

MICROFICHE N°

03309

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية  
وزارة الزراعة

المركز القومي  
للتوثيق الفلاحي  
تونس

F 1

ANNUAL REPORT OF THE MINISTERS OF AGRICULTURE  
AND RURAL AFFAIRS OF THE PROVINCE OF ONTARIO  
FOR THE YEAR 1900

UNDA 3303

REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION DES ETUDES ET DES GRANDS TRAVAUX HYDRAULIQUES

# AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DE L'OUED BOU HEURTMA

ETUDE HYDRAULIQUE POUR LES CONDUITES  
BARRAGE BOU HEURTMA — BASSIN B 1 — BASSIN B 2  
ETUDE DU COUP DE BELIER



AGRAR- UND HYDROTECHNIK GMBH  
INGENIEURS-CONSEILS

ESSEN OCTOBRE 1978

T A B L E D E S M A T I E R E S

## Table des Matières

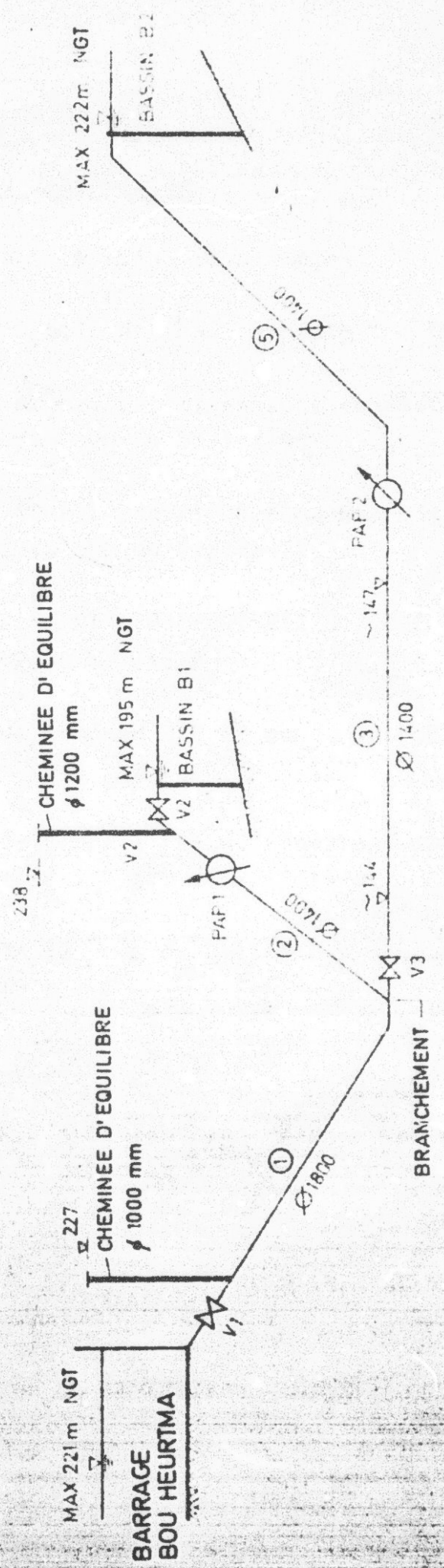
	Pages
1. Le problème	1
2. Données de base	3
2.1 Plans disponibles	33
2.2 Littérature spécialisée	3
2.3 Données de base pour les calculs	4
3. Etude hydraulique	7
3.1 Cas de fermeture en aval du barrage (V1)	7
3.2 Fermeture du bassin B1 (V2)	7
3.3 Fermeture au branchement (V3)	16
3.4 Panne d'électricité à PAP 1	16
3.5 Panne de courant électrique PAP 2	23
3.6 Cas de panne d'électricité simultanée dans PAP 1 et PAP 2	29
4. Conclusion	31
ANNEXES	
Annexe 1	32
Annexe 2	37

1. Le problème

La conduite existant entre le barrage de Bou Heurtma et le Bassin B1 doit subir des travaux d'extension comprenant le branchement vers le Bassin B2 avec la station de pompage intermédiaire PAP 2 (plan No. 1). Afin de maintenir le débit vers B1 lorsque le barrage est peu rempli, il est nécessaire d'installer une station de pompage intermédiaire PAP 1 sur la conduite existante. Les raccords pour une pompe en by-pass à la conduite principale existant déjà.

L'expert a été chargé par lettre du 15.06.1978 d'effectuer les études hydrauliques nécessaires. Il s'agissait d'étudier les cas suivants:

- a. fermeture en amont de conduite (soupape à papillon Ø 1400 au barrage, fermeture V1)
- b. fermeture en aval de conduite (soupape à piston rotatif Ø 1250 au bassin B1, fermeture V2)
- c. fermeture au branchement (fermeture V3, type de vanne non déterminé encore)
- d. panne de courant de PAP 1
- e. panne de courant de PAP 2
- f. panne de courant de PAP 1 et PAP 2 en même temps.



LEGENDE: ① NUMERO DE LA SECTION DE CONDUITE

—X— FERMETURE

⊗ STATION DE POMPAGE

Schema 1: Conduite principale

2. Données de base

2.1 Plans disponibles

Les plans suivants étaient disponibles:

- a. plan d'ensemble No. 050, échelle 1 : 50 000 du 13/7/1978
- b. conduite AO-B2, profil en long schématique No. 054, échelle 1 : 5 000/50 000 du 27/10/1977
- c. conduite AO-B2, profil en long No. 054 A, échelle 1 : 5 000/20 000 du 21/9/1977
- d. plan de situation Secteur VII No. 065, échelle 1 : 10 000 du 1/9/1978
- e. station de pompage PAP 1, construction de bâtiment No. 058, échelle 1 : 100 du 14/2/1978
- f. station de pompage PAP 2, construction du bâtiment No. 059, échelle 1 : 100 du 20/2/1978
- g. KSB: Etude du coup de bélier Bou Heurtma No. DB 7427 du 24/9/1974

2.2 Littérature spécialisée

- (1) Schneider K.J.: Bautabellen. Werner Verlag 3. Auflage 1977
- (2) Press, H. und Schröder R.: Hydromechanik im Wasserbau, Verlag W. Ernst u. Sohn 1966
- (3) Jaeger, Ch.: Technische Hydraulik. Verlag Birkhäuser, Basel 1949
- (4) Prospectus VAG Mannheim
- (5) Documentation de la KSP/Frankenthal

### 2.3 Données de base pour les calculs

Les coordonnées des conduites existantes et prévues ont été prises sur les plans mentionnés sous 2.1. Le système a été subdivisé en 4 tronçons LA (voir Plan No. 1).

- LA 1 barrage Bou Heurtma - Branchement
- LA 2 Branchement - Bassin B1
- LA 3 Branchement - Station de pompage PAP 2
- LA 4 Station de pompage PAP 2 - Bassin B2

Les tronçons sont caractérisés par les dimensions et chiffres suivants: (voir Annexe 2)

LA	1	2	3	4
Q	5,600	2,800	2,800	2,800
D	1,800	1,400	1,400	1,400
L	12,662	502	21,270	6,830
s	0,125	0,105	0,105	0,105
$v_o$	2,200	1,819	1,819	1,819

où signifient:

Q = débit en  $m^3/s$

D = diamètre intérieur en m

L = longueur en m

s = épaisseur de la conduite en m

$v_o$  = vitesse d'écoulement stationnaire en m/s

Matériau: béton précontraint (béton Bn 550)

Module d'élasticité:  $E = 3,9 \cdot 10^{10} N/m^2$

Les calculs d'écoulement effectués par le mandant se basent sur une rugosité équivalente  $k = 0,1$  mm. En fait, on peut s'attendre à une rugosité moins forte dans les nouvelles conduites en béton précontraint. Pour les études du coup de

bélier et d'oscillation de la pression, la rugosité la moins forte possible représente le cas le plus défavorable, étant donné que les ondes de pression subissent le plus faible amortissement. On a donc pris  $k = 0,04$  mm comme base, qui est la valeur la plus faible possible (1). Les coefficients de friction  $\lambda$  sont alors les suivants:

LA	1	2	3	4
$\lambda$	0,010	0,015	0,015	0,015

Les niveaux d'eau importants sont les suivants: (voir Schéma 1)

Barrage de Bou Heurtma:

- a. maximal en service: 221,0 m NGT
- b. maximal déverseur de crues: 226,0 m NGT
- c. minimal en service: 205,0 m NGT

Bassin B1:            maximal    195,0 m NGT  
                          minimum    190,0 m NGT

Bassin B2:            maximal    222,0 m NGT  
                          minimum    212,0 m NGT

Vannage:

sur le barrage (existante) (V1): soupape à papillon  $\varnothing$  1400

sur le Bassin B1 (existante) (V2): soupape à piston rotatif  
 $\varnothing$  1250

au branchement (nouveau ) (V3): robinet-vanne  $\varnothing$  1250

Lors des cas de fermeture, il est supposé que la section mouillée  $F$  diminue linéairement. La loi de fermeture  $y$  relative pour le temps  $t < t_s$  est ainsi:

$$F = F_0 \left(1 - \frac{t}{t_s}\right)$$

ou:

$F_o$ : section mouillée totalement ouverte en  $m^2$

$t_s$ : temps de fermeture en secondes

Pompes:

Station de pompage PAP 1 : 1 pompe centrifuge

débit:  $Q = 2\ 800\ l/s$

hauteur manométrique:  $H\ 2,5 - 13\ m$

vitesse:  $U = 580\ tr/min$

station de pompage PAP 2 : 2 pompes centrifuges + 1 pompe de réserve

débit:  $Q = 1\ 400\ l/s$  (par pompe)

hauteur manométrique:  $H = 67 - 83\ m$

vitesse:  $U = 960\ tr/min$

Cheminée anti-bélier:

existent:

au barrage Bou Heurtma:  $\varnothing\ 1,000\ m$ , niveau max.  $227,0\ m\ NGT$

au Bassin B1:  $\varnothing\ 1,200\ m$ , niveau max.  $238,0\ m\ NGT$

### 3. Etude hydraulique

#### 3.1 Cas de fermeture en aval du barrage (V1)

Lors de la fermeture, les stations de pompage PAP 1 et PAP 2 sont hors de service. Il n'y a pas d'écoulement dans le bassin B2, car le niveau maximal dans le barrage en service (221,0 mNGT) est inférieur au niveau de l'écoulement libre au bassin B2 (le fond de la conduite est supposé être à 222,6 mNGT).

Les conditions hydrauliques ne changent que peu par rapport à celles du calcul KSB (voir plan g), de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire de procéder à de nouveaux calculs détaillés, d'autant plus que la pression est en général beaucoup moins forte que celle du cas "Fermeture de B1", exception faite directement à la hauteur du barrage, mais où par la cheminée d'équilibre, la quote 227,0 m ne peut être dépassée.

#### 3.2 Fermeture du bassin B1 (V2)

Trois cas sont pris en considération:

a. niveau maximal du barrage en service (221,0m)

PAP 1 hors service

PAP 2 en service

Débits:  $Q$  (total) =  $Q$  (LA1) = 6,01 m<sup>3</sup>/s

$Q$  (après B1) =  $Q$  (LA2) = 3,21 m<sup>3</sup>/s

$Q$  (après B2) =  $Q$  LA 3+4) = 2,80 m<sup>3</sup>/s

b. niveau maximal de l'eau lors du service du barrage (221,0 m)

PAP 1 hors service

PAP 2 hors service

Débits  $Q$  (après B1) =  $Q$  (LA 1) =  $Q$  (LA 2) = 5,45 m<sup>3</sup>/s

$Q$  (après B2) =  $Q$  (LA 3+4) = 0

- c. Niveau maximal de l'eau dans le barrage (226,0 m)  
PAP 1 hors service  
PAP 2 hors service  
Soupape V1 (au barrage) ouverte par inadvertence ou à cause de panne  
Débits:  $Q = (\text{après B1}) = Q (\text{LA 2}) = 5,98 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q (\text{après B2}) = Q (\text{LA 3+4}) = 0$

Ce cas ne peut se produire en pratique, car dans le paragraphe 3.3, il est recommandé de fermer la soupape V3 quand le débit est nul avant de commencer à fermer V2. Ainsi les conditions hydrauliques sont quasiment identiques à celles du cas 1 des calculs KSB.

Pour permettre une comparaison avec les résultats des calculs KSB, ce cas (fermeture V2 avec V3 ouverte) a tout de même été considéré dans l'étude.

Les débits sont légèrement plus importants que déterminés dans les calculs hydrauliques, étant donné que la rugosité équivalente ici supposée est  $k = 0,04 \text{ mm}$  au lieu de  $k = 0,1 \text{ mm}$  (cf. paragraphe 2.3).

Le calcul du coup de bélier se fait selon le procédé d'Evangelisti comme il est indiqué en détail dans (2) et qui est particulièrement approprié pour des temps de fermeture assez longs. Sont alors pris en considération les pertes en charge dues à la friction dans les conduites, aux pièces incorporées, aux coudes, l'influence du matériau (béton) et l'épaisseur des parois des conduites ainsi que les variations de débits pendant la procédure de régulation. Les pertes en énergie des ondes de pression le long des conduites ne sont pas considérées mais les résultats obtenus restent du côté de la sécurité.

Sous sa forme pure, ce procédé n'est applicable que pour des conduites sans branchements avec diamètre constant. Les points de "dérangement" (changement soudain du diamètre et branchements) provoquent un grand nombre d'ondes se superposant. Elles ont été considérées selon les règles de Jaeger (3).

Les coefficients de résistance  $\zeta$  pris comme base pour la fermeture V2 (voir Tableau 1) correspondent à une soupape VAG à piston rotatif  $\varnothing$  1 200, du type standard I-E. Les valeurs intermédiaires ont été interpolées linéairement.

Tableau 1 Coefficients de résistance  $\zeta$  de la soupape à piston rotatif  $\varnothing$  1 200, type VAG standard I-E

Degré d'ouverture %	Coefficient de résistance $\zeta$
100 (ouverte)	4,4
90	5,4
80	6,7
70	8,7
60	12,0
50	18,3
40	34,0
30	75,0
20	220,0
10	1 200,0
4	10 000,0
0 (fermée)	-

Les calculs ont été effectués en FORTRAN IV sur IBM 370/168 de l'Université de Darmstadt pour les temps de fermeture de 5, 10, 15, 20 et 30 minutes. L'Annexe 2 comprend un exemple des résultats imprimés pour l'extrémité de la conduite LA 2 (à la hauteur du bassin B1 avant la vanne V2) des cas a., b., et c. et pour un temps de fermeture de 30 minutes. Et ceci à chaque fois pour la phase de commencement (une page pour chacune) et pour la phase critique finale qui commence environ une minute avant et qui se termine à peu près deux minutes après la fermeture complète.

Les diagrammes 2, 3 et 4 indiquent l'évolution de la pression pour les points de calcul

- avant V2 (LA 2 au bassin B1 au km 13,160)

- au km 12,364 (point le plus bas de LA 1, peu avant le branchement, correspond au point de calcul KSB 15)
- au km 20,450 (point le plus bas de LA 3, en dessous du fond de la Medjerda).

Les pressions maximales provoquées lors d'un temps de fermeture de 30 minutes sont représentées en Annexe 3, feuilles 1 à 3 sous forme de profils en long pour les cas a., b. et c. Les lignes de pression hydrostatique et hydrodynamique y sont également indiquées. Pour une meilleure compréhension, le tronçon LA 1 (branchement - Bassin B1) a été déporté vers la droite.

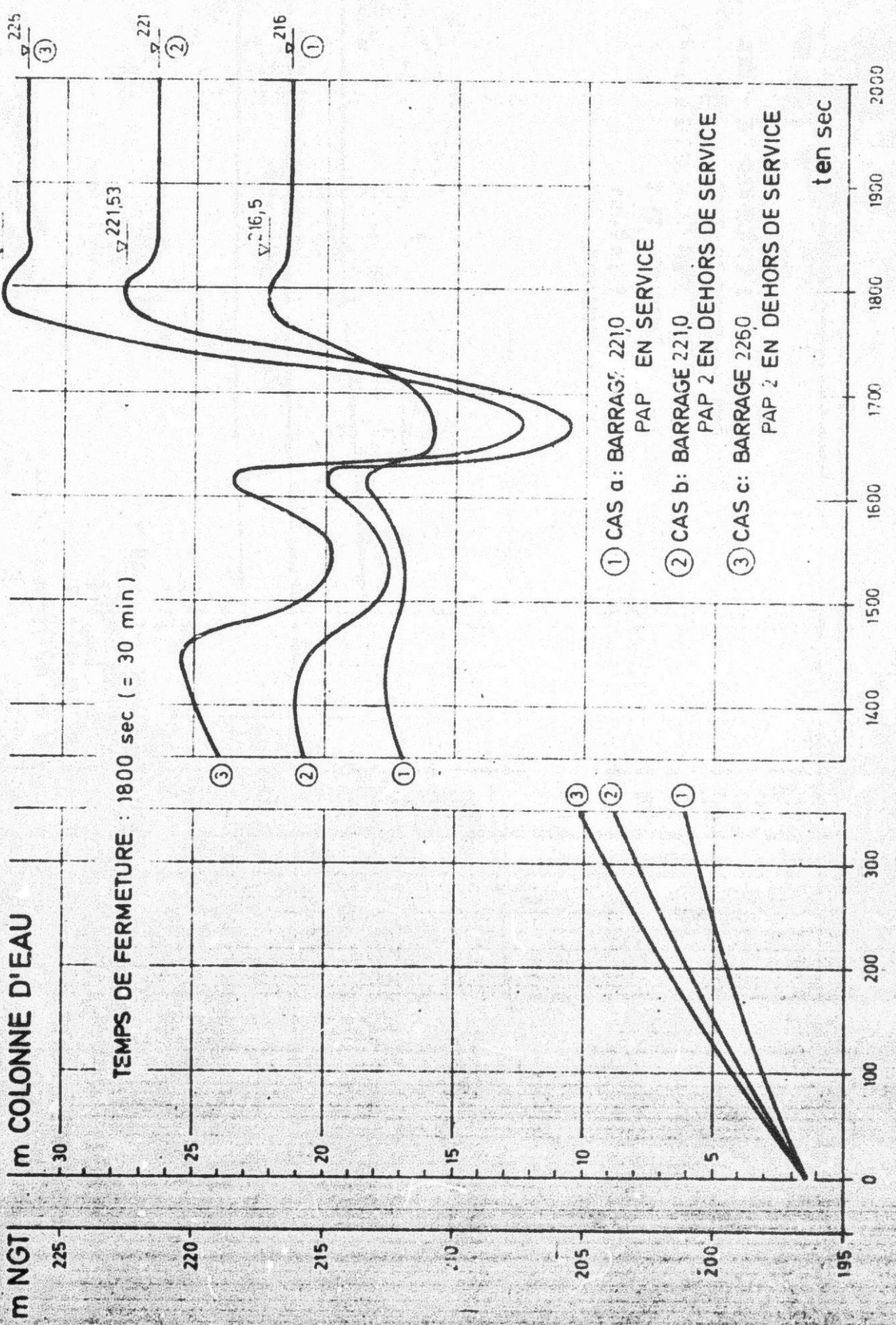
L'influence des variations des temps de fermeture est rendue bien visible par le Tableau 2, où en plus des trois points de calculs susmentionnés, est également indiqué le point au km 33,930 (côté de débit de PAP 2).

Les pressions minimales ne sont pas indiquées, étant donné qu'il ne se produit pas de vide et qu'elles sont ainsi sans importance pour le dimensionnement.

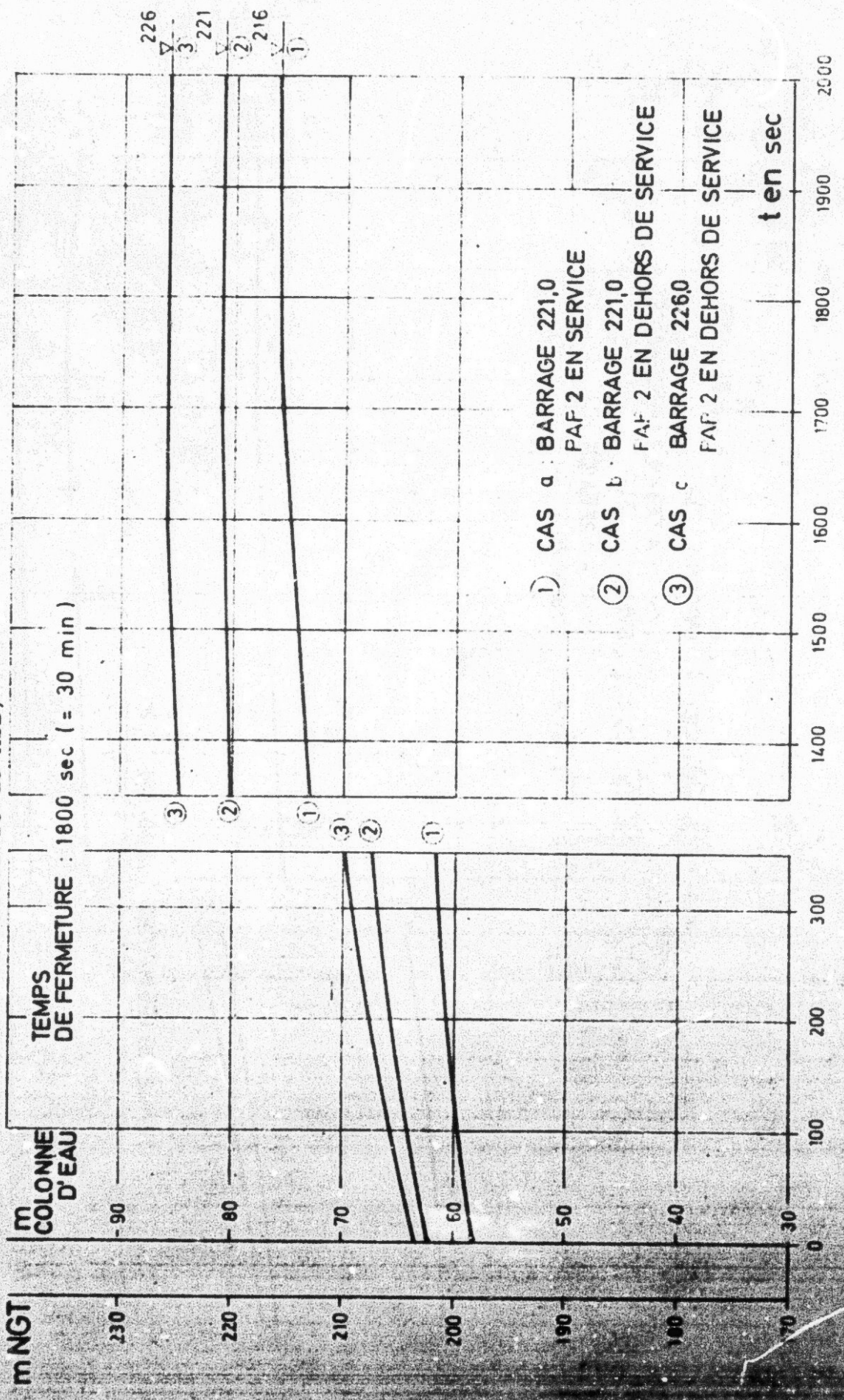
Si l'on compare les résultats aux calculs KSB qui se limitent aux tronçons LA 1 et 2, on peut remarquer que par ajout des tronçons 3 et 4, les conditions hydrauliques s'améliorent sensiblement, c'est-à-dire les pressions maximales diminuent lors de la fermeture. Ceci s'explique par la proximité de la vanne au branchement, où se reflètent 45,8% des ondes de pression y arrivant et qui deviennent déjà 1,1 seconde plus tard effectives comme ondes compensatrices à la hauteur de la vanne.

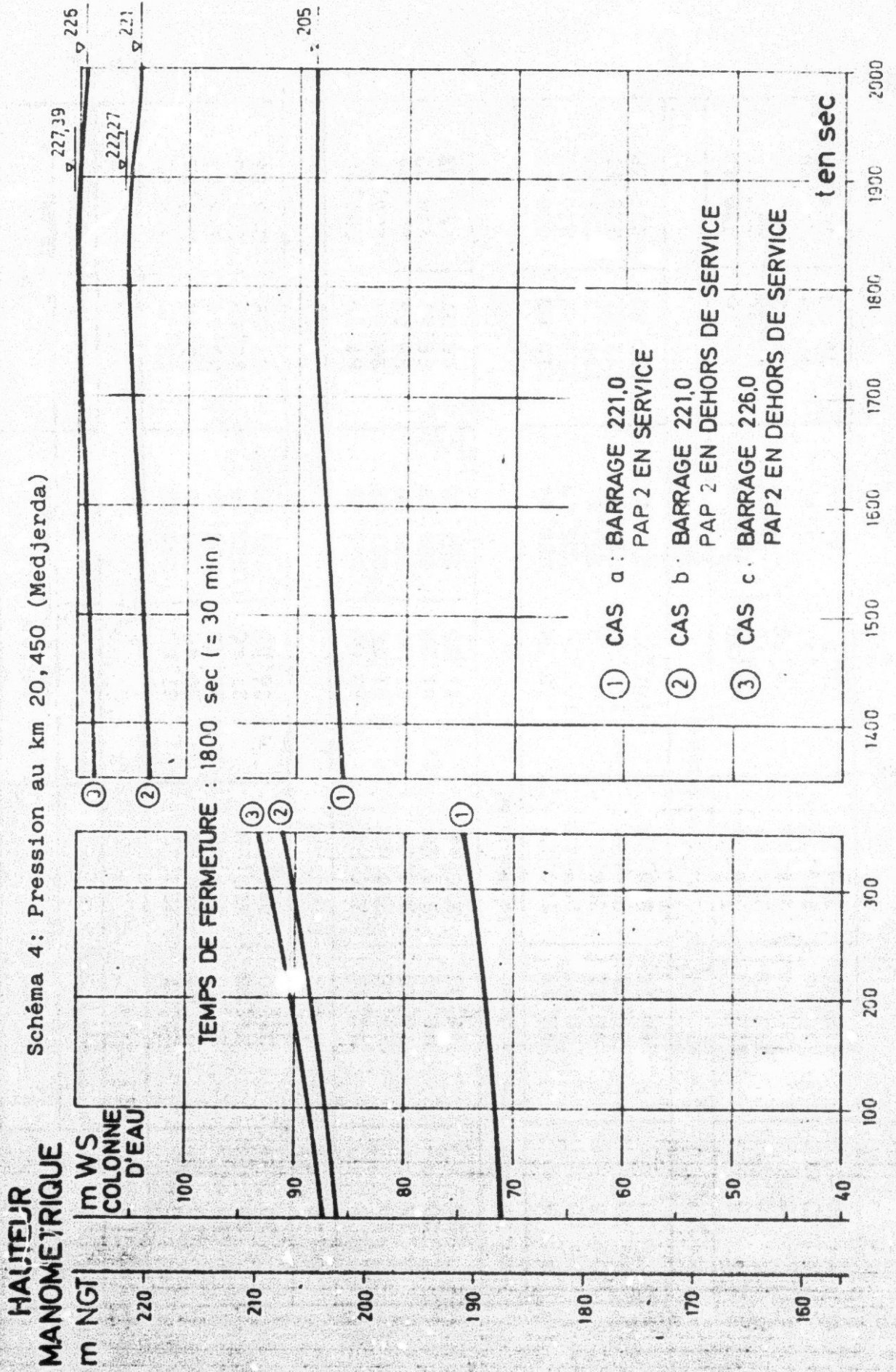
En fait, grâce aux résultats disponibles (voir Tableau 2), le temps de fermeture fixé actuellement à 30 minutes pourrait être réduit à environ 5 minutes. Mais ceci n'est quand même pas recommandé car la vanne V3 peut être fermée parfois et que dans le cas pour les tronçons 1 et 2, ce sont les conditions prises pour base pour les calculs KSB qui sont déterminantes. Seulement le diamètre dans le tronçon de conduite 2 (avant 1,80 m; maintenant 1,40 m) et le débit (avant calculé avec  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , maintenant  $5,98 \text{ m}^3/\text{s}$  ont changé à chaque fois pour

HAUTEUR MANOMETRIQUE  
m COLONNE D'EAU  
Schéma 2: Pression lors du cas de fermeture  
de V2 (au bassin B1)



**HAUTEUR MANOMETRIQUE**  
 Schéma 3: Pression au km 12,364 (Point de calcul 15 de KSB)





**Tableau 2. Pressions Maximales selon les différents temps de fermeture**

Temps de fermeture (minutes)	Cas de service					
	Barrage 221,0 PAP 2 en service		Barrage 221,0 PAP 2 hors service		Barrage 221,0 PAP 2 Hors service	
	m/colonne d'eau	m NGT	m/colonne d'eau	m NGT	m colonne eau	m NGT
<b>V2 (Bassin B1)</b>						
5	27,27	222,27	37,62	232,62	43,49	238,49
10	23,62	218,62	30,45	225,45	35,84	230,84
15	22,50	217,50	28,42	223,42	33,64	228,64
20	21,96	216,96	27,46	222,46	32,59	227,59
30	21,50	216,50	26,53	221,53	31,58	226,58
<b>km 12,364 (point de calcul 15 de KSB)</b>						
5	76,99	216,84	82,60	222,45	87,70	227,56
10	76,58	216,43	81,78	221,63	86,84	226,69
15	76,45	216,30	81,45	221,30	86,59	226,54
20	76,39	216,24	81,38	221,23	86,47	226,32
30	76,33	216,18	81,35	221,20	86,37	226,22
<b>km 20,450 (sous le fond de la Medjerda)</b>						
5	93,63	210,13	113,94	230,44	119,65	236,15
10	90,92	207,42	108,60	225,10	113,97	230,47
15	90,11	206,61	107,13	223,63	112,37	228,87
20	89,71	206,21	106,43	222,93	111,61	228,11
30	88,75	205,25	105,77	222,27	110,89	227,39
<b>km 33,930 (côté débit de la station de pompage PAP 2)</b>						
5	118,34	266,04	77,38	225,08	82,70	230,40
10	117,19	264,89	75,16	222,86	80,32	228,02
15	116,84	264,54	74,52	222,22	79,63	227,33
20	116,66	264,36	74,21	221,91	79,29	226,99
30	116,46	264,16	73,55	221,25	78,92	226,62

un niveau d'eau dans le barrage à la quote 226,0). La première influence fait diminuer le coup de bélier, la seconde le renforce. Mais au total, on peut s'attendre à des pressions moins fortes.

Pour la détermination des pressions nominales nécessaires dans les tronçons 3 et 4, le cas "Fermeture au bassin B1 (V2)" est le cas déterminant. Les pressions maximales y référantes sont indiquées sur les profils en long de l'Annexe 3, feuille 1 (cas a.), feuille 2 (cas b.) et feuille 3 (cas c.), où chaque fois la valeur la plus élevée est décisive.

### 3.3 Fermeture au branchement (V3)

Cet organe de fermeture ne peut être ouvert ou fermé que lorsque les pompes de PAP 2 sont arrêtées. Dans le cas normal de service, le débit est alors nul, car le niveau maximal de service du barrage (quote 221,0 m) est moins élevé que le fond de la conduite en décharge dans B2 (à la quote 222,6).

Dans le cas de niveau de déversement (226,0 m) du barrage, s'écoule un débit  $Q = 5,98 \text{ m}^3$  par les organes de fermeture ouverts V1 et V2, la pression manométrique au branchement tombe à la quote 203,5. De cette manière, dans ce cas, le débit au V3 est nul aussi. C'est pourquoi V3 peut être fermé à n'importe quel moment lorsque PAP 2 est hors service, sans qu'il se produise de pressions supplémentaires dans les conduites, exception faite lorsque pour un niveau de crue dans le barrage (226,0 m) et une ouverture de V1, la soupape V2 (au bassin B1) est fermée. Ce cas extrêmement improbable devrait être éliminé par les instructions de service.

### 3.4 Panne d'électricité à PAP 1

Des calculs grossiers pour les mesures usuelles contre les variations de pression

- des masses d'inertie supplémentaires
- des réservoirs de pression d'installation usuelle
- des cheminées d'équilibre

ont mené à des dimensions totalement inappropriées du point de vue économique à cause des grands volumes d'eau en mouvement (35 000 m<sup>3</sup> dans LA 1 et 2).

La protection proposée se base sur le principe hydraulique, de ne pas arrêter les masses d'eau en cas de panne de courant électrique mais de les laisser s'évanouir doucement et amortir lentement le vide du côté de débit des pompes sous forme d'une oscillation harmonique à onde étendue. Le déclenchement d'ondes de pression courtes ayant presque la vitesse du son est ainsi presque totalement évité.

La protection contre la surpression comprend:

- un clapet de retenue (AK) 1 400 Ø avec frein de course incorporé
- un réservoir de pression (DK) de 12 m<sup>3</sup>
- 8 ventouses Ø 50 (BV).

L'AK Ø 1 400 avec frein de course incorporé (par ex. Frein VAG HG-HV) est à installer dans la conduite principale à l'emplacement prévu pour une vanne de sectionnement (voir Schéma 5).

En cas de panne de courant électrique, une soupape à aimant déclanche le processus d'ouverture. L'ouverture s'effectue automatiquement par un contre-poids dans une période qui peut être réglée entre 5 et 300 secondes et qui doit être adaptée à la pompe de telle manière que le débit total (débit par la pompe plus débit par le clapet AK) reste toujours constant.

L'AK ne se ferme pas automatiquement lors du commencement du reflux elle n'est donc pas à oscillation libre. La fermeture se fait électriquement lors du démarrage de la pompe, peut être réglée de façon quelconque et doit être adaptée à la pompe.

Le diamètre nominal proposé du clapet est 1 400.

- a. car il peut être incorporé dans la conduite principale sans grand changement

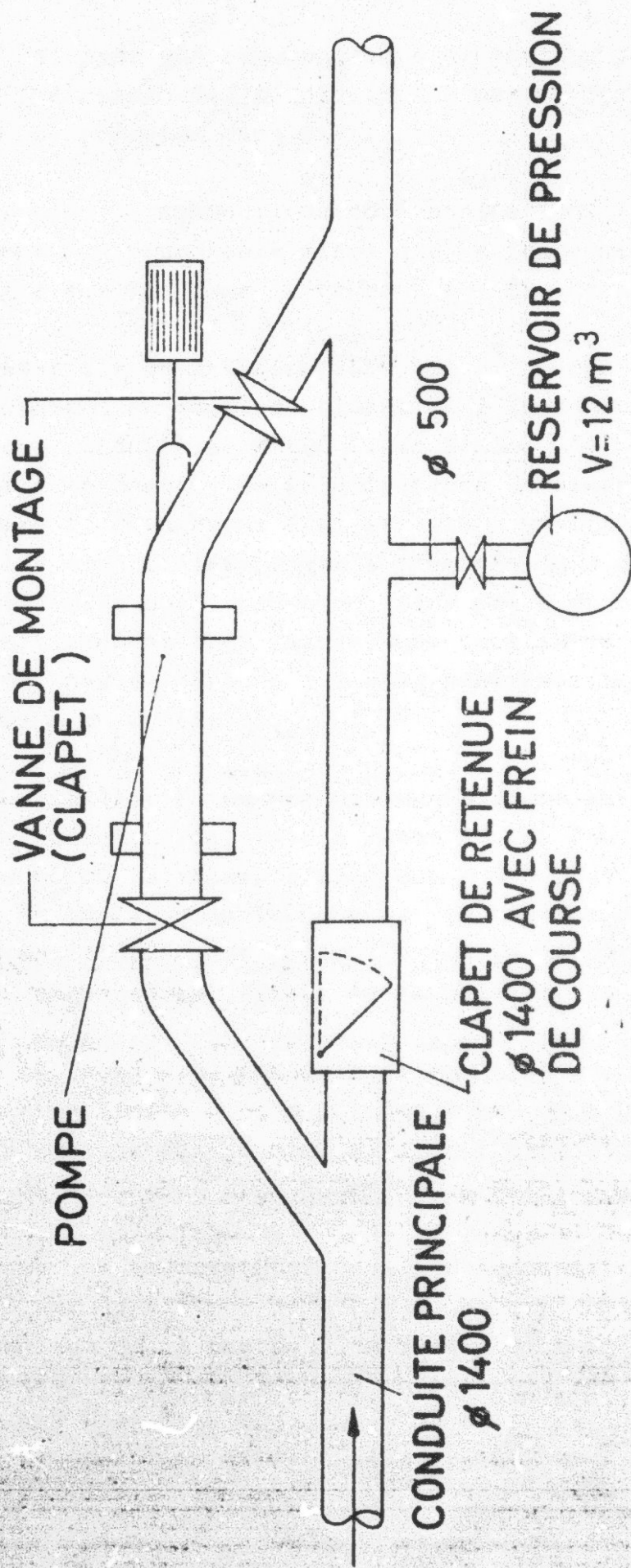


Schéma 5: Station de pompage intermédiaire PAP 1

- b. et pour que les processus de réglage du V2 (entrée dans le bassin B1) ne provoquent pas de réflexions d'ondes de pression dans PAP 1.

Le tronçon de conduite du côté aspiration, entre la pompe et la conduite principale ainsi que la pompe même, subissent des charges élevées, car le courant est freiné à cet endroit.

Le réservoir de pression (DK) ( $12 \text{ m}^3$  de contenu) est relié directement en amont du clapet AK à la conduite principale par une conduite de  $\varnothing 500$  (voir Schéma 6). Il sert au tamponnage en douceur de la différence de pression de max. 12,8 m (Annexe 1, paragraphe 1.2) et il a une fonction semblable à celle d'un château d'eau à cheminée de  $\varnothing 500$  (voir Schéma 7), c'est-à-dire qu'il provoque (sans prise en considération de l'amortissement très faible) une oscillation du niveau d'eau à onde longue (période :  $T = 82 \text{ sec}$ , amplitude  $A = 12,8 \text{ m}$ , courbe 2 du Schéma 8).

Cette oscillation se produit du fait que le niveau de pression passe lentement de 184,2 m à son nouvel équilibre qui est de 197,0 m. De la superposition des ondes provient la courbe effective de la pression (courbe 3). Le minimum de la première période d'oscillation est (selon la courbe 3) de 182 m et survient 35 secondes après l'arrêt de la pompe (voir Schéma 8).

Dans le tronçon de conduite en amont se produira un vide qui doit être limité à -5 m colonne d'eau (0,5 bar absolu) à cause de la qualité des joints. Ceci peut être atteint par l'installation de ventouses avec intervalles verticaux de 5 m.

A cause des incertitudes dans les suppositions, il faut se baser sur un minimum de 172,0 m, ce qui correspond à peu près au minimum de la courbe 2 du Schéma 8. Pour des raisons de sécurité, il est recommandé en outre de réduire de moitié l'intervalle entre les ventouses, de telle manière qu'en cas de défaillance d'une des soupapes, la prochaine puisse compenser le défaut.

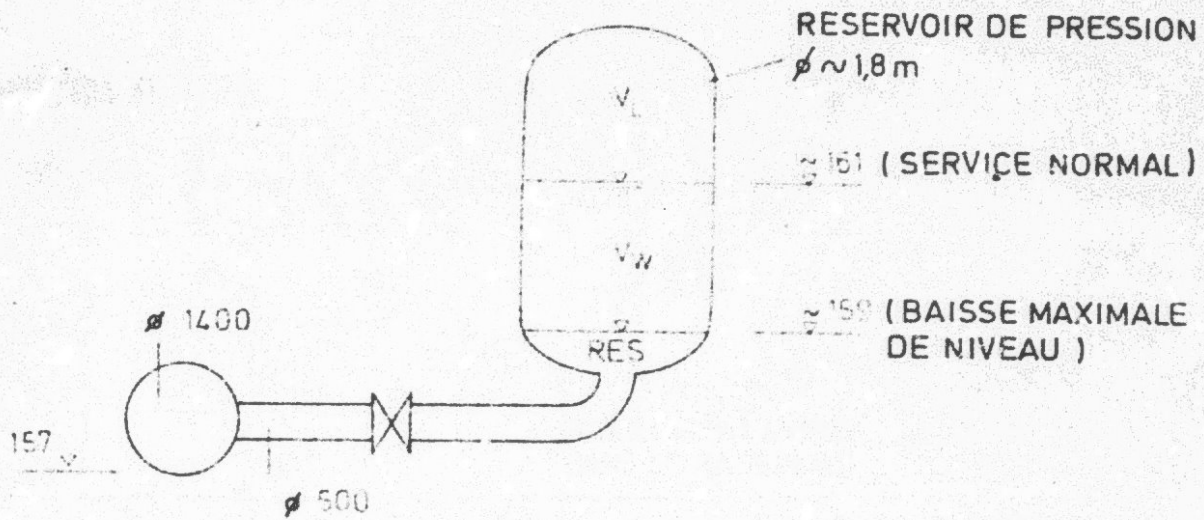


Schéma 6: Réservoir de pression (DK) de PAP 1

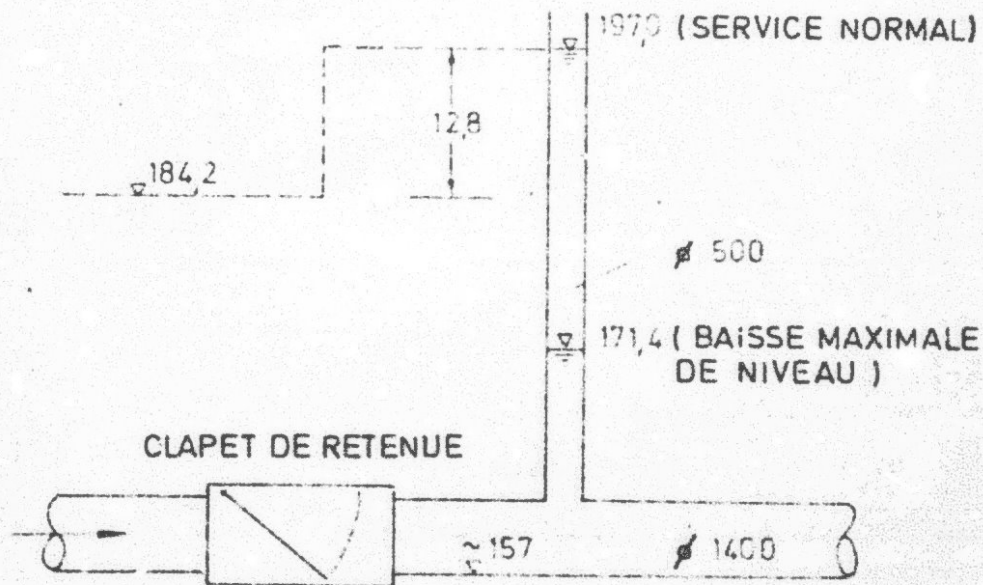


Schéma 7: Château d'eau à cheminée, même efficacité que le réservoir de pression proposé

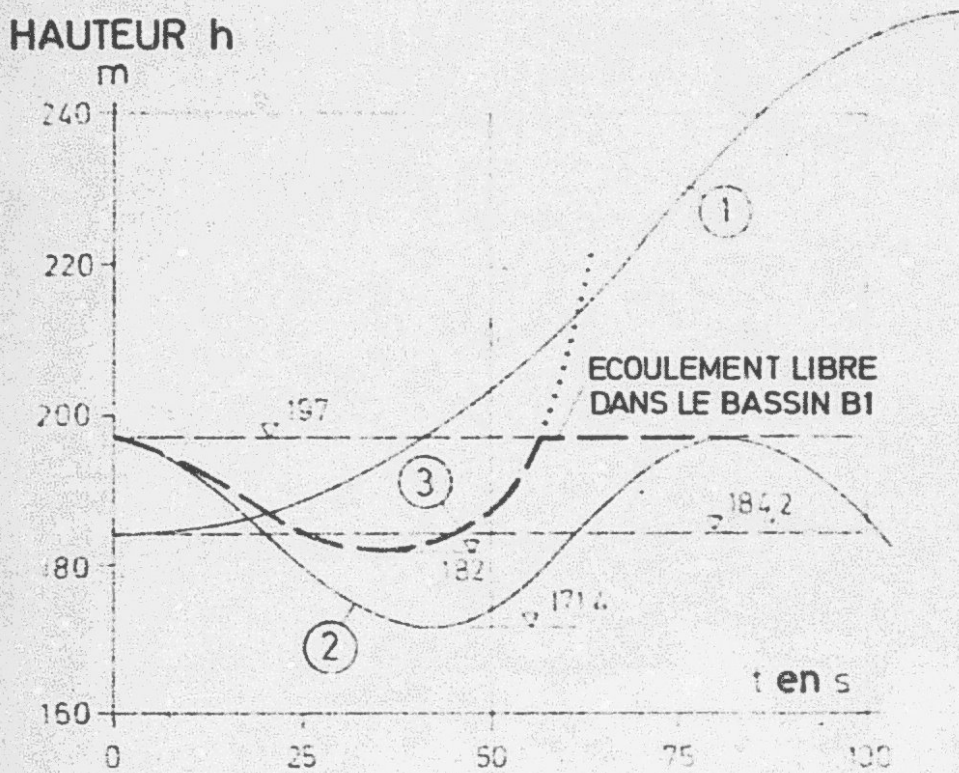


Schéma 8: Ondes de pression à la suite de panne de courant électrique de PAP 1

1. oscillation dans la conduite principale sans influence de DK
2. oscillation supérieure sous l'influence de DK
3. oscillation résultante réelle (2 superposé à 1)

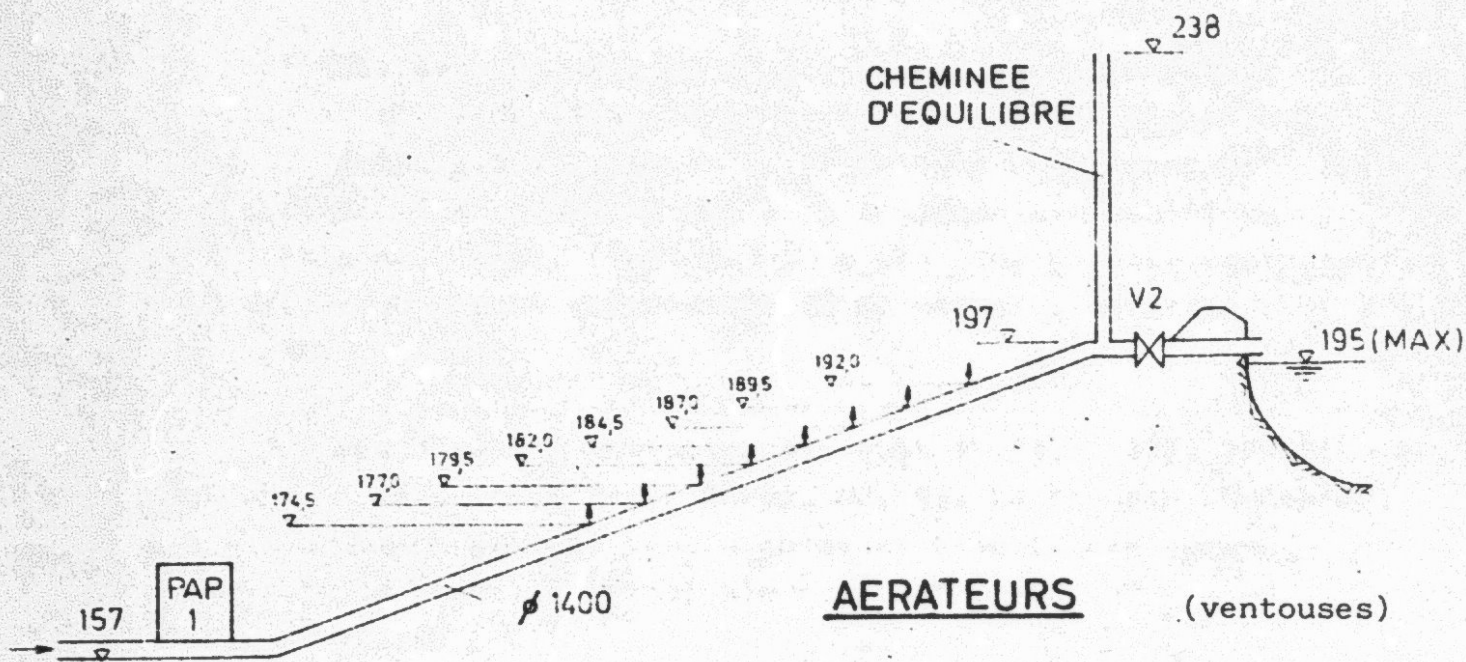


Schéma 9: Installation schématique des ventouses d'aération

Les ventouses servent uniquement à empêcher des vides trop importants. Elles ne laissent pénétrer que 1,0 l/s d'air (voir Annexe 1, point 1.3), la pression intérieure augmentant de -2,5 m resp. -5 m colonne d'eau à la pression atmosphérique (0,0 m colonne d'eau). C'est pourquoi les plus petites ventouses disponibles suffisent entièrement ( $\varnothing$  50, volume d'aération 100 l/sec).

Les 8 ventouses sont à installer aux quotes 174,5; 177; 179,5; 182; 184,5; 187; 189,5 (voir Schéma No. 9). Le tronçon au-dessus est suffisamment protégé par la cheminée d'équilibre (branchement de la conduite principale supposé être à 197,0 m ou niveau de crête).

Par l'ensemble de mesures proposées de sécurité contre les variations de la pression, la pression manométrique reste à tous les points de la conduite en-dessous du niveau du cas "Fermeture à B1" et au-dessus de -5 m colonne d'eau.

### 3.5 Panne de courant électrique PAP 2

Les masses d'eau dans les tronçons de conduite LA 1, 3 et 4 sont d'env. 75 500 m<sup>3</sup>. Les protections usuelles basées sur le principe de freinage seraient ici encore moins appropriées du point de vue économique que pour PAP 1.

C'est pourquoi il est proposé une solution selon le paragraphe 3.4 où les oscillations se perdent lentement et où le changement brusque du régime énergétique est amorti, de telle manière que des oscillations à ondes courtes sont éliminées presque complètement.

La protection contre la surpression comprend:

- un clapet de retenue (AK)  $\varnothing$  1 200 avec frein de course incorporé
- un réservoir de pression (DK) de 165 m<sup>3</sup> de volume
- 23 ventouses  $\varnothing$  50 pouvant être remplacées en partie par un raccord à la conduite A7 avec clapet de retenue.

Le fonctionnement du clapet de retenue est décrit au point 3.4 (emplacement voir Schéma 10). Dans ce cas, un diamètre de 1 200 semble suffisant. Les tronçons de conduite entre les pompes et la conduite principale ainsi que les pompes même subissent de charges élevées.

Le réservoir de pression fonctionne, ici aussi, de la même manière qu'un château d'eau à cheminée (de  $\varnothing$  1 400; voir Schéma 11)

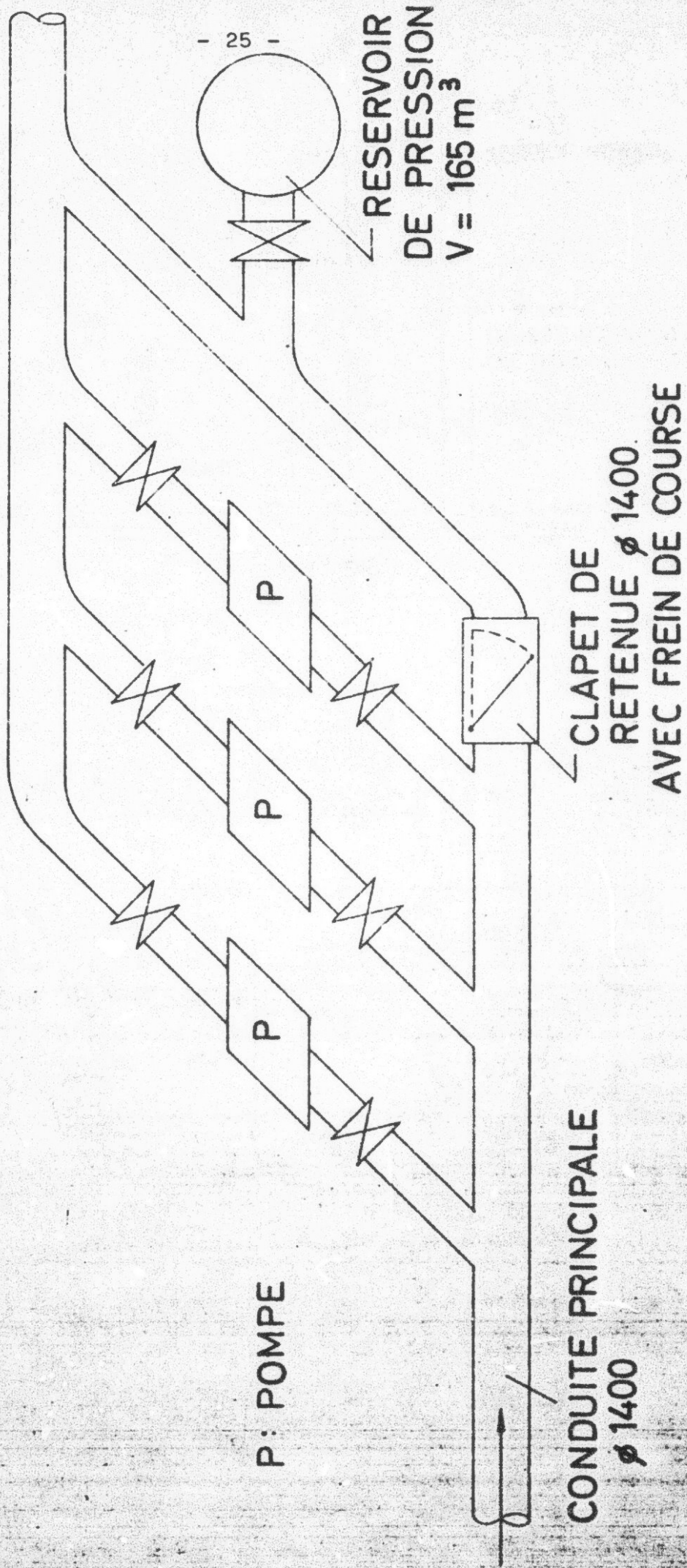
Le volume nécessaire du réservoir ( $V_K = 165 \text{ m}^3$ , voir Schéma 12, ainsi qu'Annexe 1, paragraphe 2.2) est, dans ce cas, beaucoup plus important que pour PAP 1

- car la différence de pression de 84 m manométrique est environ 6,6 fois plus élevée
- et parce que la baisse de pression (niveau d'eau dans la cheminée resp. pression dans le réservoir de pression) doit être limitée de telle manière qu'aucun vide excessif ne se produise à la hauteur de PAP 2.

Ceci n'est possible que par accord étudié de l'oscillation (oscillation courbe 2, Schéma 13) dans le château d'eau (ou du réservoir DK) à l'oscillation dans la conduite principale (courbe 1, Schéma 13). Pour les dimensions choisies, les périodes des deux oscillations coïncident, de telle sorte que le maximum de l'onde de pression de la courbe 1 se superpose au minimum de l'onde de pression de la courbe 2 avec comme résultat la courbe 3 relativement équilibrée. Une diminution du volume du réservoir de pression à  $90 \text{ m}^3$  par exemple (correspondant à un château d'eau avec une cheminée de  $1\ 000 \varnothing$ ), ferait raccourcir la période d'oscillation selon la courbe 4 qui, superposée sur la courbe 1, provoquerait une pression effective selon courbe 5, où surtout pour  $t > 350 \text{ sec}$  (environ 6 minutes après l'arrêt des pompes) une dépression inadmissible est constatée.

Afin de pouvoir calculer les oscillations, des hypothèses simplifiantes étaient à prendre. En fait, chaque pièce spéciale, chaque soupape ou branchement influencent le déroulement des

Schéma 10: Station de pompage intermédiaire PAP 2



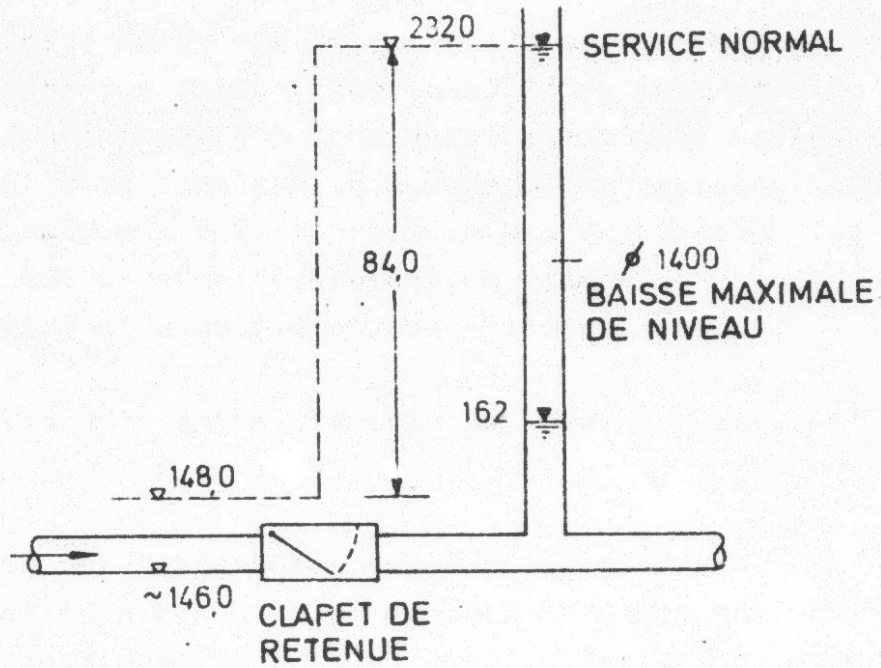


Schéma 11: Château d'eau à cheminée, même résultat que le réservoir de pression proposé

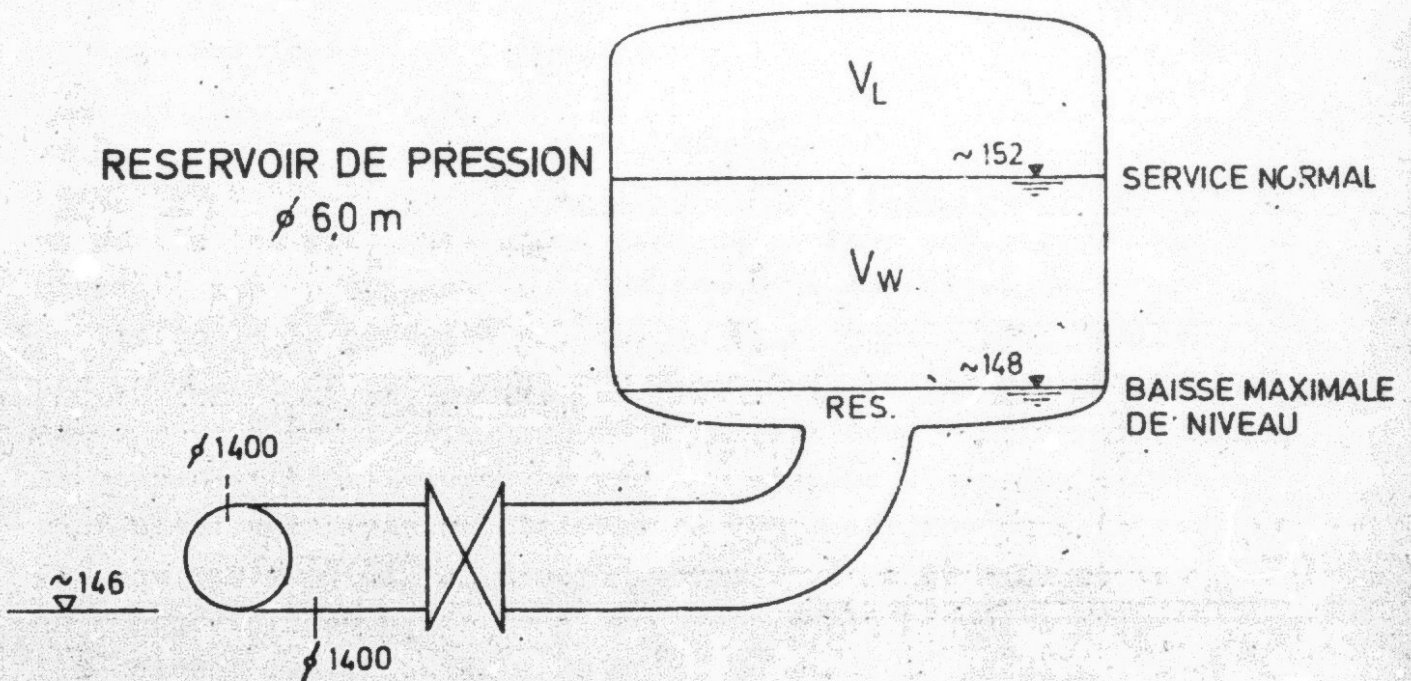


Schéma 12: Réservoir de pression (DK) pour PAP 2

ondes, de telle sorte qu'il est impossible d'arriver au résultat exact de l'accord par un calcul théorique. C'est pourquoi on doit s'attendre à des pressions considérablement plus basses que celles pouvant être lues sur la courbe 3. La pression minimale ne sera pourtant pas inférieure à la quote 162 selon les estimations de l'auteur. Une détermination exacte ne serait possible qu'à l'aide d'un modèle physique d'oscillations.

Pour éviter des vides inadmissiblement bas, deux mesures se présentent:

1. Installation de 23 ventouses selon paragraphe 3.4
2. Raccordement à la conduite principale A7 d'irrigation à l'aide d'un clapet de retenue et l'installation supplémentaire de 8 ventouses.

ad a.

En supposant que la crête de la conduite se trouve à 224,0 m (2 m au-dessus du niveau maximal de l'eau dans B2), il est nécessaire d'installer tous les 2,5 m (distance verticale) 23 ventouses  $\varnothing$  50, en commençant à la quote 164,0, la dernière étant à la quote 219,0. Le tronçon en amont étant suffisamment protégé par le fait de l'écoulement libre.

ad b.

Le niveau manométrique du bassin B2 est utilisé pour compenser en partie les creux des ondes dans LA 4. Pour des raisons de sécurité sont proposées au km 34,740 deux conduites de 200  $\varnothing$  de liaison à la conduite A7, qui en état normal, sont fermées par un clapet de retenue de 200  $\varnothing$  chacune. En cas d'arrêt brusque des pompes à PAP 2, les clapets s'ouvrent sous contre-poids, le mouvement étant déclenché par une soupape à aimant, et assurant ainsi une pression minimale de 200 m environ dans LA 4 (niveau minimum (212 m) dans B2 moins environ 12 m de perte en charge lors du plein fonctionnement de la conduite A7). Ils doivent rester ouverts au moins 20 minutes, jusqu'à l'amortissement des ondes de pression et doivent être alors fermés

HAUTEUR h  
m

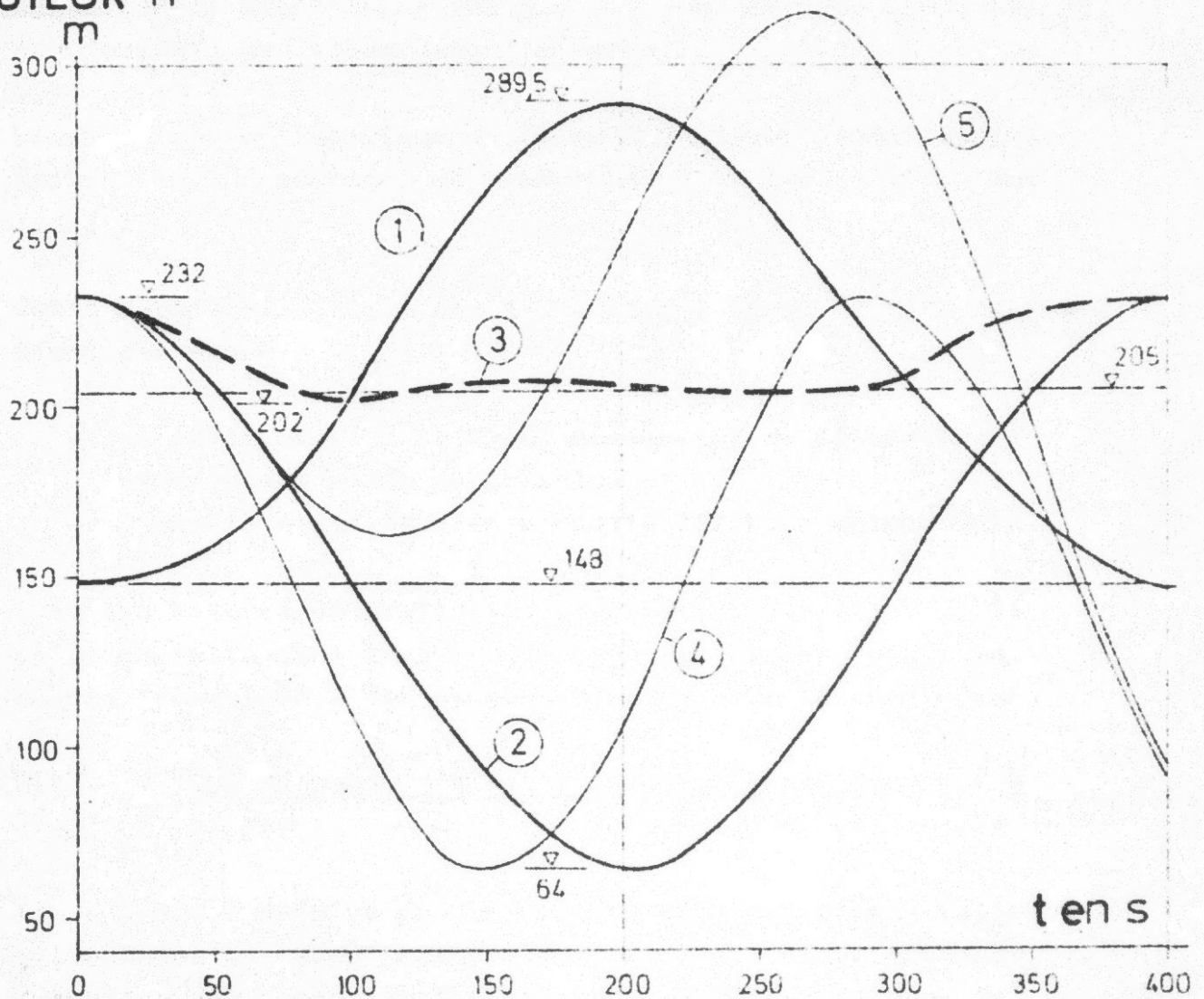


Schéma 13: Ondes de pression à la suite de panne de courant électrique dans PAP 2

1. oscillation dans la conduite principale sans influence du réservoir de pression DK
2. oscillation avec DK ( $V_K = 165 \text{ m}^3$ )
3. Courbe résultante (2 sur 1)
4. oscillation avec DK à volume réduit ( $V_K = 90 \text{ m}^3$ )
5. Courbe résultante (4 sur 1)

manuellement étant donné que sinon il pourrait se produire des courants de retour jusqu'au barrage.

Dans le tronçon supérieur de LA 4, 8 ventouses comme sous a. doivent être installées en commençant à la quote 201,5 tous les 2,5 m.

Cette dernière solution est à préférer à celle décrite sous a., étant donné que

- de cette manière il n'est nécessaire de déterminer le minimum des ondes de pression et
- l'entrée d'air dans la conduite est bien moins forte.

Avec les mesures de protection proposées, la hauteur de la pression reste dans tous les tronçons en-dessous du niveau du cas "Fermeture à B1" et au-dessus de -5 m colonne d'eau.

### 3.6 Cas de panne d'électricité simultanée dans PAP 1 et PAP 2

Il se produit dans ce cas un système complexe d'oscillations qui échappe au calcul mathématique et qu'il ne serait possible d'étudier exactement qu'à l'aide d'un modèle physique. On peut toutefois noter les faits suivants:

La pression dans LA 2 n'est pas influencée négativement en cas de panne d'électricité dans PAP 2, car la pression augmente du côté aspiration et deviendra à tout moment plus forte qu'avant la panne.

Les répercussions dans LA 4 sont plus compliquées. D'une part la diminution de pression du côté aspiration de PAP 1 est relativement faible et les oscillations ont des périodes assez courtes à cause du petit réservoir de pression. D'autre part, dans LA 4 l'accord entre l'oscillation dans la conduite principale et l'oscillation dans le réservoir de pression peut être sensiblement dérangé (voir paragraphe 3.5).

De tels dérangements sont déjà pris en considération en ce qui concerne les mesures de protection proposées au paragraphe 3.5. Il faut toutefois ne pas oublier qu'il s'agit d'estimations et que la variante a. (deux conduites de liaison à la conduite A7) représente une meilleure protection que la variante b. (protection exclusivement par des ventouses).

4. Conclusion

Les études hydrauliques ont montré que l'extension prévue du système par les tronçons LA 3 et 4 (branchement - Bassin B2) ne provoque pas d'augmentation de pression supplémentaire dans les tronçons LA 1 et 2 lors de la fermeture de V1 (au barrage) ou de V2 (au bassin B1). La nouvelle soupape V3 n'est opérationnelle que lorsque le débit est nul, elle ne provoque donc pas d'onde de pression.

Les pressions maximales survenant dans les tronçons nouveaux (LA 3 et 4) ont été déterminées.

Il a été proposé comme mesures de protection des conduites en cas de panne d'électricité des deux stations de pompage intermédiaires proposées PAP 1 et PAP 2:

- pour chacune un clapet de retenue avec frein de course incorporé dans un by-pass ouvrant automatiquement et laissant passer le débit
- pour chacune un réservoir de pression pour l'amortissement en douceur de la chute soudaine de pression
- pour PAP 2, un raccord avec une conduite parallèle à la conduite principale s'ouvrant automatiquement et permettant ainsi d'éviter des formations de vide dans la majeure partie de la conduite ascendante vers le bassin B2
- des ventouses automatiques pour une protection contre les dépressions inadmissibles dans les domaines critiques les plus élevés de la conduite.

A N N E X E S

A N N E X E 1

Annexe 1

Calculs

1. Panne de courant électrique de PAP 1

1.1 Oscillation de la conduite principale

Période:  $T = 2\pi \cdot \sqrt{L/g}$  (2)

L: longueur de la conduite barrage - B1 = 13,164 km

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{13,164}{9,81}} = \underline{\underline{230 \text{ s}}}$$

Amplitude  $A = v_0 \cdot \sqrt{L/G}$  (2)

$v_0$ : vitesse stationnaire d'écoulement

$$A = 1,82 \cdot \sqrt{\frac{13,164}{9,81}} = 66,7 \text{ m (non amortie)}$$

$$c_2 = 1 + \epsilon \zeta \text{ (valeur auxiliaire)}$$

$$\text{(conduite)} = \lambda \cdot L/D$$

$$\zeta \text{ (LA 1)} = 0,011 \cdot \frac{12,662}{1,8} = 77,4$$

$$\zeta \text{ (LA 2)} = 0,0115 \cdot \frac{502}{1,4} = 4,1$$

$$\zeta \text{ (entrée, branchement, soupape, robinetterie)} = 7,0$$

$$c_2 = 1 + 77,4 + 4,1 + 7,0 = 89,5$$

$$m_0 = \frac{c_2 \cdot v_0^2}{A \cdot 2g} = \frac{89,5 \cdot 1,82^2}{66,7 \cdot 19,62} = 0,227 \text{ (valeur auxiliaire)}$$

Coefficient d'amortissement  $Y_1$  de la première montée du niveau du Diagramme 2:

$$Y_1 = 0,85$$

$$\text{première montée du niveau } Z_1 = Y_1 \cdot A$$

$$Z_1 = 0,85 \cdot 66,7 = 56,7 \text{ m au-dessus du niveau ultérieur}$$

$$\text{Quote de la première montée du niveau: } 197,0 + 56,7 = \underline{\underline{253,7 \text{ m NGT}}}$$

voir Courbe 1, Schéma 8

1.2 Réservoir de pression (DK-)

L'oscillation est d'abord calculée dans un château d'eau à galerie (efficacité analogue)

$$\text{ø de la galerie du château d'eau: } F \text{ (NW 500)} = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{ø de la conduite principale: } f \text{ (NW 1400)} = 1,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Amplitude: } A = 12,8 \text{ m (différence de pression)}$$

$$\text{Période: } T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L \cdot F}{g \cdot f}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{13,164 \cdot 0,196}{9,81 \cdot 1,54}} = \underline{\underline{82,1 \text{ s}}}$$

L'influence d'amortissement est très faible pendant la phase primaire (voir Courbe 2, Schéma 8).

Détermination du dimensionnement pour le DK (voir Schéma 6):

$$\text{Volume d'eau: } V_w = 2 \cdot 12,8 \cdot 0,196 = 5,0 \text{ m}^3$$

Service normal (Index n): quote du niveau d'eau 161,0 m

$$P_n = (197,0 - 161,0) = 36,0 \text{ m Colonne d'eau} \approx 4,6 \text{ bar abs.}$$

abaissement maximal (Index m): quote du niveau d'eau 159,0 m

$$P_m = (171,4 - 159,0) = 12,4 \text{ m Colonne d'eau} \approx 2,24 \text{ bar abs.}$$

Volume d'air nécessaire  $V_L$ :

$$P_n \cdot V_L = P_m \cdot (V_L + V_w)$$

$$V_L = \frac{P_m}{P_n - P_m} \cdot V_w = \frac{2,24}{4,6 - 2,24} \cdot 5,0 = 4,75 \text{ m}^3$$

Réserve d'air  $V'_L = 0,25 \text{ m}^3$  (pour surmonter la différence de pression lors de l'ouverture et de la fermeture)

Réserve d'eau:  $V'_w = 2,0 \text{ m}^3$  (remplissage restant)

$$\text{Volume du réservoir } V_k = V_w + V'_w + V_L + V'_L = \underline{\underline{12,0 \text{ m}^3}}$$

### 1.3 Quantité d'aération des soupapes

Lors d'un changement de la pression de -0,5 bar à 0,0 bar, il se produit une dilatation du diamètre de la conduite.

Changement de pression  $\Delta\delta_i$  dans les fibres intérieures du bord:

$$\Delta\delta_i = \Delta p \cdot \frac{\varphi^2 + 1}{\varphi^2 - 1} \quad \text{avec } \varphi = \frac{r_i + s}{r_i}$$

$$r_i = \text{radius intérieur} = 0,70 \text{ m}$$

$$s = \text{épaisseur de la paroi} = 0,105 \text{ m}$$

$$\varphi = \frac{0,70 + 0,105}{0,70} = 1,15$$

$$\Delta p = 0,5 \text{ bar} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta\delta_i = 0,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{1,15^2 + 1}{1,15^2 - 1} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Dilatation  $\epsilon_i$  des fibres intérieures:

$$\epsilon_i = \frac{\Delta \delta_i}{E_b} = \frac{3,6 \cdot 10^5}{3,9 \cdot 10^{10}} = 9,23 \cdot 10^{-6}$$

Changement du  $\phi$   $U_i$  des fibres intérieures:

$$\Delta U_i = \epsilon_i \cdot U_i \text{ avec } U_i = \pi \cdot D = 4,40 \text{ m}$$

$$\Delta U_i = 9,23 \cdot 10^{-6} \cdot 4,40 = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Changement du  $\phi$  intérieur:

$$\Delta D_i = \frac{\Delta U_i}{\pi} = 4,1 \cdot 10^{-5} / \pi = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Changement du  $\phi$  de la conduite  $\Delta F$ :

$$\Delta F = \frac{\pi}{4} \cdot (1,40^2 - (1,40 - 1,3 \cdot 10^{-5})^2) = \frac{\pi}{4} \cdot 0,00004$$

$$\Delta F = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Intervalle maximal entre 2 soupapes  $L_v$ :

$$L_v \approx 100 \text{ m}$$

Volume nécessaire d'aération  $V_v$ :

$$V_v = \Delta F \cdot L_v = 3,1 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3,1 \text{ l}$$

Chute de pression la plus rapide possible:  $\Delta t \approx 3 \text{ s}$

Volume nécessaire:  $\approx \underline{\underline{1,0 \text{ l/s}}}$

## 2. Panne de courant dans PAP 2

### 2.1 Oscillation de la conduite principale

$$\text{Période: } T = 2\pi \sqrt{L/g}$$

$L$  = longueur de la conduite barrage - B2 = 40,762 m

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{40,762}{9,81}} = \underline{\underline{405 \text{ s}}}$$

$$\text{Amplitude } A = v_o \cdot \sqrt{L/g}$$

$$A = 1,82 \sqrt{\frac{40,762}{9,81}} = 117,3 \text{ m (non amortie)}$$

situation normale: 205,0 m (niveau min. du barrage)

$$c_2 = 1 + \epsilon \zeta \quad (\text{valeur auxiliaire})$$

$$\zeta \text{ (LA 1)} = 77,4 \text{ (voir 1.1)}$$

$$\zeta \text{ (LA 3 + 4)} = \lambda \cdot L/D = 0,0115 \cdot \frac{28,100}{1,4} = 230,8$$

$$\zeta \text{ (entrée, branchement, soupapes, robinetterie)} \approx 3,1$$

$$c_2 = 1 + 77,4 + 230,8 + 3,1 = 312,3$$

$$m_o = \frac{c_2 \cdot v_o^2}{A \cdot 2g} = \frac{312,3 \cdot 1,82^2}{117,3 \cdot 19,62} = 0,45 \quad (\text{valeur auxiliaire})$$

$$\text{première montée du niveau: } Z_1 = Y_1 \cdot A$$

coefficient d'amortissement  $Y_1$  du diagramme dans (2)

$$Y_1 = 0,72$$

$$Z_1 = 0,72 \cdot 117,3 = 84,5 \text{ m}$$

$$\text{quote: } 205,0 + 84,5 = 289,5 \text{ m}$$

$$\text{première baisse du niveau: } Z_2 = Y_2 \cdot A$$

coefficient d'amortissement  $Y_2$  du diagramme dans (2)

$$Y_2 = -0,50$$

$$Z_2 = -0,50 \cdot 117,3 = -58,7 \text{ m}$$

$$\text{quote: } 205,0 - 58,7 = 146,3 \text{ m}$$

voir Courbe 1 du Schéma 13

## 2.2 Réservoir de pression (DK)

L'oscillation est d'abord calculée dans un château d'eau à cheminée (voir Schéma 11):

Diamètres château d'eau 1400 (F) et conduite principale 1400 (f):

$$F = f = 1,54 \text{ m}^2$$

Amplitude  $A = 84,0$  m (différence de pression)

$$\text{Période } T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L \cdot F}{g \cdot f}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{40,762}{9,81}} = \underline{\underline{405 \text{ s}}} \text{ (comme conduite principale)}$$

Il n'est pas nécessaire de considérer l'influence de pression qui est très basse pendant la phase de démarrage (voir Courbe 2, Schéma 13).

Détermination du dimensionnement de DK (voir Schéma 12):

$$\text{Volumes d'air nécessaires: } V_w = (232 - 162) \cdot 1,54 = 108 \text{ m}^3$$

Service habituel (Index n): quote du niveau d'eau 152,0 m

$$P_n = (232,0 - 152,0) = 80,0 \text{ Colonne d'eau} \approx 9,0 \text{ bar absolu}$$

Chute max. (Index m): quote du niveau d'eau 148,0 m

$$P_m = (162,0 - 148,0) = 14,0 \text{ Colonne d'eau} \approx 2,4 \text{ bar absolu}$$

$$\text{Volumes d'air nécessaires } V_L = \frac{P_m}{P_n - P_m} \cdot V_w = \frac{2,4 \cdot 108}{9,0 - 2,4} = 39,3 \text{ m}^3$$

Réserve d'air  $V'_L = 2,7 \text{ m}^3$  (pour surmonter la différence de pression entre mise en service et arrêt)

Réserve d'eau:  $V'_w = 15 \text{ m}^3$  (remplissage restant)

$$\text{Volume du réservoir de pression } V_k = V_w + V'_w + V_L + V'_L = \underline{\underline{165 \text{ m}^3}}$$

De plus petites dimensions du réservoir  $V_k$  provoquent des périodes moins

longues  $T$ , par exemple  $V_k = 90 \text{ m}^3 \rightarrow T = 290 \text{ s}$  (voir Courbe 4, Schéma 13)

où la pression effective (Courbe 5) atteint des valeurs inadmissibles surtout pendant la seconde période d'oscillation ( $t > 350 \text{ s}$ ).

A N N E X E 2

KOORDINATEN UND KENNWERTE  
 Coordonnées et valeurs caractéristiques  
 \*\*\*\*\*

Tronçon de conduite 1:  
 LEITUNGSABSCHNITT 1

D = 1.8000 M  
 S = 0.1250 M  
 Q0 = 6.0100 CBM/SEC m<sup>3</sup>/sec  
 H0 = 76.4500 M  
 LAMBDA = 0.0110

Coordonnées, longueurs, pentes  
 KOORDINATEN, LAENGEN, GEFAELLE

PKT NR Point No.	X=WERT Valeur X	Y=WERT Valeur Y	LAENGE Longueur	GEFAELLE Pente
1	0.00	191.00	362.51	-7.86
2	362.51	188.15	328.54	-10.82
3	644.02	185.05	422.00	-10.35
4	2070.00	184.60	1770.25	-3.45
5	3840.24	78.50	1899.12	-11.83
6	4738.22	66.98	231.38	-13.68
7	4969.33	75.00	1417.90	-11.99
8	6387.77	62.40	391.02	-11.80
9	6778.33	69.40	670.04	-11.35
10	7448.03	160.34	1559.20	-14.00
11	7987.06	155.36	1559.90	-12.40
12	9146.60	155.28	1559.53	-12.33
13	9334.08	157.38	2511.56	-15.22
14	9337.63	148.99	771.53	-14.33
15	10790.27	122.33	591.56	-14.04
16	11299.94	77.33	291.33	-13.50
17	12364.25	39.55	295.79	-13.89
18	12660.00	44.55		

GESAMTLAENGE SUMM = 12662,55 M  
 Longueur totale

Tronçon 2:  
 LEITUNGSABSCHNITT 2

D = 1.4000 M  
 S = 0.1050 M  
 Q0 = 3.2100 CBM/SEC m<sup>3</sup>/sec  
 H0 = 26.0000 M  
 LAMBDA = 0.0115

Coordonnées, longueurs, pentes  
 KOORDINATEN, LAENGEN, GEFAELLE

PKT NR No. point	X=WERT Valeur X	Y=WERT Valeur Y	LAENGE Longueur	GEFAELLE Pente
1	12660.00	144.55	352.11	109.86
2	13010.00	183.00	150.48	80.00
3	13160.00	195.00		

GESAMTLAENGE SUMM = 502,58 M  
 Longueur totale:

Tronçon de conduite 3:  
LEITUNGSABSCHNITT 3

D = 1.4000 M  
 S<sub>0</sub> = 0.1050 M  
 H<sub>0</sub> = 2.8000 CM/SEC m<sup>3</sup>/sec  
 LAMBDA = 73.3000 M  
 = 0.0115 =

Coordonnées, Longueur, Pente  
 KOORDINATEN, LAENGEN, GEFAELLE

PKT NR Point No.	X=WERT Valeur X	Y=WERT Valeur Y	LAENGE Longueur	GEFAELLE Pente
1	12660.00	174.55	700.00	1.72
2	13560.00	173.00	3050.00	1.61
3	16610.00	173.00	3550.00	1.53
4	20160.00	128.00	290.23	1.66
5	20450.00	116.50	250.00	1.00
6	20700.00	116.50	175.35	1.56
7	20875.00	127.50	2820.00	1.53
8	23625.00	123.00	4880.00	1.02
9	28575.00	134.00	5355.01	1.56
10	33930.00	147.70		

GESAMTLAENGE SUML = 21270.60 M  
 Longueur totale:

Tronçon de conduite 4:  
LEITUNGSABSCHNITT 4

D = 1.4000 M  
 S<sub>0</sub> = 0.1050 M  
 H<sub>0</sub> = 2.8000 CM/SEC m<sup>3</sup>/sec  
 LAMBDA = 10.0000 M  
 = 0.0115 =

Coordonnées, Longueur, Pente  
 KOORDINATEN, LAENGEN, GEFAELLE

PKT NR Point No.	X=WERT Valeur X	Y=WERT Valeur Y	LAENGE Longueur	GEFAELLE Pente
1	33930.00	147.70	810.00	3.46
2	34740.00	150.50	340.01	1.00
3	35080.00	153.00	240.00	1.00
4	35320.00	153.00	190.01	1.53
5	35510.00	153.00	2920.00	1.90
6	37730.00	153.00	520.03	1.58
7	38250.00	158.50	2510.55	1.92
8	40760.00	222.40		

GESAMTLAENGE SUML = 6830.60 M  
 Longueur totale:

ERGEBNISSE DER DRUCKSTOSSBERECHNUNG DES

Résultats des calculs du coup de bélier pour

LEITUNGSSYSTEMS TALSP. BOU HEURTMÄ

la conduite barrage Bou Heurtma ..

BASSIN B1 BASSIN B2

Bassin B1 - Bassin B2

Barrage 221,0 m  
TALSP. 221,0

PAP 2 IN BETRIEB

PAP 2 en service

\*\*\*\*\*

Cas: Fermeture au bassin B1

LASTFALL ; SCHLIESSEN BEI BASSIN B1

SCHLIESSZEIT TS = 1800,00 SEC

temps de fermeture =

ORT : LEITUNGSEIENDE LA 2

Emplacement: extrémité de la conduite LA 2

ERKLÄRUNG DER PARAMETER :

Explication des paramètres:

N == NUMMER DER HAUPTZEIT (m) No. du temps  
 T == ZEIT SEIT SCHLIESSREGIMII (SEC) temps depuis le début de la fer-  
 MURCHFLUSS (CM / SEC) débit meture  
 HEL == ENERGIEHOEHE (MWS) colonne d'eau  
 HVL = H + HVL + V\*V/2g  
 H == VERLUSTHOEHE DES BETR. LA (MWS) Perte de hauteur  
 HNN == DRUCKHOEHE (MWS) colonne d'eau  
 H == DRUCKHOEHE (MWS) hauteur de pression m NGT

N	T	M	HEL	HVL	H	HNN
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0





ERGEBNISSE DER DRUCKSTOSSBERECHNUNG DES  
Résultats des calculs du coup de bélier de la

LEITUNGSSYSTEMS TALSP. BOU HEURTHA  
conduite barrage Bou Heurtma - Bassin B1 - Bassin  
- BASSIN B1 - BASSIN B2 B2 -

Niveau barrage 221,0 m  
TALSP. 221,0

PAP 2 AUSSER BETRIEB  
PAP 2 hors service

\*\*\*\*\*

Cas: Fermeture au Bassin B1  
LASTFALL : SCHLIESSEN BEI BASSIN B1  
Temps de fermeture:  
SCHLIESSZEIT T3 = 1800,00 SEC

ORT : LEITUNGSENDE LA 2  
Emplacement: extrémité de la conduite LA 2

ERKLÄRUNG DER PARAMETER :

N == NUMMER DER HAUPTZEIT (n)  
T == ZEIT SEIT SCHLIESSBEGINN (SEC)  
Q == DURCHFLOSS (CBM / SEC)  
HEL == ENERGIEHOEHE (MWS)  
HEL = H + HVL + V\*V/2\*g  
HVL == VERLUSTHOEHE DES BETR. LA (MWS)  
H == DRUCKHOEHE (MWS)  
HNN == DRUCKHOEHE (MMN)

N	T	Q	HEL	HVL	H	HNN
0	0	0	45	0	45	0
1	0	0	45	0	45	0
2	0	0	45	0	45	0
3	0	0	45	0	45	0
4	0	0	45	0	45	0
5	0	0	45	0	45	0
6	0	0	45	0	45	0
7	0	0	45	0	45	0
8	0	0	45	0	45	0
9	0	0	45	0	45	0
10	0	0	45	0	45	0
11	0	0	45	0	45	0
12	0	0	45	0	45	0
13	0	0	45	0	45	0
14	0	0	45	0	45	0
15	0	0	45	0	45	0
16	0	0	45	0	45	0
17	0	0	45	0	45	0
18	0	0	45	0	45	0
19	0	0	45	0	45	0
20	0	0	45	0	45	0
21	0	0	45	0	45	0
22	0	0	45	0	45	0
23	0	0	45	0	45	0
24	0	0	45	0	45	0
25	0	0	45	0	45	0
26	0	0	45	0	45	0
27	0	0	45	0	45	0
28	0	0	45	0	45	0
29	0	0	45	0	45	0
30	0	0	45	0	45	0
31	0	0	45	0	45	0
32	0	0	45	0	45	0
33	0	0	45	0	45	0
34	0	0	45	0	45	0
35	0	0	45	0	45	0
36	0	0	45	0	45	0
37	0	0	45	0	45	0
38	0	0	45	0	45	0
39	0	0	45	0	45	0
40	0	0	45	0	45	0
41	0	0	45	0	45	0
42	0	0	45	0	45	0
43	0	0	45	0	45	0
44	0	0	45	0	45	0
45	0	0	45	0	45	0
46	0	0	45	0	45	0
47	0	0	45	0	45	0
48	0	0	45	0	45	0
49	0	0	45	0	45	0
50	0	0	45	0	45	0
51	0	0	45	0	45	0
52	0	0	45	0	45	0
53	0	0	45	0	45	0
54	0	0	45	0	45	0
55	0	0	45	0	45	0
56	0	0	45	0	45	0
57	0	0	45	0	45	0
58	0	0	45	0	45	0
59	0	0	45	0	45	0
60	0	0	45	0	45	0
61	0	0	45	0	45	0
62	0	0	45	0	45	0
63	0	0	45	0	45	0
64	0	0	45	0	45	0
65	0	0	45	0	45	0
66	0	0	45	0	45	0
67	0	0	45	0	45	0
68	0	0	45	0	45	0
69	0	0	45	0	45	0
70	0	0	45	0	45	0
71	0	0	45	0	45	0
72	0	0	45	0	45	0
73	0	0	45	0	45	0
74	0	0	45	0	45	0
75	0	0	45	0	45	0
76	0	0	45	0	45	0
77	0	0	45	0	45	0
78	0	0	45	0	45	0
79	0	0	45	0	45	0
80	0	0	45	0	45	0
81	0	0	45	0	45	0
82	0	0	45	0	45	0
83	0	0	45	0	45	0
84	0	0	45	0	45	0
85	0	0	45	0	45	0
86	0	0	45	0	45	0
87	0	0	45	0	45	0
88	0	0	45	0	45	0
89	0	0	45	0	45	0
90	0	0	45	0	45	0
91	0	0	45	0	45	0
92	0	0	45	0	45	0
93	0	0	45	0	45	0
94	0	0	45	0	45	0
95	0	0	45	0	45	0
96	0	0	45	0	45	0
97	0	0	45	0	45	0
98	0	0	45	0	45	0
99	0	0	45	0	45	0
100	0	0	45	0	45	0











**FIN**

**53** .....

**VUES**