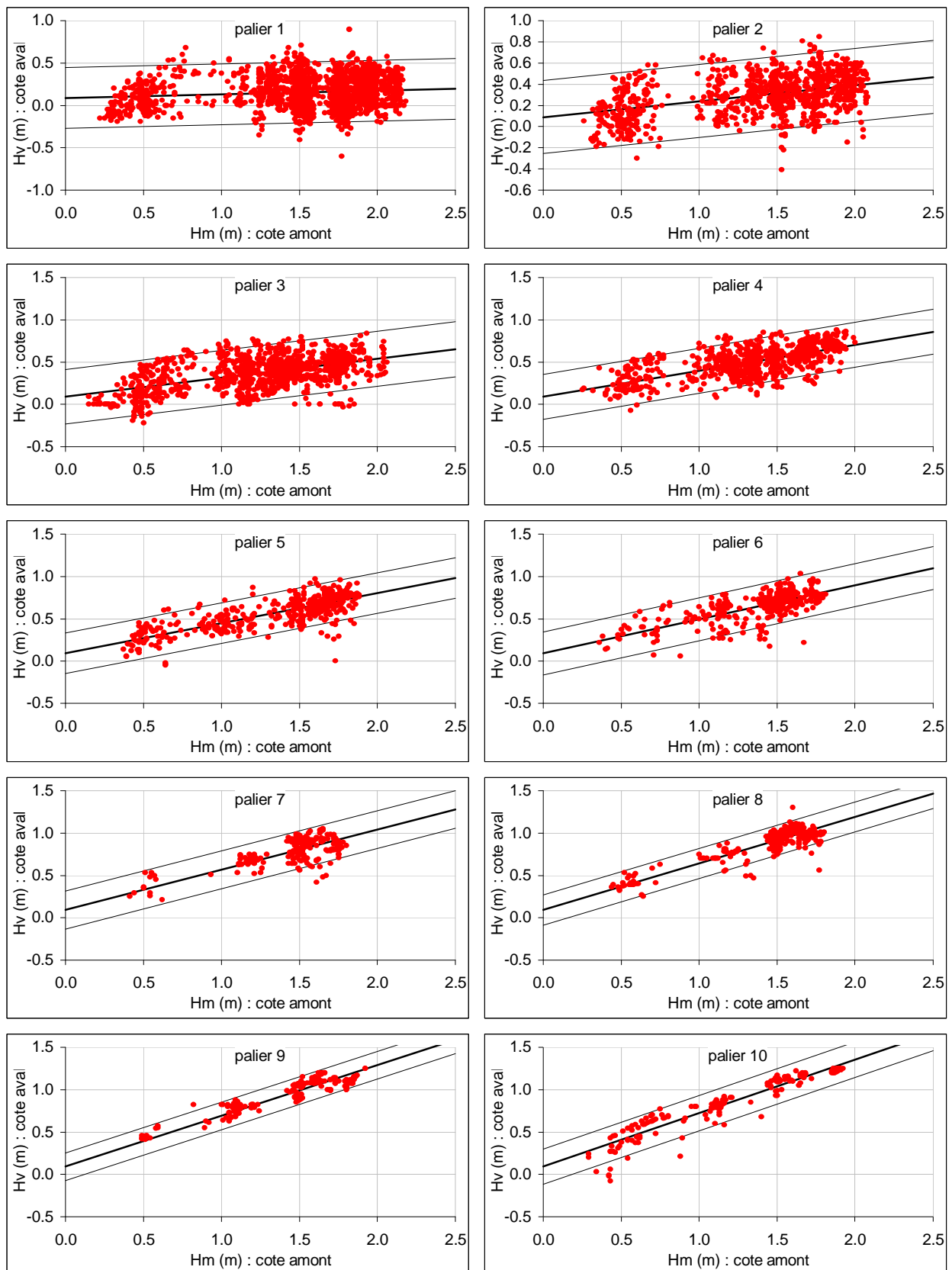


figure 5A : relation entre les cotes amont et aval, pour des paliers de réglage de vannes situés entre 1 et 10. Régression linéaire moyenne plus ou moins 2,055 écarts types résiduels (fréquence 1/50)

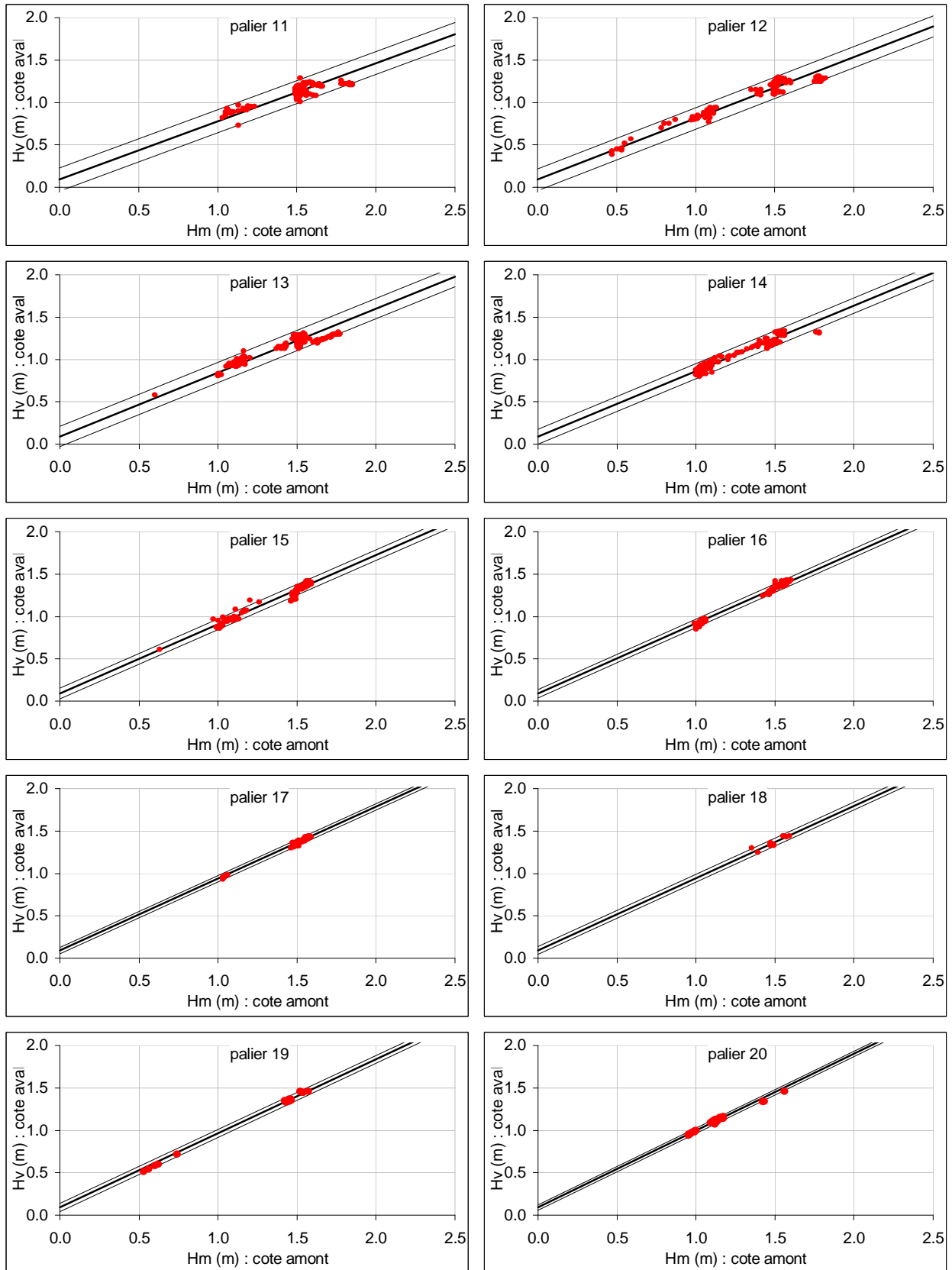


figure 5B : relation entre les cotes amont et aval, pour des paliers de réglage de vannes situés entre 11 et 20. Régression linéaire moyenne plus ou moins 2,055 écarts types résiduels (fréquence 1/50)

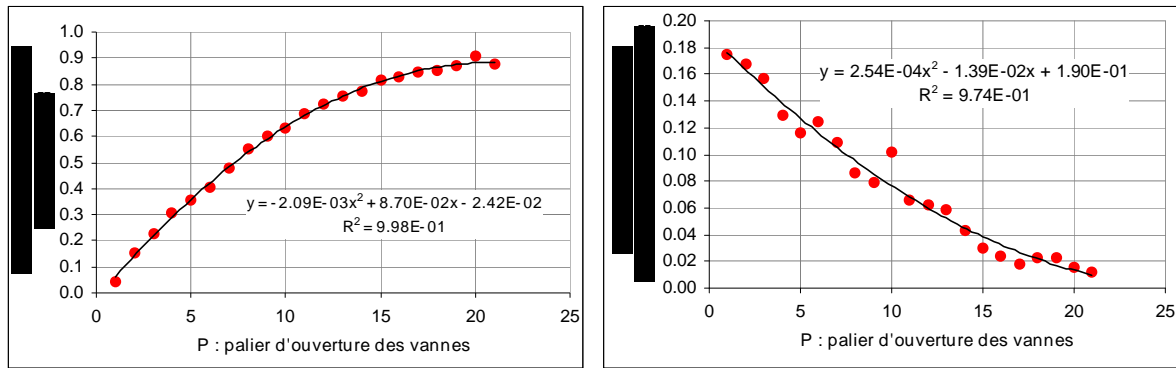


figure 6 : détermination du coefficient de régression A et de l'écart type résiduel S de la relation $H_v = A * H_m + B$, en fonction du palier de réglage P des vannes

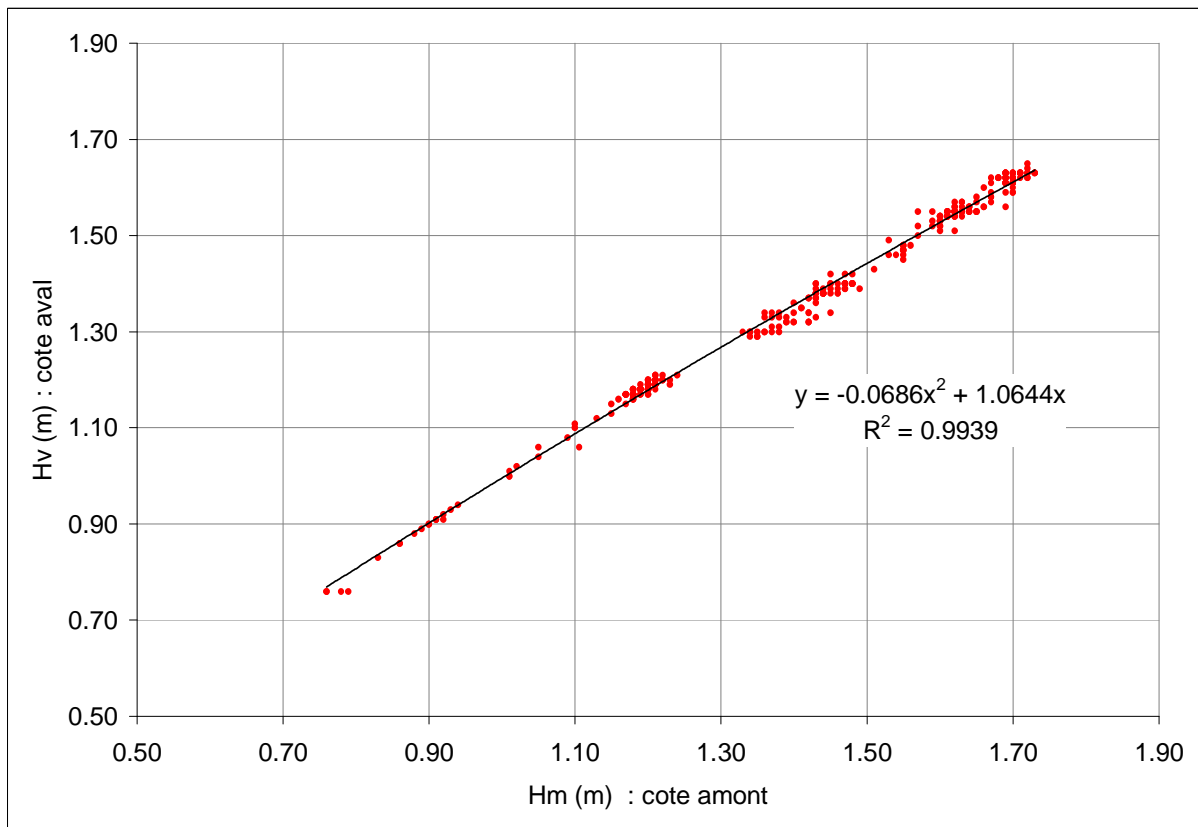


figure 7 : relation entre cotes amont et aval quand les vannes sont effacées

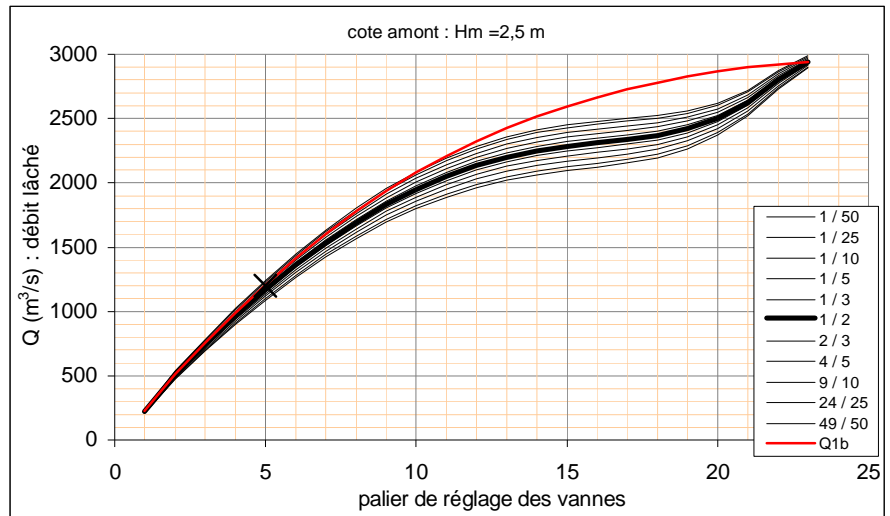
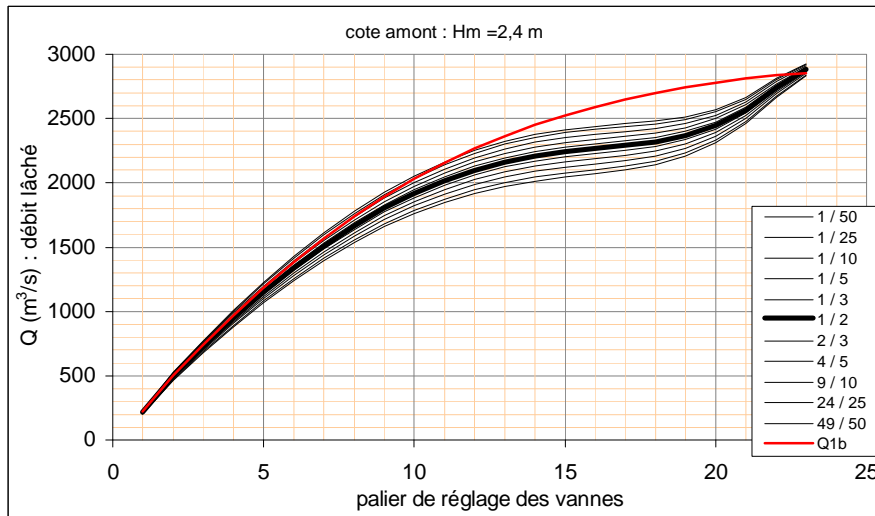
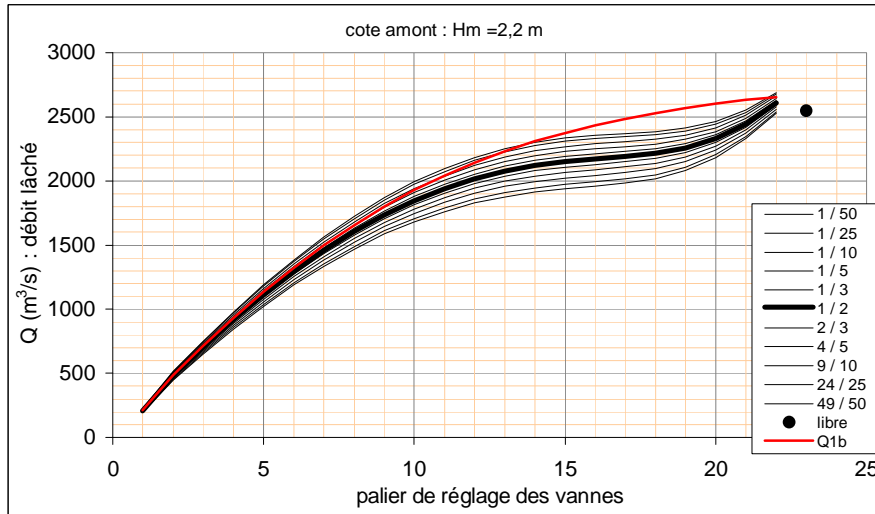


figure 8A : débit dépassé en régime établi (estimation Q1a à partir des relations Q1(Hv,Hm,E) et Hv(Hm,P)) pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 220, 230, 240 ou 250 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 250 cm, le réglage des vannes au palier 5 donne $Q > 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ 1 fois sur 5

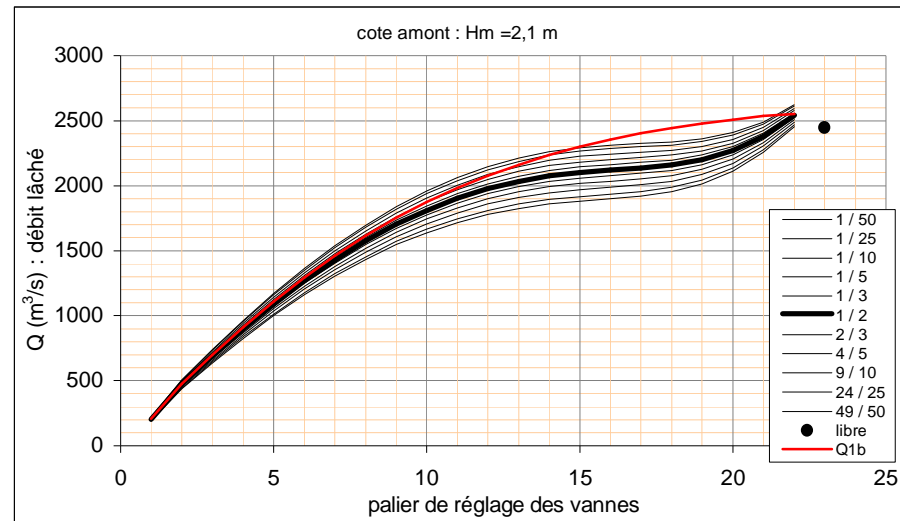
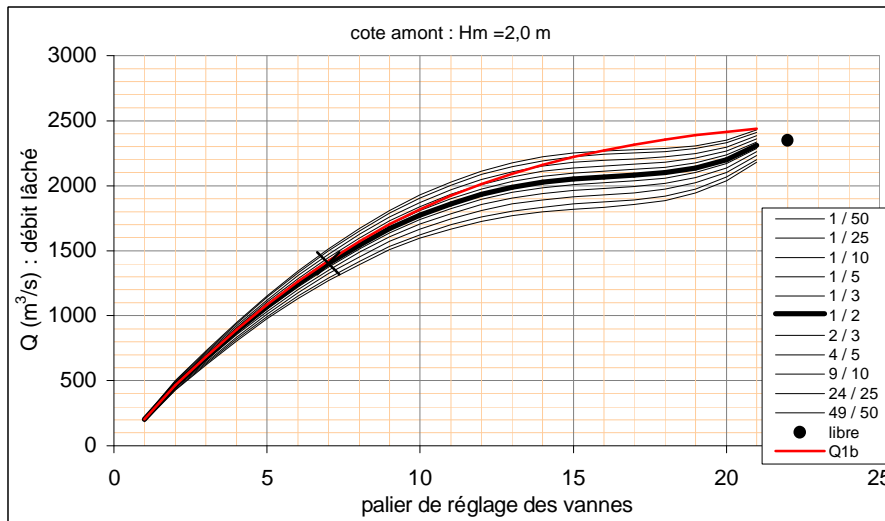
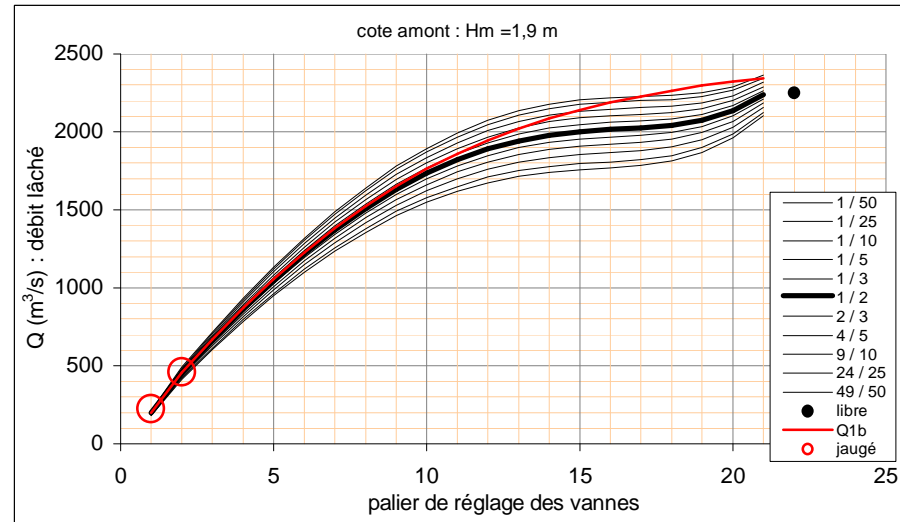
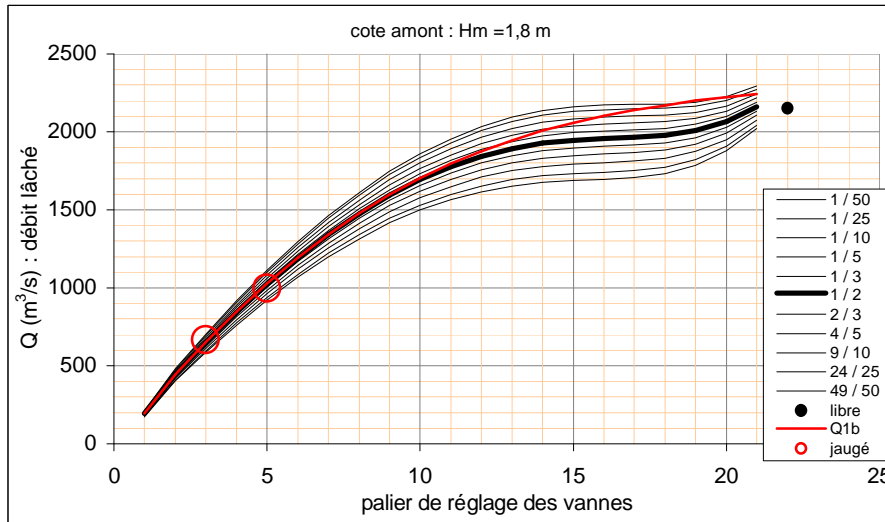


figure 8B : débit dépassé en régime établi (estimation Q1a à partir des relations Q1(Hv,Hm,E) et Hv(Hm,P)) pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 180, 190, 200 ou 210 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 200 cm, le réglage des vannes au palier 7 donne $Q > 1401 \text{ m}^3/\text{s}$ 1 fois sur 2

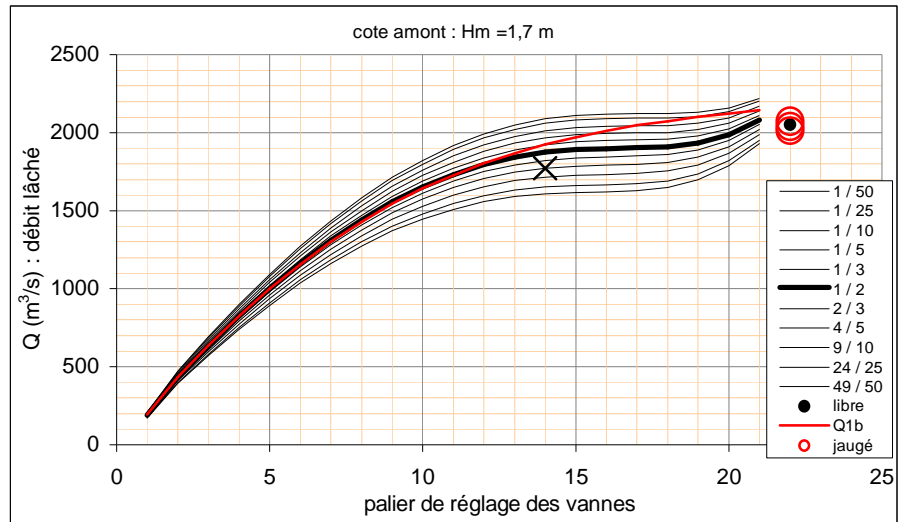
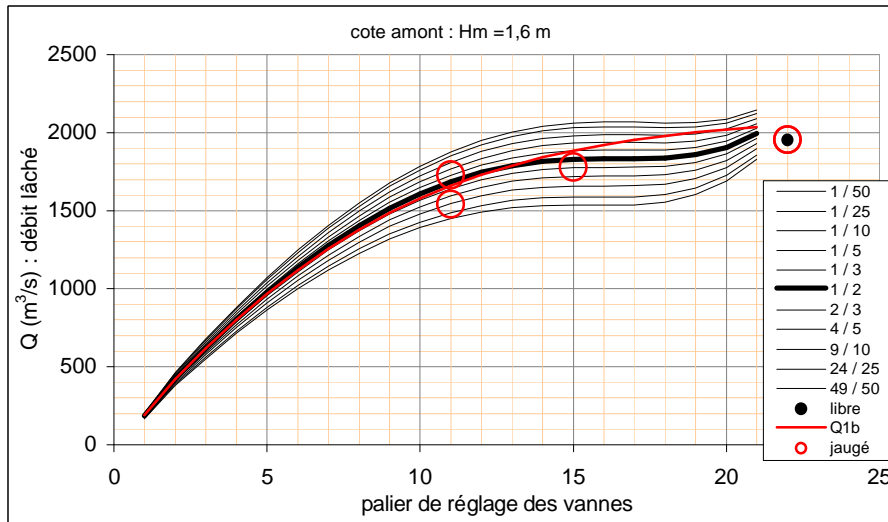
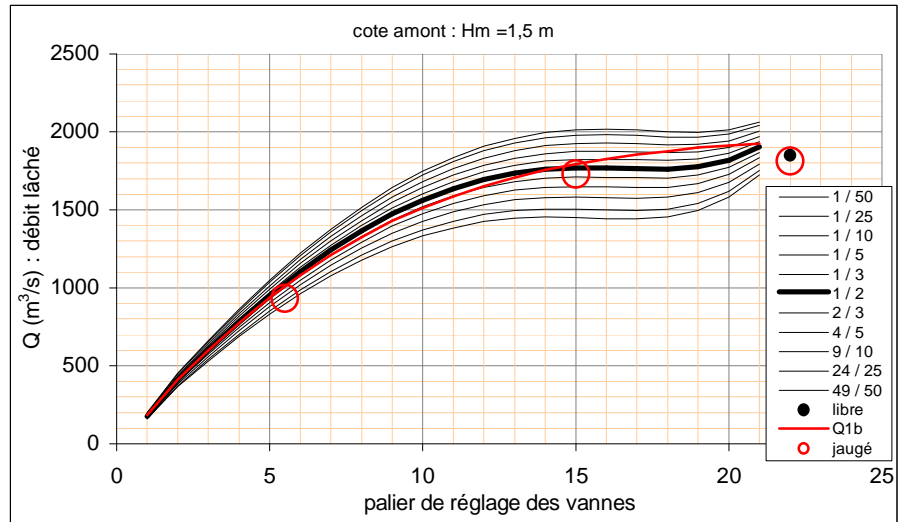
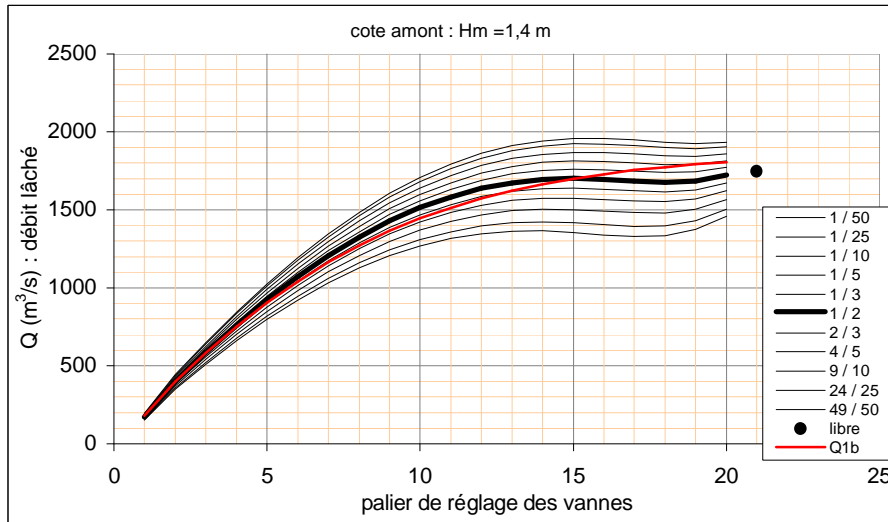


figure 8C : débit dépassé en régime établi (estimation Q1a à partir des relations Q1(Hv,Hm,E) et Hv(Hm,P)) pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 140, 150, 160 ou 170 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 170 cm, le réglage des vannes au palier 14 donne $Q > 1773 \text{ m}^3/\text{s}$ 4 fois sur 5

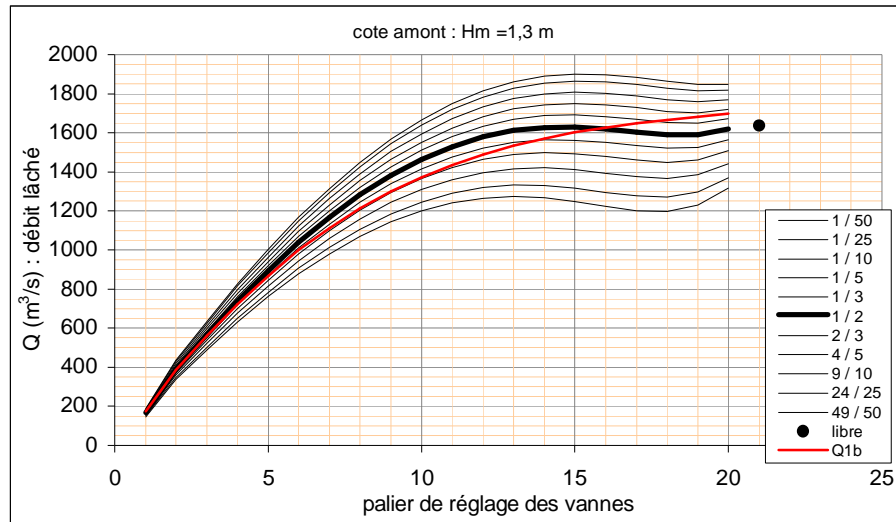
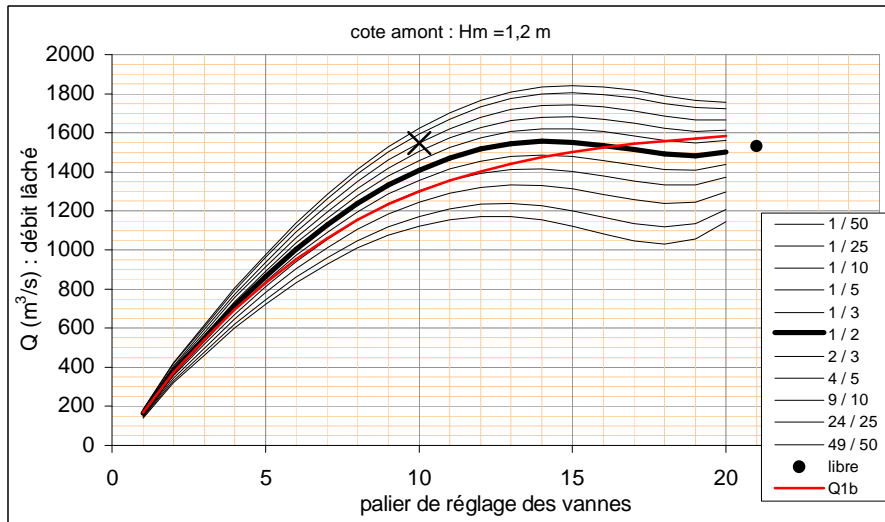
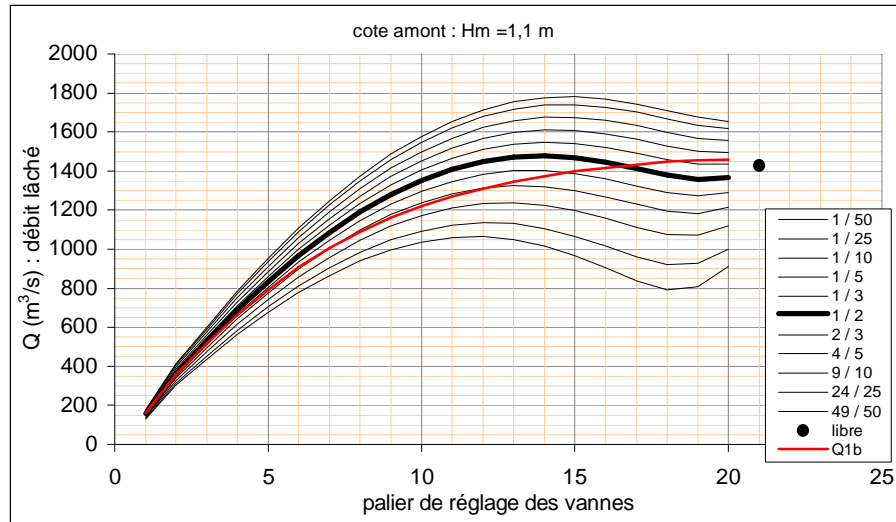
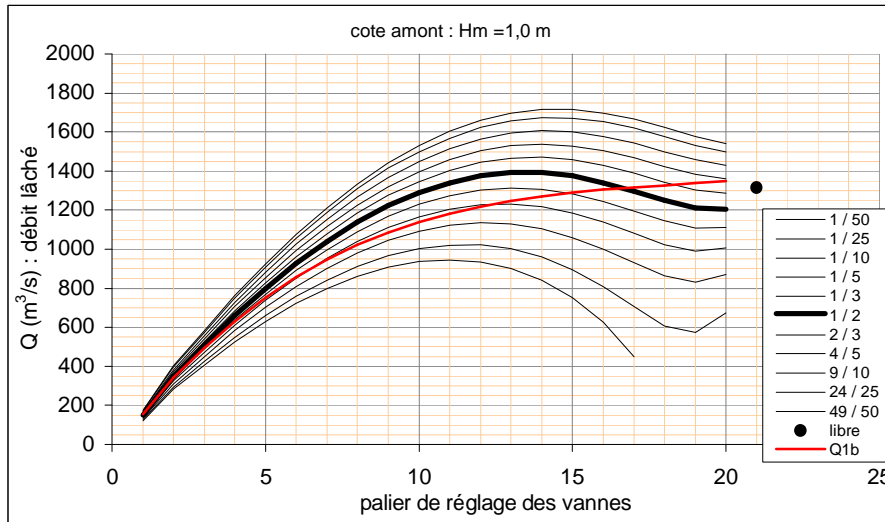


figure 8D : débit dépassé en régime établi (estimation Q1a à partir des relations $Q1(H_v, H_m, E)$ et $H_v(H_m, P)$) pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 100, 110, 120 ou 130 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 120 cm, le réglage des vannes au palier 10 donne $Q > 1549 \text{ m}^3/\text{s}$ une fois sur 10

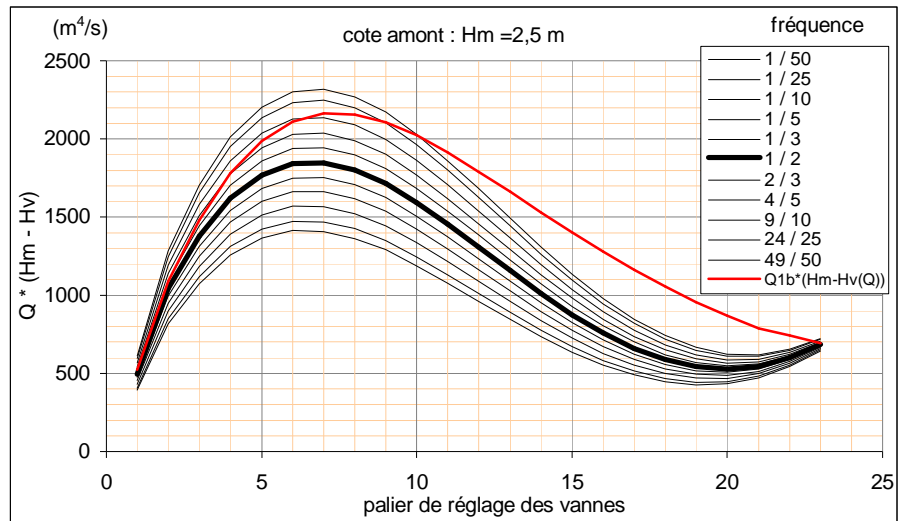
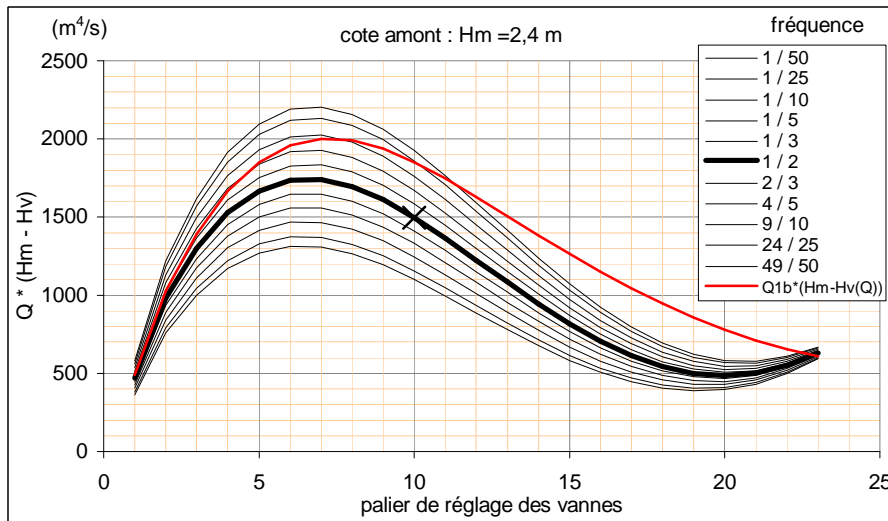
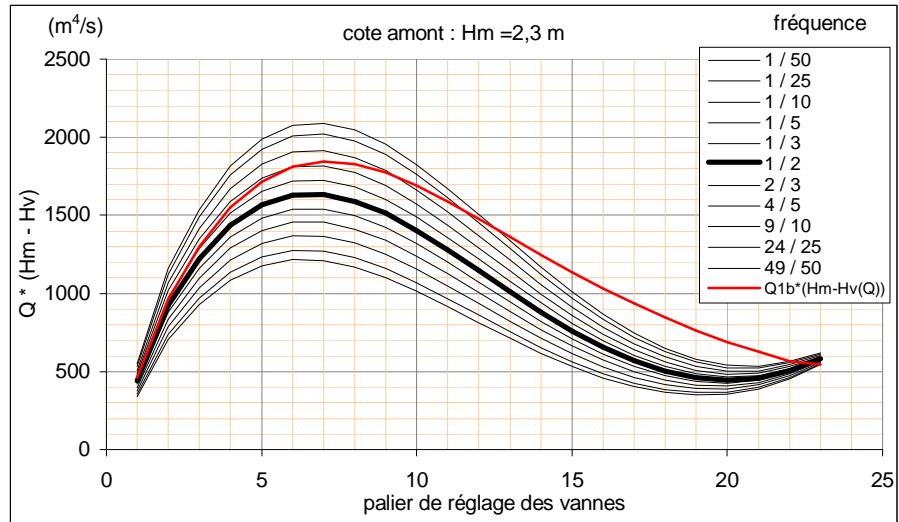
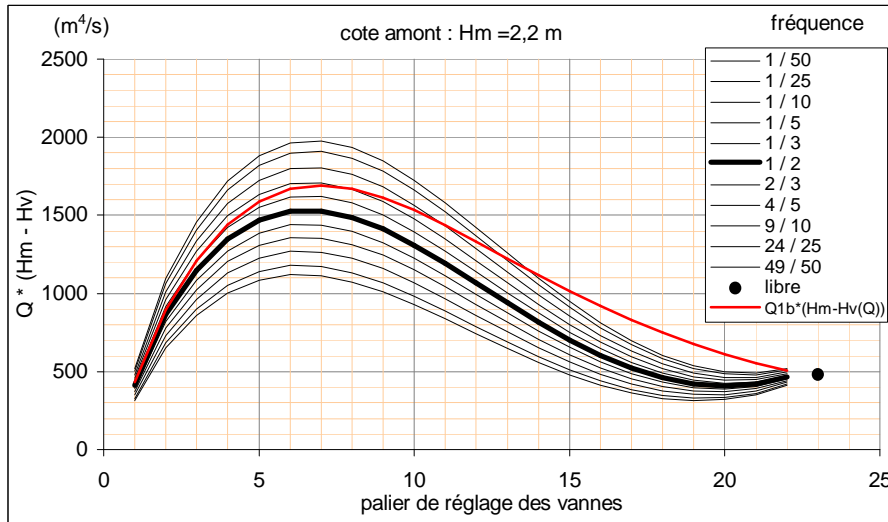


figure 9A : valeurs du produit $Q^*(Hm-Hv)$ dépassées en régime établi pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 220, 230, 240 ou 250 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 240 cm, le réglage des vannes au palier 10 donne $Q^*(Hm - Hv) > 1498 \text{ m}^4/\text{s}$ 1 fois sur 2

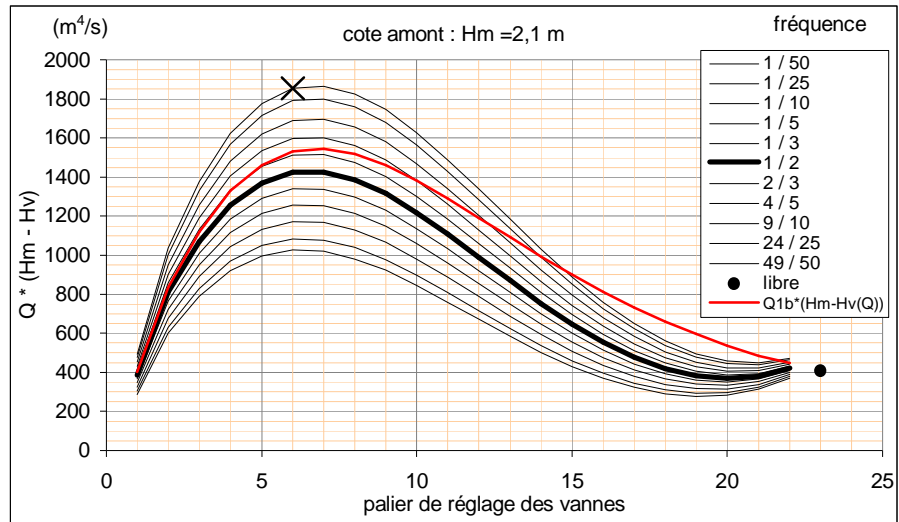
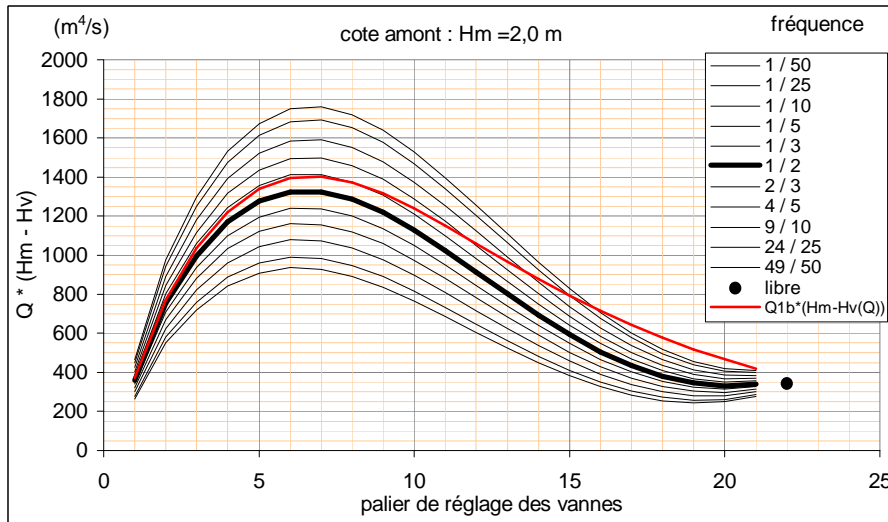
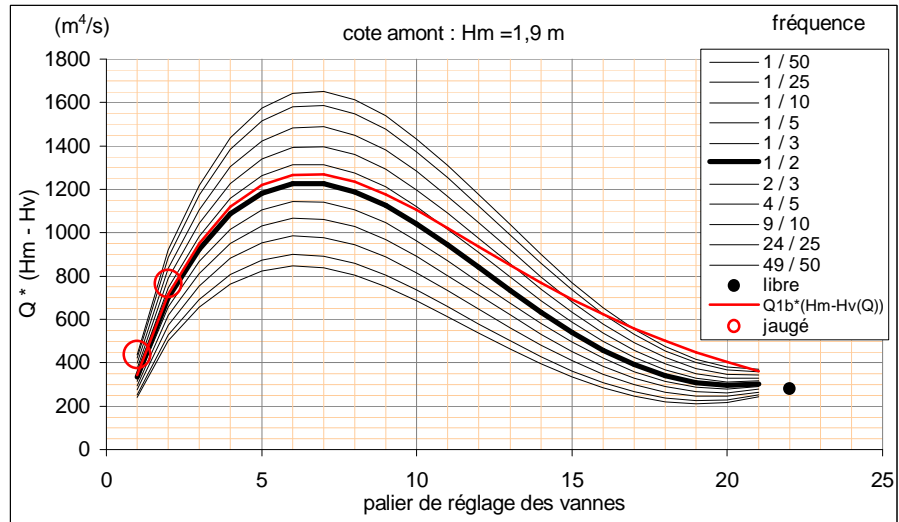
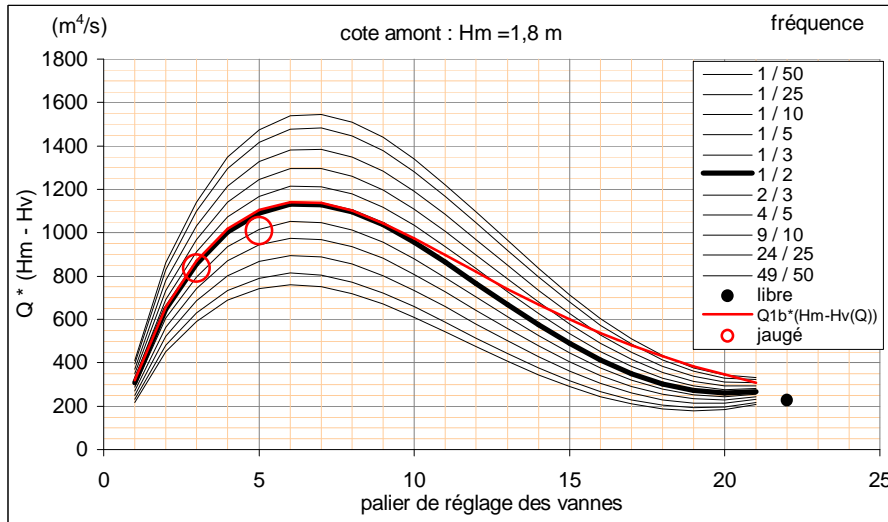


figure 9B : valeurs du produit $Q^*(Hm-Hv)$ dépassées en régime établi pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 180, 190, 200 ou 210 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 210 cm, le réglage des vannes au palier 6 donne $Q^*(Hm - Hv) > 1856 m^4/s$ 1 fois sur 50

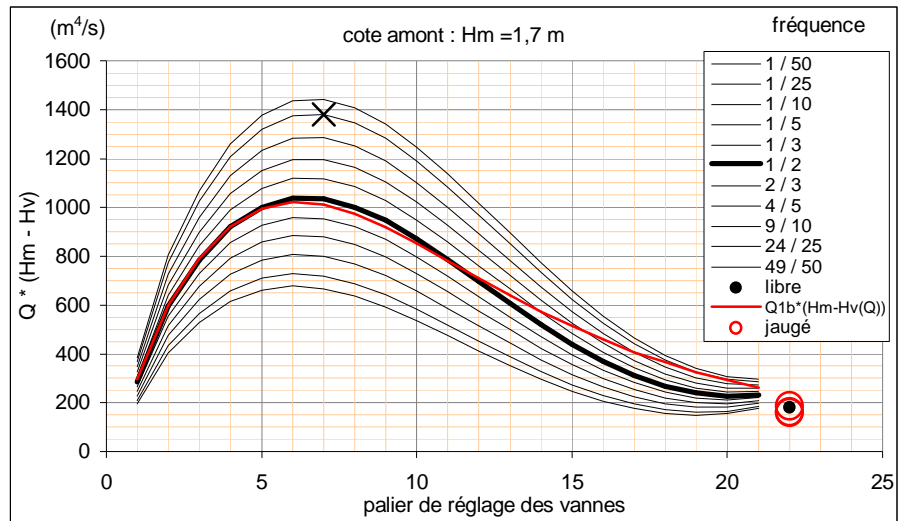
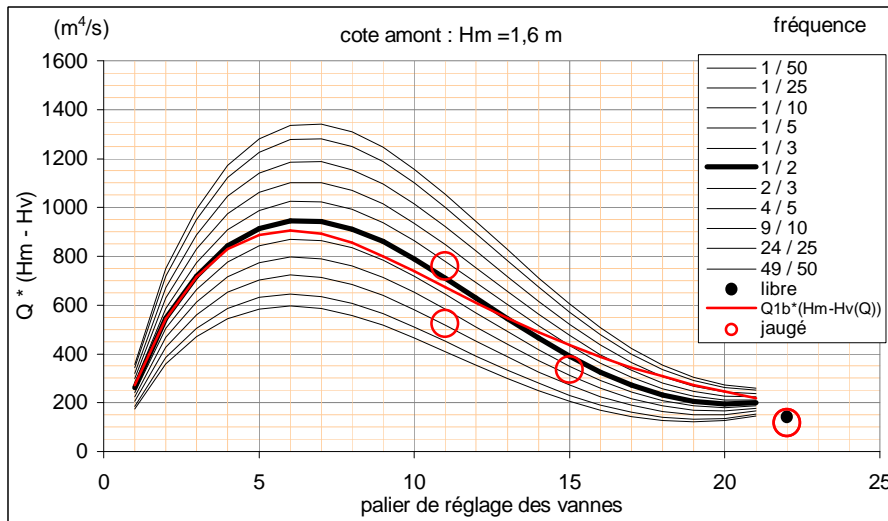
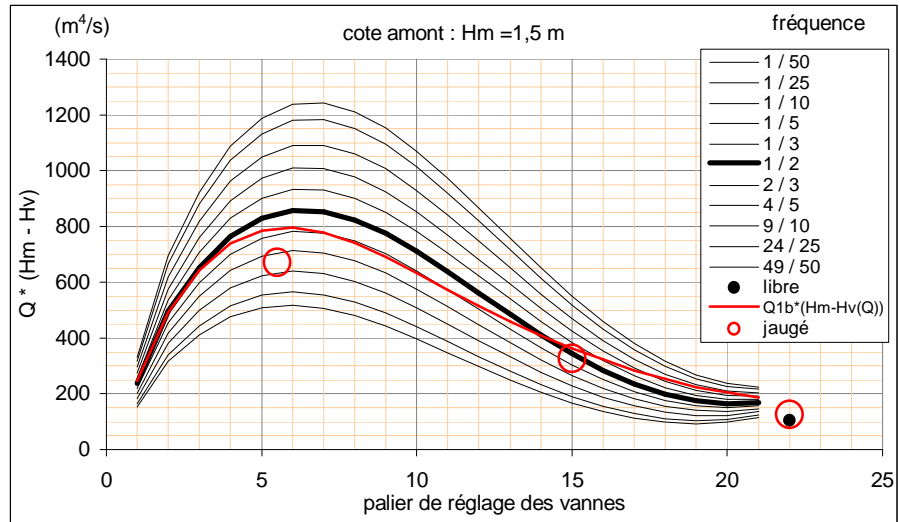
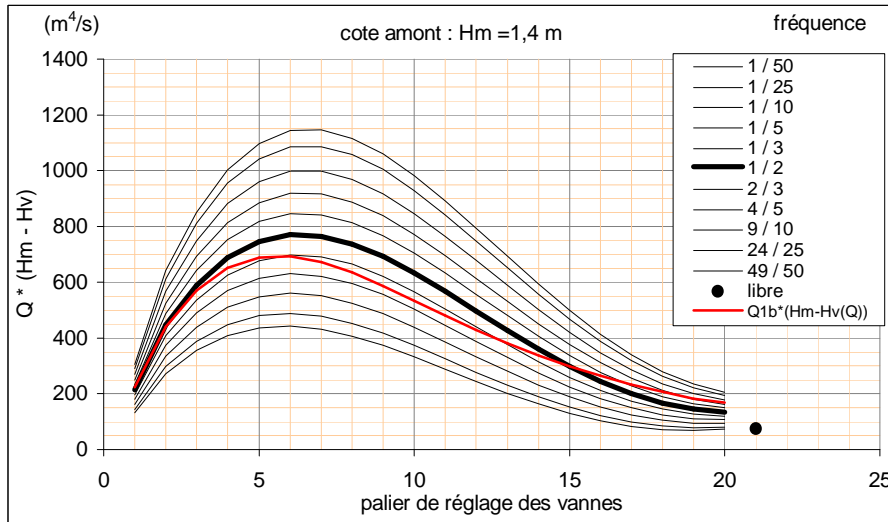


figure 9C : valeurs du produit $Q^*(Hm-Hv)$ dépassées en régime établi pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 140, 150, 160 ou 170 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 170 cm, le réglage des vannes au palier 7 donne $Q^*(Hm - Hv) > 1380 \text{ m}^4/\text{s}$ 1 fois sur 25

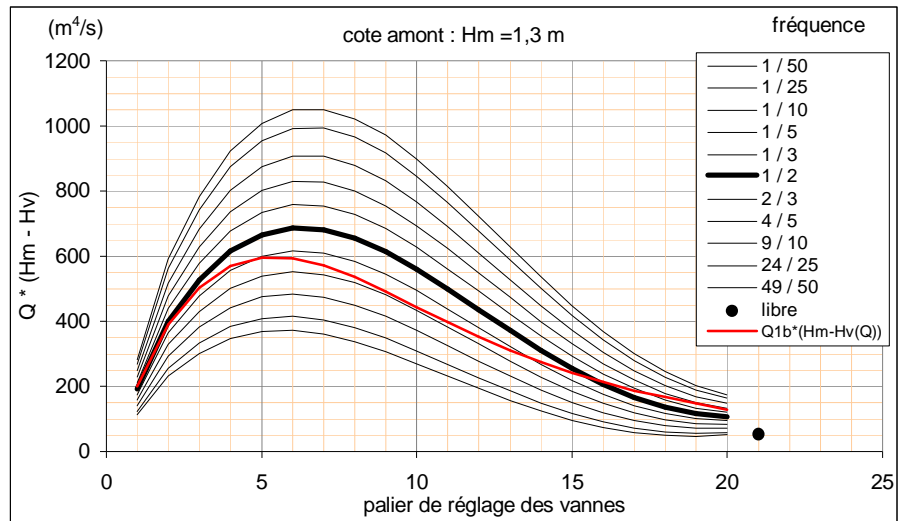
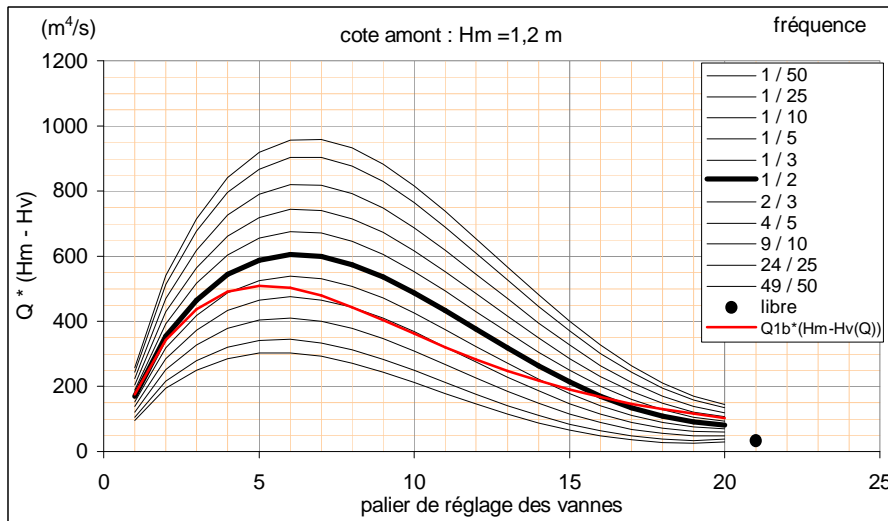
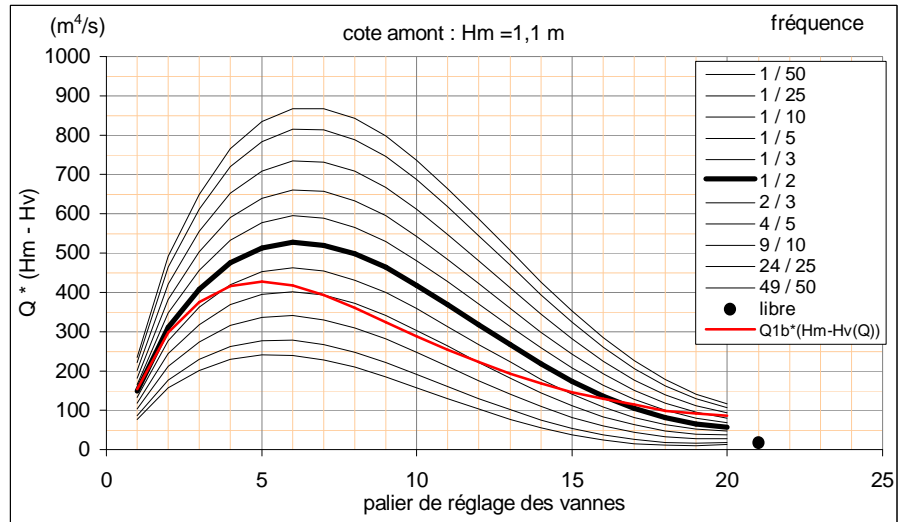
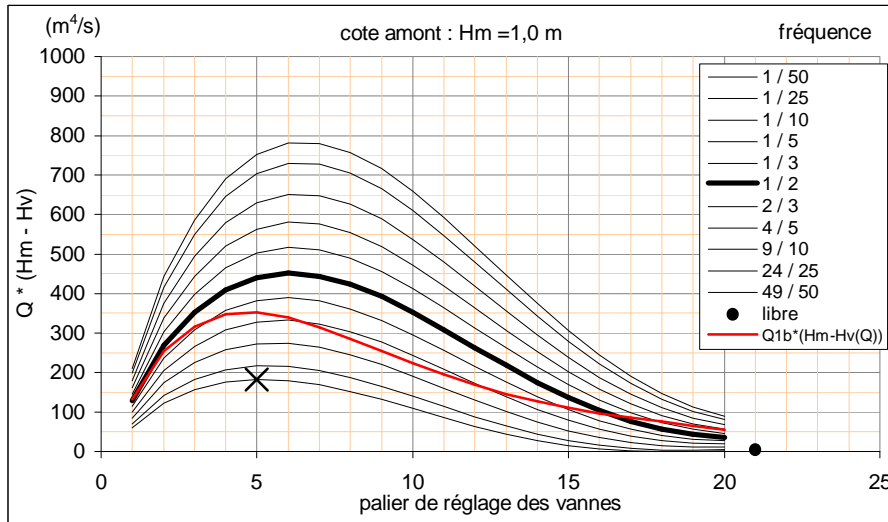


figure 9D : valeurs du produit $Q^*(H_m - H_v)$ dépassées en régime établi pour différentes récurrences en fonction du palier de réglage des vannes, pour une cote amont égale à 100, 110, 120 ou 130 cm, dans le cas où les 7 vannes sont ouvertes.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 100 cm, le réglage des vannes au palier 5 donne $Q^*(H_m - H_v) > 183 \text{ m}^4/\text{s}$ 49 fois sur 50

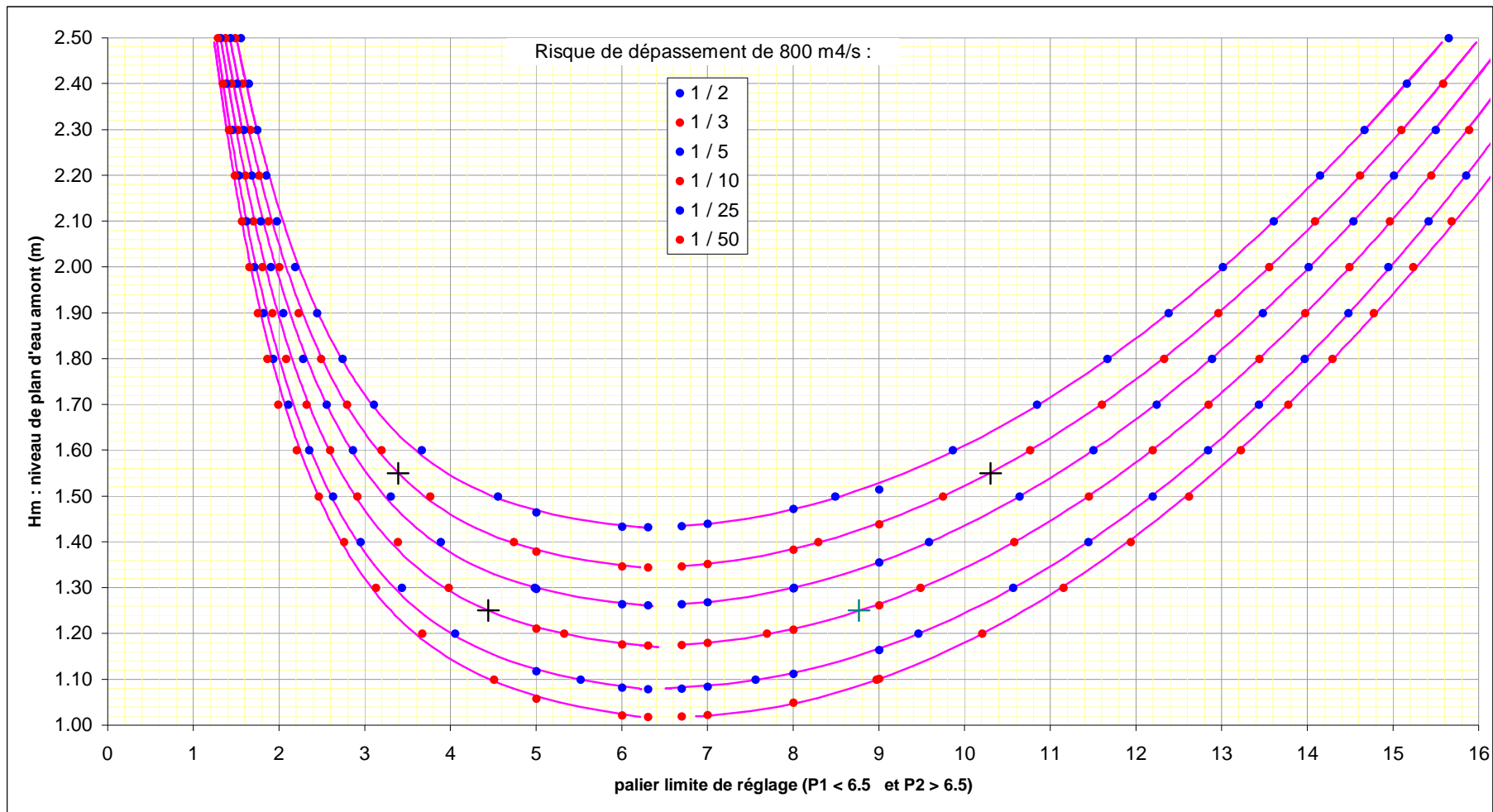


figure 10 A : paliers limites de réglage des vannes associés au dépassement de **800 m⁴/s** en régime établi à diverses récurrences, en fonction de la cote amont Hm. Relations P1(Hm1) pour P1<6,5 et P2(Hm2) pour P2>6,5

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 10 le risque de dépassement de 800 m⁴/s quand la cote amont vaut 1,25 m, il est nécessaire de régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 4,4, soit supérieur à P2 = 8,8 ; pour limiter à 1 sur 3 ce risque quand la cote amont vaut 1,55 m, il faut régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 3,4, soit supérieur à P2 = 10,3.

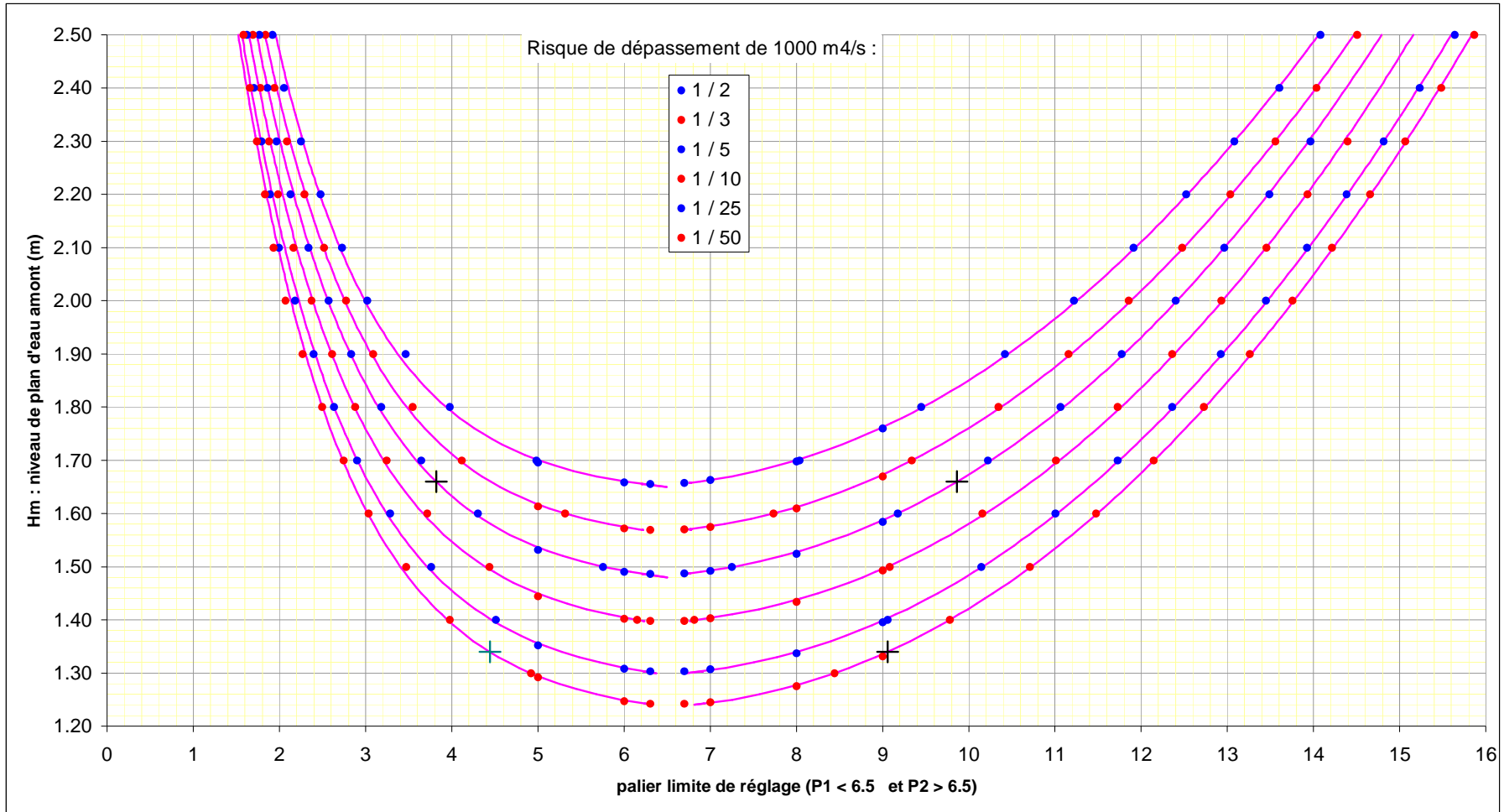


figure 10 B : paliers limites de réglage des vannes associés au dépassement de **1000 m⁴/s** en régime établi à diverses récurrences, en fonction de la cote amont Hm. Relations P1(Hm1) pour P1<6,5 et P2(Hm2) pour P2>6,5

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 50 le risque de dépassement de 1000 m⁴/s quand la cote amont vaut 1,34 m, il est nécessaire de régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 4,4, soit supérieur à P2 = 9,1 ; pour limiter à 1 sur 5 le risque de dépassement de 1000 m⁴/s avec une cote amont de 1,66 m, il faut régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 3,8, soit supérieur à P2 = 9,9.

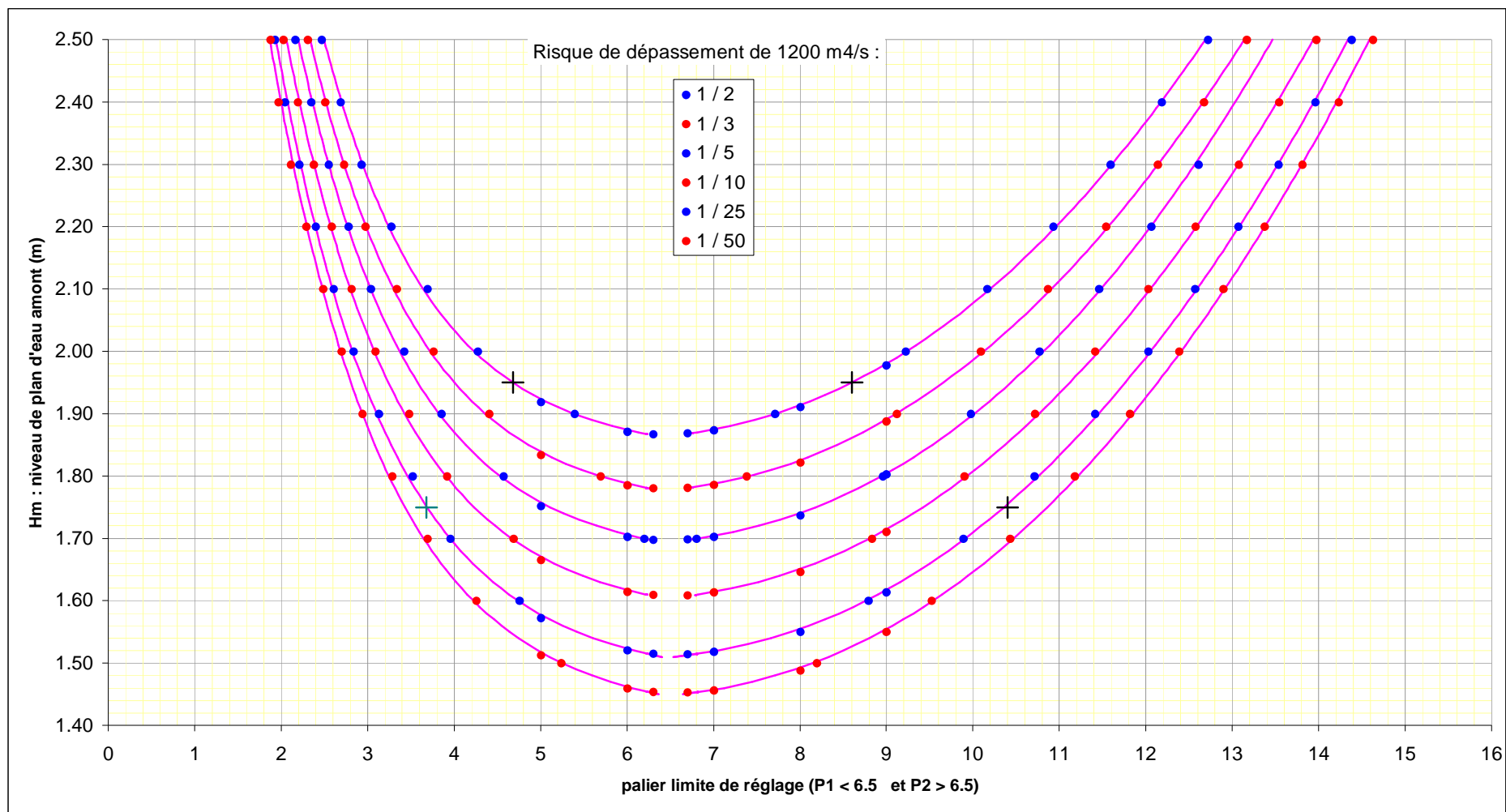


figure 10 C : paliers limites de réglage des vannes associés au dépassement de **1200 m⁴/s** en régime établi à diverses récurrences, en fonction de la cote amont Hm. Relations P1(Hm1) pour P1<6,5 et P2(Hm2) pour P2>6,5

Exemples d'interprétation (+) : pour limiter à 1 sur 25 le risque de dépassement de 1200 m⁴/s quand la cote amont vaut 1,75 m, il est nécessaire de régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 3.7, soit supérieur à P2 = 10,4 ; pour limiter à 1 sur 2 le risque de dépassement de 1200 m⁴/s quand la cote amont vaut 1,95m, il faut régler les vannes à un palier soit inférieur à P1 = 4,7, soit supérieur à P2 = 8,6.

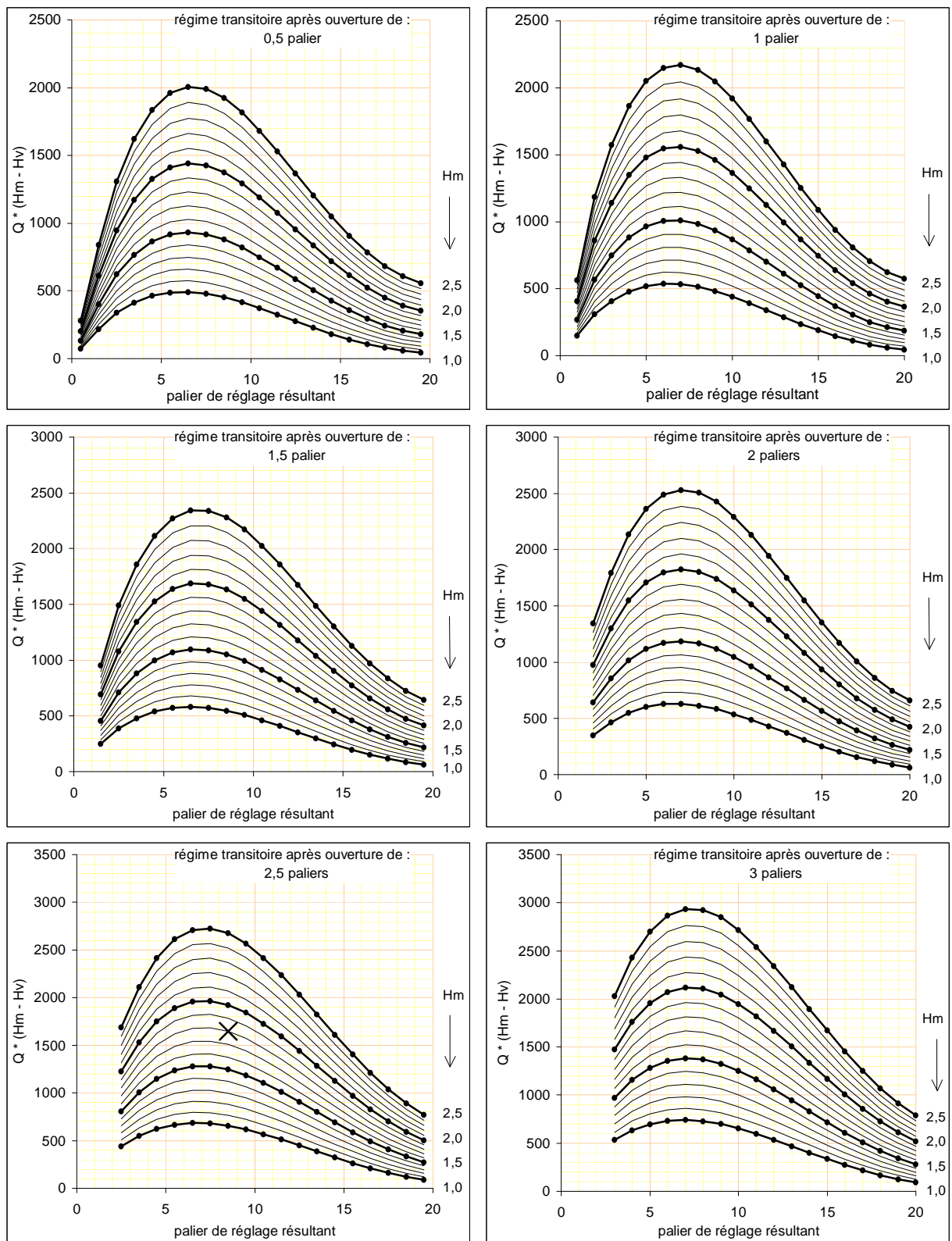


figure 11A : Valeurs médianes du produit $Q^* (Hm - Hv)$ en fonction du réglage des vannes pour une cote amont Hm située entre 1,0 m et 2,5 m, au début du régime transitoire consécutif à une augmentation d'ouverture des 7 vannes comprise entre 0,5 et 3 paliers.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 1,80 m et un régime d'écoulement établi au palier de réglage 6, le passage instantané au palier 8,5 (augmentation de 2,5) se traduit par un régime transitoire au début duquel le produit $Q^*(Hm - Hv)$ se situe probablement vers $1644 \text{ m}^4/\text{s}$

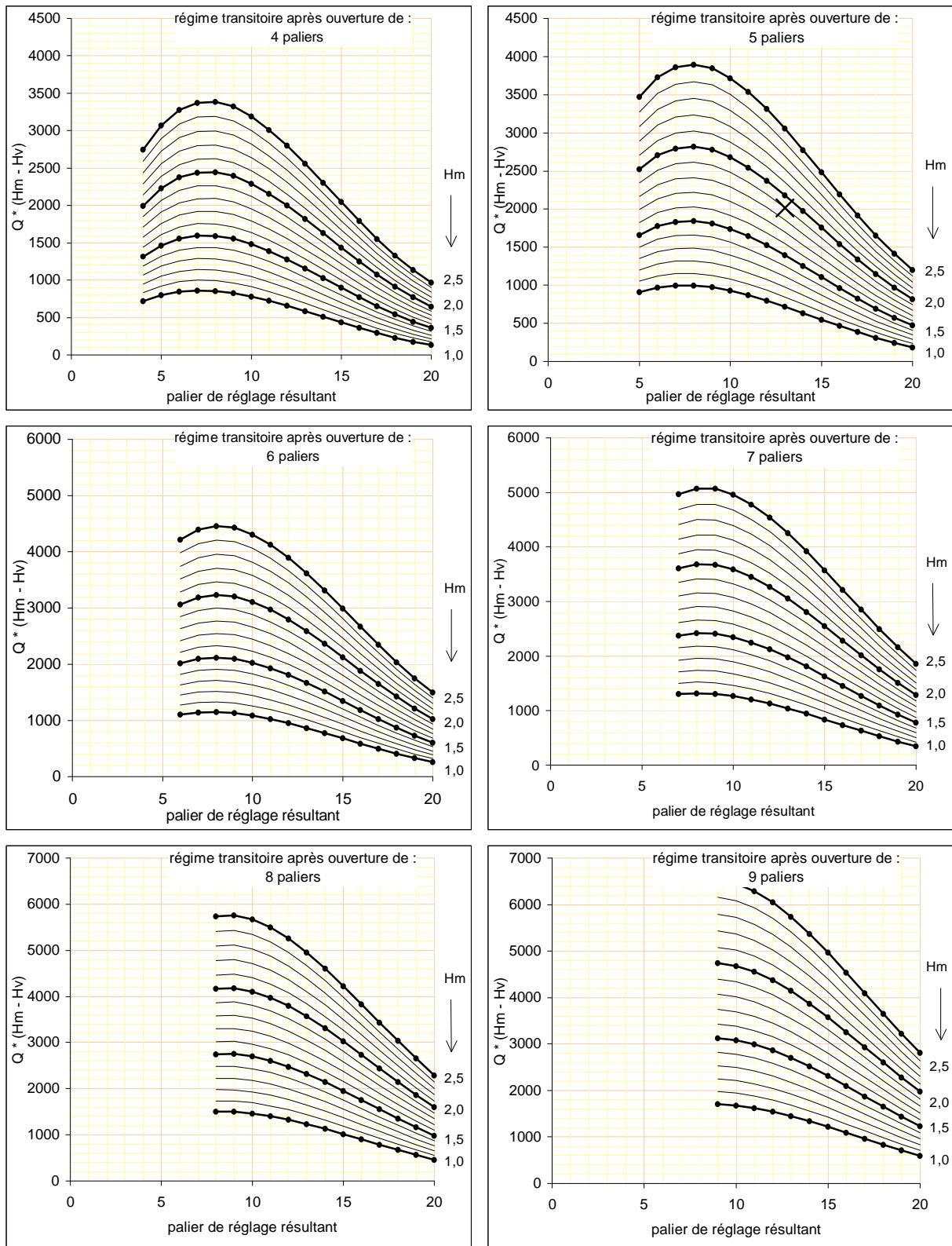


figure 11B : Valeurs médianes du produit $Q^*(H_m - H_v)$ en fonction du réglage des vannes pour une cote amont H_m située entre 1,0 m et 2,5 m, au début du régime transitoire consécutif à une augmentation d'ouverture des 7 vannes comprise entre 4 et 9 paliers.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 1,90 m et un régime d'écoulement établi au palier de réglage 8, le passage instantané au palier 13 (augmentation de 5) se traduit par un régime transitoire au début duquel le produit $Q^*(H_m - H_v)$ se situe probablement vers 2017 m^4/s .

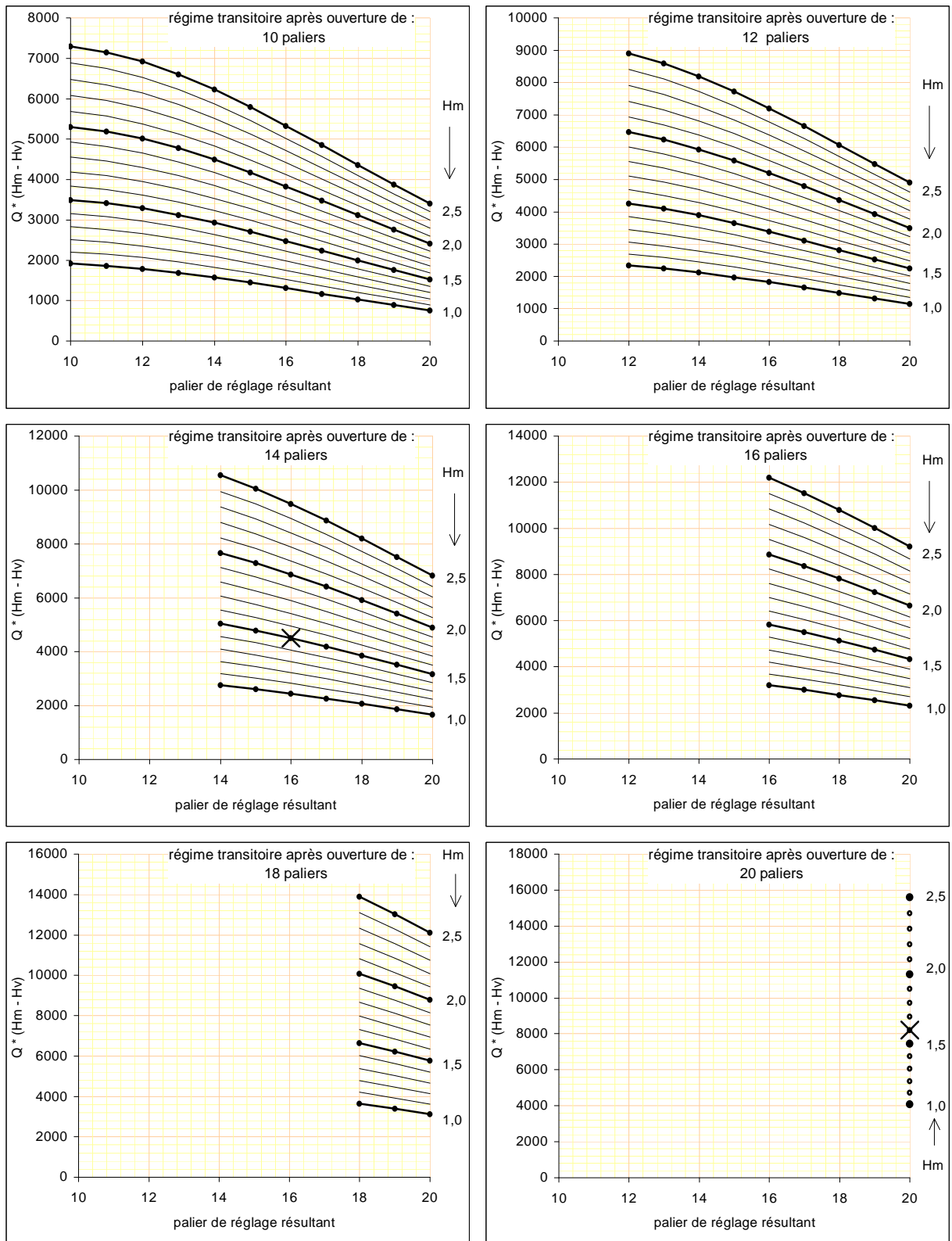


figure 11C : Valeurs médianes du produit $Q^* (Hm - Hv)$ en fonction du réglage des vannes pour une cote amont Hm située entre 1,0 m et 2,5 m, au début du régime transitoire consécutif à une augmentation d'ouverture des 7 vannes comprise entre 10 et 20 paliers.

Exemple d'interprétation (X) : pour une cote amont de 1,50 m et un régime d'écoulement établi au palier de réglage 2, le passage instantané au palier 16 (augmentation de 14) se traduit par un régime transitoire au début duquel le produit $Q^*(Hm - Hv)$ se situe probablement vers $4506 \text{ m}^4/\text{s}$. Pour une cote Hm de 1,60 m, le passage instantané du palier 0 au palier 20 donne $8205 \text{ m}^4/\text{s}$

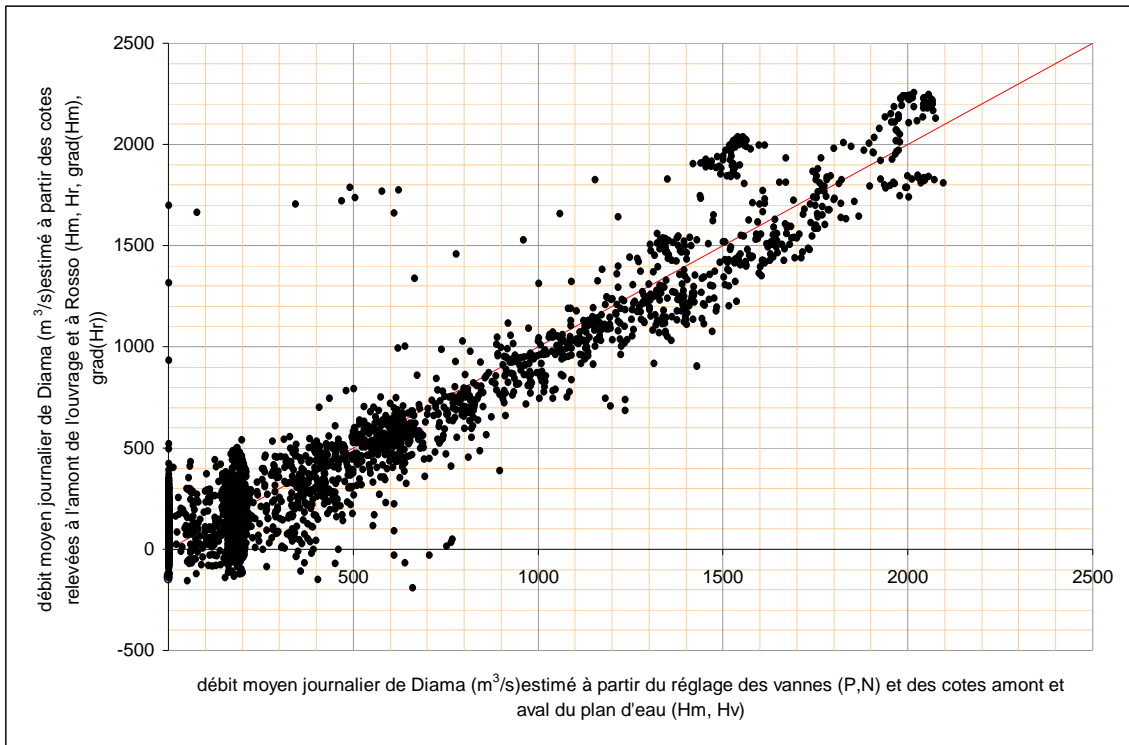


figure 12 : débits journaliers lâchés à Diama entre 1986 et 1999. Comparaison sur 2759 points, des estimations effectuées à partir des variables P, N, Hm et Hv d'une part, et Hr, Hm, grad(Hr) et grad(Hm) d'autre part.

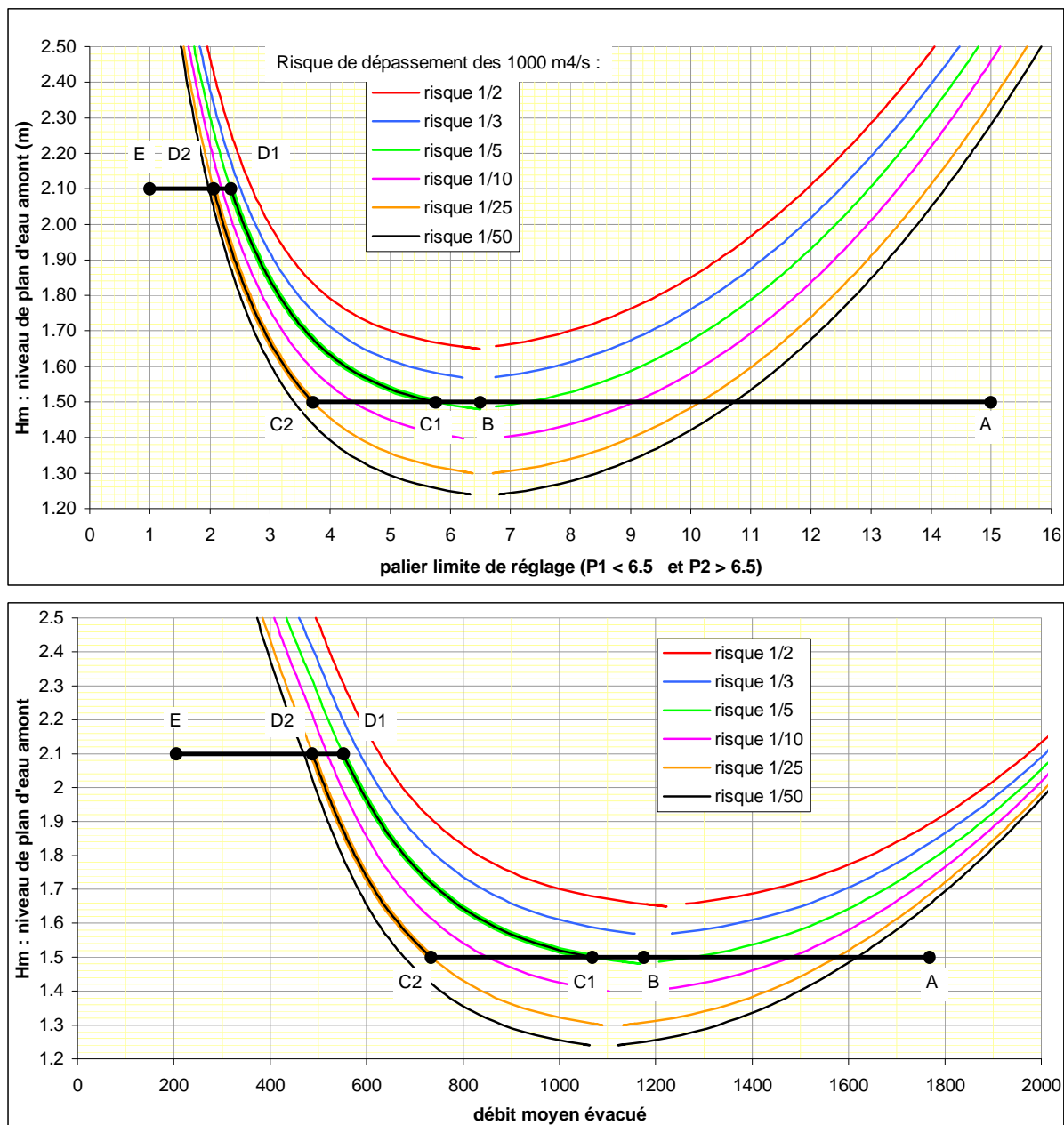


figure 13 : exemple de procédure de rehaussement de la cote amont de 1,50 m à 2,10 m en début de décrue, pour une énergie dissipée limitée à 1000 m⁴/s.

phase précédant la remontée : Une fois passé le maximum de crue, le débit à évacuer du barrage diminue assez régulièrement. A partir d'une situation initiale représentée par le point A (Hm = 1,50 m ; palier 15 ; Q =1770 m³/s), le maintien du niveau 1,50 m est alors obtenu par une fermeture progressive des vannes. Durant cette fermeture, le risque de dépassement de 1000 m⁴/s augmente tant que le palier reste supérieur à 6,5, passant d'une valeur inférieure à 1/50 (point A) à environ 1/5 (point B). A partir du point B (Hm = 1,50 m ; palier 6,5 ; Q = 1176 m³/s), la fermeture progressive des vannes s'accompagne au contraire d'une diminution de ce risque. La cote 1,50 m est donc maintenue jusqu'à ce que le risque atteigne la valeur désirée : point C1 (Hm = 1,50 m ; palier 5,8 ; Q = 1069 m³/s) pour un risque 1/5 ; point C2 (Hm = 1,50 m ; palier 3,7 ; Q = 734 m³/s) pour un risque 1/25.

Phase de remontée du niveau : par ajustements successifs de la fermeture des vannes, le niveau est remonté en veillant à ce qu'il reste toujours confondu ou en dessous de la courbe Hm1(P1) correspondant au niveau de risque accepté pour le dépassement des 1000 m⁴/s : courbe C1 D1 pour un risque 1/5 ; courbe C2 D2 pour un risque 1/25.

Phase succédant à la remontée : à partir du point D1 (Hm = 2,10 m ; palier 2,3 ; Q = 551 m³/s) ou du point D2 (Hm = 2,10 m ; palier 2,1 ; Q = 487 m³/s), le niveau est maintenu à 2,10 m en poursuivant la fermeture des vannes. Durant cette phase, le risque de dépassement des 1000 m⁴/s diminue de nouveau.

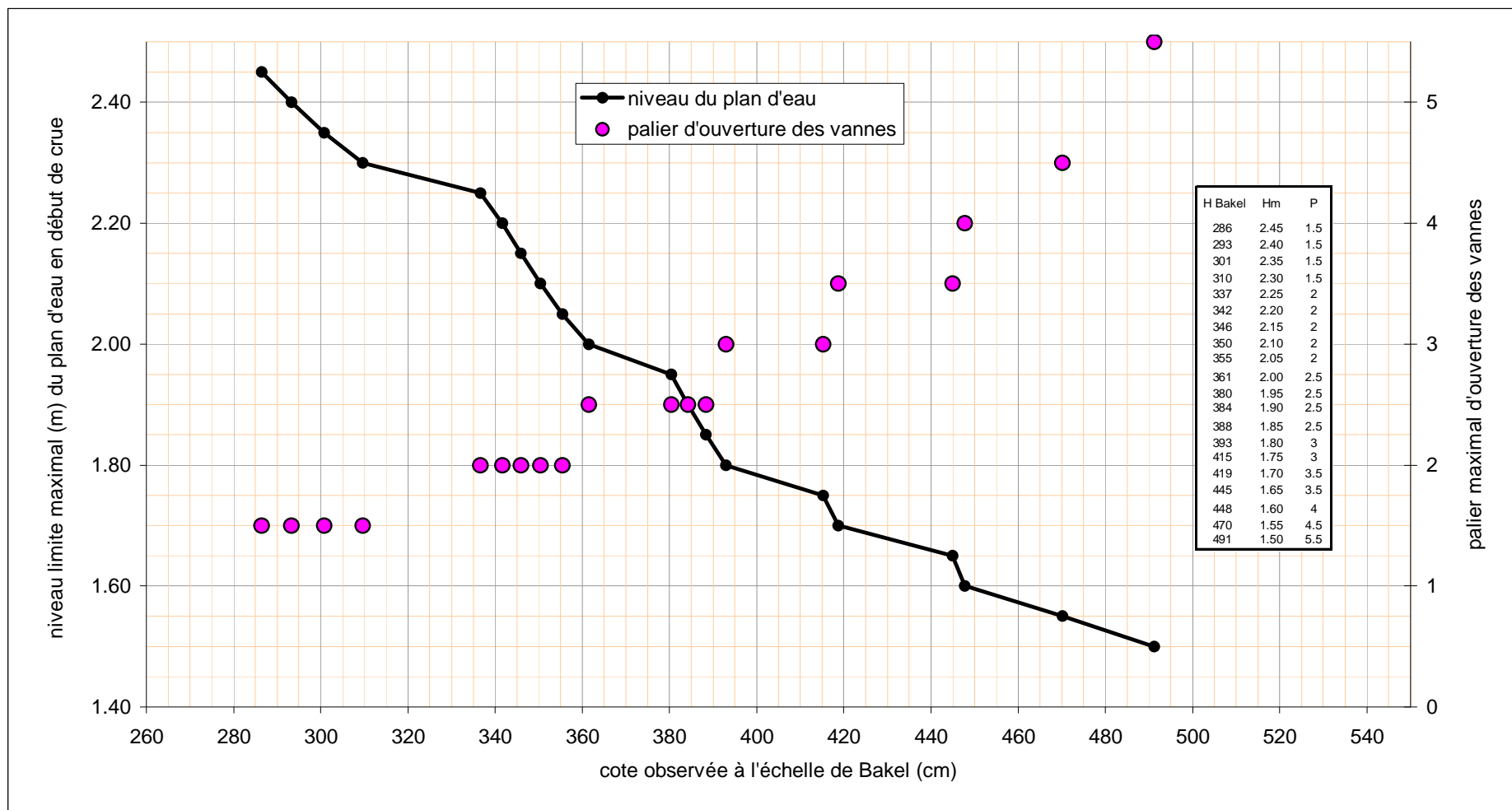


figure 14 A : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un risque **1 / 5** de dépassement de **1000 m4/s** d'énergie dissipée. Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 380 cm est dépassée à Bakel, le plan d'eau doit être abaissé jusqu'à la cote 1,95 m, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 2,5 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/5, fig. 10 B)

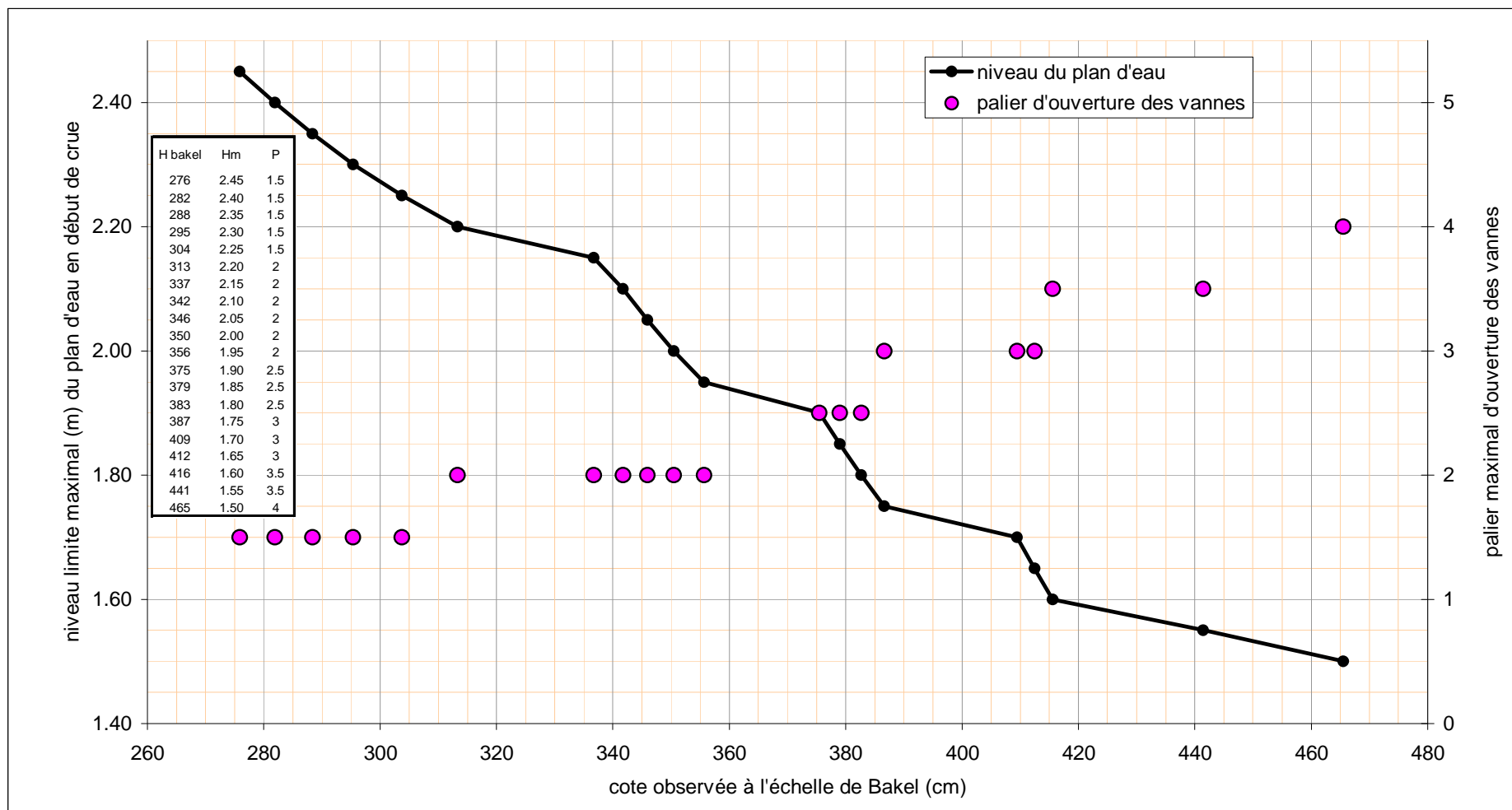


figure 14 B : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un risque **1 / 10** de dépassement de **1000** m4/s d'énergie dissipée. Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 350 cm est dépassée à Bakel, le plan d'eau doit être abaissé jusqu'à la cote 2,00 m, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 2 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/10, fig. 10 B)

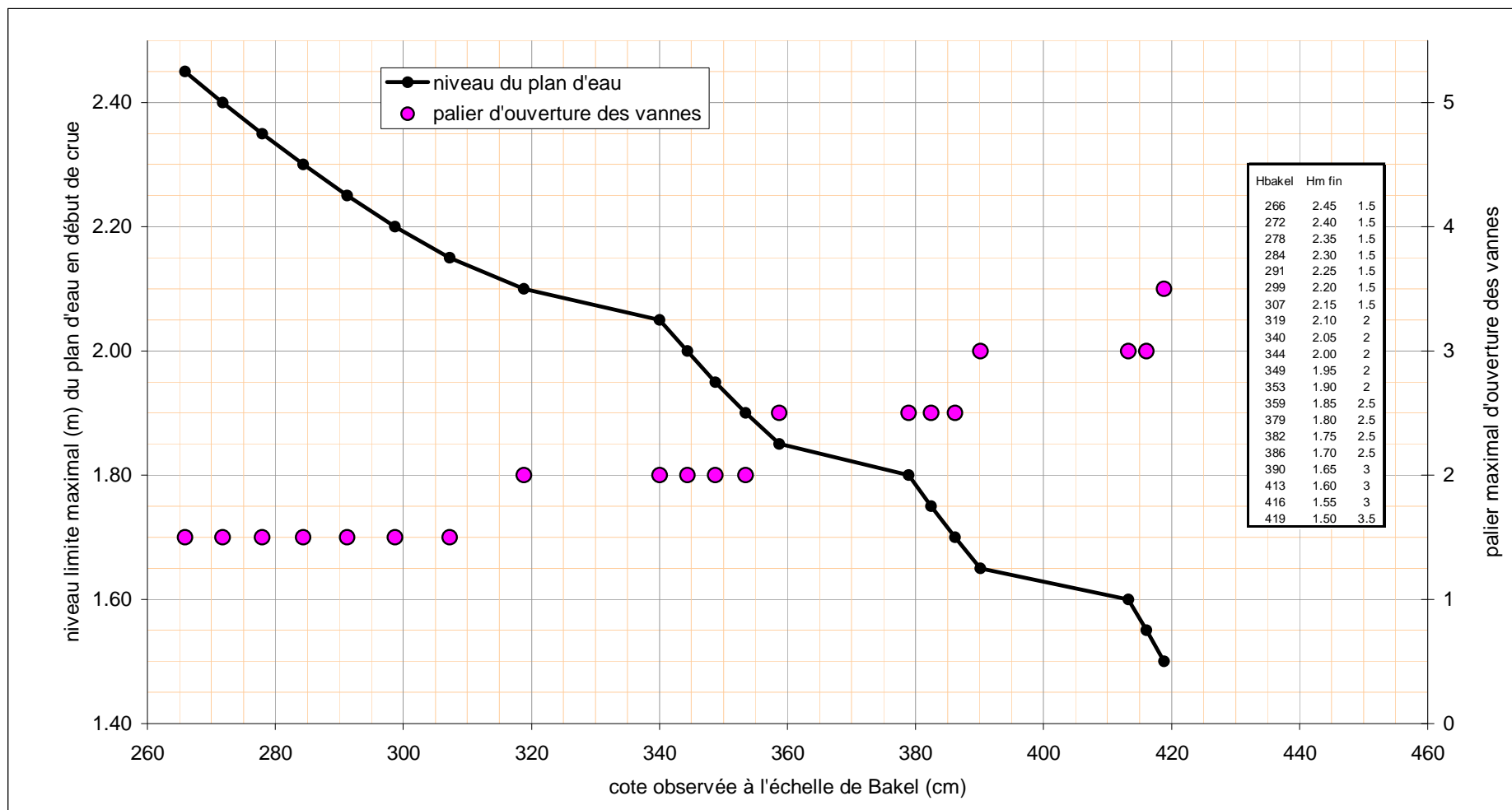


figure 14 C : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un risque 1 / 25 de dépassement de 1000 m4/s d'énergie dissipée. Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 390 cm est dépassée à Bakel, le plan d'eau doit être abaissé jusqu'à la cote 1,65 m, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 3 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/25, fig. 10 B)

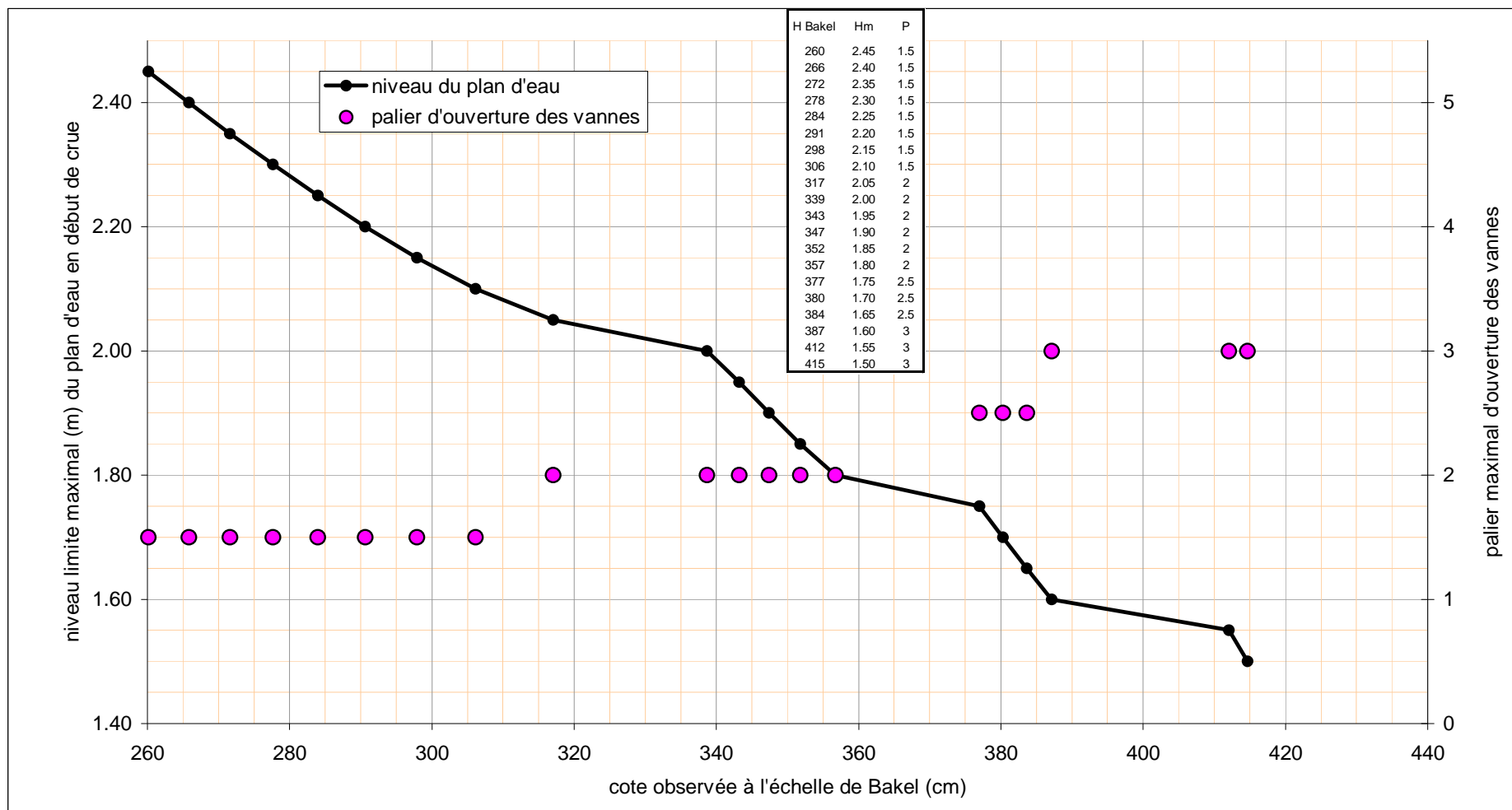


figure 14 D : procédure d'abaissement du plan d'eau en début de crue par paliers de 5 cm, pour un risque **1 / 50** de dépassement de **1000 m4/s** d'énergie dissipée. Niveau limite maximal à viser en fonction de la cote dépassée à l'échelle de Bakel, et palier maximal d'ouverture des vannes associé.

Exemple d'interprétation : dès que la cote 357 cm est dépassée à Bakel, le plan d'eau doit être abaissé jusqu'à la cote 1,80 m, avec un palier d'ouverture des vannes théoriquement inférieur ou égal à 2 (respecter la courbe P1 (Hm) associée au risque 1/50, fig. 10 B)

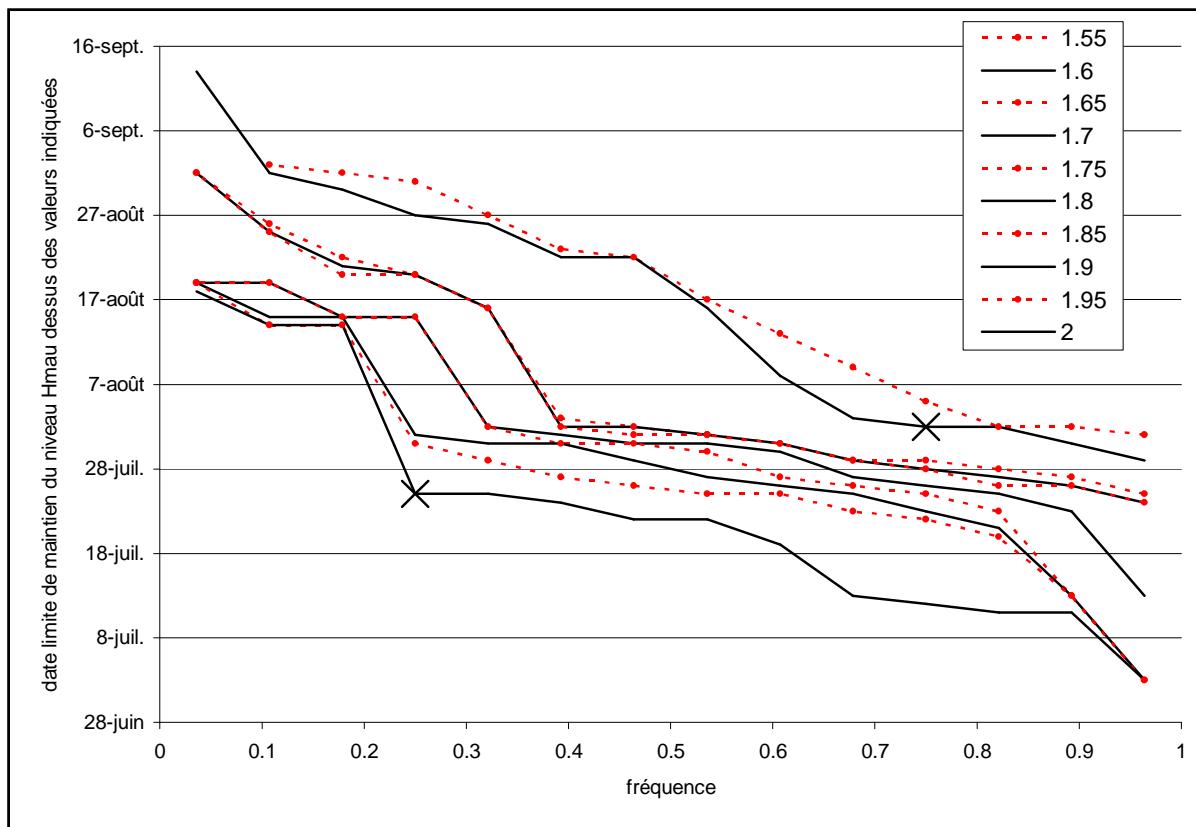


figure 15 : fonctions de répartition des dates limites les plus tardives jusqu'auxquelles le niveau Hm peut être maintenu au dessus des cotes 2,00 ; 1,95 ; et 1,55 m, dans le cas de la procédure optimale d'abaissement opérée en début de crue (énergie limite 1000 m4/s ; risque 1/10). Analyse effectuée sur la base des cotes observées à Bakel entre 1986 et 1999 ;

Exemple d'interprétation (X) : dans 25 % des cas la procédure d'abaissement optimisée permet de conserver un niveau Hm supérieur à 2,00 m au moins jusqu'au 25 juillet. Dans 75 % des cas, elle permet de conserver un niveau Hm supérieur à 1,60 m au moins jusqu'au 2 août.

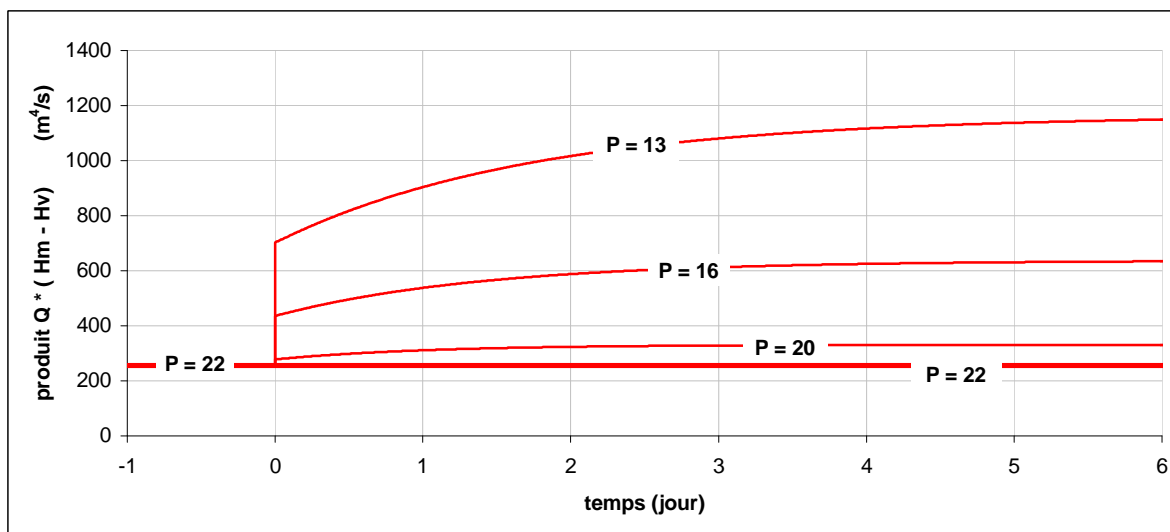
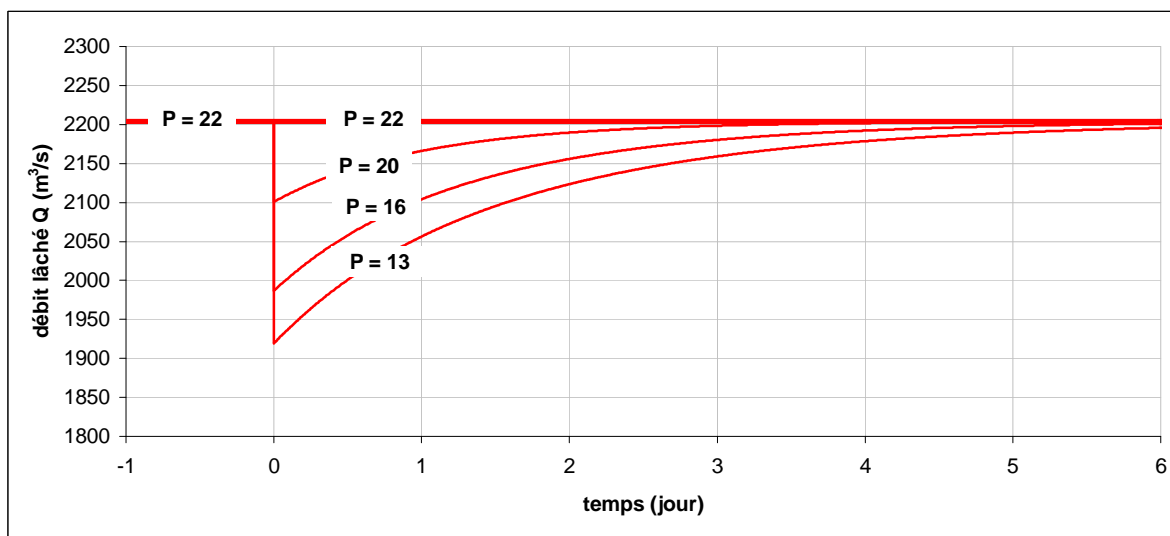
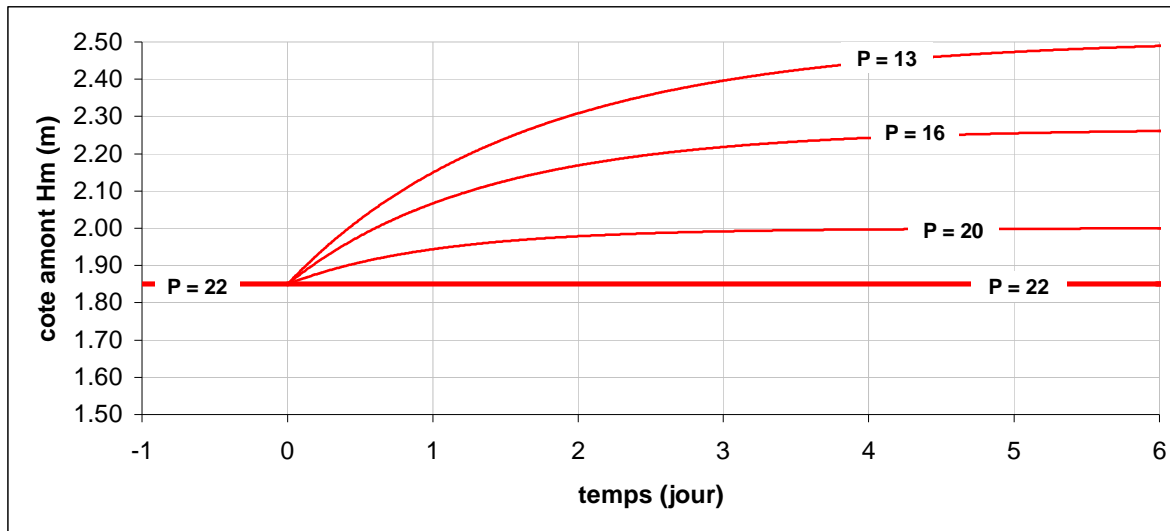


figure 16 : Tentative de laminage d'un débit constant de 2204 m³/s par fermeture des vannes au palier 20, 16 ou 13. Evolution de la cote amont, du débit et du produit $Q^*(H_m - H_v)$

transect	appareil	Date	Heure	Hm cote amont (cm)	Hv cote aval (cm)	N nombre de vannes ouvertes	P palier	E ouverture (m)	débit mesuré (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s) vannes noyées	Q2 (m ³ /s) vannes effacées	Qs (m ³ /s) formule utilisée par la SOGED
T4	Mon	30/09/98	17 h 25	154	135	7	15	7.23	1730	1754		1661
T4	Mon	16/10/98	15 h 30	156	122	7	11	5.14	1547	1554		1581
T4	Mon	30/10/98	14 h 40	194	28	7	2	0.85	461	468		580
T4	Mon	13/11/98	17 h 05	195	3	7	1	0.36	229	207		261
T4	Mon	18/12/98	17 h 10	203	-2	7	0	0.00	7.02	0		0
T4	Mon	19/08/99	14 h 15	176	75	7	5	2.21	1001	1005		1170
T4	Mon	03/09/99	13 h 30	163	119	7	11	5.14	1730	1712		1799
T4	Mon	10/09/99	17 h 00	157	138	7	15	7.23	1780	1754		1661
T4	Mon	25/09/99	09 h 00	157	151	7	22	11.03	1960		1922	1424
T4	Rio	06/10/99	12 h 00	166	158	7	22	11.03	2017		2014	1644
T4	Rio	06/10/99	17 h 00	163	157	7	22	11.03	1959		1983	1424
T4	Mon	10/10/99	10 h 00	169	161	7	22	11.03	2042		2044	1644
T4	Mon	23/10/99	13 h 15	172	163	7	22	11.03	2074		2074	1744
T4	Mon	16/11/99	09 h 00	148	141	7	22	11.03	1814		1830	1538
T4	Mon	08/12/99	15 h 50	178	53	7	3	1.29	670	636		760
T4	Mon	12/10/00	11 h 50	152	80	7	5.5	2.45	934	979		1094

tableau 1 : Débit lâché par le barrage de Diama. Valeurs mesurées et valeurs théoriques.

débit Q (m ³ /s)	borne sup																								
	borne inf																								
	moyenne																								
	effectif																								
		2300	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	
		2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	0	
		2206	2044	1955	1838	1751	1645	1546	1449	1350	1251	1151	1045	957	837	757	645	549	446	359	224	169	82	0	
		6	117	115	92	235	298	418	305	364	237	283	289	307	390	334	619	550	842	501	584	1854	126	3142	
cote aval Hv (m)	fréquence au non dépassement	moyenne	1.31	1.46	1.40	1.32	1.31	1.20	1.16	1.03	0.94	0.86	0.76	0.69	0.66	0.59	0.54	0.47	0.38	0.35	0.31	0.12	0.18	0.16	0.03
		médiane	1.32	1.58	1.47	1.36	1.34	1.25	1.19	1.00	0.94	0.90	0.77	0.71	0.68	0.62	0.53	0.49	0.39	0.35	0.31	0.10	0.18	0.16	0.02
		0.02		1.19	1.14	0.93	0.88	0.84	0.82	0.69	0.66	0.33	0.27	0.32	0.27	0.25	0.00	0.14	0.03	-0.04	-0.08	-0.20	-0.15	-0.12	-0.29
		0.07		1.22	1.16	1.19	1.10	0.89	0.88	0.82	0.79	0.63	0.54	0.43	0.40	0.32	0.22	0.26	0.10	0.08	0.00	-0.12	-0.09	-0.08	-0.20
		0.12	1.30	1.24	1.20	1.20	1.20	1.04	0.93	0.87	0.81	0.72	0.62	0.48	0.45	0.39	0.31	0.30	0.16	0.15	0.03	-0.08	-0.04	-0.03	-0.15
		0.17	1.30	1.25	1.22	1.22	1.22	1.09	1.00	0.89	0.83	0.75	0.64	0.54	0.52	0.44	0.35	0.33	0.21	0.19	0.10	-0.03	0.00	0.00	-0.12
		0.22	1.30	1.25	1.25	1.22	1.25	1.13	1.10	0.93	0.85	0.76	0.65	0.58	0.57	0.50	0.36	0.36	0.25	0.22	0.14	0.00	0.02	0.03	-0.10
		0.27	1.30	1.27	1.28	1.24	1.30	1.15	1.13	0.94	0.89	0.78	0.68	0.61	0.61	0.53	0.40	0.40	0.27	0.25	0.18	0.00	0.05	0.06	-0.08
		0.32	1.30	1.29	1.29	1.28	1.32	1.18	1.16	0.95	0.90	0.80	0.69	0.65	0.62	0.55	0.42	0.42	0.29	0.27	0.21	0.01	0.08	0.08	-0.05
		0.37	1.31	1.30	1.30	1.29	1.33	1.20	1.17	0.96	0.92	0.83	0.70	0.67	0.64	0.58	0.45	0.44	0.32	0.29	0.25	0.04	0.10	0.10	-0.03
		0.42	1.31	1.32	1.36	1.34	1.33	1.21	1.18	0.98	0.93	0.87	0.71	0.69	0.65	0.60	0.49	0.45	0.35	0.31	0.27	0.06	0.13	0.12	0.00
		0.5	1.32	1.58	1.47	1.36	1.34	1.25	1.19	1.00	0.94	0.90	0.77	0.71	0.68	0.62	0.53	0.49	0.39	0.35	0.31	0.10	0.18	0.16	0.02
		0.58	1.32	1.61	1.52	1.38	1.35	1.26	1.19	1.05	0.96	0.92	0.80	0.74	0.70	0.64	0.58	0.50	0.42	0.38	0.37	0.13	0.22	0.20	0.05
		0.63	1.32	1.61	1.53	1.39	1.36	1.27	1.20	1.08	0.97	0.94	0.81	0.76	0.72	0.66	0.61	0.53	0.44	0.41	0.39	0.15	0.25	0.21	0.08
		0.68	1.32	1.62	1.54	1.39	1.36	1.27	1.22	1.09	0.99	0.95	0.84	0.77	0.73	0.67	0.64	0.54	0.46	0.44	0.42	0.18	0.28	0.23	0.10
		0.73	1.32	1.62	1.54	1.40	1.37	1.28	1.25	1.11	1.00	0.97	0.88	0.79	0.75	0.68	0.67	0.55	0.48	0.46	0.45	0.20	0.30	0.27	0.12
		0.78	1.32	1.62	1.55	1.40	1.38	1.28	1.27	1.12	1.02	1.00	0.90	0.80	0.78	0.70	0.69	0.57	0.50	0.48	0.49	0.25	0.33	0.29	0.15
		0.83	1.32	1.63	1.55	1.41	1.39	1.30	1.29	1.17	1.04	1.03	0.91	0.83	0.79	0.72	0.72	0.59	0.53	0.51	0.51	0.30	0.36	0.30	0.19
		0.88	1.32	1.63	1.55	1.42	1.40	1.32	1.34	1.29	1.05	1.05	0.93	0.86	0.82	0.74	0.75	0.61	0.58	0.54	0.55	0.33	0.40	0.34	0.22
		0.93		1.63	1.56	1.44	1.42	1.35	1.38	1.32	1.10	1.08	0.95	0.91	0.85	0.79	0.82	0.66	0.64	0.59	0.60	0.41	0.43	0.41	0.28
0.98		1.63	1.57	1.47	1.43	1.42	1.40	1.36	1.20	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89	1.12	0.74	0.74	0.69	0.71	0.55	0.52	0.54	0.43		

tableau 2 : analyse statistique de la cote aval Hv par tranche de débit Q lâché, en régime d'écoulement établi

Exemple d'interprétation : pour un débit lâché situé entre 1300 et 1400 m³/s, la cote aval se situe en moyenne à 0,94 m. Elle est inférieure à 1,10 m environ 93% du temps.

palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	0.04	0.15	0.22	0.31	0.36	0.40	0.48	0.55	0.60	0.63	0.69	0.72	0.75	0.77	0.82	0.83	0.85	0.85	0.87	0.91	0.88
B (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
R ²	0.02	0.21	0.28	0.43	0.62	0.49	0.51	0.77	0.85	0.90	0.71	0.92	0.84	0.94	0.97	0.99	0.98	0.83	1.00	0.97	0.86
écart type résiduel S (m)	0.17	0.17	0.16	0.13	0.12	0.12	0.11	0.09	0.08	0.10	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
nombre de points	2296	1057	1176	894	514	380	261	364	210	191	150	200	259	182	180	106	51	16	19	53	5

tableau 3 : coefficients de la régression linéaire entre cote amont et cote aval ($H_v = A * H_m + B$), pour chaque palier de réglage de vanne situé entre 1 et 21, pour l'écoulement par vannes noyées.

P	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)	vannes noyées																				vannes effacées			(m)	
1.00	0.85	0.77	0.69	0.62	0.55	0.49	0.43	0.37	0.32	0.27	0.23	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00		
1.10	0.94	0.85	0.77	0.69	0.62	0.55	0.48	0.42	0.36	0.31	0.26	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01		
1.20	1.04	0.94	0.85	0.76	0.68	0.60	0.53	0.46	0.40	0.35	0.29	0.25	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02		
1.30	1.13	1.03	0.93	0.83	0.74	0.66	0.58	0.51	0.44	0.38	0.33	0.28	0.23	0.19	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03		
1.40	1.23	1.11	1.00	0.90	0.81	0.72	0.63	0.56	0.48	0.42	0.36	0.30	0.25	0.21	0.18	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.04	0.04	0.04		
1.50	1.32	1.20	1.08	0.97	0.87	0.78	0.69	0.60	0.53	0.45	0.39	0.33	0.28	0.23	0.19	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.06		
1.60	1.41	1.28	1.16	1.05	0.94	0.83	0.74	0.65	0.57	0.49	0.42	0.36	0.30	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.07	0.07		
1.70	1.51	1.37	1.24	1.12	1.00	0.89	0.79	0.70	0.61	0.53	0.45	0.39	0.33	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.11	0.09	0.09		
1.80	1.60	1.46	1.32	1.19	1.06	0.95	0.84	0.74	0.65	0.56	0.49	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11		
1.90	1.69	1.54	1.40	1.26	1.13	1.01	0.89	0.79	0.69	0.60	0.52	0.44	0.38	0.32	0.27	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13		
2.00	1.79	1.63	1.47	1.33	1.19	1.06	0.95	0.83	0.73	0.64	0.55	0.47	0.40	0.34	0.29	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15		
2.10	1.88	1.71	1.55	1.40	1.26	1.12	1.00	0.88	0.77	0.67	0.58	0.50	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.16	0.16	0.17	0.17		
2.20	1.98	1.80	1.63	1.47	1.32	1.18	1.05	0.93	0.81	0.71	0.61	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.17	0.18	0.19		
2.30	2.07	1.88	1.71	1.54	1.39	1.24	1.10	0.97	0.85	0.75	0.65	0.56	0.48	0.41	0.35	0.29	0.25	0.22	0.20	0.19	0.18	0.19	0.21		
2.40	2.16	1.97	1.79	1.61	1.45	1.30	1.15	1.02	0.90	0.78	0.68	0.58	0.50	0.43	0.36	0.31	0.27	0.23	0.21	0.20	0.20	0.20	0.22		
2.50	2.26	2.06	1.87	1.68	1.51	1.35	1.20	1.06	0.94	0.82	0.71	0.61	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.25	0.22	0.21	0.21	0.21	0.23		
Hm (m)	vannes noyées																				vannes effacées				(m/s)
1.00	152	350	509	662	800	927	1040	1139	1225	1290	1341	1377	1394	1393	1375	1341	1298	1250	1212	1205	1318	1318	1318		
1.10	158	365	530	689	834	967	1085	1190	1281	1352	1409	1450	1473	1479	1468	1444	1413	1379	1358	1367	1428	1428	1428		
1.20	164	378	549	715	866	1005	1128	1238	1334	1410	1471	1517	1545	1557	1552	1536	1514	1490	1482	1502	1535	1535	1535		
1.30	170	391	568	739	895	1040	1168	1283	1384	1464	1529	1580	1613	1629	1630	1619	1604	1589	1590	1619	1642	1642	1642		
1.40	175	403	586	762	924	1073	1206	1325	1431	1515	1584	1639	1675	1696	1701	1696	1687	1679	1687	1724	1747	1747	1747		
1.50	180	414	602	784	951	1105	1242	1366	1475	1563	1636	1694	1735	1759	1768	1768	1764	1762	1776	1819	1904	1850	1850		
1.60	184	425	618	805	976	1135	1276	1404	1517	1609	1685	1747	1791	1818	1831	1835	1836	1838	1858	1907	1997	1953	1953		
1.70	189	435	634	825	1001	1164	1309	1441	1558	1653	1732	1797	1844	1874	1891	1898	1903	1910	1935	1988	2083	2054	2054		
1.80	193	445	648	845	1025	1192	1341	1476	1597	1694	1777	1845	1895	1928	1948	1958	1966	1977	2006	2064	2163	2154	2154		
1.90	198	455	663	863	1047	1218	1371	1510	1634	1735	1820	1891	1943	1979	2002	2015	2027	2041	2074	2136	2239	2254	2254		
2.00	202	464	676	881	1069	1244	1401	1543	1670	1774	1862	1935	1990	2028	2053	2069	2084	2102	2138	2204	2311	2352	2352		
2.10	205	474	690	899	1091	1269	1429	1574	1704	1811	1902	1977	2035	2076	2103	2121	2139	2160	2200	2269	2379	2542	2450		
2.20	209	482	703	916	1111	1293	1457	1605	1738	1847	1941	2019	2078	2121	2151	2171	2192	2215	2258	2330	2444	2611	2546		
2.30	213	491	715	932	1131	1317	1483	1635	1770	1882	1978	2058	2120	2165	2197	2220	2242	2268	2314	2389	2506	2677	2815		
2.40	217	499	727	948	1151	1340	1509	1664	1802	1916	2014	2097	2161	2208	2241	2266	2291	2320	2368	2446	2566	2740	2880		
2.50	220	507	739	964	1170	1362	1534	1691	1833	1949	2050	2134	2200	2249	2285	2311	2338	2369	2420	2501	2624	2801	2943		
Hm (m)	vannes noyées																				vannes effacées			(m/s)	
1.00	129	269	352	410	441	452	445	424	392	353	309	263	218	175	137	104	77	57	43	36	6	6	6		
1.10	149	311	408	476	513	527	520	498	463	419	369	318	267	218	174	136	105	81	66	58	17	17	17		
1.20	170	355	466	544	588	606	599	575	537	488	433	375	318	263	213	170	135	108	90	81	33	33	33		
1.30	192	401	526	615	666	687	681	655	614	559	499	435	371	310	255	206	167	137	117	107	53	53	53		
1.40	214	448	588	689	746	771	765	738	693	634	567	498	427	360	298	244	201	167	145	135	77	77	77		
1.50	237	496	652	764	829	857	853	823	775	711	638	562	485	411	343	284	236	199	175	164	168	107	107		
1.60	261	545	718	842	914	946	942	913	860	790	711	629	545	464	390	326	273	233	206	195	200	142	142		
1.70	285	596	785	922	1001	1038	1034	1002	947	872	787	697	606	519	439	369	311	268	239	227	233	182	182		
1.80	309	648	854	1003	1091	1131	1129	1095	1036	955	864	768	670	576	489	413	351	304	273	261	268	229	229		
1.90	335	701	925	1087	1182	1227	1225	1190	1127	1041	943	840	735	634	540	459	392	341	309	296	304	282	282		
2.00	360	756	997	1172	1276	1325	1324	1287	1221	1129	1024	914	802	693	593	506	434	380	345	331	341	342	342		
2.10	387	811	1071	1259	1371	1425	1425	1386	1316	1218	1107	990	870	754	647	554	478	420	383	368	380	421	410		
2.20	414	868	1145	1347	1468	1527	1528	1487	1413	1310	1192	1067	940	816	703	603	522	460	421	407	419	464	485		
2.30	441	925	1222	1438	1567	1630	1632	1590	1512	1403	1278	1146	1011	880	760	654	568	502	461	446	460	509	581		
2.40	469	984	1299	1529	1668	1736	1739	1695	1613	1498	1366	1226	1083	945	817	706	614	545	501	486	501	554	631		
2.50	497	1043	1378	1623	1770	1843	1847	1801	1716	1594	1456	1308	1157	1011	876	758	662	588	543	526	544	600	683		

tableau 4 : valeurs moyennes de la dénivelée Hm-Hv, du débit Q et du produit Q*(Hm-Hv) en régime d'écoulement établi avec 7 vannes ouvertes, en fonction du palier de réglage P et de la cote amont Hm

récurrence de dépassement	49 / 50	24 / 25	9 / 10	4 / 5	2 / 3	1 / 2	1 / 3
---------------------------	---------	---------	--------	-------	-------	-------	-------

énergie limite (m ⁴ /s)	risque de dépassement de l'énergie limite	Hm(m) : cote amont																	
			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
800	1 / 50	P1	4.5	3.7	3.1	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3		
		P2	9.0	10.2	11.2	11.9	12.6	13.2	13.8	14.3	14.8	15.2	15.7	16.1	16.6	17.0	17.4		
	1 / 25	P1	5.5	4.1	3.4	2.9	2.6	2.3	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3		
		P2	7.6	9.5	10.6	11.4	12.2	12.8	13.4	14.0	14.5	14.9	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2		
	1 / 10	P1		5.3	4.0	3.4	2.9	2.6	2.3	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4		
		P2		7.7	9.5	10.6	11.4	12.2	12.8	13.4	14.0	14.5	15.0	15.4	15.9	16.3	16.8		
	1 / 5	P1			5.0	3.9	3.3	2.9	2.6	2.3	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4		
		P2			8.0	9.6	10.6	11.5	12.2	12.9	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	15.9	16.4		
	1 / 3	P1				4.7	3.8	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5		
		P2				8.3	9.7	10.8	11.6	12.3	13.0	13.6	14.1	14.6	15.1	15.6	16.0		
	1 / 2	P1					4.6	3.7	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.6		
		P2					8.5	9.9	10.8	11.7	12.4	13.0	13.6	14.1	14.7	15.2	15.6		
1000	1 / 50	P1			4.9	4.0	3.5	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6		
		P2			8.4	9.8	10.7	11.5	12.1	12.7	13.3	13.8	14.2	14.7	15.1	15.5	15.9		
	1 / 25	P1				4.5	3.8	3.3	2.9	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6		
		P2				9.1	10.1	11.0	11.7	12.4	12.9	13.4	13.9	14.4	14.8	15.2	15.6		
	1 / 10	P1				6.2	4.4	3.7	3.2	2.9	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7		
		P2				6.8	9.1	10.2	11.0	11.7	12.4	12.9	13.5	13.9	14.4	14.8	15.3		
	1 / 5	P1					5.8	4.3	3.6	3.2	2.8	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8		
		P2					7.2	9.2	10.2	11.1	11.8	12.4	13.0	13.5	14.0	14.4	14.9		
	1 / 3	P1						5.3	4.1	3.5	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	1.9	1.8		
		P2						7.7	9.3	10.3	11.2	11.9	12.5	13.0	13.6	14.0	14.5		
	1 / 2	P1							5.0	4.0	3.5	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9		
		P2							8.0	9.4	10.4	11.2	11.9	12.5	13.1	13.6	14.1		
1200	1 / 50	P1					5.2	4.3	3.7	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9		
		P2					8.2	9.5	10.4	11.2	11.8	12.4	12.9	13.4	13.8	14.2	14.6		
	1 / 25	P1						4.8	4.0	3.5	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9		
		P2						8.8	9.9	10.7	11.4	12.0	12.6	13.1	13.5	14.0	14.4		
	1 / 10	P1							4.7	3.9	3.5	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0		
		P2							8.8	9.9	10.7	11.4	12.0	12.6	13.1	13.5	14.0		
	1 / 5	P1							6.2	4.6	3.9	3.4	3.0	2.8	2.5	2.3	2.2		
		P2							6.8	9.0	10.0	10.8	11.5	12.1	12.6	13.1	13.6		
	1 / 3	P1								5.7	4.4	3.8	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3		
		P2								7.4	9.1	10.1	10.9	11.5	12.1	12.7	13.2		
	1 / 2	P1									5.4	4.3	3.7	3.3	2.9	2.7	2.5		
		P2									7.7	9.2	10.2	10.9	11.6	12.2	12.7		

tableau 6 : 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 le produit Q * (Hm – Hv)

Exemples d'interprétations :

Pour une cote amont de 1,60 m, le risque de dépassement de 800 m⁴/s est inférieur ou égal à 1/10, si le réglage des vannes se situe soit en dessous de P1 = 2,6 soit au dessus de P2 = 12,2.

Pour une cote amont de 1,4 m, le risque de dépassement de 1000 m⁴/s est toujours inférieur à 1/5 quel que soit le réglage.

Pour une cote amont de 2,10 m, le risque de dépassement de 1200 m⁴/s est inférieur à 1/50 si le réglage se situe soit en dessous de P1 = 2,5, soit au dessus de P2 = 12,9

énergie limite (m4/s)	risque de dépassement de l'énergie limite	a1	b1	c1	d1	a2	b2	c2	d2
800	1 / 50	-5.106	6.805	0.972	-0.165415	6.633	8.723	1.018	0.523611
	1 / 25	-8.086	9.770	1.043	-0.115444	6.261	9.066	1.079	0.491907
	1 / 10	-14.168	15.832	1.144	-0.072108	6.202	9.107	1.172	0.494760
	1 / 5	-112.965	114.604	1.241	-0.010236	6.263	9.045	1.262	0.505209
	1 / 3	-149.694	151.313	1.323	-0.007866	6.271	9.047	1.345	0.512765
	1 / 2	-190.595	192.197	1.410	-0.006207	6.369	8.940	1.433	0.520790
1000	1 / 50	-45.423	47.264	1.208	-0.026446	5.884	8.915	1.232	0.463531
	1 / 25	-48.348	50.177	1.268	-0.025297	5.836	8.953	1.294	0.461449
	1 / 10	-55.494	57.305	1.363	-0.022152	5.544	9.176	1.388	0.437757
	1 / 5	-115.926	117.719	1.453	-0.010808	5.578	9.119	1.477	0.444035
	1 / 3	-152.372	154.155	1.538	-0.008163	5.673	9.052	1.560	0.459148
	1 / 2	-191.207	192.995	1.628	-0.006280	5.692	9.005	1.648	0.462680
1200	1 / 50	-54.303	56.288	1.408	-0.023621	5.642	8.730	1.443	0.435733
	1 / 25	-61.772	63.749	1.471	-0.020715	5.633	8.722	1.504	0.436422
	1 / 10	-78.293	80.262	1.567	-0.016356	5.635	8.690	1.599	0.438733
	1 / 5	-116.440	118.412	1.659	-0.010908	5.510	8.688	1.688	0.422664
	1 / 3	-154.161	156.139	1.743	-0.008167	5.626	8.640	1.772	0.442402
	1 / 2	-194.375	196.367	1.833	-0.006335	5.652	8.579	1.859	0.446608

tableau 7 : valeurs des paramètres des relations : $P1 = a1 + b1 * (Hm - c1)^{d1}$
 $P2 = a2 + b2 * (Hm - c2)^{d2}$

année	passage du débit en dessous de 1362 m ³ /s	maximum de crue, inférieur à 1362 m ³ /s
1987		03-oct
1988	27-oct	
1989	17-oct	
1990		07-oct
1991	21-sept	
1992	29-sept	
1993	27-sept	
1994	02-nov	
1995	26-oct	
1996		12-sept
1997	11-oct	
1998	19-oct	
1999	26-nov	

tableau 8 : date souhaitable du début de rehaussement du plan d'eau à l'amont du barrage de Diama, déterminée à partir des débits estimés à Rosso sur la période 1986-1999.

		Hm (m)																													
		début	2.50	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.10	2.05	2.00	1.95	1.90	1.85	1.84	1.80	1.75	1.72	1.70	1.70	1.65	1.63	1.60	1.58	1.55	1.54	1.51	1.51	
		fin	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.10	2.05	2.03	2.00	1.95	1.90	1.85	1.84	1.80	1.75	1.72	1.70	1.65	1.63	1.60	1.58	1.55	1.54	1.51	1.50		
		réglage																													
		P	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	4	4.5	4.5	5	5.5			
		E (m)	0.61	0.61	0.61	0.61	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	1.52	1.75	1.75	1.98	1.98	2.21	2.45			
		débit lâché Q médian (m³/s)																													
		début	366	363	360	358	491	487	482	478	474	469	576	573	567	561	555	655	648	641	735	732	723	812	805	887	881	960	1033		
		fin	363	360	358	354	487	482	478	474	469	467	573	567	561	555	554	648	641	636	732	723	720	805	800	881	878	953	1030		
		moyen	365	362	359	356	489	484	480	476	471	468	574	570	564	558	555	652	645	639	733	727	721	809	803	884	880	957	1031		
débit entrant (m³/s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	produit Q*(Hm-Hv) médian (m³/s)																													
		début	790	767	745	723	925	896	868	839	811	783	906	887	855	823	792	787	854	820	874	861	824	868	842	864	843	860	857		
		fin	767	745	723	701	896	868	839	811	783	771	887	855	823	792	787	854	820	797	861	824	811	842	823	843	832	838	848		
371	286		21	21	22	23	9	9	9	10	10	4	4	7	7	7	1	4	5	3	1	4	1	2	2	2	1	1	1		
387	293			26	27	28	10	10	10	10	11	5	4	7	7	7	1	5	5	4	2	4	2	2	2	2	1	2	1		
404	301				35	37	11	11	11	11	12	5	4	7	7	8	1	5	6	4	2	5	2	3	2	2	1	2	1		
424	310					61	12	12	12	13	13	6	4	8	8	8	1	5	6	4	2	5	2	3	2	2	1	2	1		
485	337						19	20	20	21	23	10	6	11	11	11	2	6	7	5	2	6	2	3	2	2	1	2	1		
497	342							22	23	25	26	12	6	11	12	12	2	7	8	5	2	6	2	3	2	2	1	2	1		
510	346								28	29	32	14	7	12	13	13	2	7	8	6	2	6	2	3	2	2	1	2	1		
523	350									37	41	19	7	13	14	14	2	7	9	6	2	6	2	3	3	2	1	2	1		
538	355										59	29	8	15	15	16	2	8	9	6	2	7	2	3	3	2	1	2	1		
557	361											75	9	17	18	19	3	9	10	7	2	7	3	4	3	2	1	2	1		
608	378												17	31	35	39	6	12	14	10	3	9	3	4	3	3	1	2	1		
614	380													35	39	44	7	12	15	10	3	9	3	4	3	3	1	2	1		
625	384														50	60	10	13	16	11	3	10	3	5	3	3	1	2	1		
638	388															96	17	15	18	13	3	10	4	5	4	3	2	2	1		
652	393																104	17	21	15	4	11	4	5	4	3	2	3	1		
711	412																	41	57	45	6	17	6	6	5	4	2	3	1		
719	415																		76	64	6	18	7	7	5	4	2	3	1		
729	419																			136	7	20	7	7	6	4	2	3	1		
806	444																				24	89	42	12	10	6	3	4	1		
809	445																					103	52	13	10	6	3	4	1		
817	448																						152	14	11	6	3	4	1		
892	469																							77	90	11	6	6	2		
897	470																								166	11	6	6	2		
974	490																									93	85	12	3		
977	491																											177	13	3	
1051	511																												187	5	
1129	531																													192	

tableau 9 A : procédures d'abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,50 m, compatibles 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.

Exemples d'interprétation :

L'abaissement de la cote 1,70 à la cote 1,65 peut être effectué avec les 7 vannes ouvertes au palier 3,5 (ouverture 1,52 m), avec un débit lâché médian Q passant de 732 à 723 m³/s (moyenne 727 m³/s) et un produit Q*(Hm-Hv) médian passant de 861 à 824 m⁴/s. Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, cet abaissement dure respectivement 20, 89 et 103 heures si le débit constant à Bakel vaut 729, 806 et 809 m³/s.

Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, et pour un débit constant de 809 m³/s passant à Bakel (cote 445 à l'échelle), l'abaissement de la cote 1,70 à la cote 1,50 du niveau amont Hm peut être mené en 192 heures en effectuant les réglages de palier suivants : 155 heures (=103+52) au palier 3,5 ; 23 heures (= 13+10) au palier 4 ; 9 heures (=6+3) au palier 4,5 ; 5 heures (=4+1) au palier 5.

Hm (m)	début	2.50	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.14	2.10	2.05	2.00	1.95	1.90	1.86	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.65	1.60	1.55	1.54			
	fin	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.14	2.10	2.05	2.00	1.95	1.90	1.86	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.65	1.60	1.55	1.54	1.50			
réglage	P	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	2.5	3	3	3	3	3.5			
	E (m)	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	1.29	1.52			
débit lâché Q médian (m ³ /s)	début	366	363	360	358	354	351	348	345	477	474	469	464	460	455	556	555	549	543	537	629	626	618	610	703			
	fin	363	360	358	354	351	348	345	345	474	469	464	460	455	451	555	549	543	537	533	626	618	610	609	695			
	moyen	365	362	359	356	353	350	347	345	475	471	467	462	457	453	556	552	546	540	535	628	622	614	610	699			
débit entrant (m ³ /s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	produit Q*(Hm-Hv) médian (m ³ /s)	début	790	767	745	723	701	679	657	636	632	811	783	756	728	701	679	792	761	730	699	764	752	718	685	745	
			fin	767	745	723	701	679	657	636	632	811	783	756	728	701	679	792	761	730	699	681	752	718	685	679	715	
325	266	durée des étapes d'abaissement (heures), pour une durée totale de 192 heures	14	14	15	15	16	16	3	6	8	8	8	8	7	1	6	6	6	4	2	5	5	1	3			
338	272		16	16	16	17	17	18	3	7	8	8	9	9	7	1	6	6	6	4	2	5	5	1	3			
352	278		18	18	19	20	20	4	7	9	9	9	9	8	1	6	7	7	4	2	5	5	1	4				
367	284				21	22	23	23	4	8	9	10	10	10	8	1	7	7	7	4	2	5	6	1	4			
382	291					21	22	23	23	4	8	9	10	10	10	8	1	7	7	7	4	2	5	6	1	4		
382	291					26	27	28	5	8	10	10	11	11	9	1	7	7	7	5	2	6	6	1	4			
399	299						35	37	7	9	11	11	12	12	10	1	8	8	8	5	2	6	6	1	4			
419	307							57	10	10	12	13	13	13	11	1	8	8	9	5	2	6	6	1	4			
445	319								47	12	15	15	16	16	14	2	9	9	10	6	3	7	7	1	4			
483	336									16	20	21	22	23	20	2	11	11	12	8	3	8	8	1	5			
493	340										22	23	25	26	23	2	12	12	12	8	3	8	8	1	5			
505	344											27	29	31	28	2	12	13	13	9	3	9	9	2	5			
518	349												35	39	35	2	13	14	15	9	3	9	9	2	5			
532	353													53	49	3	15	15	16	11	4	10	10	2	6			
548	359														91	3	17	18	19	12	4	10	11	2	6			
607	378															5	33	37	41	29	6	15	16	3	8			
609	379																34	38	43	30	6	15	16	3	8			
620	382																	46	55	39	6	16	18	3	8			
631	386																		77	59	7	18	19	4	9			
643	390																											
709	412																		130	7	20	22	4	9				
713	413																				20	60	80	17	15			
721	416																					66	90	20	15			
730	419																							139	36	16		
814	447																								174	18	192	

tableau 9 C : procédures d'abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,50 m, compatibles 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.

Exemples d'interprétation :

L'abaissement de la cote 1,75 à la cote 1,70 peut être effectué avec les 7 vannes ouvertes au palier 2,5 (ouverture 1,07 m), avec un débit lâché médian Q passant de 543 à 537 m³/s (moyenne 540 m³/s) et un produit Q*(Hm-Hv) médian passant de 730 à 699 m⁴/s. Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, cet abaissement dure respectivement 6, 15 et 77 heures si le débit constant à Bakel vaut 325, 518 et 631 m³/s.

Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, et pour un débit constant de 352 m³/s passant à Bakel (cote 278 à l'échelle), l'abaissement de la cote 2,40 à la cote 1,50 du niveau amont Hm peut être mené en 192 heures en effectuant les réglages de palier suivants : 99 heures au palier 1,5 ; 51 heures au palier 2 ; 25 heures au palier 2,5 ; 13 heures au palier 3 ; 4 heures au palier 3,5.

		Hm (m)																										
		début	2.50	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.10	2.09	2.05	2.00	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.70	1.65	1.61	1.60	1.55				
		fin	2.45	2.40	2.35	2.30	2.25	2.20	2.15	2.10	2.09	2.05	2.00	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.70	1.65	1.61	1.60	1.55	1.50				
		réglage																										
		P	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				
		E (m)	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				
		débit lâché Q médian (m ³ /s)																										
		début	366	363	360	358	354	351	348	345	342	473	469	464	460	455	450	549	543	537	530	620	618	610				
		fin	363	360	358	354	351	348	345	342	341	469	464	460	455	450	445	543	537	530	525	618	610	602				
		moyen	365	362	359	356	353	350	347	344	342	471	467	462	457	453	448	546	540	533	527	619	614	606				
débit entrant (m ³ /s)	cote à l'échelle de Bakel (cm)	produit Q*(Hm-Hv) médian (m ⁴ /s)																										
		début	790	767	745	723	701	679	657	636	614	605	783	756	728	701	675	761	730	699	669	723	718	685				
		fin	767	745	723	701	679	657	636	614	610	783	756	728	701	675	648	730	699	669	644	718	685	652				
312	260	durée des étapes d'abaissement (heures), pour une durée totale de 192 heures		13	13	13	14	14	14	14	15	3	6	8	8	8	8	8	6	6	6	5	1	5	5			
325	266					14	14	15	15	16	16	16	4	6	8	8	8	8	9	6	6	6	5	1	5	5		
338	272					16	16	17	17	18	18	18	4	6	8	9	9	9	9	6	6	6	7	6	1	5	5	
352	278						18	19	19	20	20	20	5	7	9	9	9	10	10	7	7	7	7	6	1	5	5	
366	284							21	22	23	24	24	6	7	9	10	10	10	10	7	7	7	7	6	1	6	6	
381	291								26	27	29	29	7	8	10	10	11	11	11	7	7	8	7	8	7	1	6	6
397	298									35	37	37	9	8	11	11	12	12	12	8	8	8	7	1	6	6	6	
416	306										56	14	9	12	13	13	14	14	8	8	9	8	1	6	7	7	7	
441	317											51	11	15	15	16	16	17	9	9	10	8	1	7	7	7	7	
481	335												15	20	21	23	24	26	11	12	12	11	1	8	8	8	8	
490	339													22	24	25	27	29	12	12	13	11	1	8	9	9	9	
502	343														27	29	31	34	13	13	14	12	1	9	9	9	9	
514	347															35	39	43	14	14	15	13	1	9	10	10	10	
528	352																51	58	15	16	16	15	1	10	10	10	10	
542	357																	100	17	17	19	17	2	10	11	11	11	
604	377																34	38	43	42	2	15	17	17	17			
613	380																	46	54	55	2	17	18	18	18			
624	384																		73	79	3	18	19	19	19			
634	387																			148	3	20	22	22	22			
707	411																				10	75	108	108	108			
709	412																						78	114	114			
717	415																								192			

tableau 9 D : procédures d'abaissement en 192 heures du niveau amont jusqu'à la cote 1,50 m, compatibles avec un risque inférieur à 1 sur 50 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.

Exemples d'interprétation :

L'abaissement de la cote 1,55 à la cote 1,50 peut être effectué avec les 7 vannes ouvertes au palier 3 (ouverture 1,29 m), avec un débit lâché médian Q passant de 610 à 602 m³/s (moyenne 606 m³/s) et un produit Q*(Hm-Hv) médian passant de 685 à 652 m⁴/s. Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, cet abaissement dure respectivement 5, 10 et 114 heures si le débit constant à Bakel vaut 312, 528 et 709 m³/s.

Avec des pertes et prélèvements de 100 m³/s entre Bakel et Diama, et pour un débit constant de 613 m³/s passant à Bakel (cote 380 à l'échelle), l'abaissement de la cote 1,75 à la cote 1,50 du niveau amont Hm peut être mené en 192 heures en effectuant les réglages de palier suivants : 155 heures (= 46+54+55) au palier 2,5 ; 37 heures (= 2+17+18) au palier 3.

cote à Bakel (cm)	356	375	379	383	387	409	412	416	441	465
niveau Hm (m)	2	1.95	1.9	1.85	1.8	1.75	1.7	1.65	1.6	1.55
année										
1986	14-août	14-août	15-août	15-août	15-août	25-août	25-août	26-août	26-août	27-août
1987	18-août	19-août	19-août	19-août	19-août	20-août	21-août	22-août	22-août	22-août
1988	24-juil.	25-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	1-août	2-août	3-août	22-août	23-août
1989	14-août	14-août	15-août	15-août	15-août	16-août	16-août	16-août	16-août	17-août
1990	19-juil.	20-juil.	21-juil.	19-août	19-août	20-août	20-août	20-août	13-sept.	
1991	13-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	31-juil.	1-août
1992	11-juil.	29-juil.	29-juil.	30-juil.	30-juil.	1-sept.	1-sept.	1-sept.	1-sept.	1-sept.
1993	11-juil.	27-juil.	27-juil.	27-juil.	27-juil.	28-juil.	28-juil.	29-juil.	27-août	2-sept.
1994	12-juil.	13-juil.	13-juil.	13-juil.	13-juil.	29-juil.	29-juil.	29-juil.	8-août	9-août
1995	22-juil.	22-juil.	23-juil.	23-juil.	23-juil.	24-juil.	24-juil.	25-juil.	3-août	5-août
1996	25-juil.	26-juil.	26-juil.	26-juil.	26-juil.	26-juil.	27-juil.	27-juil.	30-août	31-août
1997	22-juil.	23-juil.	1-août	2-août	2-août	2-août	2-août	2-août	2-août	2-août
1998	25-juil.	25-juil.	25-juil.	25-juil.	25-juil.	26-juil.	26-juil.	28-juil.	29-juil.	13-août
1999	3-juil.	3-juil.	3-juil.	3-juil.	1-août	1-août	1-août	1-août	2-août	2-août

Tableau 10 : date de dépassement des cotes limites à l'échelle de Bakel, associées à la procédure d'abaissement du plan d'eau de Diama (énergie limite : 1000 m4/s ; risque 1/10). Période 1986 - 1999.

Exemples d'interprétation :

En 1990, la procédure d'abaissement optimisé respectant un risque 1/10 de dépassement de 1000 m4/s d'énergie dissipée, aurait pu se dérouler de la façon suivante : maintien du niveau 2,00 m jusqu'au 18/07 ; à partir du 19/07 baisse visant le niveau 1,95 ; à partir du 20/07, la baisse vise le niveau 1,90. A partir du 21 juillet, elle vise le niveau 1,85 m qui, une fois atteint, peut être maintenu jusqu'au 18 août. A partir du 19 août, baisse visant le niveau 1,75. A partir du 20 août, la baisse vise le niveau 1,60 qui, une fois atteint, est maintenu jusqu'au 12 septembre. A partir du 13 septembre, l'abaissement est poursuivi jusqu'au niveau 1,55 qui une fois atteint, est maintenu jusqu'à la fin de la crue puisque la cote 465 n'est jamais atteinte à Bakel cette année là.

En 1999, la procédure aurait été la suivante : maintien du niveau 2,0 m jusqu'au 2 juillet ; à partir du 3 juillet, baisse vers le niveau 1,80 qui peut être maintenu jusqu'au 31 juillet ; à partir du 1^{er} août, poursuite de l'abaissement visant le niveau 1,60 ; à partir du 2 août, l'abaissement vise le niveau 1,50.

ANNEXE 1 : NOTICE D'UTILISATION DE LA FEUILLE DE CALCUL EXCEL DESTINEE A LA GESTION EN TEMPS REEL DU BARRAGE

STRUCTURE GENERALE DE LA FEUILLE DE CALCUL

La feuille est constituée de trois plages distinctes (colonnes A à X, colonnes Y à AD et colonnes AE à AY), dédiées respectivement aux valeurs instantanées, aux valeurs journalières et aux paramètres de modélisation.

Certaines cellules (caractères gras) sont verrouillées pour empêcher toute modification de leur contenu. Le fond coloré de chaque cellule est associé à la nature du contenu de celle-ci, selon un code expliqué dans la plage des paramètres de modélisation.

Dans la plage des valeurs instantanées ainsi que dans la plage des valeurs journalières, chaque ligne correspond à une date, instantanée dans le premier cas et journalière dans l'autre.

PLAGE DES VALEURS INSTANTANEEES

SAISIE DES DONNEES

La saisie des données doit être effectuée à partir de la ligne 7 dans les colonnes A à I de cette plage (zone sur fond jaune).

Pour le premier enregistrement (ligne 7), la saisie des données suivantes est obligatoire : **année ; mois ; jour ; heure ; minute ; cote aval ; cote amont ; palier de réglage des vannes ; nombre de vannes ouvertes.**

Pour les enregistrements suivants, obligatoirement effectués par ordre chronologique sans saut de ligne, il est inutile de saisir l'année lorsque celle-ci ne diffère pas de l'enregistrement précédent. De même pour le mois et le jour. Il est par contre toujours nécessaire de saisir l'heure, la minute, les cotes aval et amont, ainsi que le palier de réglage et le nombre de vannes ouvertes.

Même en cas où le réglage des vannes reste inchangé, il est nécessaire de saisir plusieurs enregistrements par jour pour évaluer les débits avec suffisamment de précision.

Lorsqu'un changement de réglage est effectué, il est indispensable de saisir un enregistrement correspondant à l'instant de la manœuvre. Dans ce cas, les valeurs de cote amont et cote aval sont celles qui ont été relevées juste avant la manœuvre. Les valeurs de palier et de nombre de vannes sont celles qui correspondent au nouveau réglage.

VARIABLES CALCULEES AUTOMATIQUEMENT

Pour chaque enregistrement de données saisies, un calcul automatique donne pour la même date instantanée, et donc sur la même ligne, les valeurs des variables suivantes (colonnes J à X):

- Ouverture verticale des vannes
- Débit estimé juste avant et juste après la date de l'enregistrement. Ces deux valeurs sont identiques lorsque l'enregistrement ne correspond pas à une modification de réglage des vannes. Dans le cas contraire, la seconde valeur est relative au début du régime transitoire succédant à la modification, et peut donc différer de la première, relative à un régime d'écoulement éventuellement établi.
- Débit prévu. Il s'agit là d'une estimation du débit moyen en régime établi, correspondant aux valeurs de cote amont (supposée maintenue), palier et nombre de vannes. Dans le cas où l'enregistrement correspond à un changement de réglage, ceci donne la valeur moyenne vers laquelle va tendre le débit au bout d'un certain temps, nécessaire pour l'installation d'un nouveau régime établi.

- Valeurs du produit $Q^*(H_m-H_v)$ **par vanne ouverte**, associé à l'énergie dissipée dans l'écoulement au passage de celle-ci. Comme pour le débit, trois valeurs sont données : juste avant et juste après la date d'enregistrement, ainsi que la valeur moyenne prévue en régime établi. Conformément aux recommandations formulées dans le manuel de gestion de Diama, il est souhaitable que les valeurs de ce produit $Q^*(H_m-H_v)$ par vanne soient toujours maintenues en deçà d'une **limite de 143 m⁴/s**.
- Valeurs des paliers limites de réglage P1 et P2. Ces paliers limites sont calculés en fonction de la cote amont. Pour maintenir le risque de dépassement de la norme 1000 m⁴/s en dessous de 1 sur 5, il est nécessaire de régler les vannes à un palier soit inférieur à P1, soit supérieur à P2.
- Risque : un message 'DANGER' est affiché lorsque le palier de réglage se situe entre les limites P1 et P2
- Date
- Volume lâché cumulé depuis la date du premier enregistrement
- Cote prévue à l'aval. Il s'agit de la valeur moyenne autour de laquelle fluctue le niveau aval en régime d'écoulement établi, en fonction de la cote amont et du réglage des vannes.
- Mauvaise date : un message 'Date!' est affiché lorsque une saisie erronée aboutit à une date antérieure ou égale à celle de l'enregistrement précédent.
- Rang de l'enregistrement.

PLAGE DES VALEURS JOURNALIERES

Cette plage ne contient que des données journalières calculées automatiquement. La première ligne est toujours relative à la date ronde du premier enregistrement des valeurs instantanées de la feuille, et les dates des lignes suivantes sont incrémentées au pas de 1 jour.

Chaque ligne de données journalières contient les valeurs des variables suivantes :

- Rang de l'enregistrement de données instantanées, immédiatement antérieur à la date journalière considérée à 0 heure.
- Date
- Débit moyen journalier lâché
- Volume lâché cumulé à 0 heure, depuis la date du premier enregistrement de données instantanées.
- Cote amont à 0 heure
- Délai trop long : le message 'délai' est affiché lorsque les deux enregistrements instantanés utilisés pour évaluer le volume lâché cumulé à 0 heure (et donc le débit moyen journalier) sont séparés par plus de 48 heures. Ceci permet de repérer des valeurs journalières évaluées de façon trop imprécise, du fait d'une fréquence trop faible de relevés instantanés.

EXTENSION DE LA FEUILLE DE CALCUL

Il est possible de saisir autant d'enregistrements instantanés que l'on souhaite dans la feuille de calcul. On peut cependant conseiller, lorsque la taille de la feuille devient trop importante, d'utiliser une nouvelle feuille pour faire les saisies suivantes.

Attention : si l'on désire utiliser une feuille par année comme il a été fait jusqu'à présent, il faut penser à saisir un premier enregistrement correspondant à la fin de l'année précédente, ainsi qu'à poursuivre les enregistrements jusqu'au début de l'année suivante. Ceci permet au calcul automatique des débits journaliers d'être effectués du 1^{er} janvier au 31 décembre **inclus**.

Les formules de calcul automatique utilisées (colonnes J à X, cellules mauves) dans la plage des valeurs instantanées, doivent être tirées **ensemble** vers le bas lorsque nécessaire, de façon à toujours dépasser les données saisies (colonnes A à I, cellules jaunes). Si besoin est (cellules

corrompues par une fausse manœuvre), les formules peuvent être tirées à partir de la ligne 8, où elles sont conservées inviolées (cellules verrouillées).

Indépendamment, les formules utilisées dans la plage des valeurs journalières (colonnes Y à AD) peuvent également être tirées ensemble vers le bas, pour obtenir les valeurs journalières jusqu'à la date désirée. Ces formules sont également conservées de façon inviolée dans la ligne 8.

**ANNEXE 2 : BAREME DONNANT LE DEBIT EVACUE PAR LES VANNES
NOYEEES EN FONCTION DE LA DENIVELEE AMONT AVAL ET DU REGLAGE
DES VANNES**

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 0,00 et 0,59 m

Palier de réglage compris entre 0 et 11

palier ouverture (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	énergie > à	
dénivelée (m)	0.00	0.18	0.36	0.61	0.85	1.07	1.29	1.52	1.75	1.98	2.21	2.45	2.68	2.92	3.16	3.40	3.65	3.90	4.15	4.39	4.64	4.89	5.14		
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.01	0	14	29	49	68	86	103	122	140	159	177	196	215	234	253	273	292	312	332	352	372	392	412	412	
0.02	0	19	37	63	89	112	134	158	182	206	230	254	279	304	329	354	379	405	431	457	483	509	535	535	
0.03	0	22	43	73	103	130	156	184	212	240	268	296	325	354	383	412	442	472	502	532	562	593	623	623	
0.04	0	24	48	82	115	145	174	205	236	267	298	330	362	394	426	459	492	526	560	593	626	661	695	695	
0.05	0	26	52	89	125	157	189	223	257	291	324	359	394	429	464	500	535	572	609	645	681	718	756	756	
0.06	0	28	56	95	134	169	203	239	275	311	347	385	422	459	497	535	573	613	652	691	730	769	809	809	
0.07	0	30	60	101	142	179	215	253	291	330	368	408	447	487	526	567	608	649	691	732	773	815	857	857	
0.08	0	31	63	106	150	188	226	266	306	347	387	429	470	512	553	596	639	683	727	770	813	857	902	902	
0.09	0	33	65	111	156	196	236	278	320	362	405	448	491	535	578	623	668	714	759	805	850	896	942	942	
0.10	0	34	68	115	163	204	246	290	333	377	421	466	511	557	602	648	695	743	790	837	884	932	981	981	
0.11	0	35	71	120	169	212	255	300	345	391	436	483	530	577	624	672	720	770	819	868	916	966	1016	1016	
0.12	0	36	73	124	174	219	263	310	357	404	451	499	547	596	645	694	744	795	846	897	947	999	1050	1050	
0.13	0	38	75	127	180	225	271	320	368	416	465	514	564	614	664	716	767	820	872	924	976	1029	1082	1082	
0.14	0	39	77	131	185	232	279	329	378	428	478	529	580	632	683	736	789	843	897	950	1003	1058	1113	1113	
0.15	0	40	79	134	189	238	286	337	388	439	490	543	595	648	701	755	809	865	920	975	1030	1086	1142	1142	
0.16	0	41	81	138	194	244	293	345	398	450	502	556	610	664	718	774	829	886	943	999	1055	1113	1170	1170	
0.17	0	42	83	141	199	249	300	353	407	460	514	569	624	679	735	792	848	907	965	1022	1080	1138	1197	1197	
0.18	0	42	85	144	203	255	307	361	416	470	525	581	638	694	751	809	867	926	986	1044	1103	1163	1223	1223	
0.19	0	43	87	147	207	260	313	369	424	480	536	593	651	708	766	825	885	945	1006	1066	1126	1187	1248	1248	
0.20	0	44	88	150	211	265	319	376	432	489	546	605	663	722	781	841	902	964	1026	1087	1148	1210	1273	1273	
0.21	0	45	90	153	215	270	325	383	440	498	556	616	676	736	796	857	919	982	1045	1107	1169	1232	1296	1296	
0.22	0	46	92	155	219	275	331	389	448	507	566	627	688	749	810	872	935	999	1063	1126	1189	1254	1319	1319	
0.23	0	47	93	158	223	279	336	396	456	516	576	638	699	761	823	887	950	1016	1081	1145	1209	1275	1341	1341	
0.24	0	47	95	160	226	284	342	402	463	524	585	648	710	774	837	901	966	1032	1098	1164	1229	1296	1363	1363	
0.25	0	48	96	163	230	288	347	409	470	532	594	658	721	785	849	915	981	1048	1115	1182	1248	1316	1384	1384	
0.26	0	49	98	165	233	293	352	415	477	540	603	668	732	797	862	929	995	1064	1132	1199	1267	1336	1405	1405	
0.27	0	49	99	168	236	297	357	421	484	548	612	677	743	809	874	942	1010	1079	1148	1216	1285	1355	1425	1425	
0.28	0	50	100	170	240	301	362	426	491	555	620	686	753	820	886	955	1023	1094	1164	1233	1302	1373	1444	1444	
0.29	0	51	102	172	243	305	367	432	497	563	628	696	763	831	898	968	1037	1108	1179	1249	1320	1392	1463	1463	
0.30	0	51	103	174	246	309	372	438	504	570	636	705	773	841	910	980	1050	1122	1194	1266	1337	1409	1482	1482	
0.31	0	52	104	177	249	313	376	443	510	577	644	713	782	852	921	992	1063	1136	1209	1281	1353	1427	1501	1501	
0.32	0	53	106	179	252	316	381	448	516	584	652	722	792	862	932	1004	1076	1150	1224	1297	1369	1444	1519	1519	
0.33	0	53	107	181	255	320	385	454	522	591	660	730	801	872	943	1016	1089	1163	1238	1312	1385	1461	1536	1536	
0.34	0	54	108	183	258	324	390	459	528	597	667	738	810	882	954	1027	1101	1177	1252	1327	1401	1477	1554	1554	
0.35	0	55	109	185	261	327	394	464	534	604	674	747	819	891	964	1039	1113	1189	1266	1341	1416	1494	1571	1571	
0.36	0	55	110	187	263	331	398	469	539	610	682	755	828	901	974	1050	1125	1202	1279	1355	1431	1509	1587	1587	
0.37	0	56	111	189	266	334	402	474	545	617	689	762	836	910	984	1061	1137	1215	1293	1369	1446	1525	1604	1604	
0.38	0	56	113	191	269	338	406	478	550	623	696	770	845	919	994	1071	1148	1227	1306	1383	1461	1540	1620	1620	
0.39	0	57	114	193	271	341	410	483	556	629	702	778	853	928	1004	1082	1159	1239	1318	1397	1475	1556	1636	1636	
0.40	0	57	115	194	274	344	414	488	561	635	709	785	861	937	1014	1092	1170	1251	1331	1410	1489	1570	1652	1652	
0.41	0	58	116	196	277	347	418	492	566	641	716	792	869	946	1023	1102	1181	1262	1343	1423	1503	1585	1667	1667	
0.42	0	58	117	198	279	350	422	497	572	647	722	800	877	955	1033	1112	1192	1274	1356	1436	1517	1600	1682	1682	
0.43	0	59	118	200	282	354	426	501	577	653	729	807	885	963	1042	1122	1203	1285	1368	1449	1530	1614	1697	1697	
0.44	0	59	119	201	284	357	429	505	582	658	735	814	892	972	1051	1132	1213	1295	1380	1462	1544	1628	1712	1712	
0.45	0	60	120	203	286	360	433	510	587	664	741	821	900	980	1060	1142	1223	1307	1391	1474	1557	1642	1726	1726	
0.46	0	60	121	205	289	363	436	514	591	669	747	827	907	988	1068	1151	1234	1318	1403	1486	1570	1655	1741	1741	
0.47	0	61	122	207	291	366	440	518	596	675	753	834	915	996	1077	1160	1244	1329	1414	1498	1582	1669	1755	1755	
0.48	0	61	123	208	293	369	444	522	601	680	759	841	922	1004	1086	1170	1253	1339	1425	1510	1595	1682	1769	1769	
0.49	0	62	124	210	296	371	447	526	606	685	765	847	929	1012	1094	1179	1263	1350	1437	1522	1607	1695	1783	1783	
0.50	0	62	125	211	298	374	450	530	610	691	771	854	936	1019	1102	1188	1273	1360	1447	1534	1620	1708	1796	1796	
0.51	0	63	126	213	300	377	454	534	615	696	777	860	943	1027	1111	1197	1282	1370	1458	1545	1632	1721	1810	1810	
0.52	0	63	127	215	302	380	457	538	619	701	783	866	950	1035	1119	1205	1292	1380	1469	1556	1644	1733	1823	1823	
0.53	0	64	128	216	305	383	460	542	624	706	788	873	957	1042	1127	1214	1301	1390	1480	1568	1656	1746	1836	1836	
0.54	0	64	128	218	307	385	464	546	628	711	794	879	964	1049	1135	1223	1310	1400	1490	1579	1667	1758	1849	1849	
0.55	0	65	129	219	309	388	467	550	633	716	799	885	971	1057	1143	1231	1319	1410	1500	1590	1679	1770	1862	1862	
0.56	0	65	130	221	311	391	470	553																	

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 0,60 et 1,19 m

Palier de réglage compris entre 0 et 11

palier ouverture (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	énergie > à
dénivelée (m)	0.00	0.18	0.36	0.61	0.85	1.07	1.29	1.52	1.75	1.98	2.21	2.45	2.68	2.92	3.16	3.40	3.65	3.90	4.15	4.39	4.64	4.89	5.14	
0.60	0	67	134	226	319	401	482	568	654	740	826	914	1003	1092	1181	1272	1363	1457	1550	1642	1735	1829	1924	1000
0.61	0	67	134	228	321	403	485	572	658	744	831	920	1009	1099	1188	1280	1372	1466	1560	1653	1745	1841	1936	
0.62	0	68	135	229	323	406	488	575	662	749	836	926	1015	1105	1195	1288	1380	1475	1569	1663	1756	1852	1947	
0.63	0	68	136	231	325	408	491	578	666	753	841	931	1021	1112	1203	1296	1388	1484	1579	1673	1767	1863	1959	
0.64	0	68	137	232	327	411	494	582	670	758	846	937	1027	1119	1210	1303	1397	1493	1588	1683	1777	1874	1971	
0.65	0	69	138	233	329	413	497	585	674	762	851	942	1033	1125	1217	1311	1405	1501	1598	1693	1788	1885	1982	
0.66	0	69	139	235	331	415	500	589	677	767	856	948	1039	1132	1224	1318	1413	1510	1607	1702	1798	1896	1994	
0.67	0	70	139	236	333	418	503	592	681	771	861	953	1045	1138	1231	1326	1421	1518	1616	1712	1808	1907	2005	
0.68	0	70	140	237	335	420	506	595	685	775	866	958	1051	1144	1238	1333	1429	1527	1625	1722	1818	1917	2016	
0.69	0	70	141	239	336	422	508	599	689	780	870	964	1057	1151	1244	1341	1437	1535	1634	1731	1828	1928	2027	
0.70	0	71	142	240	338	425	511	602	693	784	875	969	1063	1157	1251	1348	1445	1544	1643	1740	1838	1938	2038	
0.71	0	71	142	241	340	427	514	605	696	788	880	974	1068	1163	1258	1355	1452	1552	1652	1750	1848	1949	2049	
0.72	0	72	143	242	342	429	517	608	700	792	885	979	1074	1169	1265	1362	1460	1560	1660	1759	1858	1959	2060	
0.73	0	72	144	244	344	431	519	611	704	796	889	984	1080	1175	1271	1369	1468	1568	1669	1768	1867	1969	2071	
0.74	0	72	145	245	345	434	522	615	707	800	894	989	1085	1181	1278	1376	1475	1576	1677	1777	1877	1979	2081	
0.75	0	73	145	246	347	436	525	618	711	804	898	994	1091	1187	1284	1383	1483	1584	1686	1786	1887	1989	2092	
0.76	0	73	146	247	349	438	527	621	714	809	903	999	1096	1193	1291	1390	1490	1592	1694	1795	1896	1999	2102	
0.77	0	73	147	249	351	440	530	624	718	812	907	1004	1101	1199	1297	1397	1497	1600	1703	1804	1905	2009	2113	
0.78	0	74	148	250	352	442	532	627	721	816	912	1009	1107	1205	1303	1404	1505	1608	1711	1813	1915	2019	2123	
0.79	0	74	148	251	354	444	535	630	725	820	916	1014	1112	1211	1309	1411	1512	1616	1719	1821	1924	2029	2133	
0.80	0	74	149	252	356	447	537	633	728	824	920	1019	1117	1217	1316	1417	1519	1623	1727	1830	1933	2038	2143	
0.81	0	75	150	253	357	449	540	636	732	828	925	1024	1123	1222	1322	1424	1526	1631	1735	1839	1942	2048	2153	
0.82	0	75	150	255	359	451	543	639	735	832	929	1028	1128	1228	1328	1431	1533	1638	1743	1847	1951	2057	2163	
0.83	0	76	151	256	361	453	545	642	738	836	933	1033	1133	1233	1334	1437	1540	1646	1751	1856	1960	2067	2173	
0.84	0	76	152	257	362	455	547	645	742	840	937	1038	1138	1239	1340	1444	1547	1653	1759	1864	1969	2076	2183	
0.85	0	76	152	258	364	457	550	647	745	843	942	1042	1143	1245	1346	1450	1554	1661	1767	1872	1977	2085	2193	
0.86	0	77	153	259	365	459	552	650	748	847	946	1047	1148	1250	1352	1456	1561	1668	1775	1881	1986	2094	2203	
0.87	0	77	154	260	367	461	555	653	752	851	950	1051	1153	1256	1358	1463	1568	1675	1783	1889	1995	2103	2212	
0.88	0	77	154	261	369	463	557	656	755	854	954	1056	1158	1261	1364	1469	1574	1682	1790	1897	2003	2113	2222	
0.89	0	78	155	263	370	465	559	659	758	858	958	1061	1163	1266	1369	1475	1581	1690	1798	1905	2012	2122	2231	
0.90	0	78	156	264	372	467	562	662	761	862	962	1065	1168	1272	1375	1482	1588	1697	1806	1913	2020	2130	2241	
0.91	0	78	156	265	373	469	564	664	764	865	966	1069	1173	1277	1381	1488	1594	1704	1813	1921	2029	2139	2250	
0.92	0	78	157	266	375	471	566	667	768	869	970	1074	1178	1282	1387	1494	1601	1711	1821	1929	2037	2148	2259	
0.93	0	79	158	267	376	473	569	670	771	872	974	1078	1182	1287	1392	1500	1607	1718	1828	1937	2046	2157	2268	
0.94	0	79	158	268	378	474	571	672	774	876	978	1083	1187	1293	1398	1506	1614	1725	1835	1945	2054	2166	2277	
0.95	0	79	159	269	379	476	573	675	777	879	982	1087	1192	1298	1403	1512	1620	1732	1843	1952	2062	2174	2287	
0.96	0	80	159	270	381	478	576	678	780	883	986	1091	1197	1303	1409	1518	1627	1738	1850	1960	2070	2183	2296	
0.97	0	80	160	271	382	480	578	680	783	886	989	1095	1201	1308	1415	1524	1633	1745	1857	1968	2078	2191	2305	
0.98	0	80	161	272	384	482	580	683	786	890	993	1100	1206	1313	1420	1530	1639	1752	1864	1975	2086	2200	2313	
0.99	0	81	161	273	385	484	582	686	789	893	997	1104	1211	1318	1425	1536	1646	1759	1871	1983	2094	2208	2322	
1.00	0	81	162	274	387	486	585	688	792	896	1001	1108	1215	1323	1431	1541	1652	1765	1879	1990	2102	2217	2331	
1.01	0	81	163	275	388	487	587	691	795	900	1005	1112	1220	1328	1436	1547	1658	1772	1886	1998	2110	2225	2340	
1.02	0	82	163	276	390	489	589	693	798	903	1008	1116	1224	1333	1442	1553	1664	1778	1893	2005	2118	2233	2349	
1.03	0	82	164	277	391	491	591	696	801	906	1012	1120	1229	1338	1447	1559	1670	1785	1900	2013	2126	2241	2357	
1.04	0	82	164	278	393	493	593	699	804	910	1016	1124	1233	1343	1452	1564	1677	1792	1906	2020	2133	2250	2366	
1.05	0	82	165	279	394	495	595	701	807	913	1019	1129	1238	1348	1457	1570	1683	1798	1913	2027	2141	2258	2374	
1.06	0	83	166	280	395	496	597	704	810	916	1023	1133	1242	1352	1463	1576	1689	1804	1920	2034	2149	2266	2383	
1.07	0	83	166	281	397	498	600	706	812	920	1027	1137	1247	1357	1468	1581	1695	1811	1927	2042	2156	2274	2391	
1.08	0	83	167	282	398	500	602	708	815	923	1030	1141	1251	1362	1473	1587	1700	1817	1934	2049	2164	2282	2400	
1.09	0	84	167	283	400	502	604	711	818	926	1034	1145	1255	1367	1478	1592	1706	1823	1940	2056	2171	2290	2408	
1.10	0	84	168	284	401	503	606	713	821	929	1037	1148	1260	1371	1483	1598	1712	1830	1947	2063	2179	2297	2416	
1.11	0	84	168	285	402	505	608	716	824	932	1041	1152	1264	1376	1488	1603	1718	1836	1954	2070	2186	2305	2424	
1.12	0	85	169	286	404	507	610	718	826	935	1044	1156	1268	1381	1493	1609	1724	1842	1960	2077	2194	2313	2433	
1.13	0	85	170	287	405	509	612	721	829	939	1048	1160	1272	1385	1498	1614	1730	1848	1967	2084	2201	2321	2441	
1.14	0	85	170	288	406	510	614	723	832	942	1051	1164	1277	1390	1503	1619	1735	1854	1973	2091	2208	2329	2449	
1.15	0	85	171	289	408	512	616	725	835	945	1055	1168	1281	1394	1508	1625	1741	1861	1980	2098	2216	2336	2457	
1.16	0	86	171	290	409	514	618	728	837	948	1058	1172	1285	1399										

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 1,20 et 1,79 m

Palier de réglage compris entre 0 et 11

palier ouverture (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	énergie > à		
dénivelée (m)	0.00	0.18	0.36	0.61	0.85	1.07	1.29	1.52	1.75	1.98	2.21	2.45	2.68	2.92	3.16	3.40	3.65	3.90	4.15	4.39	4.64	4.89	5.14	élebrue		
1.20	0	87	173	294	414	520	626	737	848	960	1072	1187	1301	1417	1532	1651	1769	1891	2012	2132	2251	2374	2497	3000		
1.21	0	87	174	295	416	522	628	739	851	963	1075	1190	1306	1421	1537	1656	1775	1896	2018	2138	2258	2381	2504			
1.22	0	87	175	296	417	523	630	742	854	966	1079	1194	1310	1426	1542	1661	1780	1902	2024	2145	2265	2389	2512			
1.23	0	88	175	297	418	525	632	744	856	969	1082	1198	1314	1430	1547	1666	1786	1908	2031	2151	2272	2396	2520			
1.24	0	88	176	297	419	527	634	746	859	972	1085	1201	1318	1435	1551	1671	1791	1914	2037	2158	2279	2403	2528			
1.25	0	88	176	298	421	528	636	749	861	975	1088	1205	1322	1439	1556	1676	1797	1920	2043	2165	2286	2411	2535			
1.26	0	88	177	299	422	530	638	751	864	978	1092	1209	1326	1443	1561	1681	1802	1926	2049	2171	2293	2418	2543			
1.27	0	89	177	300	423	531	640	753	866	981	1095	1212	1329	1447	1565	1686	1807	1931	2055	2178	2300	2425	2550			
1.28	0	89	178	301	424	533	641	755	869	984	1098	1216	1333	1452	1570	1691	1813	1937	2061	2184	2307	2432	2558			
1.29	0	89	178	302	426	534	643	757	872	987	1101	1219	1337	1456	1575	1696	1818	1943	2067	2190	2313	2439	2565			
1.30	0	89	179	303	427	536	645	760	874	989	1105	1223	1341	1460	1579	1701	1823	1948	2073	2197	2320	2446	2573		4000	
1.31	0	90	179	304	428	538	647	762	877	992	1108	1226	1345	1464	1584	1706	1829	1954	2079	2203	2327	2454	2580			
1.32	0	90	180	305	429	539	649	764	879	995	1111	1230	1349	1469	1588	1711	1834	1960	2085	2209	2333	2461	2588			
1.33	0	90	180	305	431	541	651	766	882	998	1114	1233	1353	1473	1593	1716	1839	1965	2091	2216	2340	2468	2595			
1.34	0	90	181	306	432	542	653	768	884	1001	1117	1237	1357	1477	1597	1721	1844	1971	2097	2222	2347	2475	2602			
1.35	0	91	181	307	433	544	654	771	887	1004	1120	1240	1360	1481	1602	1726	1849	1976	2103	2228	2353	2481	2610			
1.36	0	91	182	308	434	545	656	773	889	1006	1124	1244	1364	1485	1606	1730	1854	1982	2109	2234	2360	2488	2617			
1.37	0	91	182	309	435	547	658	775	892	1009	1127	1247	1368	1489	1611	1735	1860	1987	2115	2241	2366	2495	2624			
1.38	0	91	183	310	437	548	660	777	894	1012	1130	1251	1372	1493	1615	1740	1865	1993	2121	2247	2373	2502	2631			
1.39	0	92	183	311	438	550	662	779	896	1015	1133	1254	1375	1497	1619	1745	1870	1998	2126	2253	2379	2509	2638			
1.40	0	92	184	311	439	551	663	781	899	1017	1136	1257	1379	1501	1624	1749	1875	2003	2132	2259	2386	2516	2646	5000		
1.41	0	92	184	312	440	553	665	783	901	1020	1139	1261	1383	1506	1628	1754	1880	2009	2138	2265	2392	2522	2653			
1.42	0	92	185	313	441	554	667	785	904	1023	1142	1264	1387	1510	1633	1759	1885	2014	2143	2271	2398	2529	2660			
1.43	0	93	185	314	442	556	669	787	906	1025	1145	1268	1390	1514	1637	1763	1890	2019	2149	2277	2405	2536	2667			
1.44	0	93	186	315	444	557	670	789	908	1028	1148	1271	1394	1517	1641	1768	1895	2025	2155	2283	2411	2542	2674			
1.45	0	93	186	316	445	558	672	792	911	1031	1151	1274	1397	1521	1645	1773	1900	2030	2160	2289	2417	2549	2681			
1.46	0	93	187	316	446	560	674	794	913	1034	1154	1278	1401	1525	1650	1777	1905	2035	2166	2295	2424	2556	2688			
1.47	0	94	187	317	447	561	676	796	915	1036	1157	1281	1405	1529	1654	1782	1910	2041	2171	2301	2430	2562	2695			
1.48	0	94	188	318	448	563	677	798	918	1039	1160	1284	1408	1533	1658	1786	1914	2046	2177	2307	2436	2569	2701			
1.49	0	94	188	319	449	564	679	800	920	1041	1163	1287	1412	1537	1662	1791	1919	2051	2183	2312	2442	2575	2708			
1.50	0	94	189	320	450	566	681	802	922	1044	1166	1291	1415	1541	1667	1795	1924	2056	2188	2318	2448	2582	2715		3000	
1.51	0	95	189	320	452	567	683	804	925	1047	1169	1294	1419	1545	1671	1800	1929	2061	2194	2324	2455	2588	2722			
1.52	0	95	190	321	453	568	684	806	927	1049	1172	1297	1422	1549	1675	1804	1934	2066	2199	2330	2461	2595	2729			
1.53	0	95	190	322	454	570	686	808	929	1052	1174	1300	1426	1552	1679	1809	1938	2071	2204	2336	2467	2601	2735			
1.54	0	95	191	323	455	571	688	810	932	1054	1177	1303	1429	1556	1683	1813	1943	2077	2210	2341	2473	2607	2742			
1.55	0	95	191	324	456	573	689	812	934	1057	1180	1307	1433	1560	1687	1818	1948	2082	2215	2347	2479	2614	2749			
1.56	0	96	191	324	457	574	691	814	936	1060	1183	1310	1436	1564	1691	1822	1953	2087	2221	2353	2485	2620	2755			
1.57	0	96	192	325	458	575	693	816	938	1062	1186	1313	1440	1568	1695	1826	1957	2092	2226	2358	2491	2626	2762			
1.58	0	96	192	326	459	577	694	817	941	1065	1189	1316	1443	1571	1699	1831	1962	2097	2231	2364	2497	2633	2769			
1.59	0	96	193	327	460	578	696	819	943	1067	1192	1319	1447	1575	1703	1835	1967	2102	2237	2370	2503	2639	2775			
1.60	0	97	193	327	462	580	698	821	945	1070	1194	1322	1450	1579	1707	1839	1971	2107	2242	2375	2509	2645	2782	4000		
1.61	0	97	194	328	463	581	699	823	947	1072	1197	1325	1454	1583	1712	1844	1976	2112	2247	2381	2514	2651	2788			
1.62	0	97	194	329	464	582	701	825	950	1075	1200	1328	1457	1586	1715	1848	1981	2116	2252	2386	2520	2658	2795			
1.63	0	97	195	330	465	584	702	827	952	1077	1203	1332	1460	1590	1719	1852	1985	2121	2258	2392	2526	2664	2801			
1.64	0	98	195	330	466	585	704	829	954	1080	1206	1335	1464	1594	1723	1857	1990	2126	2263	2397	2532	2670	2808			
1.65	0	98	196	331	467	586	706	831	956	1082	1208	1338	1467	1597	1727	1861	1994	2131	2268	2403	2538	2676	2814			
1.66	0	98	196	332	468	588	707	833	958	1085	1211	1341	1470	1601	1731	1865	1999	2136	2273	2408	2544	2682	2821			
1.67	0	98	196	333	469	589	709	835	960	1087	1214	1344	1474	1604	1735	1869	2003	2141	2278	2414	2549	2688	2827			
1.68	0	98	197	333	470	590	710	837	963	1090	1216	1347	1477	1608	1739	1874	2008	2146	2283	2419	2555	2694	2833			
1.69	0	99	197	334	471	592	712	838	965	1092	1219	1350	1480	1612	1743	1878	2012	2150	2288	2425	2561	2700	2840			
1.70	0	99	198	335	472	593	714	840	967	1094	1222	1353	1484	1615	1747	1882	2017	2155	2294	2430	2566	2706	2846			
1.71	0	99	198	336	473	594	715	842	969	1097	1225	1356	1487	1619	1751	1886	2021	2160	2299	2435	2572	2712	2852			
1.72	0	99	199	336	474	596	717	844	971	1099	1227	1359	1490	1622	1755	1890	2026	2165	2304	2441	2578	2718	2859			
1.73	0	100	199	337	475	597	718	846	973	1102	1230	1362	1493	1626	1758	1894	2030	2169	2309	2446	2583	2724	2865			
1.74	0	100	199	338	476	598	720	848	975	1104	1233	1365	1497	1629	1762	1898	2035	2174	2314	2451	2589					

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 1,80 et 2,39 m

Palier de réglage compris entre 0 et 11

palier ouverture (m) dénivelée (m)	0.0 0.00	0.5 0.18	1.0 0.36	1.5 0.61	2.0 0.85	2.5 1.07	3.0 1.29	3.5 1.52	4.0 1.75	4.5 1.98	5.0 2.21	5.5 2.45	6.0 2.68	6.5 2.92	7.0 3.16	7.5 3.40	8.0 3.65	8.5 3.90	9.0 4.15	9.5 4.39	10.0 4.64	10.5 4.89	11.0 5.14	énergie > à	
1.80	0	101	202	342	482	606	729	859	988	1118	1248	1382	1516	1650	1785	1923	2061	2202	2343	2483	2622	2765	2908	5000	
1.81	0	101	202	343	483	607	731	860	990	1121	1251	1385	1519	1654	1789	1927	2065	2207	2348	2488	2628	2771	2914		
1.82	0	101	203	344	484	608	732	862	992	1123	1254	1388	1522	1657	1792	1931	2069	2211	2353	2493	2633	2777	2920		
1.83	0	102	203	344	485	610	734	864	994	1125	1256	1391	1525	1661	1796	1935	2074	2216	2358	2498	2639	2782	2926		
1.84	0	102	204	345	486	611	735	866	996	1127	1259	1394	1528	1664	1800	1939	2078	2220	2363	2503	2644	2788	2932		
1.85	0	102	204	346	487	612	737	867	998	1130	1261	1396	1532	1667	1803	1943	2082	2225	2368	2508	2649	2794	2938		
1.86	0	102	205	346	488	613	738	869	1000	1132	1264	1399	1535	1671	1807	1947	2086	2229	2372	2514	2655	2799	2944		
1.87	0	102	205	347	489	615	740	871	1002	1134	1267	1402	1538	1674	1811	1951	2090	2234	2377	2519	2660	2805	2950		
1.88	0	103	205	348	490	616	741	873	1004	1137	1270	1405	1541	1678	1814	1954	2095	2238	2382	2524	2665	2811	2956		
1.89	0	103	206	349	491	617	743	874	1006	1139	1272	1408	1544	1681	1818	1958	2099	2243	2387	2529	2671	2816	2962		
1.90	0	103	206	349	492	618	744	876	1008	1141	1274	1411	1547	1684	1822	1962	2103	2247	2391	2534	2676	2822	2968		
1.91	0	103	207	350	493	619	746	878	1010	1143	1277	1413	1550	1688	1825	1966	2107	2252	2396	2539	2681	2827	2973		
1.92	0	103	207	351	494	621	747	880	1012	1146	1279	1416	1553	1691	1829	1970	2111	2256	2401	2544	2687	2833	2979		
1.93	0	104	207	351	495	622	749	881	1014	1148	1282	1419	1556	1694	1832	1974	2115	2261	2406	2549	2692	2838	2985		
1.94	0	104	208	352	496	623	750	883	1016	1150	1284	1422	1559	1697	1836	1978	2120	2265	2410	2554	2697	2844	2991		
1.95	0	104	208	353	497	624	751	885	1018	1152	1287	1424	1562	1701	1839	1982	2124	2269	2415	2559	2702	2849	2997		
1.96	0	104	209	353	498	626	753	887	1020	1155	1289	1427	1565	1704	1843	1985	2128	2274	2420	2564	2708	2855	3002		
1.97	0	105	209	354	499	627	754	888	1022	1157	1292	1430	1568	1707	1846	1989	2132	2278	2424	2568	2713	2860	3008		
1.98	0	105	209	355	500	628	756	890	1024	1159	1294	1433	1571	1711	1850	1993	2136	2282	2429	2573	2718	2866	3014		
1.99	0	105	210	355	501	629	757	892	1026	1161	1296	1435	1574	1714	1853	1997	2140	2287	2433	2578	2723	2871	3020		
2.00	0	105	210	356	502	630	759	893	1028	1163	1299	1438	1577	1717	1857	2000	2144	2291	2438	2583	2728	2877	3025		
2.01	0	105	211	357	503	631	760	895	1030	1166	1301	1441	1580	1720	1860	2004	2148	2295	2443	2588	2733	2882	3031		
2.02	0	105	211	357	504	633	761	897	1032	1168	1304	1443	1583	1723	1864	2008	2152	2300	2447	2593	2738	2888	3037		
2.03	0	106	211	358	505	634	763	898	1034	1170	1306	1446	1586	1727	1867	2012	2156	2304	2452	2598	2743	2893	3042		
2.04	0	106	212	359	506	635	764	900	1036	1172	1309	1449	1589	1730	1871	2015	2160	2308	2456	2602	2749	2898	3048		
2.05	0	106	212	359	507	636	766	902	1037	1174	1311	1451	1592	1733	1874	2019	2164	2312	2461	2607	2754	2904	3054		
2.06	0	106	213	360	508	637	767	903	1039	1176	1313	1454	1595	1736	1878	2023	2168	2317	2466	2612	2759	2909	3059		
2.07	0	106	213	361	509	639	769	905	1041	1179	1316	1457	1598	1739	1881	2027	2172	2321	2470	2617	2764	2914	3065		
2.08	0	107	213	361	509	640	770	907	1043	1181	1318	1459	1601	1743	1885	2030	2176	2325	2474	2622	2769	2920	3070		
2.09	0	107	214	362	510	641	771	908	1045	1183	1321	1462	1603	1746	1888	2034	2180	2329	2479	2626	2774	2925	3076		
2.10	0	107	214	363	511	642	773	910	1047	1185	1323	1465	1606	1749	1891	2038	2184	2333	2483	2631	2779	2930	3081	6000	
2.11	0	107	214	363	512	643	774	911	1049	1187	1325	1467	1609	1752	1895	2041	2188	2338	2488	2636	2784	2935	3087		
2.12	0	107	215	364	513	644	775	913	1051	1189	1328	1470	1612	1755	1898	2045	2191	2342	2492	2640	2789	2940	3092		
2.13	0	108	215	365	514	645	777	915	1053	1191	1330	1472	1615	1758	1901	2048	2195	2346	2497	2645	2794	2946	3098		
2.14	0	108	216	365	515	647	778	916	1054	1193	1332	1475	1618	1761	1905	2052	2199	2350	2501	2650	2798	2951	3103		
2.15	0	108	216	366	516	648	780	918	1056	1195	1335	1478	1621	1764	1908	2056	2203	2354	2505	2654	2803	2956	3109		
2.16	0	108	216	367	517	649	781	919	1058	1198	1337	1480	1623	1767	1912	2059	2207	2358	2510	2659	2808	2961	3114		
2.17	0	108	217	367	518	650	782	921	1060	1200	1339	1483	1626	1771	1915	2063	2211	2362	2514	2664	2813	2966	3120		
2.18	0	109	217	368	519	651	784	923	1062	1202	1342	1485	1629	1774	1918	2066	2215	2366	2518	2668	2818	2972	3125		
2.19	0	109	218	368	519	652	785	924	1064	1204	1344	1488	1632	1777	1921	2070	2218	2371	2523	2673	2823	2977	3130		
2.20	0	109	218	369	520	653	786	926	1065	1206	1346	1491	1635	1780	1925	2073	2222	2375	2527	2677	2828	2982	3136		
2.21	0	109	218	370	521	654	788	927	1067	1208	1349	1493	1637	1783	1928	2077	2226	2379	2531	2682	2833	2987	3141		
2.22	0	109	219	370	522	656	789	929	1069	1210	1351	1496	1640	1786	1931	2081	2230	2383	2536	2687	2837	2992	3146		
2.23	0	109	219	371	523	657	790	931	1071	1212	1353	1498	1643	1789	1935	2084	2234	2387	2540	2691	2842	2997	3152		
2.24	0	110	219	372	524	658	792	932	1073	1214	1355	1501	1646	1792	1938	2088	2237	2391	2544	2696	2847	3002	3157		
2.25	0	110	220	372	525	659	793	934	1074	1216	1358	1503	1649	1795	1941	2091	2241	2395	2549	2700	2852	3007	3162		
2.26	0	110	220	373	526	660	794	935	1076	1218	1360	1506	1651	1798	1944	2095	2245	2399	2553	2705	2856	3012	3168		
2.27	0	110	220	373	526	661	796	937	1078	1220	1362	1508	1654	1801	1948	2098	2249	2403	2557	2709	2861	3017	3173		
2.28	0	110	221	374	527	662	797	938	1080	1222	1365	1511	1657	1804	1951	2102	2252	2407	2561	2714	2866	3022	3178		
2.29	0	111	221	375	528	663	798	940	1082	1224	1367	1513	1660	1807	1954	2105	2256	2411	2565	2718	2871	3027	3183		
2.30	0	111	222	375	529	664	800	941	1083	1226	1369	1516	1662	1810	1957	2108	2260	2415	2570	2723	2875	3032	3189		
2.31	0	111	222	376	530	665	801	943	1085	1228	1371	1518	1665	1813	1960	2112	2263	2419	2574	2727	2880	3037	3194		
2.32	0	111	222	377	531	666	802	945	1087	1230	1373	1521	1668	1816	1964	2115	2267	2423	2578	2731	2885	3042	3199		
2.33	0	111	223	377	532	668	803	946	1089	1232	1376	1523	1670	1819	1967	2119	2271	2426	2582	2736	2889	3047	3204		
2.34	0	111	223	378	532	669	805	948	1090	1234	1378	1525	1673	1821	1970	2122	2274	2430	258						

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 0,00 et 0,59 m

Palier de réglage compris entre 11,5 et 22,5

palier ouverture (m)	11.5 5.40	12 5.66	12.5 5.92	13 6.18	13.5 6.44	14 6.70	14.5 6.97	15 7.23	15.5 7.49	16 7.76	16.5 8.03	17 8.30	17.5 8.56	18 8.83	18.5 9.10	19 9.37	19.5 9.64	20 9.92	20.5 10.19	21 10.47	21.5 10.75	22 11.03	22.5 11.14	énergie > à
dénivelée (m)																								
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.01	433	454	475	496	517	537	559	580	601	622	643	665	686	708	730	751	773	795	817	839	862	884	893	0
0.02	562	589	616	643	670	698	725	752	780	807	835	863	891	918	947	975	1004	1032	1060	1089	1118	1147	1159	0
0.03	655	686	718	749	781	812	844	876	908	940	973	1005	1038	1070	1103	1136	1169	1202	1235	1268	1302	1336	1350	0
0.04	730	765	800	835	870	905	941	976	1012	1047	1084	1120	1156	1192	1229	1265	1302	1339	1376	1413	1451	1489	1504	0
0.05	794	831	870	908	946	985	1023	1062	1100	1139	1179	1218	1257	1296	1336	1376	1416	1457	1497	1537	1578	1620	1636	0
0.06	850	891	931	972	1013	1054	1096	1137	1178	1220	1262	1305	1347	1388	1431	1474	1517	1560	1603	1646	1690	1735	1752	0
0.07	901	944	987	1030	1074	1117	1161	1205	1249	1293	1338	1383	1427	1471	1517	1562	1607	1653	1699	1745	1791	1838	1856	0
0.08	947	992	1038	1083	1129	1175	1221	1267	1313	1359	1407	1454	1500	1547	1595	1642	1690	1738	1786	1834	1884	1933	1952	0
0.09	990	1037	1085	1132	1180	1228	1276	1324	1373	1421	1470	1520	1568	1617	1667	1717	1767	1817	1867	1917	1969	2020	2041	0
0.10	1030	1079	1129	1178	1228	1278	1328	1378	1428	1478	1530	1581	1632	1682	1734	1786	1838	1890	1943	1995	2048	2102	2123	0
0.11	1067	1119	1170	1221	1273	1324	1376	1428	1480	1532	1586	1639	1691	1744	1798	1851	1905	1959	2014	2068	2123	2179	2200	0
0.12	1103	1156	1209	1262	1315	1368	1422	1476	1529	1583	1638	1693	1748	1802	1857	1913	1969	2025	2081	2137	2194	2251	2274	0
0.13	1137	1191	1246	1300	1355	1410	1466	1521	1576	1632	1688	1745	1801	1857	1914	1971	2029	2086	2144	2202	2261	2320	2343	0
0.14	1169	1225	1281	1337	1394	1450	1507	1564	1621	1678	1736	1794	1852	1909	1968	2027	2086	2145	2205	2264	2325	2385	2409	0
0.15	1199	1257	1315	1372	1430	1488	1547	1605	1663	1722	1782	1842	1901	1960	2020	2080	2141	2202	2263	2324	2386	2448	2473	400
0.16	1229	1288	1347	1406	1465	1525	1585	1644	1704	1764	1825	1887	1947	2008	2070	2132	2194	2256	2318	2381	2445	2508	2533	400
0.17	1257	1317	1378	1438	1499	1560	1621	1682	1743	1805	1868	1930	1992	2054	2117	2181	2244	2308	2372	2436	2501	2566	2592	400
0.18	1285	1346	1408	1470	1532	1594	1656	1719	1781	1844	1908	1972	2036	2099	2163	2228	2293	2358	2423	2489	2555	2622	2648	400
0.19	1311	1374	1437	1500	1563	1627	1690	1754	1818	1882	1947	2013	2077	2142	2208	2274	2340	2406	2473	2540	2608	2676	2703	400
0.20	1337	1401	1465	1529	1594	1658	1723	1788	1853	1919	1985	2052	2118	2184	2251	2318	2386	2453	2521	2589	2659	2728	2755	400
0.21	1361	1426	1492	1557	1623	1689	1755	1821	1888	1954	2022	2090	2157	2224	2293	2361	2430	2499	2568	2637	2708	2778	2806	400
0.22	1385	1452	1518	1585	1652	1719	1786	1853	1921	1989	2058	2127	2195	2263	2333	2403	2473	2543	2613	2684	2756	2827	2856	400
0.23	1409	1476	1544	1612	1680	1748	1816	1885	1953	2022	2092	2163	2232	2301	2372	2443	2514	2586	2657	2729	2802	2875	2904	400
0.24	1431	1500	1569	1638	1707	1776	1846	1915	1985	2055	2126	2198	2268	2339	2411	2483	2555	2627	2700	2773	2847	2922	2951	400
0.25	1454	1523	1593	1663	1733	1804	1874	1945	2016	2087	2159	2232	2303	2375	2448	2521	2595	2668	2742	2816	2891	2967	2997	700
0.26	1475	1546	1617	1688	1759	1830	1902	1974	2046	2118	2191	2265	2337	2410	2484	2559	2633	2708	2783	2858	2934	3011	3041	700
0.27	1496	1568	1640	1712	1784	1857	1929	2002	2075	2148	2223	2297	2371	2444	2520	2595	2671	2746	2822	2898	2976	3054	3085	700
0.28	1517	1589	1662	1735	1809	1882	1956	2029	2103	2177	2253	2329	2403	2478	2555	2631	2708	2784	2861	2938	3017	3096	3127	700
0.29	1537	1611	1685	1758	1833	1907	1982	2056	2131	2206	2283	2360	2435	2511	2588	2666	2744	2821	2899	2977	3057	3137	3169	700
0.30	1557	1631	1706	1781	1856	1932	2007	2083	2159	2235	2312	2390	2467	2543	2622	2700	2779	2857	2937	3016	3096	3177	3209	700
0.31	1576	1651	1727	1803	1879	1956	2032	2109	2185	2262	2341	2420	2497	2575	2654	2734	2813	2893	2973	3053	3135	3217	3249	700
0.32	1595	1671	1748	1825	1902	1979	2056	2134	2212	2290	2369	2449	2527	2606	2686	2766	2847	2928	3009	3090	3173	3255	3288	700
0.33	1614	1691	1768	1846	1924	2002	2080	2159	2237	2316	2397	2477	2557	2636	2717	2799	2880	2962	3044	3126	3209	3293	3326	700
0.34	1632	1710	1788	1867	1946	2025	2104	2183	2263	2342	2424	2505	2586	2666	2748	2830	2913	2995	3078	3161	3246	3330	3364	700
0.35	1650	1729	1808	1887	1967	2047	2127	2207	2288	2368	2450	2533	2614	2695	2778	2861	2945	3028	3112	3196	3281	3367	3401	700
0.36	1667	1747	1827	1907	1988	2069	2150	2231	2312	2393	2476	2560	2642	2724	2808	2892	2976	3060	3145	3230	3316	3403	3437	700
0.37	1684	1765	1846	1927	2009	2090	2172	2254	2336	2418	2502	2586	2669	2752	2837	2922	3007	3092	3178	3263	3351	3438	3473	700
0.38	1701	1783	1865	1947	2029	2111	2194	2276	2359	2442	2527	2612	2696	2780	2865	2951	3037	3123	3210	3296	3384	3473	3508	700
0.39	1718	1800	1883	1966	2049	2132	2215	2299	2383	2466	2552	2638	2722	2807	2894	2980	3067	3154	3241	3328	3418	3507	3542	700
0.40	1735	1818	1901	1985	2068	2152	2237	2321	2405	2490	2577	2663	2749	2834	2921	3009	3096	3184	3272	3360	3450	3540	3576	1000
0.41	1751	1835	1919	2003	2088	2172	2257	2342	2428	2513	2601	2688	2774	2860	2948	3037	3125	3214	3303	3392	3482	3573	3609	1000
0.42	1767	1851	1936	2021	2107	2192	2278	2364	2450	2536	2624	2712	2799	2886	2975	3064	3154	3243	3333	3422	3514	3606	3642	1000
0.43	1782	1868	1954	2039	2125	2212	2298	2385	2472	2559	2648	2737	2824	2912	3002	3092	3182	3272	3362	3453	3545	3638	3674	1000
0.44	1798	1884	1971	2057	2144	2231	2318	2405	2493	2581	2671	2760	2849	2937	3028	3118	3209	3300	3392	3483	3576	3670	3706	1000
0.45	1813	1900	1987	2074	2162	2250	2338	2426	2514	2603	2693	2784	2873	2962	3054	3145	3237	3328	3420	3512	3607	3701	3738	1000
0.46	1828	1916	2004	2092	2180	2268	2357	2446	2535	2624	2716	2807	2897	2987	3079	3171	3263	3356	3449	3542	3637	3731	3769	1000
0.47	1843	1931	2020	2109	2198	2287	2376	2466	2556	2646	2738	2830	2920	3011	3104	3197	3290	3383	3477	3570	3666	3762	3800	1000
0.48	1858	1947	2036	2125	2215	2305	2395	2485	2576	2667	2759	2852	2944	3035	3129	3222	3316	3410	3504	3599	3695	3792	3830	1000
0.49	1872	1962	2052	2142	2232	2323	2414	2505	2596	2687	2781	2874	2967	3059	3153	3247	3342	3437	3532	3627	3724	3821	3860	1000
0.50	1886	1977	2068	2158	2250	2341	2432	2524	2616	2708	2802	2896	2989	3082	3177	3272	3367	3463	3559	3				

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 0,60 et 1,19 m

Palier de réglage compris entre 11,5 et 22,5

palier ouverture (m)	11.5 5.40	12 5.66	12.5 5.92	13 6.18	13.5 6.44	14 6.70	14.5 6.97	15 7.23	15.5 7.49	16 7.76	16.5 8.03	17 8.30	17.5 8.56	18 8.83	18.5 9.10	19 9.37	19.5 9.64	20 9.92	20.5 10.19	21 10.47	21.5 10.75	22 11.03	22.5 11.14	énergie > à																	
0.60	2020	2117	2214	2312	2409	2507	2605	2703	2802	2900	3001	3102	3201	3301	3402	3504	3606	3709	3811	3914	4019	4124	4165	2000																	
0.61	2033	2130	2228	2326	2424	2522	2621	2720	2819	2918	3020	3121	3221	3321	3424	3526	3629	3732	3835	3938	4044	4149	4191		3000																
0.62	2045	2143	2242	2340	2439	2538	2637	2737	2836	2936	3038	3140	3241	3342	3445	3548	3651	3755	3858	3962	4069	4175	4217			4000															
0.63	2058	2156	2255	2354	2454	2553	2653	2753	2854	2954	3057	3159	3261	3362	3465	3569	3673	3777	3882	3986	4093	4200	4242				5000														
0.64	2070	2169	2269	2368	2468	2568	2669	2769	2870	2971	3075	3178	3280	3382	3486	3590	3695	3800	3905	4010	4117	4225	4267					6000													
0.65	2082	2182	2282	2382	2483	2583	2685	2786	2887	2989	3093	3197	3299	3402	3506	3611	3717	3822	3928	4033	4142	4250	4292						7000												
0.66	2094	2194	2295	2396	2497	2598	2700	2802	2904	3006	3111	3215	3318	3421	3527	3632	3738	3844	3950	4057	4165	4274	4317							8000											
0.67	2106	2207	2308	2409	2511	2613	2715	2818	2920	3023	3128	3233	3337	3441	3547	3653	3759	3866	3973	4080	4189	4298	4341								9000										
0.68	2118	2219	2321	2423	2525	2628	2731	2833	2937	3040	3146	3251	3356	3460	3566	3673	3780	3887	3995	4102	4212	4322	4366									10000									
0.69	2129	2231	2334	2436	2539	2642	2746	2849	2953	3057	3163	3269	3374	3479	3586	3693	3801	3909	4017	4125	4236	4346	4390										11000								
0.70	2141	2243	2346	2449	2553	2656	2760	2864	2969	3073	3180	3287	3392	3498	3606	3713	3822	3930	4039	4147	4259	4370	4414											12000							
0.71	2152	2255	2359	2463	2567	2671	2775	2880	2985	3090	3197	3305	3411	3516	3625	3733	3842	3951	4060	4170	4281	4393	4437												13000						
0.72	2164	2267	2371	2476	2580	2685	2790	2895	3000	3106	3214	3322	3429	3535	3644	3753	3862	3972	4082	4192	4304	4416	4461													14000					
0.73	2175	2279	2384	2488	2594	2699	2804	2910	3016	3122	3231	3339	3446	3553	3663	3772	3882	3992	4103	4213	4326	4439	4484														15000				
0.74	2186	2291	2396	2501	2607	2713	2819	2925	3032	3138	3247	3356	3464	3572	3682	3792	3902	4013	4124	4235	4349	4462	4507															16000			
0.75	2197	2302	2408	2514	2620	2726	2833	2940	3047	3154	3264	3373	3482	3590	3700	3811	3922	4033	4145	4256	4371	4485	4530																17000		
0.76	2208	2314	2420	2526	2633	2740	2847	2954	3062	3170	3280	3390	3499	3608	3719	3830	3942	4053	4165	4278	4392	4507	4552																	18000	
0.77	2219	2325	2432	2539	2646	2753	2861	2969	3077	3185	3296	3407	3516	3625	3737	3849	3961	4073	4186	4299	4414	4529	4575																		19000
0.78	2230	2337	2444	2551	2659	2767	2875	2983	3092	3201	3312	3424	3533	3643	3755	3868	3980	4093	4206	4320	4435	4551	4597																		
0.79	2241	2348	2456	2563	2672	2780	2889	2998	3107	3216	3328	3440	3550	3661	3773	3886	3999	4113	4227	4340	4457	4573	4619	21000																	
0.80	2251	2359	2467	2576	2684	2793	2903	3012	3122	3232	3344	3456	3567	3678	3791	3905	4018	4132	4247	4361	4478	4595	4641	22000																	
0.81	2262	2370	2479	2588	2697	2806	2916	3026	3136	3247	3360	3472	3584	3695	3809	3923	4037	4152	4267	4381	4499	4616	4663	23000																	
0.82	2272	2381	2490	2600	2710	2819	2930	3040	3151	3262	3375	3489	3600	3712	3827	3941	4056	4171	4286	4402	4520	4638	4684	24000																	
0.83	2283	2392	2502	2612	2722	2832	2943	3054	3165	3277	3391	3504	3617	3729	3844	3959	4074	4190	4306	4422	4540	4659	4706	25000																	
0.84	2293	2403	2513	2623	2734	2845	2956	3068	3180	3291	3406	3520	3633	3746	3861	3977	4093	4210	4325	4442	4561	4680	4727	26000																	
0.85	2303	2413	2524	2635	2746	2858	2970	3081	3194	3306	3421	3536	3649	3763	3879	3995	4111	4228	4345	4462	4581	4701	4748	27000																	
0.86	2313	2424	2535	2647	2758	2870	2983	3095	3208	3321	3436	3552	3665	3779	3896	4012	4129	4246	4364	4481	4601	4722	4769	28000																	
0.87	2323	2435	2546	2658	2771	2883	2996	3108	3222	3335	3451	3567	3681	3796	3913	4030	4147	4265	4383	4501	4621	4742	4790	29000																	
0.88	2333	2445	2557	2670	2782	2895	3009	3122	3236	3350	3466	3582	3697	3812	3930	4047	4165	4283	4402	4520	4641	4763	4810	30000																	
0.89	2343	2456	2568	2681	2794	2908	3021	3135	3249	3364	3481	3598	3713	3828	3946	4064	4183	4301	4420	4539	4661	4783	4831	31000																	
0.90	2353	2466	2579	2692	2806	2920	3034	3148	3263	3378	3495	3613	3729	3844	3963	4081	4200	4319	4439	4558	4681	4803	4851	32000																	
0.91	2363	2476	2590	2704	2818	2932	3047	3161	3277	3392	3510	3628	3744	3861	3979	4098	4218	4337	4457	4577	4700	4823	4871	33000																	
0.92	2373	2486	2600	2715	2829	2944	3059	3175	3290	3406	3524	3643	3760	3876	3996	4115	4235	4355	4476	4596	4720	4843	4891	34000																	
0.93	2382	2496	2611	2726	2841	2956	3072	3187	3304	3420	3539	3658	3775	3892	4012	4132	4253	4373	4494	4615	4739	4863	4911	35000																	
0.94	2392	2507	2622	2737	2852	2968	3084	3200	3317	3434	3553	3672	3790	3908	4028	4149	4270	4391	4512	4634	4758	4882	4931	36000																	
0.95	2402	2517	2632	2748	2864	2980	3096	3213	3330	3447	3567	3687	3805	3923	4044	4165	4287	4408	4530	4652	4777	4902	4951	37000																	
0.96	2411	2526	2642	2758	2875	2992	3109	3226	3343	3461	3581	3702	3820	3939	4060	4182	4304	4426	4548	4670	4796	4921	4970	38000																	
0.97	2420	2536	2653	2769	2886	3003	3121	3238	3356	3474	3595	3716	3835	3954	4076	4198	4320	4443	4566	4689	4814	4940	4990	39000																	
0.98	2430	2546	2663	2780	2897	3015	3133	3251	3369	3488	3609	3730	3850	3970	4092	4214	4337	4460	4583	4707	4833	4959	5009	40000																	
0.99	2439	2556	2673	2791	2908	3026	3145	3263	3382	3501	3623	3745	3865	3985	4108	4230	4354	4477	4601	4725	4852	4978	5028	41000																	
1.00	2448	2566	2683	2801	2919	3038	3157	3276	3395	3515	3637	3759	3879	4000	4123	4246	4370	4494	4618	4743	4870	4997	5047	42000																	
1.01	2457	2575	2693	2812	2930	3049	3169	3288	3408	3528	3650	3773	3894	4015	4139	4262	4387	4511	4636	4761	4888	5016	5066	43000																	
1.02	2467	2585	2703	2822	2941	3061	3180	3300	3420	3541	3664	3787	3908	4030	4154	4278	4403	4528	4653	4778	4906	5034	5085	44000																	
1.03	2476	2594	2713	2832	2952	3072	3192	3312	3433	3554	3677	3801	3923	4045	4169	4294	4419	4544	4670	4796	4924	5053	5104	45000																	
1.04	2485	2604	2723	2843	2963	3083	3204	3324	3446	3567	3691	3815	3937	4059	4184	4310	4435	4561	4687	4813	4942	5071	5122	46000																	
1.05	2494	2613	2733	2853	2974	3094	3215	3336	3458	3580	3704	3829	3951	4074	4200	4325	4451	4577	4704	4831	4960	5090	5141	47000																	
1.06	2503	2622	2743	2863	2984	3105	3227	3348	3470	3592	3717	3842	3965	4089	4215	4341	4467	4594	4721	4848	4978	5108	5159	48000																	
1.07	2511	2632	2752	2873	2995	3116	3238	3360	3483	3605	3730	3856	3979	4103	4229	4356	4483	4610	4737	4865	4995	5126	5177	49000																	
1.08	2520	2641	2762	2883	3005	3127	3249	3372	3495	3618	3744	3869	3993	4117	4244	4371	4499	4626	4754	4882	5013	5144	5195	50000																	
1.09	2529	2650	2772	2893	3016	3138	3261	3384	3507	3630	3757	3883	4007	4132	4259	4386	4514	4642	4771	4899	5030	5162	5213	51000																	
1.10	2538	2659	2781	2903	3026	3149	3272	3395	35																																

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 1,20 et 1,79 m

Palier de réglage compris entre 11,5 et 22,5

palier ouverture (m)	11.5 5.40	12 5.66	12.5 5.92	13 6.18	13.5 6.44	14 6.70	14.5 6.97	15 7.23	15.5 7.49	16 7.76	16.5 8.03	17 8.30	17.5 8.56	18 8.83	18.5 9.10	19 9.37	19.5 9.64	20 9.92	20.5 10.19	21 10.47	21.5 10.75	22 11.03	22.5 11.14	énergie > à								
1.20	2622	2748	2874	3000	3127	3253	3381	3508	3636	3764	3895	4026	4155	4284	4416	4548	4680	4813	4946	5079	5216	5352	5405	6000								
1.21	2630	2756	2883	3009	3136	3264	3391	3519	3647	3776	3907	4038	4168	4297	4430	4562	4695	4828	4962	5095	5232	5368	5422		7000							
1.22	2638	2765	2892	3019	3146	3274	3402	3530	3659	3787	3919	4051	4181	4311	4443	4576	4710	4843	4977	5111	5248	5385	5439			8000						
1.23	2647	2773	2901	3028	3156	3284	3412	3541	3670	3799	3931	4063	4194	4324	4457	4590	4724	4858	4992	5127	5264	5402	5456				9000					
1.24	2655	2782	2909	3037	3165	3294	3423	3552	3681	3811	3943	4076	4206	4337	4471	4604	4739	4873	5008	5142	5280	5418	5473					10000				
1.25	2663	2790	2918	3046	3175	3304	3433	3562	3692	3822	3955	4088	4219	4350	4484	4618	4753	4887	5023	5158	5296	5435	5489						11000			
1.26	2671	2799	2927	3055	3185	3314	3443	3573	3703	3834	3967	4100	4232	4363	4498	4632	4767	4902	5038	5173	5312	5451	5506							6000		
1.27	2679	2807	2936	3065	3194	3324	3454	3584	3714	3845	3979	4112	4244	4376	4511	4646	4781	4917	5053	5189	5328	5467	5522								7000	
1.28	2687	2815	2944	3074	3204	3333	3464	3594	3725	3856	3991	4125	4257	4389	4524	4660	4795	4931	5068	5204	5344	5483	5538									8000
1.29	2694	2823	2953	3083	3213	3343	3474	3605	3736	3868	4002	4137	4269	4402	4538	4673	4809	4946	5083	5219	5359	5499	5554									
1.30	2702	2832	2962	3092	3222	3353	3484	3615	3747	3879	4014	4149	4282	4415	4551	4687	4823	4960	5097	5235	5375	5515	5571	6000								
1.31	2710	2840	2970	3101	3232	3363	3494	3626	3758	3890	4025	4161	4294	4427	4564	4700	4837	4974	5112	5250	5390	5531	5587		7000							
1.32	2718	2848	2979	3109	3241	3372	3504	3636	3769	3901	4037	4173	4306	4440	4577	4714	4851	4989	5127	5265	5406	5547	5603			8000						
1.33	2725	2856	2987	3118	3250	3382	3514	3647	3779	3912	4048	4184	4319	4453	4590	4727	4865	5003	5141	5280	5421	5563	5619				9000					
1.34	2733	2864	2996	3127	3259	3391	3524	3657	3790	3923	4060	4196	4331	4465	4603	4741	4879	5017	5156	5295	5437	5579	5634					10000				
1.35	2741	2872	3004	3136	3268	3401	3534	3667	3801	3934	4071	4208	4343	4478	4616	4754	4892	5031	5170	5309	5452	5594	5650						11000			
1.36	2748	2880	3012	3145	3277	3410	3544	3677	3811	3945	4083	4220	4355	4490	4629	4767	4906	5045	5185	5324	5467	5610	5666							6000		
1.37	2756	2888	3021	3153	3286	3420	3554	3687	3822	3956	4094	4231	4367	4503	4641	4780	4920	5059	5199	5339	5482	5625	5682								7000	
1.38	2764	2896	3029	3162	3295	3429	3563	3697	3832	3967	4105	4243	4379	4515	4654	4793	4933	5073	5213	5354	5497	5641	5697									8000
1.39	2771	2904	3037	3170	3304	3438	3573	3708	3843	3978	4116	4254	4391	4527	4667	4806	4946	5087	5227	5368	5512	5656	5713									
1.40	2779	2912	3045	3179	3313	3448	3583	3718	3853	3989	4127	4266	4403	4539	4679	4819	4960	5100	5241	5383	5527	5671	5728	6000								
1.41	2786	2919	3053	3188	3322	3457	3592	3727	3863	3999	4138	4277	4415	4552	4692	4832	4973	5114	5255	5397	5542	5686	5743		7000							
1.42	2793	2927	3062	3196	3331	3466	3602	3737	3874	4010	4149	4289	4426	4564	4704	4845	4986	5128	5269	5411	5556	5702	5759			8000						
1.43	2801	2935	3070	3204	3340	3475	3611	3747	3884	4021	4160	4300	4438	4576	4717	4858	5000	5141	5283	5426	5571	5717	5774				9000					
1.44	2808	2943	3078	3213	3349	3484	3621	3757	3894	4031	4171	4311	4450	4588	4729	4871	5013	5155	5297	5440	5586	5732	5789					10000				
1.45	2816	2950	3086	3221	3357	3493	3630	3767	3904	4042	4182	4323	4461	4600	4742	4883	5026	5168	5311	5454	5600	5747	5804						11000			
1.46	2823	2958	3094	3230	3366	3502	3640	3777	3914	4052	4193	4334	4473	4612	4754	4896	5039	5181	5325	5468	5615	5761	5819							6000		
1.47	2830	2966	3102	3238	3375	3511	3649	3786	3924	4062	4204	4345	4484	4624	4766	4909	5052	5195	5339	5482	5629	5776	5834								7000	
1.48	2837	2973	3110	3246	3383	3520	3658	3796	3934	4073	4214	4356	4496	4635	4778	4921	5065	5208	5352	5496	5644	5791	5849									8000
1.49	2844	2981	3118	3254	3392	3529	3668	3806	3944	4083	4225	4367	4507	4647	4790	4934	5077	5221	5366	5510	5654	5806	5864									
1.50	2852	2988	3125	3263	3400	3538	3677	3815	3954	4093	4236	4378	4518	4659	4802	4946	5090	5234	5379	5524	5672	5820	5879	6000								
1.51	2859	2996	3133	3271	3409	3547	3686	3825	3964	4104	4246	4389	4530	4670	4814	4958	5103	5247	5393	5538	5686	5835	5893		7000							
1.52	2866	3003	3141	3279	3417	3556	3695	3834	3974	4114	4257	4400	4541	4682	4826	4971	5116	5261	5406	5552	5701	5849	5908			8000						
1.53	2873	3011	3149	3287	3426	3565	3704	3844	3984	4124	4267	4411	4552	4694	4838	4983	5128	5274	5419	5565	5715	5864	5923				9000					
1.54	2880	3018	3156	3295	3434	3573	3713	3853	3994	4134	4278	4422	4563	4705	4850	4995	5141	5286	5433	5579	5729	5878	5937					10000				
1.55	2887	3025	3164	3303	3443	3582	3722	3863	4003	4144	4288	4432	4575	4717	4862	5007	5153	5299	5446	5593	5743	5893	5952						11000			
1.56	2894	3033	3172	3311	3451	3591	3731	3872	4013	4154	4299	4443	4586	4728	4874	5019	5166	5312	5459	5606	5756	5907	5966							6000		
1.57	2901	3040	3179	3319	3459	3600	3740	3881	4023	4164	4309	4454	4597	4739	4885	5032	5178	5325	5472	5620	5770	5921	5980								7000	
1.58	2908	3047	3187	3327	3468	3608	3749	3891	4032	4174	4319	4465	4608	4751	4897	5044	5191	5338	5485	5633	5784	5935	5995									8000
1.59	2915	3054	3195	3335	3476	3617	3758	3900	4042	4184	4330	4475	4619	4762	4909	5056	5203	5350	5498	5646	5798	5949	6009									
1.60	2922	3062	3202	3343	3484	3625	3767	3909	4052	4194	4340	4486	4629	4773	4920	5068	5215	5363	5511	5660	5812	5963	6023	6000								
1.61	2929	3069	3210	3351	3492	3634	3776	3918	4061	4204	4350	4496	4640	4784	4932	5079	5227	5376	5524	5673	5825	5977	6037		7000							
1.62	2935	3076	3217	3358	3500	3642	3785	3927	4071	4214	4360	4507	4651	4796	4943	5091	5240	5388	5537	5686	5839	5991	6051			8000						
1.63	2942	3083	3225	3366	3508	3651	3794	3936	4080	4223	4370	4517	4662	4807	4955	5103	5252	5401	5550	5699	5852	6005	6065				9000					
1.64	2949	3090	3232	3374	3516	3659	3802	3945	4089	4233	4380	4528	4673	4818	4966	5115	5264	5413	5563	5713	5866	6019	6079					10000				
1.65	2956	3097	3239	3382	3525	3667	3811	3954	4099	4243	4390	4538	4683	4829	4978	5126	5276	5425	5576	5726	5879	6033	6093						11000			
1.66	2962	3104	3247	3390	3533	3676	3820	3963	4108	4253	4400	4548	4694	4840	4989	5138	5288	5438	5588	5739	5893	6046	6107							6000		
1.67	2969	3111	3254	3397	3541	3684	3828	3972	4117	4262	4410	4559	4705	4851	5000	5150	5300	5450	5601	5752	5906	6060	6121								7000	
1.68	2976	3118	3261	3405	3548	3692	3837	3981	4127	4272	4420	4569	4715	4862	5012	5161	5312	5462	5613	5765	5919	6074	6135									8000
1.69	2982	3125	3269	3412	3556	3701	3845	3990	4136	4281	4430	4579	4726	4873	5023	5173	5324	5475	5626	5777	5932	6087	6148									
1.70	2989	3132	3276	3420	3564	3709	3854	3999	4145	4291	4440	4589	4736																			

Débit (m3/s) passant par 7 vanes noyées

Dénivelée amont aval comprise entre 1,80 et 2,39 m

Palier de réglage compris entre 11,5 et 22,5

palier ouverture (m)	11.5 5.40	12 5.66	12.5 5.92	13 6.18	13.5 6.44	14 6.70	14.5 6.97	15 7.23	15.5 7.49	16 7.76	16.5 8.03	17 8.30	17.5 8.56	18 8.83	18.5 9.10	19 9.37	19.5 9.64	20 9.92	20.5 10.19	21 10.47	21.5 10.75	22 11.03	22.5 11.14	énergie > à
dénivelée (m)																								
1.80	3054	3200	3347	3494	3642	3789	3938	4086	4235	4384	4536	4689	4839	4989	5143	5297	5451	5606	5761	5916	6075	6233	6296	11000
1.81	3060	3207	3354	3501	3649	3797	3946	4095	4244	4393	4546	4699	4849	5000	5154	5308	5463	5618	5773	5928	6087	6246	6309	
1.82	3067	3214	3361	3509	3657	3805	3954	4103	4253	4402	4555	4708	4859	5010	5165	5319	5474	5629	5785	5941	6100	6259	6322	
1.83	3073	3220	3368	3516	3664	3813	3962	4112	4261	4411	4565	4718	4869	5021	5175	5330	5485	5641	5797	5953	6113	6272	6335	
1.84	3079	3227	3375	3523	3672	3821	3970	4120	4270	4420	4574	4728	4879	5031	5186	5341	5497	5652	5809	5965	6125	6285	6348	
1.85	3086	3233	3382	3530	3680	3829	3979	4128	4279	4429	4583	4737	4889	5041	5197	5352	5508	5664	5821	5977	6138	6298	6361	
1.86	3092	3240	3389	3538	3687	3836	3987	4137	4288	4438	4593	4747	4899	5051	5207	5363	5519	5675	5833	5990	6150	6311	6374	
1.87	3098	3247	3396	3545	3694	3844	3995	4145	4296	4447	4602	4757	4909	5062	5218	5374	5530	5687	5844	6002	6163	6323	6387	
1.88	3104	3253	3402	3552	3702	3852	4003	4153	4305	4456	4611	4766	4919	5072	5228	5384	5541	5698	5856	6014	6175	6336	6400	
1.89	3111	3260	3409	3559	3709	3860	4011	4162	4313	4465	4620	4776	4929	5082	5239	5395	5552	5710	5868	6026	6187	6349	6413	
1.90	3117	3266	3416	3566	3717	3867	4019	4170	4322	4474	4630	4785	4939	5092	5249	5406	5563	5721	5879	6038	6200	6361	6425	
1.91	3123	3272	3423	3573	3724	3875	4027	4178	4331	4483	4639	4795	4948	5102	5259	5417	5574	5732	5891	6050	6212	6374	6438	
1.92	3129	3279	3429	3580	3731	3883	4034	4186	4339	4492	4648	4804	4958	5112	5270	5427	5585	5744	5903	6061	6224	6387	6451	
1.93	3135	3285	3436	3587	3739	3890	4042	4195	4348	4501	4657	4813	4968	5122	5280	5438	5596	5755	5914	6073	6236	6399	6463	
1.94	3141	3292	3443	3594	3746	3898	4050	4203	4356	4509	4666	4823	4977	5132	5290	5448	5607	5766	5926	6085	6248	6411	6476	
1.95	3147	3298	3449	3601	3753	3905	4058	4211	4364	4518	4675	4832	4987	5142	5300	5459	5618	5777	5937	6097	6260	6424	6488	
1.96	3153	3304	3456	3608	3760	3913	4066	4219	4373	4527	4684	4841	4997	5152	5311	5469	5629	5788	5949	6109	6272	6436	6501	
1.97	3159	3311	3463	3615	3768	3920	4074	4227	4381	4535	4693	4851	5006	5162	5321	5480	5640	5799	5960	6120	6284	6449	6513	
1.98	3165	3317	3469	3622	3775	3928	4081	4235	4390	4544	4702	4860	5016	5172	5331	5490	5650	5811	5971	6132	6296	6461	6526	
1.99	3171	3323	3476	3629	3782	3935	4089	4243	4398	4553	4711	4869	5025	5181	5341	5501	5661	5822	5983	6144	6308	6473	6538	
2.00	3177	3330	3483	3635	3789	3943	4097	4251	4406	4561	4720	4878	5035	5191	5351	5511	5672	5833	5994	6155	6320	6485	6550	
2.01	3183	3336	3489	3642	3796	3950	4105	4259	4414	4570	4729	4888	5044	5201	5361	5521	5682	5843	6005	6167	6332	6498	6563	
2.02	3189	3342	3496	3649	3803	3957	4112	4267	4423	4578	4738	4897	5054	5211	5371	5532	5693	5854	6016	6178	6344	6510	6575	
2.03	3195	3348	3502	3656	3810	3965	4120	4275	4431	4587	4746	4906	5063	5220	5381	5542	5704	5865	6028	6190	6356	6522	6587	
2.04	3201	3355	3509	3663	3817	3972	4128	4283	4439	4595	4755	4915	5072	5230	5391	5552	5714	5876	6039	6201	6368	6534	6599	
2.05	3207	3361	3515	3669	3824	3979	4135	4291	4447	4604	4764	4924	5082	5240	5401	5563	5725	5887	6050	6213	6379	6546	6612	
2.06	3213	3367	3521	3676	3831	3987	4143	4299	4455	4612	4773	4933	5091	5249	5411	5573	5735	5898	6061	6224	6391	6558	6624	
2.07	3219	3373	3528	3683	3838	3994	4150	4307	4464	4621	4781	4942	5100	5259	5421	5583	5746	5908	6072	6235	6401	6570	6636	
2.08	3225	3379	3534	3689	3845	4001	4158	4314	4472	4629	4790	4951	5110	5268	5431	5593	5756	5919	6083	6247	6414	6582	6648	
2.09	3231	3385	3541	3696	3852	4008	4165	4322	4480	4637	4799	4960	5119	5278	5440	5603	5767	5930	6094	6258	6426	6594	6660	
2.10	3236	3391	3547	3703	3859	4016	4173	4330	4488	4646	4807	4969	5128	5287	5450	5613	5777	5941	6105	6269	6437	6605	6672	
2.11	3242	3397	3553	3709	3866	4023	4180	4338	4496	4654	4816	4978	5137	5297	5460	5623	5787	5951	6116	6280	6449	6617	6684	
2.12	3248	3403	3560	3716	3873	4030	4188	4345	4504	4662	4824	4986	5146	5306	5470	5633	5797	5962	6127	6292	6460	6629	6696	
2.13	3254	3409	3566	3723	3880	4037	4195	4353	4512	4671	4833	4995	5155	5316	5479	5643	5808	5972	6138	6303	6472	6641	6707	
2.14	3259	3415	3572	3729	3887	4044	4202	4361	4520	4679	4841	5004	5165	5325	5489	5653	5818	5983	6148	6314	6483	6653	6719	
2.15	3265	3421	3579	3736	3893	4051	4210	4368	4528	4687	4850	5013	5174	5334	5499	5663	5828	5993	6159	6325	6495	6664	6731	
2.16	3271	3427	3585	3742	3900	4058	4217	4376	4536	4695	4858	5022	5183	5344	5508	5673	5838	6004	6170	6336	6506	6676	6743	
2.17	3276	3433	3591	3749	3907	4065	4225	4384	4544	4703	4867	5030	5192	5353	5518	5683	5849	6014	6181	6347	6517	6687	6755	
2.18	3282	3439	3597	3755	3914	4072	4232	4391	4551	4711	4875	5039	5201	5362	5527	5693	5859	6025	6191	6358	6529	6699	6766	
2.19	3288	3445	3603	3762	3921	4079	4239	4399	4559	4720	4884	5048	5210	5371	5537	5703	5869	6035	6202	6369	6540	6711	6778	
2.20	3293	3451	3610	3768	3927	4086	4246	4406	4567	4728	4892	5056	5219	5381	5546	5712	5879	6045	6213	6380	6551	6722	6789	
2.21	3299	3457	3616	3774	3934	4093	4254	4414	4575	4736	4900	5065	5227	5390	5556	5722	5889	6056	6223	6391	6562	6734	6801	
2.22	3305	3463	3622	3781	3941	4100	4261	4421	4583	4744	4909	5074	5236	5399	5565	5732	5899	6066	6234	6402	6573	6745	6813	
2.23	3310	3469	3628	3787	3947	4107	4268	4429	4590	4752	4917	5082	5245	5408	5575	5741	5909	6076	6244	6413	6584	6756	6824	
2.24	3316	3475	3634	3794	3954	4114	4275	4436	4598	4760	4925	5091	5254	5417	5584	5751	5919	6086	6255	6423	6596	6768	6836	
2.25	3321	3480	3640	3800	3961	4121	4282	4444	4606	4768	4934	5099	5263	5426	5594	5761	5929	6097	6265	6434	6607	6779	6847	
2.26	3327	3486	3646	3806	3967	4128	4290	4451	4613	4776	4942	5108	5272	5435	5603	5770	5939	6107	6276	6445	6618	6790	6859	
2.27	3332	3492	3652	3813	3974	4135	4297	4459	4621	4784	4950	5116	5280	5444	5612	5780	5948	6117	6286	6456	6629	6802	6870	
2.28	3338	3498	3658	3819	3980	4142	4304	4466	4629	4792	4958	5125	5289	5453	5621	5790	5958	6127	6297	6466	6640	6813	6881	
2.29	3343	3504	3664	3825	3987	4149	4311	4473	4636	4800	4966	5133	5298	5462	5631	5799	5968	6137	6307	6477	6651	6824	6893	
2.30	3349	3509	3670	3832	3993	4155	4318	4481	4644	4807	4975	5142	5307	5471	5640	5809	5978	6147	6317	6487	6661	6835	6904	
2.31	3354	3515	3676	3838	4000	4162	4325	4488	4652	4815	4983	5150	5315	5480	5649	5818	5988	6157	6328	6498	6672	6847	6915	
2.32																								