

Approvisionnement en eau potable de la côte atlantique entre Rabat-Sale et Casablanca. Adduction du Bou Regreg

André Plisson et Michel Bos

SAFEGE, Nanterre

Généralités

L'aménagement dit du "Bou Regreg", au Maroc, est un complexe de production et d'adduction d'eau potable destiné à l'approvisionnement de la région côtière atlantique qui s'étend de Kénitra à Casablanca. Elle se situe de part et d'autre de l'oued Bou Regreg qui détermine ainsi une zone Nord comprenant les villes de Salé et Kénitra, ainsi que diverses localités de moindre importance regroupées sous le vocable "Petits Centres Nord" et une zone Sud comprenant les villes de Rabat, Mohammedia et Casablanca et les Petits Centres Sud (Témara, Skhirat, Bouznika).

La population totale de la zone s'élevait en 1968 à environ 2 000 000 d'habitants. En 1975 elle était estimée à 2 800 000 habitants. Les prévisions pour l'an 2000 se situent entre 6 et 7 000 000.

Parallèlement au développement de la population, se poursuit celui de l'industrie, notamment à Casablanca et Mohammedia.

Il s'ensuit une très forte demande en eau avec un accroissement très rapide.

Les études générales effectuées en 1967-1968 dans le cadre du plan directeur national sous l'égide de l'OMS prévoient des besoins nécessitant un débit de production de l'ordre de 5 m³/s en 1974 et de 21 m³/s en 2000.

En face de ces besoins, les ressources existantes en 1968 étaient les suivantes :

Adduction de l'Oum er R'bia	2 m ³ /s
Adduction du Fouarat	0,9 m ³ /s
Ressources locales diverses	1,5 m ³ /s
Total	4,4 m³/s

C'est à dire que dès 1974 elles devaient être totalement saturées. D'où la nécessité de programmer d'importants aménagements aux réalisations échelonnées pour assurer la production nécessaire face aux besoins futurs jusqu'à l'an 2000.

Les aménagements retenus sont les suivants :

- équipement du Bou Regreg pour une capacité finale de 13 m³/s avec mise en service à partir de 1975 d'une première tranche de 4 m³/s ;
- équipement de l'oued Sebou et renforcement de l'Oum er R'bia pour un débit total de 4 m³/s dont les réalisations s'intégreront ou succéderont à celles du Bou Regreg.

Compte tenu de la date de mise en service du Bou Regreg qui ne pouvait être rapprochée étant donné l'importance des ouvrages à réaliser, il s'est avéré indispensable de disposer dès 1969 d'une adduction couvrant les besoins de la période intermédiaire. Ce fut le rôle de l'adduction dite du petit Grou d'une capacité de 1 m³/s dont certaines installations ont pu être intégrées à l'équipement du Bou Regreg (station de traitement, adduction vers Rabat). D'autres ont dû être abandonnées, noyées dans la retenue du barrage.

L'oued Bou Regreg se jette dans l'Atlantique entre Rabat et Salé. Quelques kilomètres avant son estuaire, il reçoit l'oued Grou et c'est en aval de ce confluent qu'a été établi, sous la responsabilité de la Direction de l'Hydraulique, Maître d'Ouvrage, le barrage permettant de créer une retenue de 500 millions de m³.

La capacité de la retenue peut être portée à 1 milliard de m³ par mise en place de vannes segment sur le déversoir de crue et éventuellement à 1,5 milliard par exhaussement de la digue.

Cette retenue est destinée dans sa presque totalité à l'alimentation en eau potable de la côte Atlantique, 1 m³/s seulement ayant été réservé pour l'irrigation.

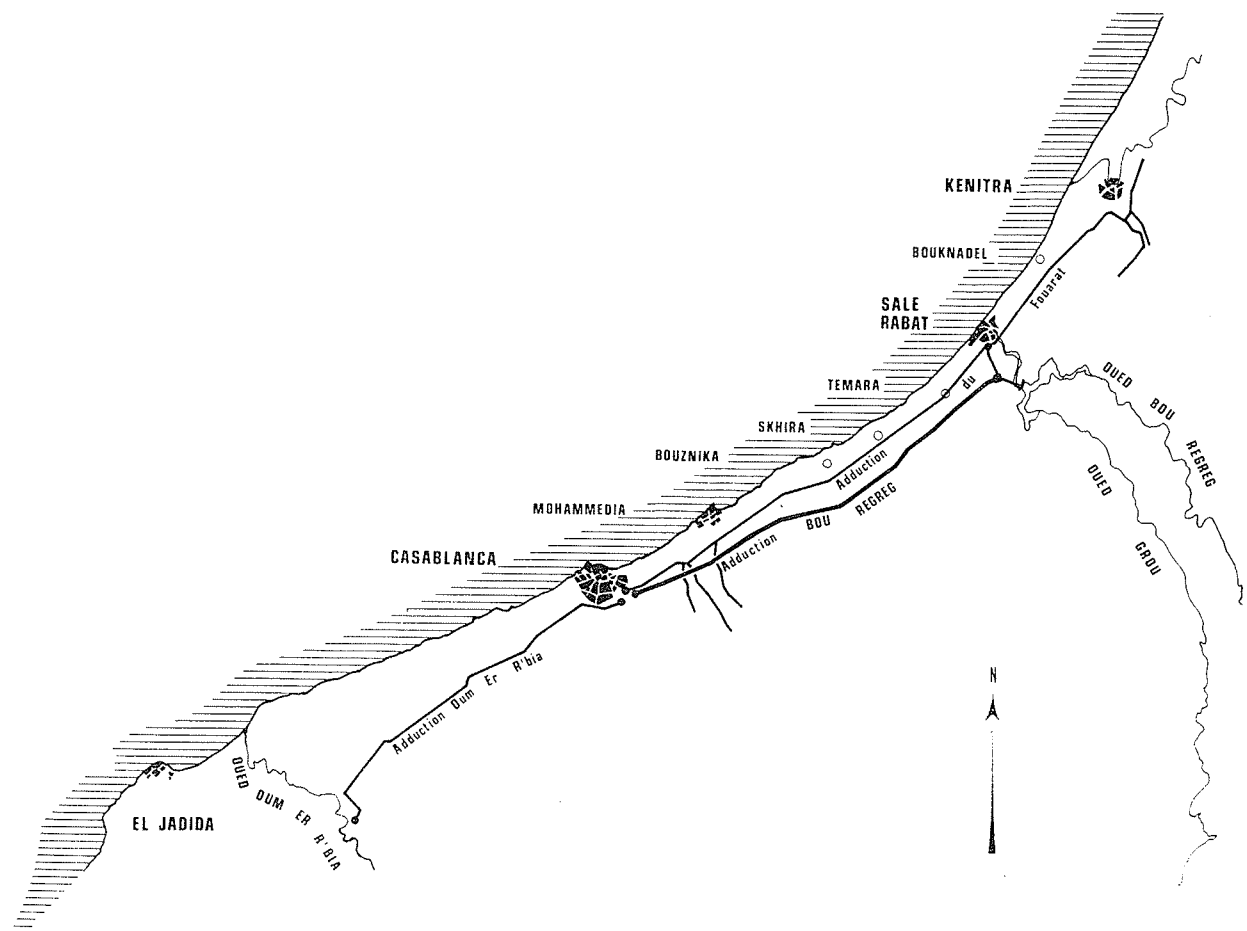


Figure 1 – Alimentation en eau potable de la côte Atlantique. Situation des principales adductions.

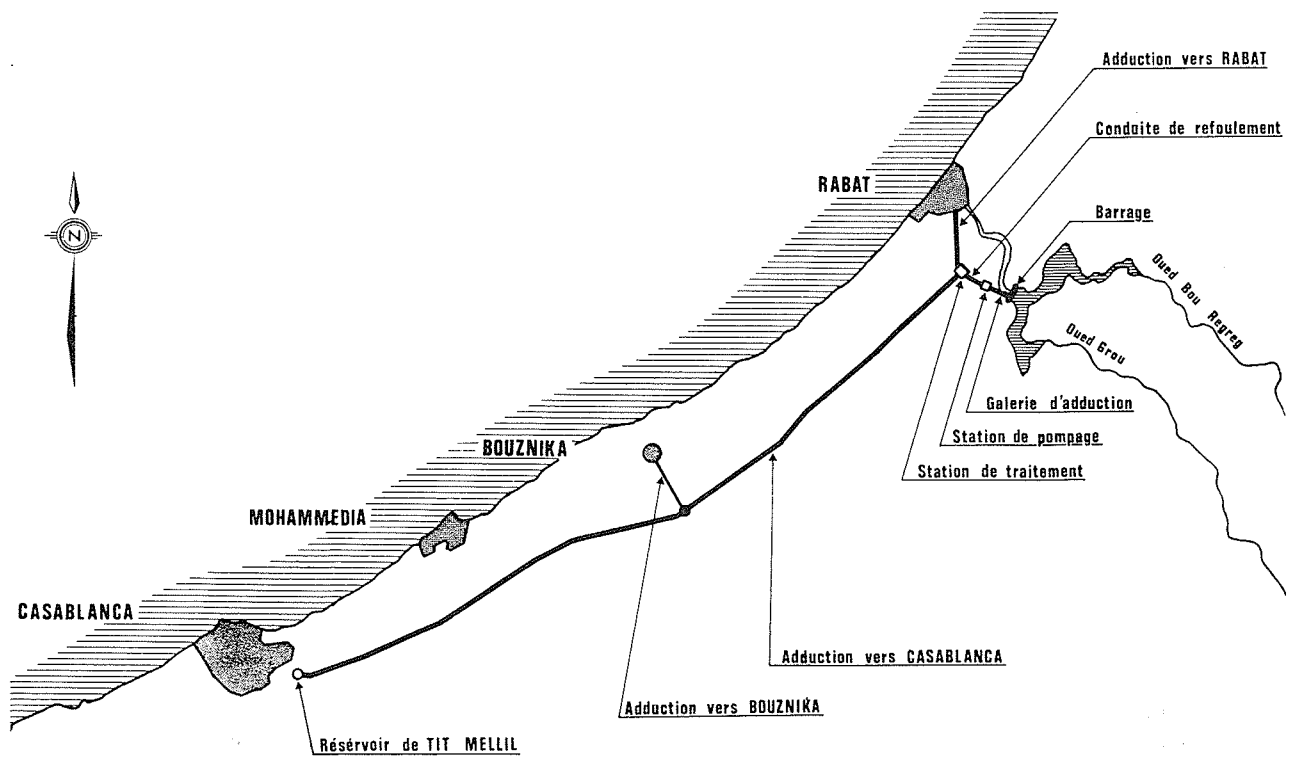


Figure 2 – Adduction du Bou Regreg. Schéma général.

Le projet dont l'étude a été confiée par l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), Maître d'Ouvrage, au groupement SAFEGE-SCET-SAEM, SAFEGE étant chef de file, avait pour objet le prélèvement de l'eau brute dans le barrage, son refoulement et son traitement et l'adduction de l'eau potable ainsi produite vers Casablanca et Rabat-Salé.

Les ouvrages nécessaires ont été dimensionnés soit pour la phase finale (13 m³/s), soit pour la première phase (4 m³/s) selon leur rôle et leur situation.

Ces ouvrages sont les suivants (figure 2) :

- *Ouvrages de prélèvement et d'adduction d'eau brute* constitués par :
 - Une tour de prise avec 7 pertuis de prélèvement
Phase 1 : équipement de 4 pertuis
Phase finale : équipement de 3 pertuis ;
 - Une galerie d'adduction d'eau brute
Phase 1 : réalisation définitive ;
 - Une station de pompage équipée en phase finale de 10 groupes électro-pompes
Phase 1 : 3 groupes élévatoires de 1 m³/s
1 groupe élévatoire de 2 m³/s
Phases suivantes : 2 groupes élévatoires de 2 m³/s par phase ;
 - Des conduites de refoulement d'eau brute
phase 1 : conduite Ø 1 400 mm - 4 m³/s
phase 2 : conduite Ø 1 600 mm - 5 m³/s
phase 3 : conduite Ø 1 600 mm - 5 m³/s
 - *Ouvrages de traitement et d'adduction d'eau potable* constitués par :
 - Une station de traitement
Phase 1 : 3 m³/s + 1 m³/s existant
Phases suivantes : 3 m³/s par phase.
 - Des conduites d'adduction d'eau potable dont les principales sont celles d'alimentation de la ville de Casablanca
Phase 1 - Conduite Ø 1 400 - 1 300 mm
Phase 2 - Conduite Ø 1 600 mm
- auxquelles s'ajoutent celles alimentant Rabat et Salé et les petits Centres Sud, à réaliser dans les phases ultérieures.

Description des principaux ouvrages et équipements

Nous allons reprendre l'un après l'autre ces ouvrages pour en donner une brève description, en insistant non pas sur des dimensions ou des nombres qui seront oubliés aussitôt qu'entendus mais plutôt sur certaines caractéristiques permettant de situer les problèmes particuliers rencontrés. Après cette description, nous évoquerons plus particulièrement deux d'entre eux : la protection antibélier de la station de pompage et la régulation de la conduite d'adduction vers Casablanca.

Barrage

Cet ouvrage est cité pour mémoire puisque ne faisant pas partie de notre étude.

Nous retiendrons seulement que la cote du plan d'eau peut varier entre les altitudes 65,30 et 30,00 en première phase et 76,00 et 30,00 en phase finale, soit donc un marnage pouvant atteindre 46,00 m ce qui constitue une contrainte pour la définition de certains équipements.

Tour de prise d'eau

La tour immergée dans la retenue a une hauteur totale de 56 m imposée par la cote maximale pouvant être atteinte par le plan d'eau après surélévation éventuelle du barrage.

Il s'ensuit qu'une partie importante émerge même lorsque le plan d'eau actuel est à son maximum.

Elle présente sept pertuis de prise à des niveaux échelonnés sur la hauteur de façon à permettre le prélèvement de l'eau brute dans une tranche comprise entre 2 et 12 mètres sous le niveau du plan d'eau quelque soit le niveau de ce plan d'eau.

L'équipement hydromécanique de cette tour comprend :

- une vanne de prise type wagon par pertuis ;
- une vanne de garde de la galerie d'adduction d'eau brute ;
- une grille de protection des pertuis constituée par 2 panneaux de 2,30 m de largeur et de 45,00 m de hauteur, ce qui est assez exceptionnel ;
- un dégrilleur automatique.

Galerie d'adduction d'eau brute

La galerie qui a une longueur totale de 2 600 m, un diamètre de 2,60 m est entièrement revêtue en béton sur 2 500 m, les cent derniers mètres étant blindés, blindage se raccordant aux collecteurs d'alimentation de la station de pompage.

Une cheminée d'équilibre dont le rôle sera mis en évidence plus loin est implantée à l'extrémité amont du tronçon blindé.

Station de pompage et poste de transformation

La station de pompage d'un débit total de 14 m³/sec comportera en phase finale sept groupes de 2 m³/sec et trois de 1 m³/sec.

En première phase, un groupe de 2 m³/sec a été installé ainsi que les trois de 1 m³/sec. Ces derniers présentent la particularité d'être à vitesse variable.

En effet, par suite essentiellement du marnage, la hauteur de refoulement varie de 93 à 145 m. Il en résulte des variations de débit de l'ordre de $\pm 25\%$ par rapport au débit moyen. Dans l'avenir, il sera possible de jouer sur le nombre des groupes en service pour obtenir le débit nominal demandé. Mais dans les premières années où le nombre de groupes est réduit, on ne pouvait espérer atteindre à ce résultat par un système "boîte de poids".

D'où l'intérêt de disposer d'un moyen de réglage continu du débit.

La variation de vitesse a été obtenue par action sur l'intensité rotorique, l'énergie rotorique étant récupérée selon un dispositif qui commence à être bien connu : la tension alternative du rotor (à la fréquence rotorique) est transformée par un pont redresseur en une tension continue dont la valeur est proportionnelle au glissement. Un pont onduleur à thyristors transforme cette tension continue en une tension alternative de valeur et de fréquence égales à celles du réseau. Le réglage de la vitesse se fait par action sur le rapport de transformation du pont onduleur.

La puissance des moteurs ainsi contrôlés est de 2 000 kW. Celle des moteurs des groupes de $2 \text{ m}^3/\text{sec}$, à vitesse fixe, est de 4 000 kW.

L'alimentation en énergie électrique est assurée par un poste de transformation recevant le courant en 63 Kv et le transformant en 5,5 Kv.

En phase finale, il comportera 4 transformateurs de 18 KVA, deux ayant été installés en première phase.

Conduite de refoulement

Seule la première des trois conduites a été réalisée.

Son diamètre est de 1 400 mm, la longueur de 2 800 m. Elle est constituée de tuyaux en fonte ductile à joints à emboîtement type automatique.

En profil, elle est pratiquement horizontale sur près de 2 000 m.

Vient ensuite un tronçon à forte pente ascendante, suivi d'un dernier tronçon à pente modérée, profil assez défavorable sur le plan des régimes transitoires ainsi qu'il en sera question plus loin.

Station de traitement

La chaîne de traitement est très complète.

Elle comporte :

- préchloration ;
- floculation avec possibilité d'emploi du sulfate d'alumine ou du chlorure ferrique selon la qualité de l'eau, variable avec les saisons ;
- décantation ;
- filtration rapide ;
- injection de chaux pour correction de pH et amélioration de la floculation ;
- injection de charbon actif pour suppression des goûts et odeurs ;
- stérilisation au chlore gazeux.

La préchloration de l'eau brute est effectuée au niveau de la tour de prise au taux moyen de $5 \text{ g}/\text{m}^3$ de chlore.

Le stockage du chlore est réalisé en tanks d'une tonne, 36 au total, de préférence à un stockage en réservoir de grande capacité qui avait été également envisagé mais posait de sérieux problèmes de conditionnement et de transport pour les industries locales.

La station de traitement proprement dite comporte pour le débit de $3 \text{ m}^3/\text{s}$:

- trois décanteurs type Pulsator de $6 000 \text{ m}^3$ de volume unitaire ;
 - dix filtres de surface unitaire 140 m^2 ;
- auxquels s'ajoutent :
- un ouvrage d'amenée d'eau brute recevant les réactifs de base ;
 - une citerne de stockage d'eau traitée de $10 000 \text{ m}^3$;
 - un ouvrage de départ et de répartition d'eau traitée ;
 - un bâtiment des machines abritant principalement l'équipement de lavage des filtres (pompes et surpresseurs d'air) ;
 - un bâtiment des réactifs abritant les divers stockages et les appareils de dosage.

Conduite d'adduction vers Casablanca

Cette conduite gravitaire, un des éléments essentiels du projet, a une longueur totale de 82 km. Elle part de la cote 151 pour arriver à la cote 103.

Elle comporte deux tronçons : l'un de 39 km et de diamètre 1 400 mm, l'autre de 43 km et de diamètre 1 300 mm. Entre les deux, un brise-charge intermédiaire.

Au niveau de ce brise-charge, un départ en 500 mm dérive une partie du débit vers Bouznika par une canalisation de 4 km aboutissant à un ouvrage de livraison raccordé sur l'adduction du Fouarat.

A l'arrivée de Casablanca, un ouvrage de régulation et un réservoir constituent l'équipement de livraison au service distributeur.

La canalisation est réalisée en tuyaux de béton précontraint de 7 m de longueur.

Enfin, le franchissement de quatre oueds a exigé la réalisation d'ouvrages spéciaux en béton armé.

Ses caractéristiques et son fonctionnement seront exposés plus en détail dans quelques instants par Monsieur Bos. Mais auparavant, nous allons revenir sur les dispositions adoptées pour la protection antibélier des installations de refoulement.

Régimes transitoires et protection contre les coups de bélier

La station de pompage, la galerie d'amenée et la conduite de refoulement constituent un système hydraulique unique tel que tout phénomène transitoire se produisant au niveau d'un des éléments peut avoir des répercussions sur tout le système (Figure 3).

Parmi toutes les manœuvres possibles d'arrêt et de démarrage des pompes, les cas les plus défavorables quant aux dépressions et surpressions engendrées sont :

- 1) l'arrêt simultané de toutes les pompes ,
- 2) le démarrage de la première pompe ayant le plus fort débit.

En raison de la variation possible du niveau amont, ces cas ont dû être examinés pour les valeurs extrêmes de ce niveau (cote 30 et cote 76).

Arrêt simultané des groupes

Justification d'une cheminée d'équilibre amont

En l'absence de cheminée d'équilibre, la cote piézométrique à l'amont immédiat de la station, c'est-à-dire dans l'extrémité aval de la galerie, est au moins égale à la moyenne des cotes piézométriques amont et aval, soit 120. Encore ce résultat ne pourrait-il être obtenu avec certitude que par la mise en place d'un by pass entre amont et aval de la station.

La cote piézométrique maximale en régime permanent étant au plus égale à la cote piézométrique statique, soit 76, la surpression en régime transitoire dans la galerie, tout au moins dans son tiers aval, serait dans ces conditions de l'ordre de 4,5 bars. Elle aurait été excessive et aurait nécessité de coûteux renforcements du génie civil.

Il était donc préférable de la limiter à une valeur beaucoup plus faible, ce qui conduisait obligatoirement à la création d'une cheminée d'équilibre à l'amont immédiat de la station.

Protection des installations aval

En l'absence de cheminée, l'inertie de l'adducteur amont intervenait pour limiter la dépression aval. Cette inertie étant amortie par la cheminée, il convient d'autant plus de rechercher une protection efficace de l'aval, pour éliminer en particulier la cavitation qui ne manquerait pas d'apparaître à la rupture de pente aux environs du P.K. 2 300.

Plusieurs dispositifs ont été envisagés :

Volants d'inertie

Les dimensions très importantes auxquelles on aboutissait ont conduit rapidement à éliminer de tels équipements technologiquement inadmissibles.

Réservoirs d'air

Le volume des réservoirs nécessaires est de 300 m³ environ au total.

Cette solution nécessite l'installation au refoulement des pompes de clapets à fermeture rapide, pour éviter la fermeture sur débit inversé (clapets de fabrication Mannesmann-Meer ou similaire).

La surpression est dans ce type de protection limitée à 1,5 bar.

Le volume de réservoir nécessaire pour chaque conduite était de 100 m³.

La réalisation pouvait être obtenue par six réservoirs de 50 m³, dont trois auraient été installés en première tranche. Il y avait ainsi un réservoir en secours.

Les réservoirs suivants auraient été installés au moment de la construction des deuxième et troisième conduites de refoulement.

Réservoir d'air et cheminée aval

Le point où apparaît la cavitation se trouve à une cote voisine de la cote de refoulement.

Il était donc possible de construire en ce point une cheminée d'équilibre qui empêcherait la cavitation.

Le volume des réservoirs d'air pouvait dans ces conditions être réduit au 1/3 du volume précédent, soit donc 100 m³ en phase finale, ce qui est tout à fait acceptable.

Vannes à fermeture contrôlée et cheminée aval

Le mouvement de retour de l'eau vers la station de pompage est maîtrisé par des vannes papillon à fermeture lente installées au refoulement des pompes.

Démarrage de la première pompe

La solution la plus efficace pour éviter la surpression résultante, qui peut être égale et même supérieure à celle de l'arrêt simultané, et applicable dans tous les cas, est d'effectuer la mise en route vanne fermée, celle-ci étant ensuite ouverte lentement et progressivement. Si de plus il existe une protection par réservoirs d'air, la sécurité est des mieux assurée.

Dispositions retenues

Notre préférence au niveau du projet allait au dispositif comprenant réservoirs d'air et cheminée aval. Mais ayant laissé au niveau de l'appel d'offres la possibilité pour les candidats de présenter des variantes, ce fut finalement le système vannes à fermeture contrôlée/cheminée aval, proposé par le lauréat du concours (la Société KSB) qui fut retenu.

Quelques modifications ou compléments ont été apportés au projet initial et l'ensemble comporte en définitive :

- une cheminée d'équilibre amont déversant à la cote 72,00 ;
- des soupapes de décharges entre la cheminée et la station pour protéger les canalisations d'alimentation ;
- sur chaque pompe une vanne à fermeture contrôlée à deux vitesses, entraînée par contrepoids, à temps de fermeture réglable entre 0 et 90 secondes ;
- une cheminée aval d'une hauteur de 16 m, placée pour trouver une cote susceptible de réduire sa hauteur, 300 m environ en aval du point de cavitation, ce qui a conduit par sécurité à placer un clapet à rentrée d'air à cet emplacement précis.

La mise au point du dispositif a été assez délicate notamment pour déterminer le temps de fermeture des vannes.

Il avait été imposé à l'entrepreneur de limiter les surpressions à la cote 187,5 (pression 17,1 bars). En pratique, aux essais, des pressions transitoires de l'ordre de 21 bars ont été enregistrées. Bien que celles-ci soient théoriquement à la limite acceptables pour la tenue du matériel, elles ne l'étaient ni sur le plan contractuel, ni sur le plan de la sécurité.

L'entrepreneur pour satisfaire à ses obligations a complété l'équipement par la mise en place de soupapes de décharge placées en aval de la station. Ses résultats ont été alors totalement conformes aux limites imposées.

Les installations sont en service depuis maintenant plus de deux ans et aucun incident n'a été enregistré.

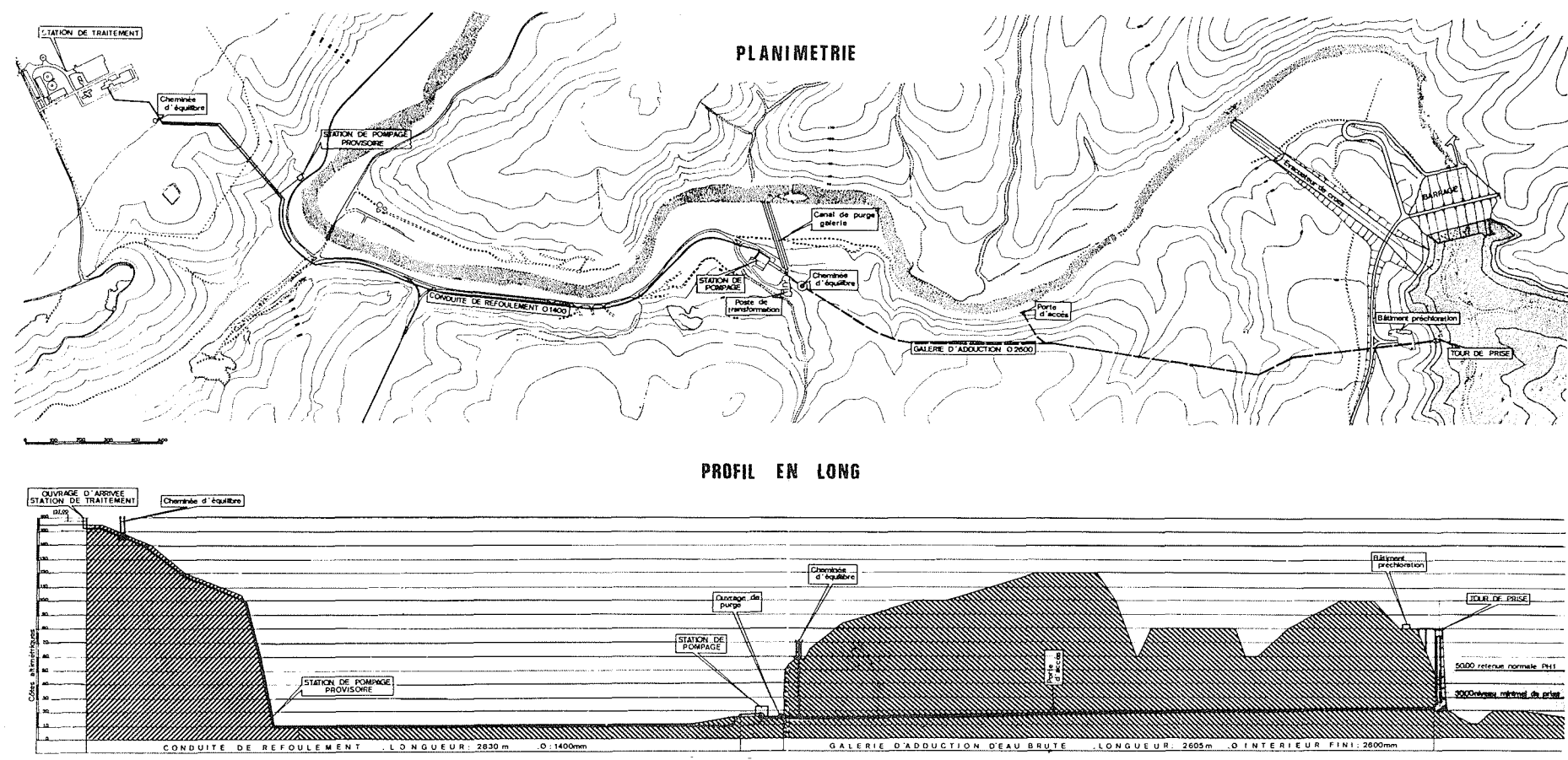


Figure 3 – Adduction du Bou Regreg. Implantation des ouvrages d'eau brute.

Régulation de la conduite Rabat-Casablanca

Caractéristiques principales de l'adduction (Figure 4).

Ces caractéristiques sont rappelées brièvement ci-après :

- l'adduction est prévue pour fonctionner gravitairement dans une 1^{ère} phase, et recevoir des surpresseurs en 2^{ème} phase ;
- sa longueur totale est de 82 200 m ;
- elle comprend deux tronçons séparés par un brise-charge intermédiaire et répondant aux définitions ci-après :

	Tronçon amont	Tronçon aval
Longueur	38 900 m	43 300 m
Diamètre	1 400 mm	1 300 mm
Débit gravitaire ($k=0,1$ mm)	1,62 m ³ /s	1,35 m ³ /s
Débit surpressé ($k=0,3$ mm)	2,38 m ³ /s	2,06 m ³ /s
Perte de charge gravitaire	33 m (1)	24,5 m (1)
Perte de charge surpressée	52 m (1)	65 m

(1) Y compris pertes de charges singulières, vannes et obturateurs.

- au départ du brise-charge intermédiaire, une canalisation de diamètre 500 mm et de longueur de 4 km permet d'alimenter à un débit maximum normal de 0,32 m³/s l'ancienne adduction du Fouarat, qui alimente également Casablanca. Le raccordement s'effectue à la hauteur de Bouznika ;
- deux stations de surpression sont prévues à l'amont de chacun des deux tronçons.

Principe de la régulation (figure 5)

L'adduction est en commande aval. On connaît les avantages de ce mode de régulation par rapport à la commande amont dans le cas de conduites. L'avantage déterminant est d'avoir une conduite en charge sur toute sa longueur, ce qui, pour une adduction d'eau traitée, est très important pour éviter tout risque de pollution et assurer un temps de réponse réduit au minimum.

En régime gravitaire, la régulation est assurée comme suit :

- commande des vannes de régulation situées à l'extrémité du tronçon aval (c'est-à-dire à l'arrivée à Casablanca) pour régler le débit dudit tronçon à la valeur désirée,
- commande de la vanne de régulation située à l'aval de la canalisation de 500 mm reliant le brise-charge intermédiaire à la canalisation du Fouarat pour régler également le débit à la valeur désirée,
- le brise-charge intermédiaire est équipé d'obturateurs à disque Neyrpic qui ajustent automatiquement le débit entrant dans le brise-charge (c'est-à-dire le débit du tronçon amont) au débit sortant (c'est-à-dire à la somme des débits partant vers Casablanca d'une part, vers l'adduction du Fouarat d'autre part).

En régime surpressé, la régulation est prévue comme suit :

- les groupes de surpression (placés en dérivation au départ de chacun des deux tronçons) seront à vitesse variable. Il est prévu à chaque station 1 groupe plus 1 en secours (ou éventuellement 2 groupes en parallèle plus 1 en secours, le fonctionnement des 2 groupes en marche étant alors rigoureusement couplé),
- la vitesse de rotation du groupe placé en tête du tronçon aval sera réglée de façon à fournir sur Casablanca le débit désiré ; à l'aval de ce tronçon, les vannes de régulation seront bien entendu en position grand'ouverte,
- la vitesse de rotation du groupe placé en tête du tronçon amont sera réglée en fonction du niveau atteint par l'eau dans le brise-charge intermédiaire.

On remarquera qu'au brise-charge intermédiaire le niveau est d'autant plus bas que le débit de l'adduction est élevé et ce, aussi bien en régime gravitaire qu'en refoulement.

Réalisation pratique

La commande

La commande de l'adduction est assurée par le centre de contrôle de l'ensemble des installations du Bou Regreg. Ce centre reçoit de l'organisme chargé de la distribution d'eau à Casablanca le chiffre des débits à envoyer (en principe pour une période de 24 heures) d'une part vers Casablanca, d'autre part vers le Fouarat.

Du centre sont alors envoyées les valeurs de débit de consigne correspondant aux deux automatismes locaux situés l'un à l'extrémité du tronçon aval (arrivée à Casablanca), l'autre à l'extrémité du tronçon de liaison vers le Fouarat.

Régulation des débits à l'arrivée à Casablanca

La conduite de 1 300 mm éclate à son extrémité en trois branches parallèles de 800 mm qui débouchent dans l'ouvrage d'arrivée où le niveau d'eau est maintenu sensiblement constant par un seuil déversant dans un réservoir de 10 000 m³. Ce réservoir n'a pas de rôle de stockage vis à vis de la distribution, mais est prévu pour compenser la dérive éventuelle entre le débit de consigne et le débit effectivement envoyé par l'adduction (5 % environ du volume journalier fourni par l'adduction).

Sur chacune des trois conduites de 800 mm est installée une vanne de régulation de 600 mm de diamètre. Deux des vannes sont de type annulaire (fabrication METRA) ; elles sont utilisées pour le réglage en régime gravitaire, la 3^{ème} est une vanne papillon fonctionnant par tout ou rien, fermée en régime gravitaire, ouverte en régime surpressé (solution retenue pour réduire les pertes de charge singulières).

Sur la conduite de 1 300 mm a été placé un venturi. L'automatisme local ci-dessus mentionné, équipé d'un régulateur P.I.D., reçoit la mesure de débit du venturi et la compare à la valeur de consigne reçue du centre de contrôle. *En régime gravitaire*, il agit sur l'ouverture des deux vannes annulaires jusqu'à ce que le débit mesuré atteigne la valeur de consigne. *En régime surpressé* l'automatisme agit sur la vitesse de rotation du groupe

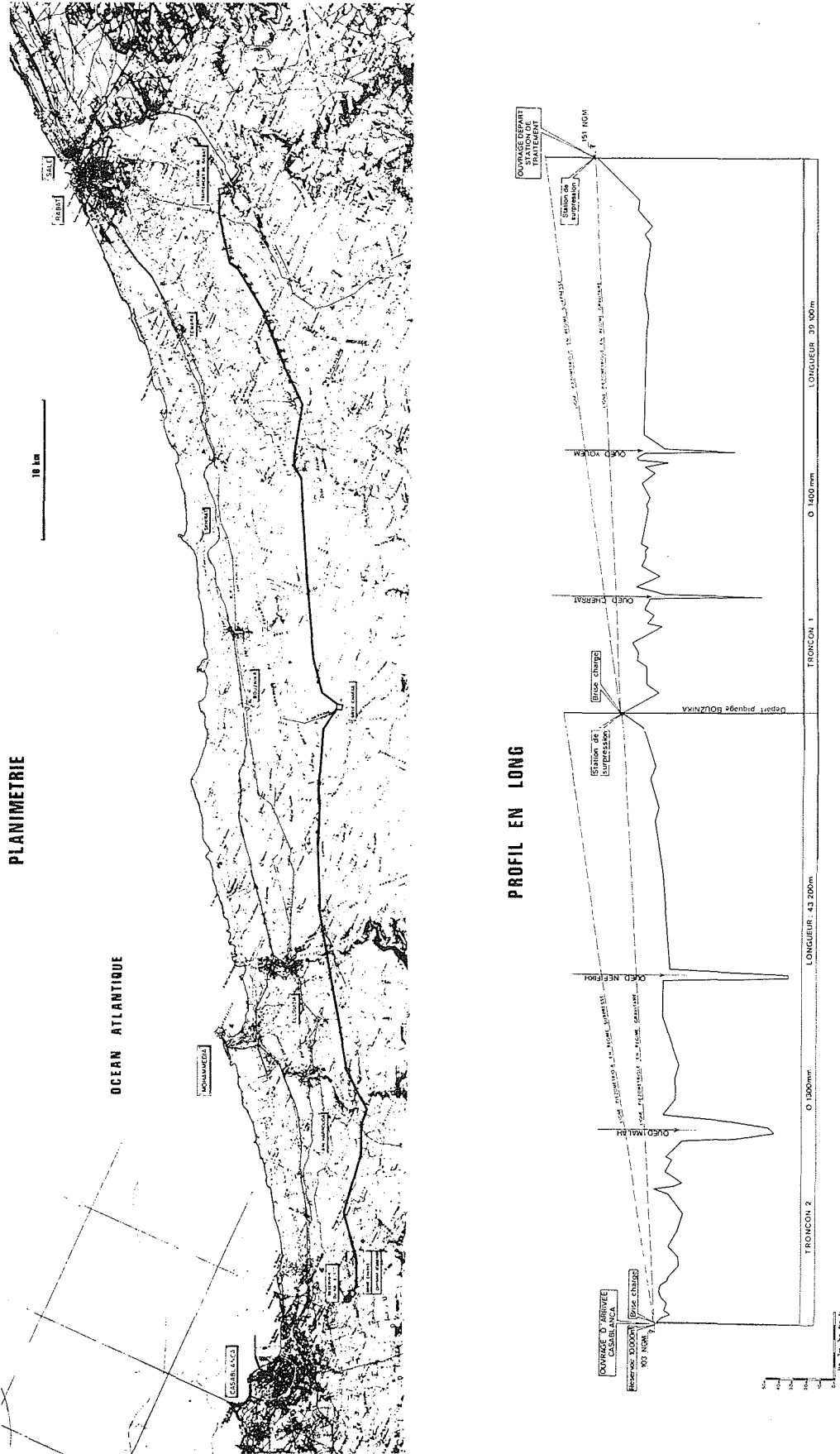


Figure 4 — Adduction du Bou Regreg. Conduite de Casablanca ; planimétrie, profil en long.

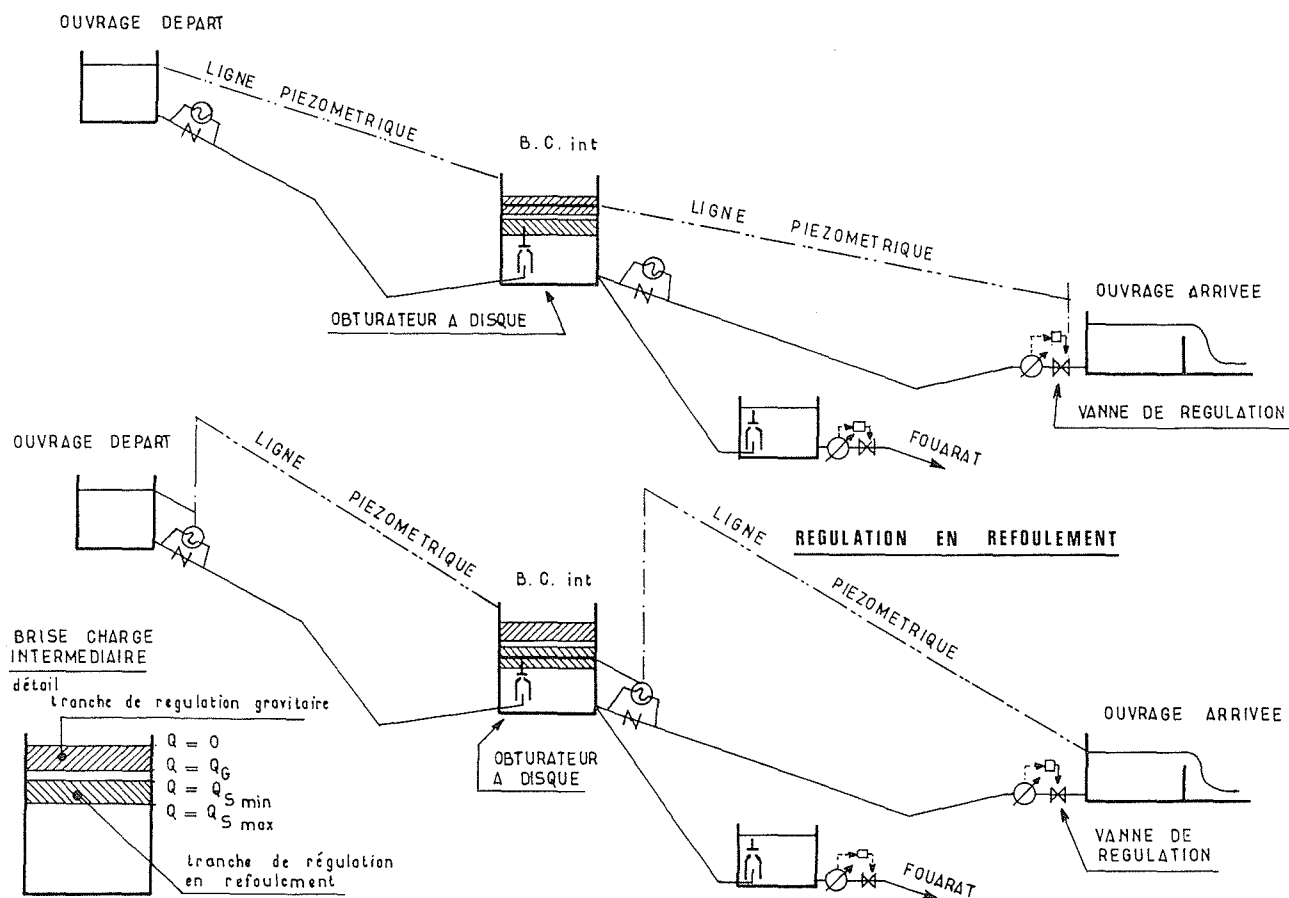


Figure 5 — Adduction Rabat-Casablanca. Régulation gravitaire ; régulation en refoulement.

de surpression situé en tête du tronçon aval jusqu'à ce que le débit mesuré atteigne la valeur de consigne.

Régulation du tronçon de liaison vers le Fouarat

Situé à l'aval de la conduite de 500 mm, le dispositif de régulation comprend :

- un brise-charge équipé de deux obturateurs à disque Neyrpic ;
- sur la liaison brise-charge-conduite du Fouarat une vanne de régulation type papillon de 350 mm de diamètre et un venturi.

L'automatisme local mentionné plus haut reçoit la mesure du venturi, la compare à la valeur de consigne reçue du centre de contrôle et agit sur la vanne papillon jusqu'à ce que le débit mesuré soit égal au débit de consigne.

Régulation du débit sur le tronçon amont

La conduite amont éclate en 5 branches parallèles à son arrivée au brise-charge intermédiaire ; quatre sont équipées d'obturateurs Neyrpic à disque noyé de 400 mm de diamètre, la cinquième est équipée d'une vanne papillon de 800 mm de diamètre fonctionnant pour tout ou rien : fermée en régime gravitaire, elle est ouverte en régime surpressé pour réduire la perte de charge singulière à l'arrivée au brise-charge.

En régime gravitaire les obturateurs à disque régulent automatiquement le débit amont de façon qu'il soit égal à la somme des débits aval. La régulation du niveau se fait dans une tranche effective d'environ un mètre ; le maximum de cette tranche (niveau maximum de l'eau dans le brise-charge) correspond au débit nul et le niveau minimum de la tranche correspond au débit gravitaire maximum.

En régime surpressé la vitesse de rotation du surpresseur situé en tête du tronçon amont est réglée en fonction du niveau de l'eau dans le brise-charge intermédiaire. La tranche de régulation correspondante a une amplitude d'un mètre et se trouve située immédiatement sous la tranche de régulation gravitaire.

A un niveau donné de l'eau dans cette tranche sera associée une vitesse de rotation donnée du surpresseur à l'amont, donc un débit donné. Lorsque le niveau baissera, la vitesse de rotation augmentera. Le niveau minimum correspondra à la vitesse maximum du surpresseur donc au débit maximum. La superficie relativement importante du brise-charge (1) et la mise en place d'un régulateur P.I.D. (convenablement réglé pour commander la vitesse de rotation du surpresseur à partir du niveau) permettront d'éviter tout risque de pompage.

(1) $S = 270 \text{ m}^2$.

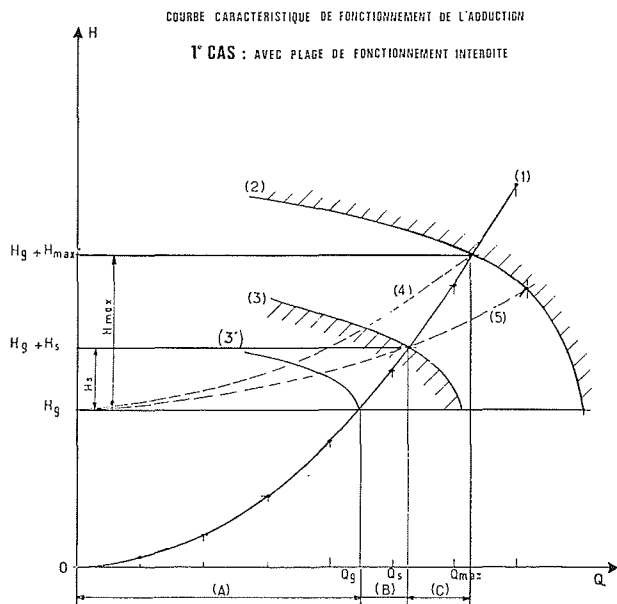


Figure 6 - Courbe caractéristique de fonctionnement de l'adduction. Premier cas : avec plage de fonctionnement interdite.
(A) Zone de fonctionnement gravitaire.
(B) Zone de fonctionnement interdite.
(C) Zone de fonctionnement avec surpresseur.
(1) Courbe caractéristique de la conduite.
(2) et (3) Courbes caractéristiques du surpresseur pour les vitesses de rotation maximum ω_{\max} et minimum ω_{\min} .
(4) et (5) Paraboles des points de fonctionnement homologues pour différentes vitesses de rotation du surpresseur.

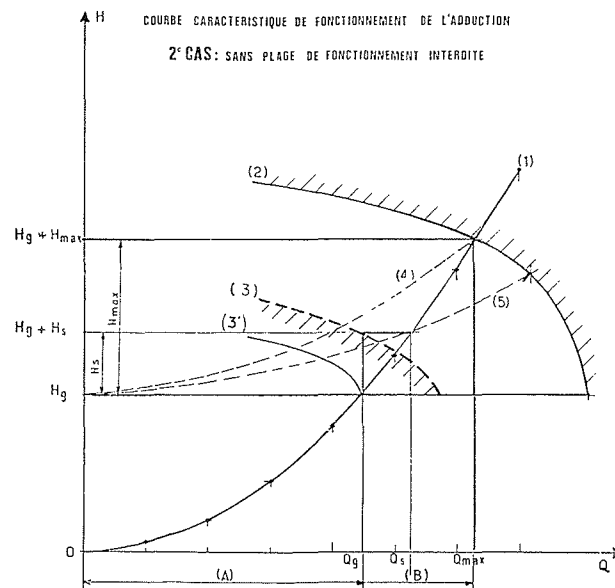


Figure 7 - Courbe caractéristique de fonctionnement de l'adduction. Deuxième cas : sans plage de fonctionnement interdite.
(A) Zone de fonctionnement gravitaire.
(B) Zone de fonctionnement avec surpresseur.
(1) Courbe caractéristique de la conduite.
(2) et (3) Courbes caractéristiques du surpresseur pour les vitesses de rotation maximum ω_{\max} et minimum ω_{\min} .
(4) et (5) Paraboles des points de fonctionnement homologues pour différentes vitesses de rotation du surpresseur.

A noter qu'en cas de disjonction du surpresseur placé en tête du tronçon amont, l'arrêt du surpresseur aval sera commandé automatiquement depuis le centre de contrôle.

Remarque (Figures 6 et 7)

Le graphique joint montre que, si l'on joue uniquement sur la vitesse de rotation du groupe, on observera une plage de débit interdite entre la valeur Q_G (débit gravitaire) et la valeur Q_{SMIN} (débit surpressé minimum) ; en effet, entre ces deux valeurs le surpresseur ne pourrait fonctionner sans caviter, le point de fonctionnement correspondant se situant trop à droite sur la caractéristique (hauteur-débit).

Pour éviter cet inconvénient, on a prévu la mise en place sur le refoulement du surpresseur, d'une vanne de réglage permettant d'obtenir un point de fonctionnement acceptable. A l'exploitation on ne travaillera dans cette zone que lorsque l'on ne pourra faire autrement, ce mode de fonctionnement n'étant évidemment pas satisfaisant sur le plan de la dépense d'énergie.

Principales entreprises françaises ayant participé à la réalisation :

- Société DUMEZ (Paris) associée à la Société Marocaine des Entreprises CHAUFFOUR DUMEZ (Casablanca) pour le barrage, la tour de prise, la galerie d'adduction et le génie civil de la station de pompage.
- Société BOUCHAYER-VIALLET-SCHNEIDER (Grenoble) pour l'équipement hydromécanique de la prise et de la galerie.
- Société FORCLUM (Paris) pour l'équipement électrique de la station de pompage.
- Société DEGREMONT (Rueil-Malmaison) pour l'équipement de la station de traitement (C.G.E.E. ALSTHOM pour la partie électrique).
- Société Eau et Assainissement (SOCEA, Rueil-Malmaison) associée à la Société Nouvelle des Conduites d'Eau (Société marocaine), pour les conduites de refoulement et d'adduction.
- Société Pont à Mousson (Nancy) pour la fourniture des tuyaux de la conduite de refoulement.

Discussion

Président : M. DARVES-BORNOZ

M. le Président remercie MM. PLISSON et BOS de leur exposé, fort bien illustré, sur une réalisation d'importance exceptionnelle. Il ouvre ensuite la discussion.

En raison des eaux très chargées arrivant dans la retenue, M. MISSON s'inquiète du risque d'un envasement assez rapide du réservoir. Pour les besoins de l'adduction d'eau, classiquement on prélève l'eau en surface (pour des raisons biologiques et du fait de sa meilleure oxygénation). Il n'est donc pas possible de lutter contre l'envasement par des prises d'eau profondes comme cela a été réalisé pour alimenter – dans des cas analogues – des usines hydroélectriques.

Bien que nous n'ayons pas été chargés de l'étude du barrage et des problèmes hydrologiques correspondants, répond M. PLISSON, je pense qu'il existe des possibilités de purge par les vannes de fond ainsi que par la galerie d'amenée qui est équipée d'une vanne de vidange à jet creux. Enfin, il existe dans le réservoir une "tranche morte" importante qui peut stocker les apports solides pendant de longues années sans diminuer la réserve utile.

M. DINIA (Directeur de l'Hydraulique à Rabat), présente sur ce sujet les observations suivantes :

L'Office National de l'eau potable, organisme chargé du traitement et de l'adduction de l'eau au Maroc ne souhaite pas supporter les dépenses de traitement d'une eau très chargée de sédiments. D'ailleurs, dans la phase actuelle – et pendant de longues années encore – les débits appelés n'étant pas très importants par rapport à la capacité du réservoir, il sera possible d'effectuer des purges en ouvrant les vannes de vidange.

Ainsi, observe M. MISSON, on a pu réaliser au départ, une installation moins onéreuse, mais dans un siècle, peut être, il ne sera plus possible d'exécuter de telles vidanges et le réservoir s'ensablent inexorablement. Au réservoir de l'Oued Fodda près d'Orléansville on a dû "repercer" le barrage de 120 mètres de haut car en 30 ans les dépôts de vase avaient atteint une épaisseur de 30 mètres au droit des prises d'eau d'origine qui se trouvaient ainsi bouchées.

Des équipements de décantation plus onéreux à la station de traitement n'auraient pas résolu ce problème, remarque M. PLISSON. Pour le temps – encore lointain – où la retenue ne jouera plus suffisamment le rôle du bassin de décantation, nous avons réservé la place pour des "débourbeurs" ; il ne serait évidemment pas rationnel de consentir dès maintenant, les investissements correspondants.

M. LEFEBVRE intervient ensuite en ces termes :

Je voudrais poser une question sur la disposition des ouvrages principaux. Je crois me souvenir que, dans les premières esquisses, la galerie du barrage était nettement plus longue et que la station de pompage était implantée plus à l'aval dans un thalweg presque au pied de la falaise. Autrement dit, vous avez considérablement diminué la longueur de la galerie souterraine en charge au profit de la conduite de refoulement. La partie aval de cette galerie est parallèle au versant et sa couverture latérale est assez faible pour une charge qui doit atteindre 60 ou 70 m. Quelles sont les considérations d'optimisation du projet qui ont conduit à cette modification ?

La longueur de la galerie qui était de 4 km dans le projet initial répond M. PLISSON a été ramenée à 2,4 km pour des raisons de coût et de délai d'exécution. Il n'y a pas eu d'incidents lors de la mise en eau, la partie terminale de la galerie se trouvant dans un très bon rocher calcaire (il n'y a eu de passage schisteux que vers le milieu de son tracé).

En effet, confirme M. DINIA, pour les besoins en eau de Rabat et de Casablanca, il était impératif que l'adduction soit mise en service en Avril 1974 ; il fallait donc que la galerie soit terminée à cette date.

M. BLANC demande si la variation de vitesse par moteur asynchrone avec dispositif de récupération d'énergie rotorique, qui a été installé sur la station du Bou Regreg, ne pose pas de problème lors des coupures d'alimentation en énergie électrique.

M. PLISSON répond :

Avant l'adduction du Bou Regreg, nous avons réalisé des équipements semblables, notamment à l'usine de Morsang-sur-Seine pour le compte de la Société Lyonnaise des Eaux en vue de l'alimentation de la région parisienne Sud où se trouvent des groupes électro-pompes de 900 kw. Il y avait eu des incidents lors de coupures de courant fugitives ou de surcharges ou encore de surtensions d'origine atmosphérique ; après chacun d'eux, il fallait remplacer un certain nombre de fusibles.

Le problème a été résolu en protégeant les armoires de commande par des disjoncteurs ultra-rapides dont le temps de coupure est de l'ordre du 1/100^e de seconde. Ils ont l'inconvénient de coûter cher, mais permettent une remise en service rapide et suppriment le remplacement des fusibles. Au Bou Regreg, on a placé dès l'origine, des disjoncteurs ultra-rapides et il n'y a pas eu d'incident de ce genre.