

ANALYSE DES COUPS DE BÉLIER DANS LES RÉSEAUX D'IRRIGATION PAR ASPERSION

PAR G. COMBES *

Généralités

Pendant longtemps les rédacteurs des cahiers des charge ne s'accordèrent pas sur la façon de déterminer les pressions d'essais des tuyauteries à partir de la charge de service normal. Tantôt ils appliquaient à cette dernière un coefficient multiplicateur, tantôt ils appliquaient une majoration forfaitaire. Ces différentes formules ne pouvaient s'expliquer de façon rationnelle : elles englobaient des incertitudes.

La méthode logique eût été de calculer toutes les surpressions susceptibles d'apparaître et d'en considérer l'enveloppe, mais cela ne se faisait que rarement.

Bien sûr, les projeteurs disposaient déjà depuis longtemps de l'excellente méthode Bergeron pour analyser les coups de bélier, mais il faut bien dire que cette méthode était d'un emploi très lourd dès qu'il s'agissait d'un réseau de conduites et devenait alors pratiquement inextricable.

Les choses changèrent avec l'apparition des ordinateurs et des premiers programmes de calcul de coup de bélier. On pouvait espérer avoir enfin un outil capable d'appliquer sans faiblir et sans s'embrouiller la méthode Bergeron aux réseaux les plus complexes. C'est à peu près à la même époque que les premiers réseaux ramifiés d'irrigation par aspersion furent mis en service en France.

Les conduites sous pression étaient beaucoup plus chères que les canaux et, malgré les avantages tech-

niques importants des réseaux en charge, on chercha à éliminer toutes les marges de pression inutiles.

Pour cela, on essaya d'une part, d'appliquer les moyens modernes de calcul de coups de bélier à ces réseaux, d'autre part, de faire des essais sur les réseaux en service.

1. But des essais.

Les essais pouvaient en effet éclairer le problème sous trois côtés :

- les célérités réelles des ondes dans les conduites;
- les amortissements des coups de bélier;
- les simplifications que l'on peut apporter au calcul sans modifier sensiblement la précision des résultats.

Célérités.

Les vitesses de propagation d'onde sont parfois plus faibles que les vitesses théoriques que l'on peut calculer à partir de l'élasticité du métal constituant la conduite et de la compressibilité de l'eau; en effet, il y a l'élasticité des joints, la difficulté d'apprécier correctement les encastrements des tuyauteries, les résidus d'air dans les chapelles de robinets-vannes, etc. Il semblait donc *a priori* important de préciser par essais la célérité réelle à prendre en compte dans les calculs. En réalité, la précision sur la célérité « a » n'a pas la même importance pour tous les phénomènes; pour la plupart d'entre eux en effet, les mouvements ne sont pas brusques et on se rapproche souvent du coup de bélier de masse. Par exemple, pour les stations de pompage équipées de réservoirs d'air, la disjonction est suivie d'une oscillation lente de la colonne liquide.

* Ingénieur à la SOGREAH.

Nous venons ici de faire une distinction entre les incidents susceptibles de produire des ondes à front raide et les autres incidents. Cette distinction est importante pour une autre raison : une onde raide s'introduisant dans une antenne dont toutes les bornes sont fermées (c'est-à-dire dans un bout mort) se réfléchit sur l'extrémité fermée sans changer de signe et en doublant sa valeur, ce qui peut devenir grave. Par contre, une variation lente de la pression (par rapport au $2L/a$ de l'antenne) ne crée pas cet incident.

C'est pourquoi, en passant tout à l'heure en revue les coups de bélier de diverses origines, nous insisterons sur les organes ou manœuvres créant des surpressions brusques.

Amortissement.

L'amortissement des ondes de pression est difficile à déterminer avec précision par le calcul; or, la façon dont s'atténue une perturbation à la fois dans l'espace et dans le temps est importante à connaître; en effet, si cet amortissement est rapide, la superposition des effets de manœuvres de plusieurs bornes est plus rare.

Nous reviendrons sur ce point lorsque nous parlerons des fermetures des bornes.

Simplification.

Jusqu'à maintenant, un modèle mathématique complet d'un réseau de quelques mille tronçons de longueurs différentes était relativement coûteux si on voulait simuler toutes les manœuvres possibles. Bien que cet aspect prix prenne d'année en année moins d'importance, il serait dommage d'exécuter des calculs complexes là où un calcul plus simple permet d'aboutir à un résultat suffisant. Or, la comparaison des essais et des calculs à l'ordinateur permet de remarquer soit que la représentation de tel détail n'est pas indispensable, soit que telle manœuvre serait toujours moins dangereuse que telle autre et qu'il est inutile de s'en préoccuper.

En ce début de 1966, tous les essais entrepris sur des réseaux en service ne sont pas encore terminés ou dépouillés; les programmes de calcul et les ordinateurs se perfectionneront encore.

Nous allons cependant essayer de faire le point à ce jour des efforts faits sur les plans théorique et pratique pour améliorer la sécurité des réseaux.

2. Origine des coups de bélier.

Les coups de bélier dans les réseaux d'irrigation par aspersion peuvent être classés dans trois grandes catégories fonctions de leur origine :

- ceux dus au fonctionnement des stations de pompage;
- ceux dus au fonctionnement des bornes et des vannes;
- ceux dus à la présence d'air.

Dans la première catégorie, on distingue :

- les régimes transitoires aux arrêts et aux démarrages des groupes de pompage;
- les surpressions dues au fonctionnement de certains accessoires, tels que les clapets anti-retour par exemple.

Dans la deuxième, on trouve :

- les fermetures et ouvertures des bornes, organes complexes, car constitués de robinets, régulateurs et limiteurs de débit;
- les fermetures, généralement sur incident, des vannes de garde d'antennes;
- le fonctionnement des vannes de vidange.

On peut ajouter dans cette catégorie les incidents susceptibles de survenir à l'appareillage mobile (déboîtement par exemple).

Dans la troisième, on classera :

- les surpressions dues à l'évacuation de l'air aux points hauts ou dans les bornes, soit en service normal, soit pendant le remplissage du réseau.

En conservant cet ordre, nous allons résumer pour chaque type de coup de bélier les résultats des études ou essais, notamment en ce qui concerne :

- l'importance et le danger qu'ils présentent;
- la façon de les estimer;
- la façon de s'en protéger.

Estimation des surpressions Protection

1. Station de pompage.

Les réseaux par aspersion sont souvent alimentés par des stations de pompage. Même dans le cas où le profil du terrain est favorable, la dépression produite par l'arrêt des groupes provoquerait, sans dispositif de protection, une cavitation généralisée en raison de fortes vitesses admises dans ces réseaux (n'oublions pas en effet que les vitesses économiques sont en irrigation nettement plus fortes qu'en adduction, en raison du fonctionnement saisonnier). Or, si la cavitation elle-même présente des dangers limités, la fermeture des poches peut être catastrophique; comme il est souvent difficile de les localiser avec précision, on ne peut se parer contre leurs effets en plaçant des appareils de protection sur les conduites; on est donc obligé d'empêcher leur formation en limitant la dépression.

Or, on ne peut pas toujours placer un château d'eau à proximité de la station et le dispositif de protection le plus courant est le réservoir hydro-pneumatique (à diaphragme dissymétrique le plus souvent).

En général, le volume de ce réservoir ne peut être calculé avec précision que par l'ordinateur. Pour ne pas multiplier les cas de calcul, on commencera de préférence à examiner le cas d'une disjonction survenant alors que le débit maximal est absorbé par les bornes les plus éloignées de la station (ou le réservoir d'extrémité s'il y en a un).

Il faut insister ici particulièrement sur le problème des bouts morts.

Comme nous l'avons déjà dit, si la dépression s'établit lentement, les réflexions sur les extrémités d'antennes fermées seront moins dangereuses. Au cours d'études effectuées pour un réseau de la Compagnie du Bas-Rhône Languedoc, nous avons cependant eu des difficultés à protéger une antenne

de ce type et l'explication semblait être la suivante : Le réservoir d'air était relié à la conduite de refoulement par un té et une turbulure formant une perte de charge de l'ordre de 6 m pour le débit maximal. Il y avait donc, lors d'une disjonction, une baisse de pression quasi instantanée de 6 m, puis la pression continuait à descendre plus lentement pendant 12 s. L'onde de front raide ainsi créée pénétrait dans une longue antenne et, par réflexion, abaissait la pression jusqu'au-dessous de la cote de la conduite : d'où risque de cavitation dans cette antenne.

On voit donc là l'intérêt d'étudier plus particulièrement les cas où toutes les bornes d'une antenne longue sont fermées, surtout si cette antenne est placée dans une zone haute du réseau; il faut enfin limiter au strict minimum les pertes de charge entre réservoir d'air et conduites.

Autre point sensible dans une station de pompage : le clapet anti-retour; cet organe doit en principe fermer dès l'annulation du débit; en réalité, de par son inertie et ses frottements, il peut fermer avec un certain retard; le débit a commencé à s'inverser quand le battant atteint son siège et il s'en suit un coup de bélier à onde très raide (nous avons, par exemple, enregistré aux jauges extensométriques des raideurs de l'ordre du 1/100^e de seconde). Tellement raide que le réservoir d'air, à cause de son piquage de quelques mètres de long, ne pourra pas toujours l'écrêter. Remarquons d'ailleurs que les clapets se ferment beaucoup plus brutalement dans une installation munie de réservoir d'air, et cela s'explique aisément.

Il faudra donc apporter un soin tout particulier au choix de ce matériel. On construit actuellement des clapets de faible inertie et de faible course qui donnent d'assez bons résultats.

2. Fonctionnement des bornes et des robinets-vannes.

Fermeture des bornes.

À la fermeture de la vanne de garde, l'action du limiteur de débit fait que le débit n'est coupé que dans les derniers tours de volant; cela est d'autant plus vrai que le limiteur était moins ouvert au début de la manœuvre, c'est-à-dire que la pression dans le réseau était plus forte. De divers essais effectués sur diverses bornes, il semble qu'il sera difficile de construire des bornes telles que la coupure du débit s'effectue en plus de 3 à 4 s. À partir de cette hypothèse, la formule de Michaut permet d'estimer la valeur du coup de bélier dans la branche, dans le cas simple où la borne est à l'extrémité de la branche et où celle-ci ne comporte pas de ramification.

On peut passer au cas général en constatant, avec les ingénieurs qui ont effectué les essais et apprécié l'importance des amortissements : que le maximum du coup de bélier dans la branche (consécutif à la fermeture d'une borne) est obtenu par une manœuvre provenant de cette branche elle-même.

Il faut ensuite savoir si l'on doit envisager la superposition des effets de manœuvre de plusieurs bornes.

Or, on a constaté qu'en un point donné une surpression tombait toujours à moins de 50 % de sa

valeur maximale en moins de 3 secondes. La probabilité d'avoir deux fermetures en un espace de temps suffisamment court pour que les effets se superposent dangereusement, est donc très faible. Il faut encore que les manœuvres quasi simultanées aient lieu sur des bornes relativement voisines, car l'amortissement dans l'espace est aussi rapide (dans les antennes terminales, la zone affectée par un coup de bélier n'intéresse que des conduites alimentant une vingtaine de bornes au maximum).

De ces diverses constatations, on a déduit que l'on pourrait observer au cours d'une même année la fermeture quasi simultanée de deux bornes voisines, mais que la fermeture de trois bornes serait infiniment plus rare.

Dans ces conditions, on peut suivre la règle empirique suivante : calculer le coup de bélier dû à une borne et doubler sa valeur.

En réalité, on a aussi remarqué que, avec les bornes actuellement en service en France, le coup de bélier enregistré à la fermeture d'une borne n'avait jamais dépassé 8 bars dans une branche pour raison de fermeture de bornes.

Ouverture des bornes.

On pourrait penser que l'ouverture d'une borne ne crée pas d'ennui; en réalité, des essais récents ont mis en évidence un coup de bélier qui semble dû au fonctionnement du limiteur de débit.

L'explication de ce coup de bélier important est peut-être la suivante : au moment de l'ouverture de la vanne, l'eau se met en vitesse dans la conduite; le limiteur observé n'a pas agi tout de suite et le débit a dépassé sa valeur nominale; brusquement le limiteur a fonctionné et provoqué une coupure du débit, partielle mais brutale, génératrice d'une forte surpression.

Pour éviter de tels incidents, il est indispensable de choisir convenablement le matériel en imposant des spécifications techniques convenables et des essais sur plate-forme.

Ceci est d'autant plus important qu'un déboîtement peut toujours se produire dans les latéraux mobiles et que ce déboîtement provoque un appel de débit et une réaction brusque du limiteur.

Robinets-vannes de garde.

Il est courant de placer des robinets-vannes de garde à l'entrée des grandes antennes du réseau. Ces robinets servent principalement, en cas d'incident, à isoler le secteur où la défektivité est apparue.

Si c'est une rupture, le débit qui s'écoule dans le robinet-vanne peut nettement être plus fort que le débit nominal. Par ailleurs, les tours de volant efficaces sont les derniers (souvent les 4 ou 5 derniers sur 32 tours).

En toute rigueur, on devrait donc faire une étude particulière pour chaque robinet et nous le conseillons lorsque le débit maximal possible est du même ordre de grandeur que celui de la conduite principale.

Dans les autres cas, on se bornera à placer un organe antibélier à l'amont immédiat de la vanne, anti-bélier capable d'évacuer, pour la marge de surpression tolérée, un débit voisin du débit nominal de l'antenne.

Points bas.

Les points bas sont équipés de robinets-vannes de vidange dont la section est souvent fixée empiriquement sans précaution; or, le débit d'un tel robinet peut être très important, en raison de la charge souvent importante qui règne au point bas, et la coupure de ce débit peut être dangereuse.

Il est donc nécessaire :

- tout d'abord de limiter la dimension de ce robinet à la dimension juste suffisante pour assurer la vidange, en un temps raisonnable, du tronçon de conduite qu'il dessert (2 à 3 h par exemple);
- ensuite donner des consignes d'exploitation sévères pour la fermeture de ces robinets.

3. Problèmes dus à la présence d'air.

Points hauts.

En régime permanent établi, les bulles qui peuvent s'accumuler aux points hauts sont de faible volume; l'orifice du purgeur peut donc être petit et on peut calculer sa section pour que le fonctionnement de l'appareil (et en particulier sa fermeture) ne crée pas de surpression. Pratiquement on saura que si cette section est de $1/4\ 000^e$ de la section de la conduite, la surpression engendrée ne peut guère dépasser 0,5 bar.

En régime de remplissage, le problème est beaucoup plus complexe : il faut d'abord remarquer que l'orifice du purgeur que nous venons de décrire, valable pour le régime permanent, conduirait ici à une durée d'évacuation de l'air beaucoup trop grande, pour deux raisons : énorme quantité d'air à évacuer et pression faible sur l'orifice.

Aussi les constructeurs ont-ils cherché à réaliser des appareils à deux fonctions : un orifice important fonctionnant au moment des remplissages, un orifice plus petit fonctionnant en fin de remplissage et en régime permanent. L'appareil doit être conçu de façon que le passage d'une fonction à l'autre s'effectue assez tôt, c'est-à-dire avant la fin du remplissage; ainsi, les dernières traces d'air seront évacuées par le petit orifice et non par le grand et on bénéficiera de la sécurité exposée plus haut (coup de bélier inférieur à 0,5 bar).

Remarquons que le gros orifice peut jouer un autre rôle : celui de l'admission d'air au moment des opérations de vidange des conduites.

Bornes.

Parfois, les antennes qui se détachent d'une conduite ont une pente montante vers leur extrémité aval; s'il y a, à cette extrémité, une borne et non un purgeur, l'air ne peut s'évacuer et, au moment du remplissage du réseau, se comprime sous la borne. Quand celle-ci est ouverte par l'utilisateur, la détente de cette bulle et l'accélération de l'eau qui en résulte peuvent occasionner des coups de bélier très importants. Les calculs et les essais ont montré que ce phénomène était très dangereux. Il faut donc absolument éviter l'évacuation d'air par une borne d'extrémité; si on complète l'installation avec un purgeur d'air placé un peu en aval de la borne, on limite les dégâts puisqu'il ne restera dans la conduite que l'air compris dans le té sous la vanne de garde de la borne.

L'idéal serait de prévoir l'évacuation de l'air par la borne elle-même; pour ne pas compliquer inutilement l'appareillage, on pourrait seulement prévoir sur les bornes une bride en attente sur laquelle pourrait être monté un purgeur dans le cas de pose de borne en un point haut.

**Vue d'ensemble
de la protection d'un
réseau**

Les trois catégories de coups de bélier que nous avons déjà distinguées peuvent être d'abord traitées séparément. Il faut cependant les considérer dans leur ensemble au moment de conclure sur les dispositifs antibélier.

Les dispositifs de protection contre les phénomènes transitoires dus aux arrêts des pompes, dispositifs placés généralement dans la station, ne servent pratiquement pas à protéger le réseau contre les perturbations dues au matériel du réseau; par contre, les protections que l'on peut mettre sur le réseau peuvent compléter l'effet du dispositif antibélier de la station de pompage. Ainsi, la liste des rôles que l'on peut assigner aux antibéliers placés sur le réseau devient la suivante :

- a) compléter la protection contre les surpressions en provenance de la station :
 - écrêter les petites ondes à front raide dues au mauvais fonctionnement du clapet ou à la très forte perte de charge du branchement du réservoir d'air,
 - compléter le rôle du réservoir d'air au deuxième temps de son fonctionnement, c'est-à-dire à la surpression qui suit la dépression; on peut ainsi compléter l'action du diaphragme dissymétrique ou même, dans certains cas, le simplifier.
- b) assurer une protection contre les surpressions en provenance des bornes :
 - nous avons vu que les surpressions dues aux fermetures de bornes ne dépassaient généralement pas 8 bars; on peut réduire cette valeur à 4 bars en disposant convenablement les antibéliers;
- c) assurer une protection contre les manœuvres des robinets-vannes de garde d'antennes;
- d) assurer une protection contre des manœuvres dangereuses des robinets-vannes de vidange.

Dans certains réseaux actuellement en service, SOGREA H a utilisé la règle empirique suivante pour la disposition des appareils antibélier :

Elle consiste dans l'implantation d'un antibélier au premier branchement situé à moins de 500 mètres de l'extrémité d'antenne la plus éloignée; on en place au moins un à chaque robinet-vanne de garde de grande dérivée. L'application de cette règle a donné de bons résultats pour l'instant, mais elle devra encore être vérifiée.

On voit donc que l'on peut agir contre les coups de bélier de première et deuxième catégorie (station

de pompage et manœuvres de bornes et de robinets-vannes).

Pour ceux de la première catégorie, la protection sera placée principalement dans la station de pompage (en général réservoir d'air, plus éventuellement une soupape).

Pour ceux de la deuxième catégorie, la protection consistera en appareils convenablement répartis dans le réseau.

En ce qui concerne les coups de bélier de la troisième catégorie (conséquences de l'évacuation de l'air), il vaut mieux éviter la cause, car les effets peuvent difficilement être atténués.

Il faut donc jouer sur des dispositions convenables des purgeurs d'air ou encore sur des précautions comme celle-ci :

— diminuer le nombre des opérations de remplissage en évitant la vidange des conduites lors d'une panne de courte durée à la station de pompage. Pour cela, on peut placer, en certains points hauts du réseau, des réserves qui alimentent sous très faible pression le réseau lorsque la pression de refoulement disparaît.

On pourrait aussi penser, pour diminuer le nombre des vidanges, à des systèmes de fermeture automatique des bornes lorsque la pression baisse anormalement, mais le principe reste encore à trouver.

Conclusion

Un point important préoccupe encore les projeteurs :

— la justification économique de la protection.

C'est un problème très délicat; en effet, si, d'un côté, on peut connaître assez bien la variation du coût de la protection en fonction de son efficacité, de l'autre, il est très difficile d'apprécier le gain résultant d'un accroissement de protection.

Ce gain est fonction :

- du coût de la réparation d'une rupture éventuelle et ceci est encore facile à évaluer;
- du nombre de réparations qui serait dû à une diminution de la protection et ceci est très difficile à estimer;
- du manque à gagner dû aux interruptions et aussi des perturbations de tous ordres (même psychologiques) qu'elles entraînent.

Mais ce problème a-t-il vraiment une importance capitale? La protection antibélier ne coûte guère plus de 1 % du montant total des travaux. D'autre part, la diminution ne pourrait porter que sur les organes de protection en ligne et non sur ceux de la station de pompage, puisque ces derniers sont indispensables.

Nous pensons donc que, compte tenu de l'apaisement qu'ils confèrent aux exploitants, les systèmes de protection actuellement employés ne constituent pas un luxe et que le projeteur peut entreprendre leur étude sans trop s'inquiéter du supplément modeste qu'ils imposeront au coût des travaux.

La détermination, sur des bases logiques, de la protection antibélier d'un réseau d'irrigation par aspersion est possible.

Des règles semi-empiriques, mais basées sur une compréhension théorique des phénomènes, commencent à voir le jour :

- règles applicables au moment de la conception du réseau pour éviter les dispositions rendant difficile la protection;
- règles applicables pour le choix des systèmes de protection.

Dans tous les cas, les calculs sont maintenant possibles pour aboutir à l'enveloppe des surpressions.

Des simplifications seront *d'ailleurs* encore trouvées grâce à l'expérience qu'acquiert petit à petit les projeteurs et les Services d'exploitation.

Discussion

Président : M. ROCHE

Ce mémoire est présenté par M. ZAOUÏ car M. COMBES, souffrant n'a pu assister à la session.

M. le Président remercie M. ZAOUÏ d'avoir si bien présenté ce travail et d'avoir signalé que les bornes d'irrigation pouvaient être la cause de perturbations considérables.

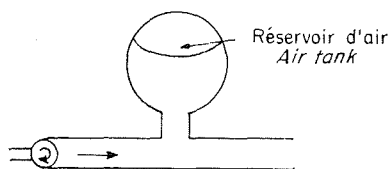
M. VERDIER indique qu'à la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne on a le sentiment que les surpressions les plus catastrophiques proviennent de l'air qui se trouve dans les réseaux, surpressions de la dernière catégorie signalée dans le rapport de M. COMBES.

Il cite, à titre d'exemple, un incident qui s'est produit sur une antenne d'une soixantaine de mètres terminée au point haut par une borne d'irrigation munie d'un purgeur assez rudimentaire, dont le fonctionnement s'est révélé totalement inefficace. La conduite a éclaté sur 30 m de long. Cette conduite était en C.P.V. de 100 mm de diamètre; on

peut en déduire que la surpression qui a provoqué l'incident, a dû atteindre une valeur comprise entre 50 et 70 bars.

Il pense que, dans les réseaux d'irrigation, il est tout aussi important de mettre en place des purgeurs d'air très efficaces que des soupapes de décharge.

M. RÉMÉNÉRAS pense que les surpressions génératrices des ruptures de conduites sont dues souvent à des coups de bélier dits « rapides », c'est-à-dire correspondant à des variations de régime analogues à celles réalisées lorsque l'on annule la vitesse initiale V_0 de l'écoulement dans un temps inférieur à la durée de phase $2L/a$ de la conduite intéressée. On sait que, dans ce cas particulier, la surpression est égale à aV_0/g , de sorte que, pour les célérités a habituelles dans les conduites en acier ($a = 1\,000$ m/s), la surpression en mètres d'eau est égale à cent fois environ la vitesse V_0 exprimée en m/s, et ce, quelle que soit la longueur de la conduite.



La fermeture des vannes et les autres manœuvres « commandées » sont toujours réalisées de façon à éliminer les « coups de bélier rapides », mais ceux-ci peuvent toujours se produire inopinément à l'occasion de divers incidents (obstruction brusque d'un orifice, choc de deux veines à la suite d'une rupture de la colonne liquide, cavitation, etc.).

M. RÉMÉNIÉRAS rappelle le principe du dispositif qu'il a proposé il y a quinze ans (1) pour diminuer l'amplitude des coups de bélier dits rapides, en réduisant la célérité a de la conduite en disposant à l'intérieur de celle-ci un tube déformable de faible diamètre rempli d'un gaz ou d'une vapeur compressible.

La célérité a peut pratiquement être ramenée de 1000 à 100 m/s ce qui divise par 10 la valeur des surpressions de la forme aV_0/g . En outre, l'amortissement du coup de bélier est rendu extraordinairement rapide, puisque toute surpression est annulée en moins d'une période. Cela rend le dispositif particulièrement avantageux dans les cas où

(1) G. RÉMÉNIÉRAS : Dispositif simple pour réduire la célérité des ondes élastiques dans les conduites en charge. *La Houille Blanche*, n° spécial A/1952.

l'écoulement tend à être spasmodique (aspirateurs de turbines, robinets débitant une mixture d'eau et d'air, etc.).

M. ZAOUÏ présente à M. GUYON un cas concret qu'il a rencontré récemment. On avait une conduite de refoulement équipée d'un réservoir à membrane; le liquide était du kérosène. Une pompe s'arrêtait à un moment donné si le réseau se déclenchait. On avait fait une première épreuve en prenant l'hypothèse simplificatrice provisoire que l'on avait une coupure instantanée du débit. Cette rupture a provoqué une dépression importante avec apparition d'une cavitation généralisée. On avait pris apparemment des conditions trop pessimistes.

On a donc admis ensuite, qu'au lieu d'avoir une rupture instantanée du débit, on avait une coupure linéaire du débit. On a eu la surprise de constater que la dépression obtenue cette fois avait une valeur identique, mais durait plus longtemps; elle était donc plus dangereuse. Ce phénomène était bien sûr influencé par la présence du réservoir, mais il met en évidence le danger des raisonnements qualitatifs partiels dans les problèmes de coups de bélier.

M. CARLIER estime que, dans le cas de disjonction sur le circuit d'alimentation, la durée de l'arrêt d'un groupe doit, effectivement, être fréquemment inférieure à $2L/a$ en raison de la faible inertie des masses tournantes.

Il demande si la protection par des volants d'inertie a été utilisée, en particulier dans le cas de conduites de refoulement de faible longueur.

M. PORCHERON répond que cela a été fait, dans certains cas, pour les petits groupes.

M. le Président remercie à nouveau M. ZAOUÏ d'avoir présenté le mémoire de M. COMBES, et la Société Hydrotechnique de France d'avoir bien voulu consacrer la 80^e session de son Comité Technique à des sujets intéressants à la fois les ingénieurs et les agronomes.

La séance est levée à 18 h 10.