RÉGULATION PAR BASSIN A LA PRESSION ATMOSPHERIQUE ET LIMITATION DES PUISSANCES SOUSCRITES

PAR R. LIÈVRE *

1. Régulation par bassin à la pression atmosphérique au refoulement des pompes

1.1. Conditions à satisfaire pour l'alimentation d'un canal ou d'un réseau de distribution.

Les systèmes de distribution d'eau doivent fonctionner à la demande, c'est-à-dire que les installations de pompage doivent s'adapter automatiquement à toute valeur du débit appelé.

Au départ du réseau de distribution, une pression minimale est nécessaire. Cette condition est facilement assurée si on maintient le niveau du plan d'eau dans le réservoir au-dessus d'une cote minimale. Dans les canaux, une cote minimale est également imposée pour assurer une hauteur d'eau minimale et la débitance normale du canal.

1.2. Principe de régulation.

Lorsqu'on dispose d'une certaine réserve au refoulement, grâce à un réservoir surélevé ou à un canal, le procédé de régulation le plus commode consiste à faire fonctionner un nombre de groupes approprié en compensant constamment par cette réserve la différence entre le débit appelé et le débit pompé.

Si le débit appelé est compris entre celui de n pompes et celui de $n + 1$ pompes, on fera fonctionner en permanence les n groupes que l'on désignera par groupes de base et de façon intermittente le

$(n + 1)^{\text{e}}$ groupe qui jouera le rôle de groupe de réglage. Ce dernier groupe sera naturellement mis en marche lorsque la réserve est vide et arrêté lorsque cette réserve sera pleine.

On appellera par la suite :

- débit déficitaire : l'écart entre le débit appelé et celui des groupes de base;
- débit excédentaire : l'excédent du débit des $n + 1$ pompes par rapport au débit appelé.

La somme des débits déficitaire et excédentaire est égale au débit du groupe de réglage.

Pour une valeur donnée du débit Q_r du groupe de réglage et du volume V du réservoir, la durée du cycle complet de remplissage et vidange dépend de la valeur du débit déficitaire, suivant la courbe de la figure 1.

Cette durée est infinie lorsque les débits déficitaires ou excédentaires sont nuls. Elle est minimale lorsque le débit déficitaire vaut la moitié du débit du groupe de réglage.

Si on appelle « temps de remplissage » du groupe de réglage, le temps nécessaire au groupe de réglage pour remplir le volume utile du réservoir, on montre aisément que la durée minimale du cycle vaut quatre fois le temps de remplissage.

Si on admet que les valeurs du débit déficitaire comprises entre 0 et Q_r ont toutes la même probabilité, on constate que la valeur moyenne des cycles de remplissage-vidange vaut six fois le temps de remplissage du groupe de réglage.

Dans les premières installations de pompage de la Compagnie comportant des réservoirs surélevés, le temps de remplissage a été pris égal à dix minutes, ce qui conduit en moyenne à un démarrage toutes les heures et à 8 600 démarrages par an. En

* Ingénieur principal, Chef de la Section Electromécanique à la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc.

1/ V_0 = volume utile de la réserve - Available storage.

Q_r = Débit du groupe de réglage - Regulating unit discharge.

Débit déficitaire = débit appelé — débit des groupes de base.

Discharge deficiency = discharge required — discharge from basic units.

fait, on constate environ 5 000 démarrages par an, en raison de la prépondérance des faibles débits en hiver.

Il est à noter que dans les installations alimentant un canal, le volume de régulation se trouve largement supérieur et donne lieu à des cycles de remplissage et vidange plus longs.

La relation indiquée plus haut montre qu'il y a un compromis à trouver entre le volume du réservoir et le nombre de groupes à installer. Si on diminue le nombre de groupes, on majore leur débit unitaire et on diminue le coût total de leur installation; par contre, on augmente le volume et le coût du réservoir.

1.3. Modes de régulation.

Ce principe de régulation peut être appliqué de plusieurs façons.

Pour qu'un mode de régulation soit satisfaisant, il faut qu'il satisfasse à trois conditions :

- déterminer exactement le nombre de groupes de base nécessaires;
- déterminer les instants de mise en marche et d'arrêt des groupes;
- empêcher la vidange ou le débordement du réservoir en maintenant le niveau du plan d'eau entre une limite supérieure et une limite inférieure.

La détermination du nombre de groupes de base nécessaire pourrait être effectuée à partir de la

mesure du débit appelé, ce qui exigerait un appareillage assez onéreux. On cherche donc à éviter cette mesure.

Les deux modes de régulation que nous allons décrire sont fondés uniquement sur le contrôle du niveau du plan d'eau au refoulement, dans le réservoir ou le canal.

1.3.1. Régulation par niveaux échelonnés.

Ce mode de régulation affecte à chaque groupe un niveau d'arrêt et un niveau de démarrage. Les niveaux de démarrage sont échelonnés à la partie inférieure de la réserve et les niveaux d'arrêt sont disposés de la même façon à la partie supérieure de la réserve (fig. 2 et 3).

Ce système détermine automatiquement le nombre de groupes de base nécessaire et les instants de mise en marche et d'arrêt. En effet, on ne démarre les groupes que dans la mesure où le niveau descend, c'est-à-dire tant que le débit pompé est insuffisant.

Le volume compris entre les niveaux successifs d'arrêt ou de démarrage doit cependant satisfaire à certaines règles pour éviter un fonctionnement intempestif, c'est-à-dire la mise en fonctionnement de $n + 2$ groupes lorsque le débit appelé est compris entre celui de n et $n + 1$ groupe.

En effet, à partir de l'ordre de démarrage, il faut un certain temps pour que s'établisse le débit de la pompe, que nous avons représenté sur la figure 4. Le volume déficitaire au démarrage constitué par la surface hachurée de la figure est le volume qui sort du réservoir après l'instant où le niveau de démarrage est atteint. Sa valeur maximale est figurée par l'aire OABC.

Le plan d'eau n'atteindra pas le niveau de démarrage suivant si le volume séparant deux niveaux consécutifs de démarrage est supérieur au volume déficitaire maximal OABC.

Ce volume déficitaire n'est pas négligeable. Il dépend :

- du mode de démarrage du moteur :
 - 1 à 5 s pour un moteur démarré en direct;
 - 5 à 20 s pour un moteur démarré sous tension réduite;
- de l'organe d'isolement au refoulement de la pompe :
 - pour un clapet de retenue, ouverture en 1 s environ;
 - pour une vanne papillon, ouverture en 5 s environ;
- de la longueur de la conduite de refoulement :
 - le temps de mise en vitesse peut atteindre 10 à 20 s pour des conduites de refoulement longues de un à plusieurs kilomètres.

On pourra examiner les phénomènes qui surviennent au démarrage lorsque le débit déficitaire se trouve à un moment donné supérieur au débit d'un groupe; on verra alors que, pour éviter les démarrages intempestifs, il faut majorer le volume séparant deux niveaux de démarrages consécutifs.

Cette majoration sera d'autant plus grande qu'on admettra la possibilité d'avoir un débit déficitaire plus élevé. On peut supposer toutefois que la variation du débit appelé est lente et qu'on observera rarement un débit déficitaire supérieur à deux ou trois fois le débit du groupe de réglage.

RÉGULATION PAR NIVEAUX ÉCHELONNÉS STEPPED-LEVEL REGULATION

Niveaux supérieurs de la réserve
Upper storage levels

— Arrêt du groupe 1
No. 1 unit stops
— Arrêt du groupe 2
No. 2 unit stops
— Arrêt du groupe 3
No. 3 unit stops
— Arrêt du groupe 4
No. 4 unit stops

— Arrêt du groupe 2
No. 2 unit stops
— Arrêt du groupe 3
No. 3 unit stops
— Arrêt du groupe 4
No. 4 unit stops
— Arrêt du groupe 1
No. 1 unit stops

Niveaux de commande
Control levels

Niveaux inférieurs de la réserve
Lower storage levels

— Démarrage du groupe 1
No. 1 unit starts
— Démarrage du groupe 2
No. 2 unit starts
— Démarrage du groupe 3
No. 3 unit starts
— Démarrage du groupe 4
No. 4 unit starts

— Démarrage du groupe 1
No. 1 unit starts
— Démarrage du groupe 2
No. 2 unit starts
— Démarrage du groupe 3
No. 3 unit starts
— Démarrage du groupe 4
No. 4 unit starts

2/ Variante A
Tous les groupes jouent successivement le rôle de groupe de réglage
Scheme A
Each unit regulating in turn

3/ Variante B
Le groupe 1 joue constamment le rôle de groupe de réglage
Scheme B
No. 1 unit regulating throughout

Ces précautions étant prises, on sera assuré que ce mode de régulation satisfait aux trois conditions énoncées plus haut. Ce mode de régulation a été appliqué systématiquement par la Compagnie à toutes les installations fonctionnant avec un réservoir surélevé.

Ce mode de régulation présente l'inconvénient de nécessiter une certaine hauteur pour disposer les niveaux d'arrêt et démarrage. En supposant que leur espacement puisse être réduit à 4 cm et qu'on ait 6 groupes, on aura besoin d'une tranche de 20 cm pour disposer chaque série de niveaux. Cette tranche est trop importante pour être utilisée sur les canaux.

1.3.2. Régulation par deux niveaux avec temporisation.

Ce mode de régulation comporte un seul niveau d'arrêt et un seul niveau de démarrage pour l'ensemble des groupes. Lorsque le niveau inférieur ou niveau de démarrage est atteint, on provoque le démarrage d'un groupe. Si, passé un certain intervalle de temps déterminé T_d , le plan d'eau est encore en dessous de ce niveau, on démarre un deuxième groupe et ainsi de suite pour tous les groupes. Un processus analogue est utilisé au niveau d'arrêt.

4/ Variation du débit de la pompe pendant le démarrage. Le volume déficitaire est maximal lorsque le débit déficitaire est égal au débit du groupe.
Pump discharge when starting-up. Volume deficiency is a maximum when discharge deficiency equals pump discharge.

- 5/ Régulation par deux niveaux avec temporisation. L'instant T_0 est défini par l'égalité des volumes sortis et entrés dans la réserve (aires teintées).

Timed two-level regulation. Time T_0 is when volumes from and into storage are equal (shaded areas).

- 6/ Régulation par deux niveaux avec temporisation. Cas où le débit déficitaire initial est compris entre 2 et 3 fois le débit d'un groupe. Le démarrage est supposé instantané. $n+5$ groupes ont démarré alors que $n+3$ groupes auraient suffi. T_d = temporisation entre les démarrages.

Timed two-level regulation. Case with initial discharge deficiency between $2 \times$ and $3 \times$ single pump discharge. Starting-up assumed instantaneous. $n+5$ pumps started up but $n+3$ would have been enough. T_d = time interval between pumps starting up.

On verra facilement que ce mode de régulation n'adapte pas toujours exactement le débit pompé au débit appelé. Si le débit déficitaire vaut par exemple les 9/10^{es} du débit de la pompe de réglage, le niveau baissera rapidement pendant le démarrage, mais le remplissage s'effectuera ensuite avec un débit excédentaire égal au 1/10^e du débit de la pompe, donc neuf fois plus lentement.

Le niveau de démarrage sera atteint après un temps très élevé (fig. 5). Pour éviter le démarrage intempestif d'un autre groupe, il faut donc que l'intervalle de démarrage T_d soit très supérieur à l'intervalle T_0 .

Il est donc nécessaire d'adopter des intervalles de démarrage suffisamment élevés, mais en contrepartie on diminue la rapidité de réponse du système.

On verra également sur la figure 6 que ce mode de régulation provoque systématiquement le démarrage intempestif d'un ou de plusieurs groupes lorsque le débit déficitaire est supérieur au débit d'un ou de plusieurs groupes de réglage. Cette propriété est d'ailleurs indépendante de la valeur de l'intervalle de démarrage T_d que l'on adopte.

On remarquera que cet inconvénient serait évité si on interdisait les démarrages à partir du moment où le niveau remonte. Dans le cas d'une réserve placée en dérivation, ceci exigerait seulement le contrôle du sens de l'écoulement.

Lorsque cette régulation s'applique à un canal, les inconvénients que nous avons signalés disparaissent.

En effet, dans ce cas, au démarrage d'un groupe, il se crée une onde positive qui donne lieu à une surélévation du plan d'eau dans le canal, dont l'ordre de grandeur est de quelques centimètres. La remontée immédiate du plan d'eau après un démarrage fait que le risque de démarrage intempestif d'un autre groupe est pratiquement nul.

Ce mode de régulation présente, dans le cas de la régulation sur canal, l'avantage de nécessiter une tranche de régulation réduite à l'intervalle séparant les niveaux de démarrage et d'arrêt. En fonctionnement normal, le niveau du plan d'eau se maintient entre ces niveaux en raison de l'onde positive survenant au démarrage et de l'onde négative survenant à l'arrêt des pompes.

Ces deux niveaux fixent les caractéristiques du canal. Le niveau supérieur ou niveau d'arrêt détermine la cote du revêtement, compte tenu de la revanche. Le niveau inférieur ou niveau de démarrage détermine la cote du fond du canal, compte tenu de la hauteur d'eau nécessaire au débit du canal.

L'intervalle entre les niveaux peut être réduit, mais il doit être supérieur à la surélévation de l'onde positive produite par le démarrage d'un groupe. Cet intervalle est fixé à 10 cm dans les différents canaux de la Compagnie.

1.4. Incidences des démarrages fréquents sur le comportement du matériel.

Le principe de régulation que nous venons de décrire entraîne des arrêts et démarrages fréquents. S'appliquant à des groupes d'une puissance unitaire de 400 à 600 kW, comme c'est le cas pour la plupart des installations de la Compagnie, cette fréquence élevée n'est pas sans poser quelques

problèmes. Les matériels qui souffrent de ces manœuvres répétées sont les contacteurs, les clapets et les moteurs.

Les contacteurs que nous utilisons sont des appareils à coupure sèche d'une tension nominale de 7,5 kV. Ils n'ont jamais donné lieu à des incidents graves d'ordre mécanique ou électrique.

Les clapets de type classique à battant unique qui provoquaient des coups de battant violents à l'arrêt des pompes ont été remplacés systématiquement par des appareils à soupape ou à battants multiples qui réduisent fortement la violence du choc à la fermeture et sont ainsi susceptibles de supporter sans avarie un grand nombre de manœuvres.

Par contre, les incidents graves sont survenus sur les cages rotoriques de quelques moteurs, après quelques milliers de démarrages.

Il apparaît nécessaire à l'heure actuelle, tout au moins si on veut conserver le mode de démarrage en direct sous pleine tension, de renforcer les cages rotoriques par une construction spéciale. Grâce à ce type de cage renforcée, nous espérons pouvoir atteindre 20 000 démarrages sans avarie. Ce nombre n'est malgré tout pas très élevé.

Dans les hypothèses indiquées plus haut, à raison d'un démarrage par heure, on serait amené à changer, dans chaque station de pompage, une cage rotorique tous les deux ans et demi. Indépendamment des améliorations à apporter à la fabrication des cages, la tendance actuelle est de chercher à diminuer la fréquence des démarrages.

Une solution assez simple consiste à remplacer un groupe par deux groupes ayant un débit égal à la moitié du débit de ce groupe et à utiliser ces deux groupes en permanence comme groupes de réglage. Moyennant l'installation d'un groupe supplémentaire, on divisera ainsi par deux la fréquence de démarrage des groupes de réglage. Ce mode de fonctionnement est obtenu automatiquement en disposant les niveaux de commande comme l'indique la figure 7.

Enfin, on sera amené à augmenter de façon sensible le volume des réservoirs surélevés. Pour des réservoirs ayant en moyenne cinquante mètres de hauteur, comme ceux de la Compagnie, le doublement du volume n'entraîne qu'une augmentation du prix de l'ordre de 20 à 25 %.

Grâce à l'ensemble de ces dispositions, renforcement des cages rotoriques, adoption de groupes de réglage de faible débit, augmentation du volume des réservoirs surélevés, on peut espérer faire fonctionner les groupes de réglage sans incident pendant une dizaine d'années.

2. Dispositions permettant de limiter la puissance souscrite

2.1. Structure du tarif vert.

Ce tarif distingue une période d'été, du 1^{er} avril au 30 septembre et une période d'hiver, du 1^{er} octobre au 31 mars. La période d'été correspond pratiquement aux mois d'irrigation.

Ce tarif distingue dans la journée 8 heures creu-

NIVEAUX DE COMMANDE CONTROL-LEVEL	DÉBITS UNITAIRES (Valeur relative) UNIT DISCHARGE (Relative value)
— Arrêt du groupe 3 No. 3 unit stops	Valeur relative 2 Relative value 2
— Arrêt du groupe 4 No. 4 unit stops	Valeur relative 2 Relative value 2
— Arrêt du groupe 5 No. 5 unit stops	Valeur relative 2 Relative value 2
— Arrêt du groupe 1 No. 1 unit stops	Valeur relative 1 Relative value 1
— Arrêt du groupe 2 No. 2 unit stops	Valeur relative 1 Relative value 1
— Démarrage du groupe 1 No. 1 unit starts	Valeur relative 1 Relative value 1
— Démarrage du groupe 2 No. 2 unit starts	Valeur relative 1 Relative value 1
— Démarrage du groupe 3 No. 3 unit starts	Valeur relative 2 Relative value 2
— Démarrage du groupe 4 No. 4 unit starts	Valeur relative 2 Relative value 2
— Démarrage du groupe 5 No. 5 unit starts	Valeur relative 2 Relative value 2
7/ Régulation par niveaux échelonnés. Disposition des niveaux de commande permettant d'opérer en permanence le réglage par deux groupes ayant un débit unitaire égal à la moitié du débit des autres groupes. <i>Stepped level regulation. Control levels arranged to enable permanent regulation by two units each discharging half as much as the other units.</i>	

ses, de 22 heures à 6 heures et 16 heures pleines, de 6 heures à 22 heures.

De plus pendant les quatre mois de novembre, décembre, janvier et février, ce tarif comporte également des prix particuliers pour les heures de pointe. La période de pointe dure de 7 heures à 9 heures le matin et de 17 heures à 19 heures le soir.

Les prix du kilowatt-heure et du kilowatt souscrit sont indiqués ci-après dans l'ordre croissant :

- heures creuses d'été,
- heures creuses d'hiver,
- heures pleines d'été,
- heures pleines d'hiver,
- heures de pointe.

2.2. Valeur et évolution des besoins en eau.

La saison d'irrigation dure d'avril à septembre et le débit de pointe s'observe pendant le mois de juillet.

Pendant les mois d'octobre et mars, qui tombent dans la période d'hiver du tarif vert, les besoins en eau ne dépassent pas 10 % de la valeur du débit de pointe.

Pendant les mois de novembre à février, où existent les heures de pointe du tarif vert, la consommation d'eau tombe à 2 ou 3 % seulement de la valeur du débit de pointe. Cette consommation alimente surtout les fuites du réseau d'irrigation, les besoins en eau domestique et occasionnellement l'irrigation de quelques semis.

Le débit nécessaire pendant les heures de pointe du tarif vert peut évoluer dans l'avenir, mais dans une mesure qu'il est difficile de prévoir en raison du caractère assez exceptionnel des besoins en eau pendant cette période.

2.3. Possibilité de limitation de la puissance souscrite.

Les usagers peuvent utiliser l'eau quand bon leur semble, dans les limites de leur contrat et la Compagnie n'envisage pas d'intervenir auprès d'eux pour qu'ils règlent leur consommation sur un programme déterminé. Par conséquent, la limitation des puissances souscrites ne peut être opérée que de deux façons seulement :

- 1° En adaptant au mieux la puissance souscrite à la puissance correspondant strictement aux besoins en eau;
- 2° En reportant une partie ou la totalité des besoins en eau, d'une période tarifaire sur une autre période plus économique.

2.4. Adaptation de la puissance souscrite aux besoins effectifs.

Il va de soi que la puissance minimale qu'il faut souscrire est la puissance nécessaire au fonctionnement d'un groupe. Pour une installation donnée, cette puissance est proportionnelle au débit pompé; on peut donc raisonner indifféremment sur les puissances ou sur les débits.

Considérons par exemple une station de pompage qui comporte quatre groupes de 500 kW. Cette puissance de 500 kW devra être souscrite en heures pleines d'hiver et en heures de pointe, mais elle sera surabondante par rapport aux besoins en eau effectifs.

Le tableau ci-dessous indique, successivement, les puissances strictement nécessaires, compte tenu des

besoins en eau, les puissances excédentaires et les primes fixes correspondantes.

On paiera dans ce cas 17 820 F par an par suite de la mauvaise adaptation des débits unitaires des groupes aux besoins en eau.

Il est donc souhaitable de disposer d'un groupe de faible débit, appelé groupe d'hiver, permettant de satisfaire aux besoins réduits d'hiver.

En théorie, on peut essayer de couvrir au moyen du groupe d'hiver soit uniquement les besoins en eau pendant les heures de pointe (3 % du débit total), soit également les débits d'hiver (10 % du débit total).

En fait, nous adoptons pour le groupe d'hiver un débit égal à 1/3 ou 1/4 du débit des groupes principaux, de telle sorte que son débit représente environ 8 à 10 % du débit total de la station.

Cette solution est évidemment relativement coûteuse, puisqu'elle nécessite pratiquement l'installation d'un groupe supplémentaire. On peut considérer toutefois que cette dépense est amortie en une dizaine d'années.

Cette solution présente un inconvénient dont il faut tenir compte. En effet, en cas de défaillance du groupe d'hiver, on se trouve amené à mettre en service un groupe principal et à dépasser la puissance souscrite. Dans ce cas, on perd presque totalement l'avantage du groupe d'hiver, puisqu'un seul dépassement de puissance donne lieu à une pénalité égale à 70 % de la prime fixe correspondante.

Dans les ouvrages importants et lorsque les puissances unitaires des groupes sont élevées, nous prévoyons un deuxième groupe d'hiver identique au premier. Dans de nombreux cas, toutefois, nous installons un seul groupe d'hiver. En cas de défaillance de ce groupe, on a souvent la possibilité de maintenir le service grâce aux conduites de mailage reliant le secteur considéré aux secteurs contigus.

Enfin, pour venir au secours du groupe d'hiver défaillant, nous avons adopté une disposition intéressante qui permet d'éviter les dépassements de puissance et qui consiste à faire fonctionner un groupe principal suivant un cycle de délestage périodique, en limitant le fonctionnement à un nombre déterminé de minutes pendant chaque période de dix minutes.

La puissance enregistrée au compteur ainsi que le débit moyen sont alors proportionnels au nombre de minutes de fonctionnement pendant chaque période. Ce processus donne lieu à six démarrages par heure; il ne peut donc guère être utilisé qu'en heures de pointe, en raison du régime sévère de fonctionnement qu'il impose au groupe.

2.5. Report des besoins en eau d'une période tarifaire sur une autre.

Ce procédé n'est utilisable que si l'on dispose au refoulement d'une certaine réserve d'eau. Nous examinerons les installations comportant, d'une part, un réservoir surélevé de faible volume et, d'autre part, des réserves journalières et des canaux au refoulement.

2.5.1. Réservoirs surélevés.

Le volume utile du réservoir réparti sur les deux heures de pointe correspond en général à un débit

	HEURES PLEINES D'HIVER	HEURES DE POINTE
Puissance totale (kW).....	2 000	2 000
Puissance unitaire utilisée (kW).....	500	500
Besoins en eau (%).....	10	13
Puissance strictement nécessaire aux besoins (kW)...	200	60
Excédent de puissance utilisée (kW).....	300	440
Coût du kW souscrit (prix arrondi (F).....	11	33
Coût de la prime fixe correspondant à la puissance excédentaire (F).....	3 300	14 520
Prime fixe excédentaire totale (F).....	17 820	

moyen de 60 l/s environ. Ce débit représente selon les cas 2 à 5 % du débit total de la station de pompage. Il a suffi jusqu'à ce jour dans la plupart des installations pour satisfaire les besoins en heures de pointe.

Nous disposons donc un commutateur de programmation horaire à deux positions qui règle à volonté le fonctionnement de la station de pompage. En position 1, le groupe fonctionne librement. En position 2, le groupe est verrouillé à l'arrêt pendant les heures de pointe et un remplissage forcé est effectué au préalable. Cette opération de remplissage préalable est effectuée automatiquement par une horloge, de telle sorte que le réservoir soit entièrement plein au début de la période des heures de pointe.

Ce procédé ne dispense pas d'ailleurs de l'installation d'un groupe d'hiver, car ce groupe conserve son intérêt pour les heures pleines d'hiver. De plus, il est prudent de se réserver le moyen de faire face dans l'avenir à une augmentation du débit nécessaire en heures de pointe, lorsque ceux-ci dépasseront 60 l/s.

2.5.2. Canal ou réserve journalière au refoulement.

Dans ce cas, on dispose d'un volume important susceptible d'être stocké pendant la nuit pour être utilisé pendant le jour.

Deux stades successifs de fonctionnement peuvent être adoptés. Appelons débit équivalent de la réserve, le débit moyen que peut fournir la réserve pendant les 16 heures consécutives d'heures pleines. Tant que la consommation moyenne est inférieure à ce débit équivalent, on peut opérer le blocage intégral des pompes pendant les heures pleines, à condition que la réserve soit pleine au début de cette période.

Ce procédé permet :

- de réaliser une économie sur l'énergie facturée en ne consommant que des kilowattheures de nuit, donc à bon marché;
- de réaliser une économie sur la prime fixe en évitant de souscrire une puissance pour les heures de jour.

Ce débit équivalent représente, suivant les installations, 30 % à 7 % du débit total de la station. Ce procédé peut donc être utilisé de façon systématique pendant la période d'hiver, et en période d'été durant les premières années d'irrigation tant que les besoins sont encore faibles, pour chaque groupe, sur le tableau de commande. On prévoit donc un commutateur de programmation horaire permettant de bloquer ce groupe à volonté, pendant les heures pleines.

Un deuxième stade de fonctionnement se présente lorsque le débit moyen appelé par le réseau dépasse

le débit équivalent de la réserve. Il n'est plus possible alors d'opérer le blocage des groupes pendant les heures de jour.

On peut cependant effectuer systématiquement pendant la nuit le remplissage de la réserve et utiliser ce volume pendant le jour.

Cette opération est réalisée automatiquement de la façon suivante :

- en heures creuses, la commande automatique des pompes est effectuée par deux niveaux « marche-arrêt » rapprochés et disposés à la partie supérieure de la réserve;
- en heures pleines, les deux niveaux de commande seront disposés à la partie inférieure de la réserve. La commutation des niveaux de commande doit être effectuée automatiquement par une horloge à la fin de chaque période tarifaire.

En fin de la période de nuit, la réserve sera pleine et en fin de la période d'heures pleines, elle sera vide. On utilisera donc systématiquement en heures pleines le volume d'eau de la réserve qui a été pompé pendant les heures creuses. L'économie réalisée dans ce cas porte donc uniquement sur le prix des kilowattheures consommés.

Indiquons pour fixer l'ordre de grandeur des économies ainsi réalisables, qu'une réserve de 10 000 m³, pour un refoulement de 50 m de hauteur, permet, de cette façon, une économie de 6 000 F en été et de 17 000 F en hiver, soit de 23 000 F au total dans l'année.

2.6. Dispositifs particuliers à certaines installations.

Certaines installations comportent deux étages de refoulement alimentant chacun un canal constituant un volume de réserve important. Il en est ainsi pour la station de pompage Aristide Dumond.

Tant que les besoins en eau le permettent, pour éviter de souscrire la puissance d'un groupe de chaque étage, on adopte un dispositif qui consiste à faire fonctionner automatiquement l'un après l'autre un groupe de chaque étage.

Le premier groupe, mis en marche au début de la période d'heures creuses, est arrêté soit par une horloge, soit par le niveau d'arrêt normal. Le deuxième groupe est mis en marche aussitôt après et arrêté soit en fin de la période d'heures creuses, soit par son niveau d'arrêt normal.

Dans cette installation, où les puissances unitaires des groupes sont élevées, le coût d'un tel dispositif est amorti en moins d'un an d'utilisation.

En conclusion, on peut dire qu'il existe de nombreux moyens de réaliser des économies sensibles sur l'énergie électrique en mettant à profit les dispositions du tarif vert.

Discussion

Président : M. BERGERON

M. le Président remercie M. LIÈVRE dont il a pu apprécier personnellement les qualités. Parmi les expériences intéressantes acquises par l'auteur au cours de plusieurs années d'exploitation, il souligne l'incidence sur les moteurs de la fréquence des démarrages dans les installations d'irrigation par aspersion et la concordance des conclusions de M. VERDIER et de M. LIÈVRE en faveur d'une réduction de la fréquence adoptée à l'origine.

M. MOREL demande des précisions sur l'économie qu'on peut réaliser sur les dépenses d'énergie avec une réserve permettant de réduire les consommations d'énergie électrique en dehors des heures creuses. Il s'étonne qu'une réserve de 10 000 m³ entraîne une économie annuelle de 23 000 F.

M. LIÈVRE répond que cette économie est liée au volume et à la hauteur de refoulement; pour une réserve de 10 000 m³ utilisée tous les jours et un refoulement de 50 m de hauteur, elle est de 6 000 F en été et de 17 000 F en hiver.

M. MOREL objecte qu'il n'est pas possible d'utiliser une réserve de 10 000 m³ tous les jours pendant l'hiver.

M. LIÈVRE indique que cela est possible si l'on a un réseau très important, car cela représente un débit relativement faible, de l'ordre de 100 l/s.

M. ROBERT (Ministère de l'Équipement) demande si les reports de consommation d'eau, suggérés par l'étude des modalités du tarif vert, ont été réalisés par des moyens de stockage existant *a priori* ou s'ils ont incité à la création de stockages spéciaux.

M. LIÈVRE répond que ces moyens de stockage peuvent être utilisés, soit dans le cas où l'on refoule dans un canal de distribution, soit dans le cas où on dispose d'une réserve ponctuelle.

Or, dans un canal, en été, il faut maintenir une réserve d'eau assez élevée pour assurer un débit maximal, tandis qu'en hiver, la ligne d'eau peut être beaucoup plus basse, étant donné que les débits demandés sont beaucoup plus faibles. On dispose, ainsi, dans le canal, d'une réserve naturelle importante, qui est comprise entre le niveau supérieur et un niveau qui peut être, en fait beaucoup abaissé. Cette réserve varie de 50 000 à 500 000 m³ suivant le canal utilisé.

M. CARBONNIÈRES attire l'attention sur le cas particulier de la solution présentée par M. LIÈVRE par suite de la distribution d'eau d'hiver qui allonge singulièrement le temps total d'utilisation des stations de pompage.

Lorsque ces stations ne sont utilisées que pour l'irrigation pendant la période couvrant le régime d'été au tarif vert

E.D.F. (avril à septembre), le calcul effectué pour un projet d'irrigation a fait apparaître un équilibre entre les économies réalisées par le pompage de nuit et l'amortissement correspondant à l'investissement relatif au génie civil de l'installation du réservoir.

Dans ce cas, il semble préférable de choisir une solution de régulation différente qui est souvent moins onéreuse que la constitution de réserves.

M. LIÈVRE indique un autre cas qui a justifié la création de réserves indépendamment du report des consommations et de l'économie sur l'énergie qui en résulte. C'est le cas où la station de pompage refoulant dans un canal a été construite pour pomper les débits continus, donc 24 h sur 24, tandis que l'irrigation utilise par hypothèse l'eau pendant 18 h seulement sur 24.

Tant que le débit continu d'irrigation n'atteint pas le débit équipé total, la réserve journalière du canal est surabondante pour la régularisation du débit; on dispose donc ainsi d'un volume de réserve disponible pour le pompage préférentiel de nuit.

M. CLÉMENT estime que, pour comparer le coût de l'énergie et celui des réserves en eau permettant d'éviter la pointe, il convient de calculer le coût actualisé de l'énergie en tenant compte de la progression relativement lente des consommations dans le temps. Cette dernière circonstance diminue notablement l'intérêt économique des réserves évitant la pointe.

M. LIÈVRE convient que l'économie est assez modeste, mais remarque que, la réserve n'ayant pas été créée dans ce but, on profite, par surcroît, de cette économie.

M. CLÉMENT remarque qu'en fait, il y a deux problèmes qui se situent à des niveaux différents :

— au niveau du choix des investissements : d'après la tarification actuelle de l'énergie électrique, il ne semble pas que les gros réservoirs d'écrêtement de la pointe soient très justifiés sur le plan économique;

— au niveau de l'exploitation : les ouvrages une fois réalisés, il convient de les utiliser à l'optimum, compte tenu de la tarification imposée.

C'est à ce niveau que M. LIÈVRE s'est placé.

M. LIÈVRE estime, en tous cas, que l'utilisation nocturne des installations en vue de bénéficier de tarifs réduits d'énergie est impossible à réaliser, car elle nécessiterait des réserves d'eau considérables et l'économie serait finalement très modeste.