

Une pompe étonnante: le Béliet hydraulique.

F. Brausch et G. Ledant*

Résumé

Le Béliet hydraulique est un appareil à la fois moteur et pompe, destiné à élever de l'eau automatiquement.

C'est une application du phénomène bien connu en hydraulique: le coup de béliet.

Cette pompe a la particularité de fonctionner sans nécessiter un quelconque apport d'énergie. En effet, l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'appareil est contenue dans l'eau à élever elle-même.

On trouve dans cet article:

- une introduction où des exemples d'application sont donnés;
- un historique et une explication du principe de base sur lequel repose le fonctionnement de l'appareil;
- une description d'un béliet hydraulique;
- une explication de son fonctionnement;
- un aperçu des caractéristiques et des performances de la machine;
- les situations types d'emploi du béliet hydraulique;
- un schéma général d'installation et des règles fondamentales de bonne pratique à observer pour avoir un fonctionnement sans problème;
- une conclusion.

Cet article s'adresse aux utilisateurs potentiels de la machine et non aux chercheurs et concepteurs.

Summary

The hydraulic ram is a device, motor and pump all together, which will lift water automatically.

It is an application of phenomenon well known in hydraulics: the water hammer effect.

This pump works without any external power; the power needed for its operation comes from the water itself.

This paper contains:

- an introduction with application examples,
- a story of the process and machine, and the explanation of the basic working principles,
- a description of a typical hydraulic ram,
- a description of its working,
- a survey of characteristics and performances of the machine,
- the basic models of use of hydraulic rams,
- the setting-up diagram and basic rules to comply with in order to ensure a problemless working,
- a conclusion.

This paper addresses potential users and not researchers and conceptors.

1. Introduction

Le béliet hydraulique est une machine simple et ingénieuse pour élever de l'eau là où des conditions favorables peuvent être trouvées pour son installation. C'est une machine étonnante, qui laisse sceptique plus d'un, et dont le principe avait d'ailleurs révolutionné le monde scientifique au moment de son invention par Joseph de Montgolfier, en 1792.

Très utilisé en Belgique pendant la première moitié de ce siècle, le béliet hydraulique a été victime de l'électrification des campagnes. Il présente pourtant des avantages incontestables par rapport aux pompes électriques. Tout d'abord, pour fonctionner, il se contente de l'énergie potentielle gratuite, contenue dans une chute d'eau. Ensuite, il contient seulement deux pièces mobiles dont la simplicité entraîne la fiabilité. Ainsi, dans le Luxembourg belge, un hameau est alimenté en eau potable grâce à un béliet hydraulique; celui-ci fonctionne depuis 1932 et continue de fournir plus de 30 m³ par jour, en 1984. D'autre part, la ville de Dinant (Belgique) a été pendant de longues années

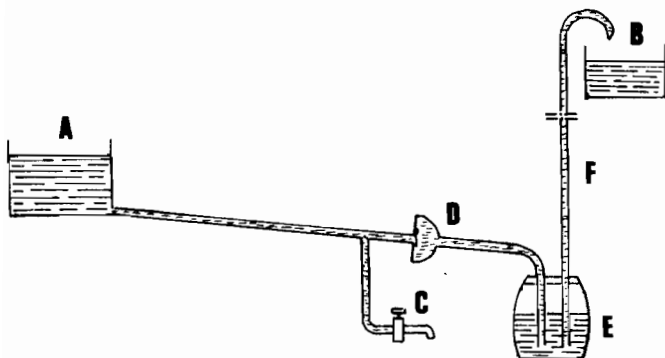
alimentée par un béliet hydraulique. Il fut installé en 1896. Le diamètre de la conduite de batterie était de 900 mm et le diamètre de la conduite de refoulement de 300 mm. Ce béliet était alimenté par une chute de 14 m et refoulait plus de 500 m³ par jour, à 126 m de haut.

2. Principe du fonctionnement

Pour mieux comprendre le principe du fonctionnement d'un béliet hydraulique, faisons un peu d'histoire. Le principe fondamental et la première application pratique sont dus à un brasseur anglais nommé John Whitehurst de Derby en 1772. Il remarqua qu'une longue conduite amenant de l'eau depuis un réservoir sur la colline voisine vers sa maison se brisait fréquemment en cas de fermeture brusque de la vanne située à l'extrémité aval. Il inventa alors le moyen de tirer avantage de cette situation: juste avant la vanne, il ajouta un tuyau de refoulement vers un réservoir situé au sommet de la maison, ce tuyau était muni d'un clapet anti-retour et passait à travers un réservoir d'air.

* GERALEC - rue de Laveu, 123 - 4000 Liège - Belgique.

Machine de Whitehurst



- A. Réservoir d'alimentation
- B. Réservoir de refoulement
- C. Vanne
- D. Clapet anti-retour
- E. Réservoir d'air
- F. Conduite de refoulement.

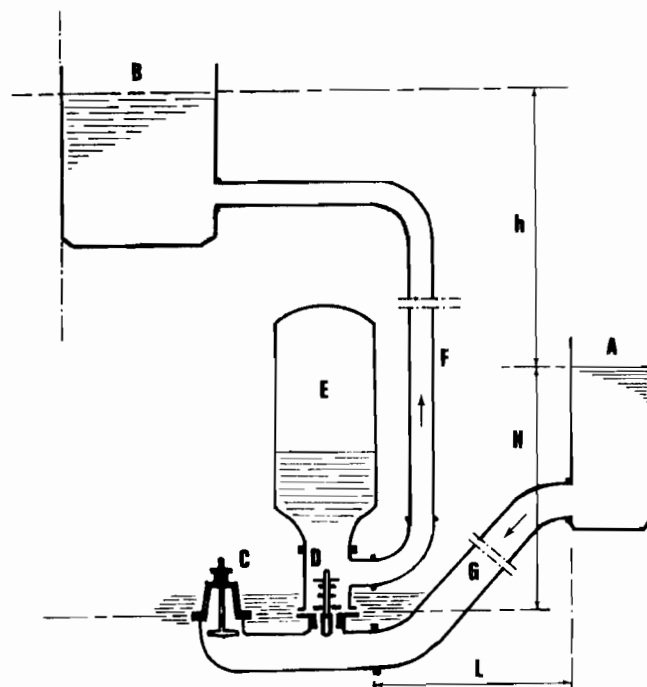
En ouvrant la vanne, l'eau s'écoulait naturellement à travers celle-ci. En la fermant, une quantité importante d'eau était envoyée dans le réservoir supérieur B. Un enfant était employé à ouvrir et fermer la vanne, envoyant ainsi sans effort une grande partie de l'eau contenue dans le réservoir A vers le réservoir B.

Analysant ces phénomènes à la lumière de la science moderne, il apparait qu'une fermeture brusque de la vanne située sur une conduite en charge crée un phénomène appelé coup de bélier. Une analogie le fera mieux comprendre. Imaginons une locomotive tirant des wagons. Si la locomotive est stoppée brusquement (en percutant un mur, par exemple), celle-ci sera écrasée par les wagons qui sont derrière. En effet, de par la vitesse, chaque élément de ce convoi possède une énergie cinétique qui, en cas d'arrêt, sera transmise à l'élément précédent. De même, dans une conduite d'eau en charge, toute l'eau contenue dans la conduite peut être considérée comme une série d'éléments liquides mobile mais incompressible. Si on arrête la tête de la veine liquide en fermant la vanne, toute l'eau qui pousse derrière va causer une augmentation de pression susceptible de faire exploser la conduite.

En ajoutant son dispositif de refoulement, Whitehurst forçait l'eau à briser son élan, non contre la vanne, mais en remontant vers le réservoir de refoulement B situé plus haut. Le clapet anti-retour D évite à l'eau qui est montée dans le réservoir B de redescendre lorsque la vanne sera ouverte pour un nouveau cycle. Le réservoir d'air E permettait d'amortir les chocs dans la conduite de refoulement.

Le mérite de Montgolfier est d'avoir conçu une machine fonctionnant sur le même principe mais de manière automatique, sans intervention humaine. Il appela cette machine Bélier hydraulique. Son idée fut de remplacer la vanne manuelle par un clapet (appelé clapet de batterie) actionné par l'eau.

3. Description d'un bélier hydraulique type



- A. Réservoir d'alimentation
- B. Réservoir de refoulement
- C. Clapet de batterie
- D. Clapet anti-retour (soupape de refoulement)
- E. Réservoir d'air
- F. Conduite de refoulement
- G. Conduite de batterie

4. Explication du fonctionnement d'un bélier hydraulique type

Le cycle de fonctionnement d'un bélier hydraulique peut se décomposer en quatre phases :

- 1) *accélération de la veine liquide* : le clapet de batterie C étant ouvert, l'eau s'écoule à travers celui-ci venant du réservoir d'alimentation A, et prend de la vitesse. Le système accumule l'énergie nécessaire à son fonctionnement (la soupape D est alors fermée).
- 2) *fermeture du clapet de batterie C* : à une certaine vitesse de l'eau, sa force de portance sur le clapet équilibre le poids de celui-ci. Le clapet se soulève et se ferme brutalement, produisant un arrêt brusque de la veine liquide, c'est-à-dire un coup de bélier.
- 3) *refoulement de l'eau* : profitant de la vitesse acquise pendant la première phase, l'eau ouvre la soupape de refoulement D et pénètre dans la cloche à air puis dans le tuyau de refoulement, vers le réservoir supérieur B.
- 4) *ouverture du clapet de batterie* : lorsque l'eau a perdu sa vitesse, elle revient en arrière, ferme le clapet anti-retour D et aspire le clapet de batterie C qui se rouvre, permettant à l'eau de s'écouler. On se retrouve au début du premier cycle.

La durée d'un cycle est de l'ordre de la seconde.

5. Caractéristiques et performance de la machine

L'eau qui s'écoule du réservoir d'alimentation A, avec un débit Q, se divise en deux parties. La première sort par le clapet de batterie C et reste au niveau inférieur. La deuxième est envoyée dans le réservoir de refoulement B, au niveau plus élevé, avec un débit q.

La hauteur de chute H est prise entre le réservoir d'alimentation A et le clapet de batterie C. La hauteur de refoulement h vaut la hauteur comprise entre les deux réservoirs A et B, augmentée des pertes de charge dans la conduite de refoulement. L'énergie disponible dans le système est proportionnelle au produit du débit total d'alimentation par la hauteur de chute Q.H, et l'énergie utile de refoulement, au produit du débit refoulé par la hauteur de refoulement q.h. Le rendement énergétique théorique vaut le quotient de ces deux produits q.h/Q.H

$Q = Q_m + q$ (Q_m est le débit d'eau motrice).

L'expérimentation nous apprend que le rendement énergétique sera maximum (55 à 70%) pour un rapport h/H valant 6 pour les petites machines et 8 pour les grandes unités.

- Pour $h/H < 2$, la machine ne fonctionne pas.
- Pour des valeurs de h/H comprises entre 2 et 8, le rendement croît.
- Pour des valeurs de $h/H > 15$, le rendement diminue rapidement et ce principalement pour les petites machines. Il va jusqu'à s'annuler pour des rapports de h/H supérieurs à 25-50, selon le type de machine. Cette chute de rendement, en contradiction avec la théorie, est due notamment à des raisons constructives et technologiques.

Remarquons que la notion de rendement énergétique dans le cas des béliers n'a aucun intérêt pour le gestionnaire puisque cette machine ne consomme aucune énergie monnayable. En effet, dans les régions propices à l'installation d'une telle machine, l'eau est disponible en quantité et ne coûte généralement rien.

Le tableau suivant donne des valeurs moyennes pour le rendement énergétique et pour le débit total d'alimentation, en fonction du diamètre intérieur du tuyau de batterie, ce diamètre pouvant atteindre 900 mm.

| Diamètre du tuyau de batterie | Rendement R | | Débit total Q absorbé par l'appareil |
|-------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| | pour $h/H = 6$ | pour $h/H = 20$ | |
| 20 mm | 50 % | 10 % | 4 à 8 l/min. |
| 50 mm | 60 % | 20 % | 30 à 60 l/min. |
| 100 mm | 70 % | 30 % | 150 à 300 l/min. |

Le débit refoulé peut se calculer en fonction des conditions d'utilisation (quantité d'eau Q disponible, hauteur de chute maximum existante) au moyen de la formule suivante :

$q = Q \cdot h/H \cdot R/100$ avec q, Q, h, H comme définis plus haut et R, le rendement.

Cette formule est valable quand le rapport h/H est compris entre 4 et 10, c'est-à-dire dans la plage où le rendement énergétique est maximum.

Ainsi, un bélier hydraulique de 50 mm de diamètre, sous une hauteur de chute de 4 mètres et un débit d'alimentation de 50 litres par minute, refoulera un débit de 5 litres par minute à une hauteur de 24 mètres et 0,75 litre par minute à 80 mètres, pour une même hauteur de chute de 4 mètres.

La plupart des béliers hydrauliques sont construits pour une hauteur de refoulement de 100 à 150 mètres sur plusieurs kilomètres de distance; des constructions renforcées permettent de dépasser 250 à 500 mètres dans des conditions appropriées de chute et d'alimentation.

Plusieurs béliers peuvent être installés en parallèle avec une alimentation et un refoulement communs, les débits s'additionnent au refoulement et le débit d'alimentation peut être réglé sur une plus large plage en arrêtant éventuellement une partie des appareils. Ils peuvent aussi être associés en série les uns après les autres, de manière à atteindre de très grandes hauteurs de refoulement.

6. Situations d'emploi

Le bélier convient pour l'approvisionnement en eau de régions où l'énergie n'est pas facilement disponible (réseau de distribution électrique inexistant, coût excessif des hydrocarbures). Il est particulièrement adapté à l'hydraulique villageoise pour l'adduction d'eau sanitaire des communautés d'environ 300 habitants, pour l'alimentation du bétail et pour l'irrigation de petites terres agricoles.

Le bélier peut s'employer pour tous services, pourvu que la quantité d'eau affluente soit suffisante et que l'on puisse installer l'appareil à un niveau inférieur à celui de la prise d'eau. Une dénivellation de 50 cm est déjà suffisante.

La chute d'eau motrice, naturelle ou artificiellement créée, et destinée à actionner une ou plusieurs pompes, provient soit d'une cascade d'un barrage, soit d'une série de petites cascades dans un ruisseau ou une rivière, soit d'une simple différence de niveau entre deux points d'un cours d'eau.

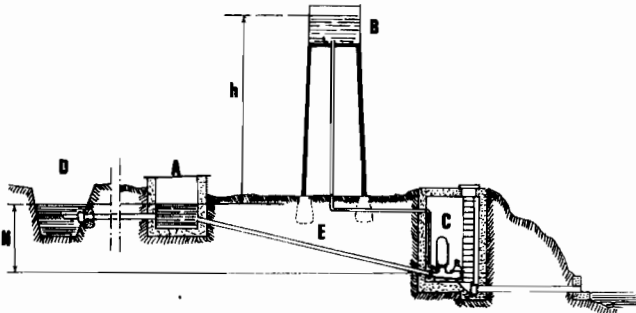
La hauteur de chute disponible est donc la totalisation des différences de niveau entre la surface de l'eau en amont (point haut) et la surface de l'eau en aval (point bas). Ces deux points peuvent être à des distances quelconques.

Tout ceci pour dire qu'une dénivellation, que l'on peut artificiellement créer, ne doit pas forcément exister au départ.

Enfin, signalons que si la conception et la réalisation de toute l'installation d'un bélier demande des compétences, son entretien ne requiert aucune qualification particulière. De plus, sa fiabilité, notamment à cause

du faible nombre de pièces en mouvement, permet d'amortir l'investissement de départ sur une longue période, supérieure à 20 ans.

7. Schéma général d'installation et règles de bonne pratique à observer pour avoir un fonctionnement sans problème



- A. Réservoir d'alimentation
- B. Réservoir de refoulement
- C. Bélier hydraulique
- D. Prise d'eau
- E. Conduite de batterie

- a) La figure ci-dessus permet de se rendre compte qu'installer un bélier hydraulique implique des travaux d'infrastructure. L'eau est captée à une prise (rivière, source, étang) avec les précautions nécessaires pour éviter d'aspirer des matériaux solides. Elle est amenée par une conduite de grand diamètre dans le réservoir d'alimentation A d'où part la conduite de batterie vers le bélier hydraulique.
- b) Ce réservoir est placé de manière à ce que la conduite de batterie ait une longueur comprise entre 6 à 12 fois la hauteur de la chute. On peut calculer approximativement cette longueur par la formule empirique suivante $L = h (1 + 0,63/H)$, H, h, L en mètre. Cette conduite sera idéalement en tube d'acier galvanisé sans soudure. Les raccords peuvent être du type «manchonnés». La conduite de batterie sera fixée solidement en plusieurs points. Le diamètre de celle-ci dépend bien entendu du débit disponible. En première approximation, on peut employer la formule pratique suivante. $D = 2,104 Q$ (Q en m³/sec. et D en mm). En déterminant ce diamètre, on détermine aussi le modèle de bélier qui devra être utilisé. En effet, les différents modèles d'une gamme sont classés en

fonction des diamètres des tuyaux de batterie, c'est-à-dire du débit absorbé maximum admissible.

Tout matériau convient pour la conduite de refoulement, le plus facile à mettre en œuvre est le polyéthylène haute densité. Le diamètre est à déterminer suivant le tracé, la longueur (pertes de charge)... En première approximation, on pourra utiliser la formule suivante: $d = 3,22 q$ (q en m³/sec. et d en mm).

Un bélier hydraulique doit pouvoir être réglé de telle manière que le débit absorbé par la machine reste toujours inférieur au débit disponible à la source. Ce réglage doit être aisé et permettre une gamme de débit la plus large possible. Il faut aussi prévoir un dispositif permettant de garder constant le volume d'air dans le réservoir d'air. Cet air se dissolvant rapidement dans l'eau sous pression, il faut le renouveler de manière continue, sous peine de perdre l'effet amortisseur du matelas d'air et d'engendrer des chocs violents dans tout l'appareil.

Conclusion

Le bélier hydraulique reste l'appareil élévatoire d'eau le plus économique connu à l'heure actuelle. Quand son utilisation est possible, il ne faut pas hésiter à l'employer. Les frais de fonctionnement n'existent pas et ceux d'entretien sont vraiment négligeables.

Cette machine, bien que méconnue, a déjà fait ses preuves depuis plus d'un siècle. L'un de ses paradoxes est que si elle paraît, d'une part, extrêmement simple au point de vue de son fonctionnement mécanique, ce qui la rend très fiable, elle paraît, d'autre part, complexe à l'examen des phénomènes hydrauliques qui la régissent.

Plus connue, son utilisation, notamment avec des variantes telles le bélier deux eaux (eau motrice polluée — eau propre à élever) et le bélier «pompe» (eau motrice en chute — eau à relever en puits), serait susceptible de rendre de grands services.

F. Brausch

En Belgique, la société GERALEC s'est spécialisée dans l'étude et la fabrication de ces machines. Elle se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Bibliographie

- Harraldson J.H., Cozens P. 1982. Numerical simulation of the hydraulic Ram. A new look at an old device. In *Cursus university publications*, pp. 91-104 (California State University, Sacramento).
- Rennie L.C. & Bunt E.A. 1981. The automatic hydraulic Ram. In the south african mechanical engineer. (University of the Witwatersrand Johannesburg). **31**, pp. 258-311.
- Iversen H.W. 1975. An analysis of the hydraulic Ram. In the *Journal of Fluids Engineering*, University of California, Berkeley. pp. 191-196.

Calvert N.G. 1957. The hydraulic Ram. Drive Pipe of a hydraulic Ram. In *The Engineer*, **203**, pp. 597-600.

Calvert N.G. 1958. The hydraulic Ram. Drive Pipe of a hydraulic Ram. In *The Engineer*, **206**, pp. 1001-1002.

Krool J. 1951. The automatic hydraulic Ram. In *Institution of Mechanical Engineering proceeding*, **165**, n° 64, 53-73.

Renaud H. 1950. le Bélier hydraulique, Paris. (Dunod).