Régulation d'un réseau d'irrigation par aspersion alimenté par un système de forages interconnectés répartis dans le périmètre

Application à un aménagement en Thessalie

Jean-Michel Siebert et Jacques Bagnères

Ingénieurs à SOGREAH

Introduction

Un millier de forages a été réalisé dans la plaine de Thessalie par l'Administration grecque avec le concours du service hydrogéologique de SOGREAH. Pour alimenter des réseaux collectifs d'irrigation par aspersion à partir de ces forages, l'Administration a d'abord mis en œuvre des solutions excessivement simples qui n'ont donné satisfaction ni aux utilisateurs ni aux exploitants des aménagements. C'est alors qu'elle a chargé SOGREAH de définir les principes à retenir pour la conception des aménagements de trois périmètres types permettant à ceux-ci d'assurer économiquement des conditions de mise à disposition de l'eau satisfaisantes.

Nous vous présentons ici quelques conclusions de l'étude effectuée par SOGREAH en 1975, qui présentent un certain caractère de nouveauté et d'exemplarité. En particulier nous traiterons, dans le cas des réseaux comportant un certain nombre de forages interconnectés, des systèmes de régulation des pompes, de l'intérêt du maillage des réseaux et des suppressions engendrées par la fermeture des bornes.

Situation du problème

Les réseaux d'irrigation alimentés à partir de forages situés dans le périmètre irrigable lui-même se particularisent par le fait qu'ils superposent géographiquement les deux fonctions d'un réseau, qui sont l'adduction de l'eau d'une part et sa distribution d'autre part.

Il est évident que si l'on assigne ces deux rôles à deux réseaux distincts, on aboutit à des solutions classiques

mais d'un coût élevé voire prohibitif ; si par ailleurs on cherche à faire remplir par le même réseau de conduites les deux fonctions adduction-distribution simultanément, on peut envisager deux types d'aménagement :

- d'une part celui des "réseaux interconnectés" comportant plusieurs forages reliés entre eux ;
- d'autre part celui des "réseaux individuels". Le périmètre est alors découpé en autant de réseaux qu'il y a de forages et chaque forage alimente un réseau.

Il faut noter que ces types d'aménagement sont plus ou moins avantageux suivant le type de répartition des forages sur le périmètre irrigable.

Deux cas ont été distingués :

- les périmètres à "forages régulièrement répartis" sur l'ensemble du périmètre, où les débits disponibles sont généralement supérieurs aux besoins ;
- les périmètres à "forages irrégulièrement répartis" où des transferts de débits sont nécessaires d'une partie à l'autre du périmètre (l'une de ces parties étant généralement dépourvue de forage, mais les débits disponibles étant globalement suffisants pour l'ensemble du périmètre).

Parmi les conditions techniques que doivent remplir les solutions proposées pour satisfaire les utilisateurs nous citerons :

- assurance de mise à disposition de l'eau dans des conditions constantes de pression et de débit ;
- assouplissement des conditions d'organisation du tour d'eau en particulier en dehors de la période de pointe ;
- simplicité et fiabilité de la mise en route du réseau ;
- fiabilité accrue de l'alimentation en eau par réduction des risques de panne sur le réseau et de leurs conséquences.

Régulation des réseaux alimentés par forages interconnectés

Les schémas d'aménagement étudiés

Nous avons envisagé dans notre étude un certain nombre de schémas d'aménagement permettant d'atteindre les objectifs cités plus haut dans des conditions économiques. Nous les énumérons ci-après :

a) Réseaux interconnectés avec régulation locale

Dans cette solution les réseaux sont constitués de conduites enterrées reliant plusieurs forages et distribuant en cours de route l'eau aux bornes d'irrigation (le même réseau remplit simultanément les fonctions adduction et distribution).

La régulation des pompes est automatique en fonction des pressions relevées dans des réservoirs sous pression d'air placés à côté de chaque forage.

Cette solution s'applique aussi bien au cas des forages uniformément répartis, qu'à celui des forages irrégulièrement répartis.

La régulation locale a fait l'objet d'une étude dont les conclusions sont données plus loin.

b) Réseaux interconnectés avec régulation centrale.

La solution interconnectée avec régulation centrale, c'est-à-dire une commande automatique des pompes tenant compte de l'état de l'ensemble du réseau, nous a semblé envisageable lorsque les réseaux comportent trois ou quatre forages groupés. Par contre lorsque le nombre de pompes est élevé, cette solution a été écartée du fait de la trop grande complexité du problème.

La régulation des pompes se fait automatiquement en fonction des pressions enregistrées dans un unique réservoir sous pression d'air.

Cette solution ne permet pas les transferts d'eau dans des conditions économiques. Elle n'a été envisagée que pour le cas des forages uniformément répartis.

La régulation de cette solution a fait l'objet d'une simulation sur modèle mathématique dont les conclusions figurent plus loin.

c) Réseau d'adduction distinct du réseau de distribution

Cette solution comporte un réseau d'adduction reliant les forages et alimentant un réservoir de régulation central. Une station de pompage alimente à partir de ce réservoir un réseau de distribution.

Cette solution classique peut s'appliquer aux cas de forages répartis régulièrement ou non. L'automatisation des pompes est centrale dans ce cas. Comme prévu, alors qu'elle ne présente pas de difficultés au plan technique, cette solution s'est par contre révélée peu intéressante au plan des investissements initiaux.

Les trois solutions précédentes ont été comparées à une solution prévoyant un réseau particulier à chaque forage. Cette solution peut être envisagée soit avec conduites enterrées, soit avec conduites semi-mobiles.

Régulation locale des réseaux interconnectés

Il s'agissait de définir, dans le cas des réseaux interconnectés, un système permettant d'adapter, grâce à la présence de réservoirs sous pression d'air, le débit fourni par les pompes au débit aléatoire appelé par les bornes.

Dans la solution dite avec "régulation locale" chaque pompe est commandée automatiquement en fonction de la pression régnant dans un réservoir sous pression d'air situé auprès du forage et ceci indépendamment de l'état du reste du réseau.

Cette solution a été étudiée plus spécialement sur le plan de la stabilité de fonctionnement des pompes et de l'économie des réservoirs de régulation. On pouvait en effet craindre d'une part des interactions entre les pompes, entraînant des instabilités de fonctionnement et d'autre part des coûts excessifs pour les réservoirs de régulation.

Le volume d'eau habituellement retenu pour la régulation d'un groupe électropompe est théoriquement égal à :

$$V = \frac{Q_m T}{4}$$

avec :

Q_m = débit moyen de la pompe

T = temps minimal admis entre deux enclenchements successifs de pompes, soit ici 480 s.

Si l'on prend, à titre d'exemple, un débit de pompe de 50 l/s, on constate que le volume utile d'eau est de 6 m³, ce qui correspond, compte tenu des coefficients de sécurité appropriés, d'une fourchette de régulation de 2 bars et d'une pression maximale de fonctionnement de 4 à 5 bars, à un volume global de réservoir de 30 m³.

Le coût de ces réservoirs représente une part non négligeable du coût du réseau (2 200 FF/ha) ; il était donc essentiel de chercher à réduire leur volume à un minimum compatible avec un fonctionnement correct des réseaux.

Dans ce but, nous avons utilisé la méthode de simulation sur modèle mathématique en utilisant le programme CERTITUDE (Calcul Electronique des Régimes Transitoires dans les Installations de tuyauteries et de Distribution d'Eau). Ce programme permet de définir les conditions d'écoulement (pression, débit) en régime transitoire dans un réseau de canalisations en charge (ramifié ou maillé). Il consiste en une adaptation de la méthode graphique Schnyder-Bergeron avec résolution par approximations successives des équations de fonctionnement en chaque nœud en utilisant la méthode de correction de Newton. Outre le fonctionnement, il a permis l'étude des surpressions provenant des pompes et des bornes.

Trois réseaux types ont été étudiés :

- le premier comporte 26 forages irrégulièrement répartis et débitant 645 l/s au total ;
- le second comporte 13 forages régulièrement répartis et débitant 800 l/s au total ;
- le troisième comporte 3 forages régulièrement répartis et débitant 86 l/s.

Pour chacun des trois réseaux envisagés, plusieurs calculs ont été effectués en simulant la séquence illustrée par le schéma ci-après :

Figure 1 – Hypothèse d'apparition de la demande.

de 0 à T_1 (≈ 500 s.) = Croissance régulière du débit demandé jusqu'à une fraction non négligeable du débit nominal (65 %). (Démarrage des irrigations).

T_1 à T_2 (≈ 200 s.) = Débit constant (65 % de Q_n).

T_2 à T_3 (≈ 20 s.) = Refus de débit de 1/10 du débit nominal. (Fermeture de quelques bornes).

T_3 à T_4 (≈ 1500 s.) = Débit constant.

Cette séquence nous a permis d'étudier :

- le démarrage des pompes (0 – T_1)
- l'effet d'un arrêt de pompe (T_2 – T_3)
- le fonctionnement en régime constant (T_3 – T_4).

Les résultats de la simulation sont fournis en certains points du réseau sous forme de graphique du type suivant :

Figure 2 – Côte piézométrique au droit du réservoir de régulation de la pompe x.

Les calculs ont été conduits en essayant de réduire peu à peu les volumes de régulation au niveau des forages.

On a pu constater au vu des résultats des calculs :

a) Dans le cas du réseau de 26 forages, que l'utilisation d'un volume de régulation moitié du volume théorique calculé avec la formule $QT/4$ soit $QT/8$, donne de bons résultats pour le fonctionnement des pompes.

Si l'on passe à des volumes moitié, c'est-à-dire correspondant à $QT/16$, le fonctionnement est encore correct, bien que beaucoup plus perturbé quand on considère les oscillations de pression aux pompes.

Il semble donc que la valeur de $QT/8$ soit une solution de sécurité, mais que l'on pourrait dans un premier temps ne prévoir qu'un volume de $QT/12$ ou même $QT/16$ dans une optique expérimentale.

b) Dans le cas du réseau de 13 forages à débits individuels plus élevés on constate avec un volume de $QT/8$, que le fonctionnement d'une pompe importante se trouve à la limite de la fréquence d'enclenchement admissible (toutes les 8 mn) et que, dans ces conditions, il n'est pas raisonnable de chercher à réduire davantage le volume des réservoirs.

Dans ces conditions, les volumes conseillés sont de $QT/8$.

c) Cas du réseau comportant trois forages :

Deux simulations ont été réalisées :

- la première prend en compte un volume utile de régulation de $QT/8$ pour chaque forage ;
- la seconde envisage un volume utile de régulation de $QT/4$ pour chaque forage.

Dans le premier cas, les intervalles d'enclenchement sont trop rapprochés (220 s. pour une norme de 480). Cependant, les pressions dans les canalisations et aux bornes sont correctes.

Dans le deuxième cas, les intervalles d'enclenchement sont satisfaisants, les pressions aux bornes étant bien assurées.

On peut en conclure que, dans le cas d'un nombre de forages faible pour un réseau de superficie modeste, le volume de régulation nécessaire sur la régulation locale, ne peut être inférieur à $QT/4$.

On verra plus loin que cette solution est plus onéreuse que la régulation centrale lorsque le nombre des forages est de 3 ou 4.

Finalement, l'étude sur modèle de la régulation des trois réseaux types nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- il est possible de concevoir des réseaux alimentés par plusieurs forages, avec un automatisme simple permettant une distribution bien répartie et à débit variable sans "battements" intempestifs des pompes ;
- l'automatisme proposé comporte au niveau de chaque forage un réservoir sous pression d'air dont le volume utile se situe entre $QT/4$ et $QT/12$ suivant la taille du réseau et le nombre de forages ;
- la commande des pompes se fait en fonction de la pression dans ces réservoirs sans aucune interconnexion électrique entre les différentes stations de pompage ;
- plus le réseau est important et le nombre de forages élevé, meilleure est la stabilité de fonctionnement.

Par contre :

- en cas de disparités dans les débits des forages, des vérifications locales s'imposent pour éviter des enclenchements trop rapprochés tout en conservant des volumes de régulation économiques ;
- enfin, lorsque le réseau est petit et le nombre de forages faible une régulation centralisée à partir d'un réservoir unique semble la plus appropriée car, dans ce cas, les volumes de régulation au niveau de chaque forage atteignent des valeurs prohibitives, sans pour autant présenter d'avantage sur le plan de la stabilité de fonctionnement.

Régulation centrale d'un réseau comportant 3 forages

Deux simulations ont été faites sur le même réseau de 3 forages ayant déjà fait l'objet de l'étude de la régulation locale :

- la première a consisté à implanter auprès du forage le plus central du réseau, un réservoir de régulation correspondant à $OT/4$, les pompes des deux autres forages étant télécommandées électriquement à partir de ce réservoir de régulation pilote, mais ne comportant aucun réservoir antibélier ;
- la seconde identique à la première a prévu en outre un réservoir antibélier de 2 m^3 au niveau de chacun des deux autres forages.

L'étude de simulation a montré que, dans le premier cas, les fréquences d'enclenchement sont trop élevées (220 s. entre deux enclenchements) avec des dépressions importantes en certains points du réseau.

Dans le deuxième cas, les intervalles entre deux enclenchements des pompes des forages sont supérieurs à 480 s. et les pressions conservent des valeurs acceptables.

Dans ces conditions, il semble bien que la régulation sur réservoir unique puisse être envisagée par le projeteur expérimenté dans les conditions suivantes :

- volume de régulation dimensionné en appliquant la loi $QT/4$ avec Q correspondant au débit de la plus grosse pompe ;
- implantation du réservoir de régulation au niveau du forage situé dans la position la plus centrale du réseau, même dans le cas où il s'agit du plus petit débit ;
- permutation circulaire des enclenchements de pompes avec temporisation, pour réduire la fréquence d'enclenchement de chacune d'elle ;
- volume des réservoirs antibéliers adapté dans chaque cas au débit des pompes.

Comparaison économique des schémas étudiés

Pour chacun des trois périmètres types, nous avons établi les avant-projets de tous les schémas envisageables et nous avons effectué une comparaison économique de l'exploitation de ces schémas.

Cette comparaison a pris en compte les frais de premier investissement, ainsi que les frais d'opération et de maintenance sur 30 ans au taux d'actualisation de 10 %.

a) Périmètres avec forages régulièrement répartis

Cinq solutions ont été étudiées dans ce cas ;

- 1) Réseaux maillés interconnectés avec régulation locale ;
- 2) Réseaux maillés interconnectés pour 3 ou 4 forages groupés avec régulation centrale ;
- 3) Réseau d'adduction distinct du réseau de distribution ;

4a) Réseaux particuliers à chaque forage avec conduites semi-mobiles ;

4b) Réseaux particuliers à chaque forage avec conduites enterrées.

Si l'on prend comme référence la première solution dont le coût de l'investissement initial et le coût actualisé s'élèvent respectivement à 6 000 et 7 300 FF à l'hectare équipé, les coûts des autres solutions sont dans les rapports suivants :

— 2 ^e solution	1,15 et 1,17
— 3 ^e solution	1,82 et 1,74
— 4 ^e solution a	0,57 et 0,89
— 4 ^e solution b	0,92 et 0,96

Examinons les avantages et inconvénients de chacune des solutions envisageables pour finalement recommander celle qui nous paraît être la plus intéressante.

• Solution 1 : Réseau interconnecté avec régulation locale

Elle est techniquement intéressante puisqu'elle assure un fonctionnement automatique des pompes (et stable comme l'a démontré le modèle mathématique). Elle assure une bonne sécurité d'ensemble du réseau en cas de panne de motopompe. Son principal inconvénient est d'être une solution nouvelle justifiant à ce titre la réalisation d'un ou deux réseaux expérimentaux avant d'être généralisée sur la plaine.

• Solution 2 : Réseaux interconnectés comportant 3 ou 4 forages avec régulation centrale

Elle entraîne un coût supplémentaire de 15 % par rapport à la solution de référence, ce qui ne nous semble pas être justifié par le seul avantage qu'elle représente par rapport à cette dernière, c'est-à-dire d'être une solution moins nouvelle et mieux connue.

• Solution 3 : Réseaux d'adduction et de distribution distincts

A la fois complexe et coûteuse, elle doit être écartée.

• Solution 4a : Réseaux semi-mobiles particuliers à chaque forage

Elle présente les inconvénients de toutes les installations de surface : vulnérabilité, entrave à la circulation, etc. qui l'ont fait refuser par les utilisateurs.

De plus, la répartition des pressions est moins satisfaisante que dans toutes les autres solutions, et la sécurité de fonctionnement plus précaire puisqu'il s'agit de réseaux isolés.

L'économie que cette solution représente par rapport à 1, soit 43 % en coût initial et 11 % en coût actualisé, ne devrait pas justifier les inconvénients majeurs qu'elle comporte (en particulier dans le cas d'équipements collectifs).

• Solution 4b : Réseaux enterrés particuliers à chaque forage

Tout en étant satisfaisante dans son principe, elle offre malgré des interconnexions, qui ne sont que des installations de secours permettant de faire face provisoirement à des situations critiques, les inconvénients des réseaux isolés, précédemment cités. En outre, cette solution fait courir le risque, en cas de variation

importante du débit des forages dans le temps, de se trouver avec un réseau de conduites inadapté aux possibilités du moment.

L'économie de 4 % sur les coûts actualisés et de 8 % sur le coût initial ne saurait justifier ses inconvénients par rapport à la solution de référence.

C'est donc finalement la solution des réseaux maillés interconnectés avec régulation locale qui a été préconisée.

b) Périmètre avec forages irrégulièrement répartis

Deux solutions sont applicables dans ce cas et ont été étudiées :

- la première comporte un réseau maillé interconnecté avec régulation locale ;
- la deuxième comporte un réseau maillé interconnecté dans la partie comportant les forages, un réservoir, une station de reprise et un réseau de distribution dans la zone sans forage.

La seconde solution est 11 % plus chère que la première tant en investissement initial qu'en coût actualisé. Elle ne saurait justifier son coût plus élevé par des avantages techniques.

La solution 1, avec régulation locale, est la plus intéressante. Elle assure une bonne souplesse d'exploitation et une sécurité satisfaisante tout en permettant le transfert de l'eau vers les zones dépourvues de forages.

Choix techniques préconisés pour les réseaux alimentés par forages

L'étude des réseaux alimentés par des forages nous a amenés à préconiser certains choix concernant des problèmes techniques particuliers à ce type de réseaux.

Choix entre réseau maillé et réseau ramifié

Préalablement à l'étude des dispositifs de régulation, la définition des réseaux de conduites a posé le problème du maillage des conduites interconnectant les forages. Les deux solutions, ramifiées et maillées ont donc été calculées systématiquement et comparées.

Le calcul des réseaux a été effectué sur 3 réseaux types grâce à un programme de calcul électronique mis au point par SOGREAH. Ce programme intitulé PROCEDURE (Programme de Calcul Electronique des Distributions Urbaines et Réservoir d'Equilibre), permet de définir les conditions d'écoulement (pression, débit) en régime permanent dans un réseau de canalisation en charge (ramifié ou maillé).

Il est fondé sur la méthode classique des mailles due à Hardy-Cross et permet, pour un réseau donné, de définir les paramètres suivants ;

- optimisation du tracé des conduites avec choix des maillages ;

- choix des diamètres les plus économiques ,
- vérification du bon fonctionnement des pompes ;
- conséquences d'une panne de pompe.

Lorsque le nombre de forages alimentant le réseau est supérieur à 10, le calcul a montré que le maillage des réseaux permet d'obtenir une meilleure sécurité de service en cas de panne sur un ou deux forages. C'est la raison pour laquelle ce sont les réseaux maillés qui ont donc été retenus pour être ajustés par approximations successives au plus près de l'optimum économique. Ces ajustements de diamètre ont permis de réaliser un gain de près de 25 % sur le coût global des conduites tout en conservant une bonne sécurité de service.

En se donnant un excédent de charge de 0,5 à 1 bar pour le débit nominal avec toutes les pompes en marche, on constate dans le cas de 26 forages interconnectés, que la pression est correctement assurée en tous points du réseau, et qu'elle le reste en cas de disjonction d'une ou de deux pompes.

Dans le cas où le nombre de forages est de 13, les résultats apparaissent moins bons en ce qui concerne les pressions en cas de panne de certains groupes.

D'autre part, il a été systématiquement vérifié que les pompes fonctionnaient dans les plages de fonctionnement appropriées.

Dans le cas où le nombre de pompes est très faible (3 à 4) le réseau ne fonctionne correctement pour le débit nominal de la demande que si toutes les pompes sont en marche. Par contre, dès l'arrêt d'un groupe, et toujours à débit nominal (maximal) la pression n'est plus assurée. Il est alors nécessaire de réduire le débit distribué grâce à une organisation de la demande en imposant une rotation de celle-ci. Ce n'est que dans le cas de la panne d'une petite pompe que la demande reste assurée normalement.

Finalement, l'examen du fonctionnement de trois réseaux maillés en régime permanent a montré que celui fonctionnant avec le maximum de confort est celui pour lequel le nombre de forages est élevé, et le rapport débit nominal sur nombre de forages est le plus faible, accompagné d'une certaine homogénéité dans les débits unitaires des pompes.

Le cas où ce rapport est plus grand, le nombre de pompes plus faible, et où les débits unitaires sont moins homogènes, présente une sécurité moindre. Un contrôle des conditions de fonctionnement par le calcul est alors indispensable.

Quant au réseau comportant 4 forages, il semble bien que, sur le plan de la sécurité en cas de panne de pompe, il se situe à la limite des réseaux présentant un avantage à être interconnectés étant donné son faible nombre de forages.

Choix du type de vanne équipant les bornes

L'effet de la fermeture d'une borne a été étudié à l'aide du programme CERTITUDE.

La simulation a été effectuée avec deux types de vannes :

- vanne à fermeture rapide type "Loudleau",
- vanne à fermeture progressive type "CDC".

Le type "Loudleau" est une vanne ordinaire à opercule de 80 mm de diamètre, manœuvrée en 10 tours de volant.

Le type CDC est une vanne à fermeture progressive montée sur les bornes d'irrigation de fabrication Schlumberger.

On constate qu'une vanne à fermeture progressive a une durée efficace de fermeture (c'est-à-dire assure effectivement la coupure du débit) de 7 secondes et provoque une surpression maximale à l'amont de la vanne comprise entre 22 et 42 m d'eau suivant le cas.

Dans les mêmes conditions, une vanne à fermeture rapide a une durée efficace de fermeture de l'ordre de 1,5 s et provoque une surpression de l'ordre de 108 m d'eau (2 à 5 fois supérieure à la précédente).

Dans le premier cas, pour limiter les surpressions à 3 ou 4 bars, il suffit de prévoir un nombre restreint de soupapes judicieusement disposées dans chaque réseau.

Par contre, avec des vannes à fermeture rapide, il faudrait placer sur chaque conduite filiforme une soupape à 150 m de l'extrémité, puis une tous les 300 m environ ; ceci reviendrait à placer environ 3 fois plus de soupapes que dans le cas précédent. Une comparaison sur avant-projets a montré que, malgré leur coût d'achat plus élevé, les vannes à fermeture lente conduisaient à

une solution plus économique compte tenu du coût de la protection antibélier.

Conclusion

Les études effectuées pour la Thessalie ont permis de traiter certains problèmes de principe particuliers aux réseaux alimentés par des forages parmi lesquels on peut citer :

a) Pour les réseaux collectifs d'irrigation alimentés par forages interconnectés, la préférence donnée aux réseaux maillés, bien que plus onéreux que les réseaux ramifiés, mais assurant une meilleure sécurité d'alimentation en eau en cas de panne d'une pompe.

b) Pour les réseaux collectifs d'irrigation alimentés par forages interconnectés, le choix d'une régulation locale des pompes de forages en fonction de la pression dans des réservoirs de régulation sous pression d'air placés à proximité de chaque forage.

c) Le choix pour la régulation locale du volume de régulation qui a pu être réduit de moitié par rapport aux normes habituellement retenues, tout en assurant une stabilité de fonctionnement satisfaisante.

d) Le choix des vannes à fermeture lente pour l'équipement des bornes.

La réalisation des projets mettant en œuvre ces principes devrait permettre dans un avenir proche de confirmer les conclusions de l'étude.

Discussion

Président : M. DARVES-BORNOZ

M. le Président remercie M. SIEBERT de son exposé particulièrement intéressant du fait qu'il porte sur un système en cours de développement dans diverses régions du Monde.

Il ouvre ensuite la discussion.

Dans un réseau tel que celui que vous avez décrit, remarque M. MISSON, il semble indispensable de munir chaque station de pompage d'un détecteur qui arrête la ou les pompes lorsque le niveau dans les forages atteint un certain niveau critique au-delà duquel on risquerait un épuisement plus ou moins rapide de la nappe.

En effet, répond M. SIEBERT, en principe il est prévu deux types de protection contre une telle éventualité ; l'une est basée sur la détection du niveau de l'eau dans le forage ; elle est parfois difficile à mettre en œuvre dans les forages de faible diamètre ; elle est doublée par une protection électrique qui arrête la pompe lorsque la puissance absorbée est anormalement faible à la suite de son désamorçage.

M. BLANC (Sté du Canal de Provence) s'interroge sur un aspect particulier du fonctionnement des réseaux interconnectés avec régulation locale ; au niveau de chaque forage dit-il, vous avez dimensionné les ballons de régulation pour que le nombre d'enclenchements horaires de la pompe soit acceptable. Est-ce qu'au niveau d'un ensemble de forages, il n'y a pas à craindre qu'un grand nombre de pompes soit amené à démarrer simultanément, par exemple quand survient le premier appel de débit sur le réseau.

On a d'abord calculé le réseau pour un régime permanent au débit maximum répond M. SIEBERT ; cela nous a fourni une

certaine enveloppe piézométrique à partir de laquelle nous avons déterminé pour chaque forage un niveau d'enclenchement et un niveau de déclenchement ; en jouant sur ces niveaux et en adoptant certaines temporisations, les calculs de simulation montrent que l'on arrive à un fonctionnement tout à fait acceptable. C'est toujours la même pompe — généralement de faible débit — qui alimente le premier appel de débit et qui sert à compenser les fuites dans les périodes où la demande est nulle.

Sur le mode de calcul adopté, M. BLANC pose les deux questions suivantes :

1) En ce qui concerne la courbe d'apparition de la demande, comment ont été choisies les bornes que l'on ouvrait ou fermait ?

2) Le programme de calcul des réseaux maillés que vous avez utilisé, permet-il de calculer le diamètre optimum des canalisations ou détermine-t-il simplement le débit qui passe dans chaque tronçon, les diamètres étant choisis a priori, par approximation successives ?

Nous avons procédé, répond M. SIEBERT, à divers types de simulation afin de nous rendre compte de la stabilité de fonctionnement des pompes et de la répartition des pressions dans le réseau. Dans certains cas, nous avons réparti d'une façon aléatoire les demandes d'eau et l'ordre des ouvertures de bornes d'irrigation ; dans d'autres, nous avons prévu une ouverture systématique des bornes concentrées dans une certaine zone du réseau. Mais je crois que nous avons bien couvert tous les "cas de figure", car un très grand nombre de calculs a été effectué.

En réponse à la deuxième question, je précise que notre programme de calcul des réseaux maillés ne permet pas une opti-

misation automatique du diamètre des diverses conduites que comporte celui-ci ; cette optimisation se fait par approximations successives. D'ailleurs, il convient de se réserver une certaine marge de sécurité ; c'est ainsi que le système est prévu pour satisfaire à toutes les demandes en cas d'arrêt accidentel de n'importe quelle pompe ; cela est essentiel dans un Pays où la main d'œuvre qualifiée est rare et les pannes relativement fréquentes et de longue durée.

Avez-vous étudié dans le cadre du programme "CERTITUDE" le cas de disjonction simultanée de tous les groupes de pompage interconnectés ? demande M. PONSONNET (S.A.U.R.).

Oui, répond M. SIEBERT, nous avons — en fin de calcul — calculé la surpression correspondante. Nous avons vérifié qu'en raison des volumes d'air existant dans les ballons de régulation au droit des forages, il n'y avait pas de problème à ce point de vue.

Les programmes de calcul tiennent-ils compte de la variation de débit aux bornes d'irrigation en fonction des pressions dans le réseau ? demande M. de CAZENOVE.

Le programme "PROCEDURE" répond M. SIEBERT, ne tient pas compte de cette variation mais en faisant cela il se place dans une hypothèse de calcul pessimiste.

M. SBIHI (Direction de l'Hydraulique, Rabat) s'interroge sur la possibilité d'utiliser pour la régulation des réservoirs surélevés réalisés sous forme de château d'eau et fonctionnant en télécommande, au lieu et place des réservoirs sous pression d'air décrits par le Conférencier. Une telle solution dit-il, pourrait se justifier dans un Pays où l'on manque de main d'œuvre spécialisée.

Il n'est pas impensable en effet, estime M. HONORE (Cie Bas-Rhône Languedoc) d'envisager un réservoir central qui assure — par télécommande — la régulation de tous les forages d'un réseau dont les conduites jouent à la fois le rôle de collecteur et de distributeur d'eau.

En effet, répond M. SIEBERT, c'est ce que l'on a appelé la "régulation centrale". Compte tenu du niveau dans le réservoir "central", il faut télécommander les diverses pompes. Cela pose des problèmes assez complexes ; pour diminuer le diamètre des conduites, il y a évidemment intérêt à démarrer les pompes les plus proches du lieu de la demande ; à cet effet, il faudrait "avoir en mémoire" l'état de toutes les pompes du réseau et les pressions dans chaque partie de celui-ci afin de choisir correctement la pompe à démarrer ou à arrêter. Cela nous a semblé très compliqué et afin de ne pas aboutir à un surdimensionnement du réseau maillé, nous avons limité l'application d'une telle solution au cas de trois forages.

M. le Président évoque comme suit un autre aspect de ce genre d'étude :

Il y a en France un certain nombre de régions où le type de problème qui fait l'objet de l'exposé de M. SIEBERT se pose. Il arrive que spontanément, des groupes d'agriculteurs ou des Associations syndicales, dispersés dans la plaine, s'équipent pour utiliser les eaux souterraines locales ; un jour, il deviendra nécessaire d'interconnecter les réseaux élémentaires ainsi créés. Dans quelle mesure l'un ou l'autre des systèmes d'interconnexions proposés plus haut permettra-t-il de réaliser progressivement les investissements nécessaires ?

En fait, il faut dès l'origine rechercher la répartition optimale des forages. Dans la mesure où dans une plaine déterminée, on a décidé d'utiliser les eaux souterraines, la première chose, si l'on veut prévoir l'avenir, est d'estimer le développement des irrigations et de guider les agriculteurs vers une implantation aussi rationnelle que possible des forages ; cela me paraît être un préalable indispensable.

En effet, confirme M. MECHIN (SOGREAH) ; avant l'étude qui vous a été présentée, nous avons fait une étude hydro-géologique de la nappe dans la plaine de la Thessalie, étude qui a abouti à un modèle de simulation de l'utilisation de cette nappe. Grâce à ce modèle, nous avons cherché, en fonction de la demande d'irrigation prévue et du prix des forages, quel était le nombre de forages à implanter dans chaque zone pour satisfaire la demande locale à l'intérieur de la dite zone. La densité optimale des forages variait suivant les conditions hydro-géologiques de la nappe.

Revenant sur le problème du choix entre les deux solutions envisagées plus haut pour la régulation des réseaux interconnectés, M. le Président P. BERGERON estime que la solution avec "réservoir tampon" suggérée par M. HONORE conduit à une solution simple d'entretien et de fonctionnement. Il n'arrive au réservoir qu'un débit réduit, différence entre le débit pompé et le débit demandé. Aux pertes de charge près, la pression est maintenue sensiblement constante dans le réseau, le niveau dans le réservoir variant peu par rapport aux pressions demandées.

Enfin, on peut envisager certains dispositifs pour sélectionner l'ordre de démarrage des groupes en fonction des demandes locales.

On a intérêt souligne M. MECHIN à placer un petit réservoir tampon auprès de chaque pompe afin de réduire les pertes de charge et d'optimiser les diamètres des conduites du réseau. D'autres solutions réputées plus simples sont moins économiques.