

OPTIMISER LE POMPAGE PAR L'UTILISATION DES VENTOUSES

Dans un monde où l'éco-responsabilité est devenue une priorité majeure, la course à l'optimisation énergétique touche maintenant tous les secteurs et en particulier l'industrie. L'Union Européenne a fixé à 20% le gain énergétique à réaliser par les industries d'ici 2020. Bien entendu, le domaine du pompage, quel que soit le secteur d'activité, n'échappe pas à cette chasse au gaspillage car selon une étude récente de la BPMA (British Pump Manufacturers Association), la consommation énergétique des pompes représenterait 10% de la consommation mondiale d'électricité, plus que tout autre type d'équipement !

Une grande partie de la consommation nationale d'énergie va dans l'exploitation de l'eau potable et des eaux usées où chaque volume d'eau passe à travers un système de traitement qui représente un coût énergétique important. Elle représente souvent la deuxième ou la troisième dépense la plus importante qu'un service public de l'eau doit couvrir.

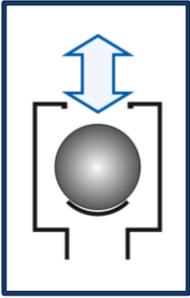


Par le passé, il était courant d'utiliser une vanne en sortie de pompe pour créer des pertes de charge et réguler le débit. De nos jours, tous les fabricants de pompes proposent des systèmes de régulation intégrés de manière à optimiser la consommation énergétique par la recherche du point de meilleur rendement. Il n'empêche, pour être tout à fait en phase avec cette volonté d'optimisation, que la nécessité de libérer l'air des installations de transfert de liquide pour améliorer totalement l'efficacité du système, prend peu à peu de l'ampleur. Bien que le potentiel d'économies d'énergie considérable par l'utilisation des ventouses soit identifié depuis de nombreuses années, peu de recherches sérieuses ont été menées sur ce sujet à ce jour.



Même à l'époque romaine, des purges d'air sur les systèmes de transfert d'eau primitifs ont été identifiées comme illustré ci-contre. Ces ancêtres de la ventouse, appelés autrement « vanne à air » (dénomination conservée chez nos cousins du Québec), étaient de simples roches évidées mais constituaient déjà une première approche aux problèmes liés à la présence d'air dans les canalisations.

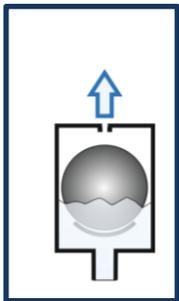
Malgré tout, le domaine de la ventouse reste un domaine encore mal connu et dont l'image, il faut bien l'avouer, est peu reluisante. Sa simplicité a trop longtemps été surestimée et de fait, beaucoup d'erreurs de dimensionnement et de positionnement ont été retrouvées sur les chantiers. Pourtant, les fonctions de base comprises, les ventouses restent aisément appréhendables :



Ventouse double fonction :

Autrement appelées «cinétiques», les ventouses double fonction sont caractérisées par un grand orifice permettant de faire entrer ou sortir une large quantité d'air même à faible différence de pressions. Leur fonction principale est de contrôler l'air présent dans une conduite lors du remplissage ou du drainage.

L'admission de l'air, en réponse à une pression négative, protège l'installation des conditions nuisibles du vide et évite les dommages dus à la séparation des colonnes d'eau. A l'inverse, la décharge de l'air présent dans la conduite à la mise en route de l'installation, évite toute accumulation de poches d'air aux différents points hauts du profil. Plus l'orifice est grand, plus la quantité d'air entrant/sortant sera performante. Ce type de ventouses peut être utilisé pour n'importe quelle application après détermination préalable de sa position sur le profil. Elles sont principalement localisées en sortie d'installations de pompe ainsi que sur les points hauts d'un profil.



Purgeur :

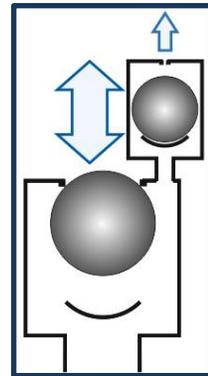
Également appelées «automatiques», ces ventouses chassent les bulles et les poches d'air en pression d'opération. Selon la définition de la force ($F=P.S$) seule une petite section peut permettre de rompre l'équilibre entre la force appliquée sur le flotteur par la pression intérieure et son poids lorsqu'il se trouve dans une poche d'air. Ce déséquilibre permettra l'ouverture de l'orifice et l'évacuation de l'air jusqu'au retour de l'eau qui refermera à nouveau l'orifice.

Ventouse triple fonction :

L'association de la ventouse double fonction à large orifice et d'un purgeur à petit orifice donne la ventouse triple fonction, autrement nommée ventouse «combinée».

Cette ventouse garantit les fonctions et avantages des deux autres types:

- Décharge pendant le remplissage c'est-à-dire, au démarrage de l'installation.
- Purge des bulles et poches d'air perturbatrices pendant le fonctionnement.
- Admission pendant le drainage, en cas de séparation de la colonne d'eau pour éviter toute pression négative dans le réseau.



Au fil des années, plusieurs autres caractéristiques et fonctions ont été développées et ajoutées à différents modèles de ventouses. Ainsi, en eau potable, la conception même des ventouses est telle que leur système d'étanchéité (joint + flotteur) constitue la seule barrière entre le fluide et l'extérieur. En eaux usées, ce concept est impensable car les déchets, les agglomérats de graisses ou autres particules boucheraient rapidement l'étanchéité pour finalement rendre la ventouse inefficace. Pour cette raison, les ventouses pour eaux usées, boue épaisse et autres liquides chargés sont conçues de manière à tenir le liquide éloigné du système d'étanchéité au moyen d'une poche d'air sous pression. En effet, le flotteur est en deux parties solidaires l'une de l'autre, afin de permettre la fermeture de la ventouse avant même que le liquide n'atteigne un certain niveau.

D'autres options permettent maintenant de changer les caractéristiques ou le rôle d'une ventouse au moyen d'un clapet à visser en sortie de drainage. Ces possibilités évitent d'avoir à changer la ventouse au complet et pourront modifier la fonction, soit en autorisant la décharge d'air et non l'admission (ou l'inverse) ou bien même de libérer lentement la décharge d'air pour réduire un effet coup de bélier local associé à une arrivée trop rapide de l'eau dans la ventouse.

Les ventouses dites « anti-bélier » peuvent également être utilisées pour l'atténuation des ondes de choc dans des cas bien déterminés avec une étude en régime transitoire appropriée. Elles intègrent un disque flottant à orifice réduit dont la particularité est d'amortir efficacement la sortie d'air. Ce système permet, dans un même corps, une protection maximale en admission et une décharge en deux étapes. Dans un premier temps, l'air s'échappe normalement à haut débit jusqu'à atteindre la valeur de calibrage du disque. Celui-ci vient alors se mettre en position automatiquement de manière à ne laisser passer l'air que par un orifice réduit ($1/5^{\text{ème}}$ du DN). L'effet d'amortissement est alors immédiat et la poche d'air se dissipe lentement, évitant le coup de bélier local.

Mais la plus récente et la plus avancée est la ventouse dite "dynamique". Elle fonctionne sur la base d'une technologie différente de la plupart des autres types de ventouses combinées, ce qui permet des vitesses de décharge d'air plus élevées tout en évitant le choc de fermeture.

Indépendamment de toutes ces options, les ventouses de type « purgeur » et « triple fonction » restent les plus utilisées sur les réseaux.

L'utilisation des ventouses ou purgeurs se justifie, de façon évidente, par la présence d'air dans un réseau. Il est alors intéressant de se poser la question de savoir comment cet air arrive dans les réseaux et surtout comment se comporte cet air.

Il existe deux principales sources de développement de poches d'air dans un réseau : l'une « naturelle » et l'autre « volontaire ». La première est en relation directe avec les propriétés naturelles de l'air et de l'eau. En effet, l'air est dissout naturellement dans l'eau à un taux de 2-3% et sera libéré plus ou moins pour former des poches en fonction des variations de pression ou de température. Dans pratiquement tous les réseaux de canalisations, de façon plus fréquente, l'air se libère lorsque la pression diminue. A mesure que cette pression diminue, le volume d'air augmente (loi des gaz parfait : $P.V=n.R.T$) et entraîner une augmentation de la force de flottaison ($F_f = \rho \times V \times g$) de la poche qui aura tendance à remonter soit sur la couronne supérieure de la canalisation, soit au point haut du réseau.

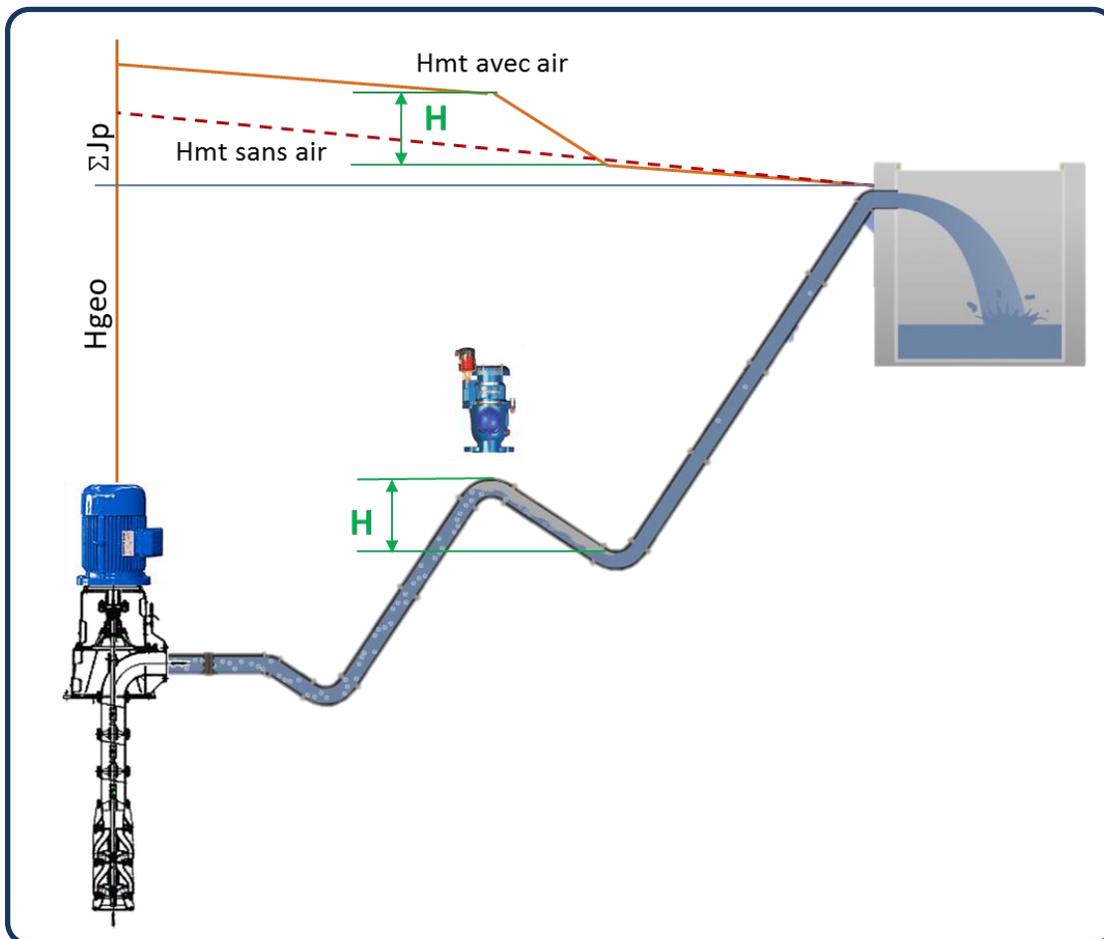
La seconde source, dite « volontaire », est directement liée aux organes et accessoires caractérisant le réseau. Les bulles peuvent très bien venir de la station de pompage, des brides fuyardes, des clapets ou vannes ou des canalisations elles-mêmes fragilisées par des phénomènes transitoires intempestifs. En voyageant dans le réseau, ces bulles vont se grouper pour former des poches et, par conséquent, nous allons revenir à la description du phénomène ci-dessus.

La tendance naturelle de l'air à remonter au niveau des points hauts pose également la problématique de la résistance de cet air au débit d'une installation. C'est à ce stade qu'intervient la notion de vitesse critique qui est la vitesse minimale donnée à un fluide pour emporter les bulles et poches d'air le long du réseau. Ce concept, plusieurs fois modélisé, est une fonction dans laquelle va intervenir soient la taille et la forme des poches d'air, soient les caractéristiques de la canalisation. Difficilement appréhendable, la vitesse critique est une notion purement théorique qui intervient malheureusement très peu dans la pratique car les réactions de l'air dans un réseau sont imprévisibles du fait même des critères ci-dessus.



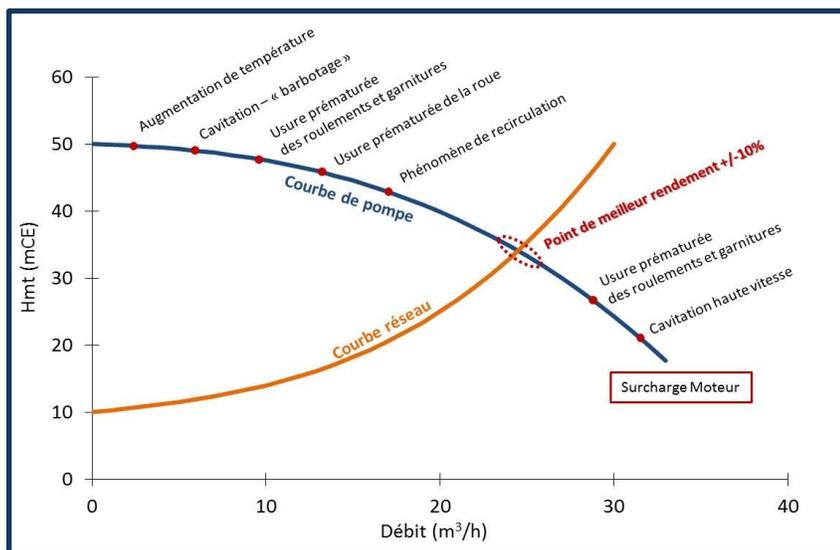
Illustration : au plus les bulles seront petites, au plus elles auront tendance à être entraînées par le débit le long du réseau. Cependant, en cours de route, certaines de ces bulles auront également tendance à fusionner pour former des poches plus importantes. Dans ce cas, la vitesse critique ne sera plus suffisante pour les entraîner et les poches remonteront le cours du réseau pour se fixer sur les points hauts. En conclusion, il est particulièrement difficile de prévoir le comportement de l'air dans un réseau et ce, d'autant plus, qu'un réseau d'eau est normalement prévu pour une consommation croissante future.

Les récentes recherches à ce sujet, notamment à l'université de Delft aux Pays Bas, indiquent que les pertes de charge liées à la présence d'air sur un point haut d'un réseau sont typiquement égales à la hauteur H de la poche d'air en question (voir schéma ci-dessous).



Sur l'illustration ci-dessus, la ligne de HMT (Hauteur Manométrique Totale) en orange indique la modification qu'apporte une poche d'air avec sa perte de charge supplémentaire par rapport au calcul d'origine (ligne rouge en pointillé) qui lui, ne considère pas les poches d'air sur les points hauts du réseau. Un réseau comportant plusieurs points hauts de cette façon, avec des poches d'air plus ou moins importantes (fonction des facteurs décrits ci-dessus) aura forcément une influence sur la HMT calculée au départ du projet. En effet, les poches d'air présentes inmanquablement le long du réseau, vont réduire la section de passage du fluide sur chaque point haut, augmenter la vitesse d'écoulement et, par voie de conséquence, augmenter les pertes de charge comme si nous avions une vanne à demi fermée à chacun de ces points. Cela est d'autant plus vrai que le découpage des lots canalisation réseau et lot station de pompage, sont bien distingués dans les appels d'offre et l'on constate souvent que les parties ne se parlent pas. Il ne fait aucun doute que les pompes sont déterminées correctement avec les éléments donnés au stade projet pour la détermination de la station de pompage mais, malheureusement, à la connexion et mise en route avec le réseau, on se rend compte que le point de fonctionnement de meilleur rendement a bougé sur la courbe de la pompe. Bon nombres de litiges sont liés à ce problème encore mal connu ou mal considéré.

Il existe maintenant sur le marché, un large éventail de possibilités de pompes centrifuges que ce soit au niveau du type, de la taille, des types de roues, avec des courbes plates et d'autres plus raides, etc... Certaines courbes sont stables et d'autres le sont moins avec la possibilité de plusieurs points de fonctionnement. Bref, pour chaque application, il y a une solution avec des caractéristiques qui seront forcément adéquates.



Ainsi, dans le métier des stations de pompage d'eaux usées, les pompes submersibles sont davantage privilégiées. Elles ont un rendement généralement moindre que les pompes à plan de joint ou les pompes normalisées hors d'eau. La sélection de ce type de pompe doit se faire pour qu'elle puisse opérer sur son point de meilleur rendement, pas seulement pour limiter l'usure prématurée mais également pour délivrer le meilleur débit avec la consommation énergétique optimale.

Tout système, tout réseau a ses caractéristiques hydrauliques propres et, de la même façon, chaque pompe a ses caractéristiques techniques propres. Mais si nous considérons le débit et la Hauteur Manométrique Totale (HMT) de la pompe ci-après (voir courbe – schéma 1), nous pouvons constater que la présence d'air dans le réseau qui **créé** des pertes de charge supplémentaires va faire glisser le point de fonctionnement vers la gauche de la courbe de sélection de la pompe, avec pour impacts directs : une réduction du débit, une augmentation de la pression et, pour finir, une baisse de rendement.

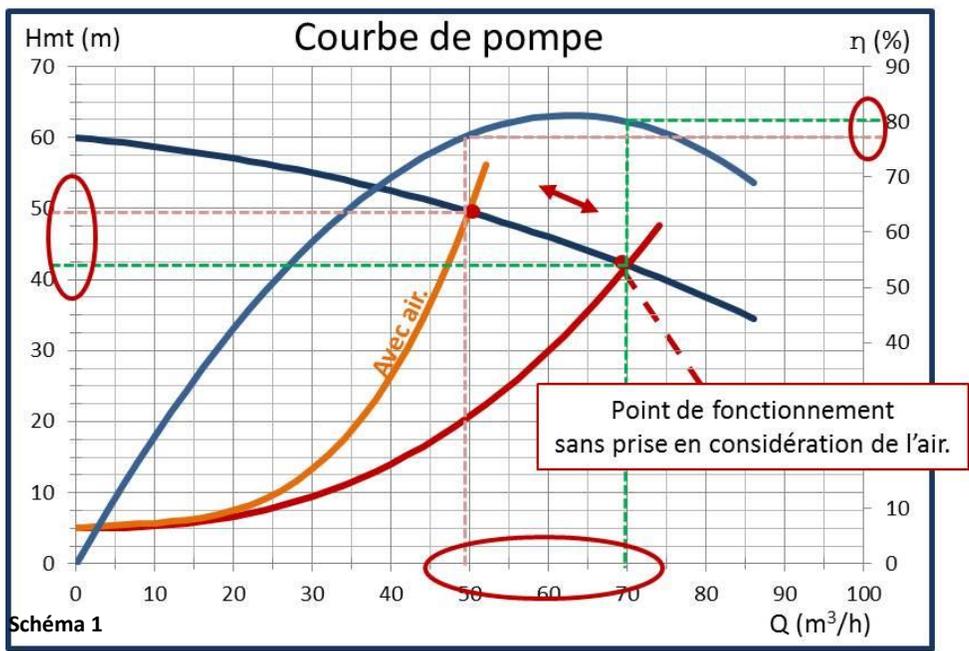
C'est ainsi que, dans les cas extrêmes, la compétition effrénée entre les différents grands fabricants de pompes ne favorise, de temps en temps, pas l'optimisation. Ainsi, que ce soit pour économiser sur la taille

des moteurs ou pour respecter les DN minimales des canalisations (DN80 ou DN100) et la vitesse mini de 0,7 m/s, les points de fonctionnement sont déjà sélectionnés très fortement à gauche des courbes. Seulement, si à cela, il faut ajouter des pertes de charge supplémentaires dues à la présence d'air dans le réseau, nous arrivons à des litiges où les pompes vibrent, où les débits ne sont absolument pas respectés ; bref, où la sélection est tout autre qu'optimale d'un point de vue énergétique.

Considérons la puissance hydraulique d'une pompe :

$$P_{hyd} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta}$$

	Stade Projet	Avec Air	Différence
Q (m ³ /h)	70	50	-28,5%
H (m)	42	50	+ 19%
Rendement (η)	80	75	-6,3%
Puissance (kW)	10,01	9,08	-9,3%
Ramenée au m ³ (kWh/m ³)	0,143	0,1816	+27%



Dans l'exemple ci-dessus, la courbe de la pompe est stable et relativement plate. Cependant, même dans ce cas, comme l'indique le tableau ci-dessus, les pertes de charge liées à la présence d'air dans le réseau auront un impact direct sur la consommation ramenée au m³, indice principalement utilisé par les services d'eau pour justement surveiller le bon rendement d'une installation.

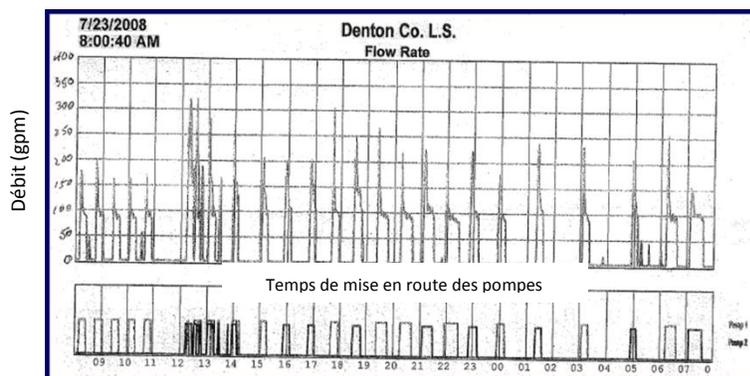
L'analyse énergétique de ce cas peut se considérer de deux façons :

1- Installation sans variation de vitesse :

Du fait de la présence d'air dans le réseau selon les raisons expliquées plus haut dans cet article, le débit demandé à l'origine n'est plus respecté. C'est-à-dire que, comme expliqué précisément dans l'étude de cas ci-après, la pompe devra se mettre en route beaucoup plus longtemps pour remplir le réservoir de l'installation avec pour impact direct une consommation accrue de la pompe incriminée. Automatiquement, il y aura litige avec le maître d'ouvrage et le fabricant de la station de pompage qui lui-même se retournera sur le fabricant de pompe. La réaction la plus rapide reste encore de changer la roue, le moteur de la pompe avec un variateur de fréquence (ou pas) ou bien même encore la pompe elle-même. Il est encore bien rare malheureusement qu'une étude du réseau pour analyser la présence d'air, soit considérée.

Etude de cas (données fournies par la ville Horseshoe Bay, Texas)

Pour illustrer nos propos, voici une étude de cas que nous avons réalisée. Il s'agit de l'enregistrement de fonctionnement des pompes d'un réseau d'eaux usées. Les pompes étaient utilisées bien en dessous de leurs capacités déterminées au cahier des charges.



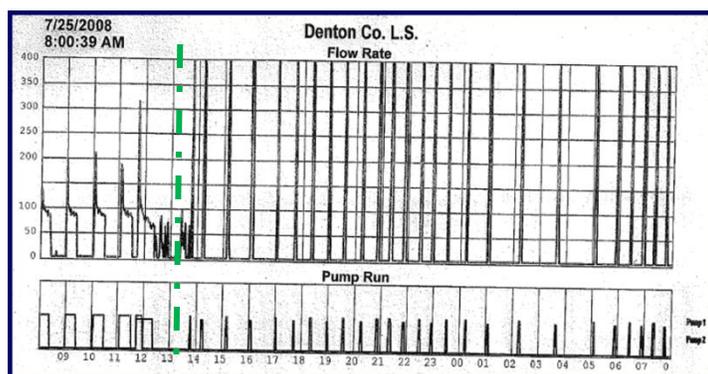
23/07/2008 :

Cet enregistrement d'opération des pompes des premières 24 heures nous montre une moyenne de fonctionnement des pompes relativement longue ainsi qu'un débit non conforme au cahier des charges.

A l'origine, l'installation était prévue avec des ventouses dites double fonction. Suite à ce premier enregistrement caractéristique d'un problème d'air piégé dans le système du fait de la baisse de débit ainsi que plus longue période de fonctionnement des pompes, nous décidons de remplacer 5 des ventouses double fonction par deux ventouses triple fonction pour eaux usées avec la possibilité de décharger l'air en opération également.

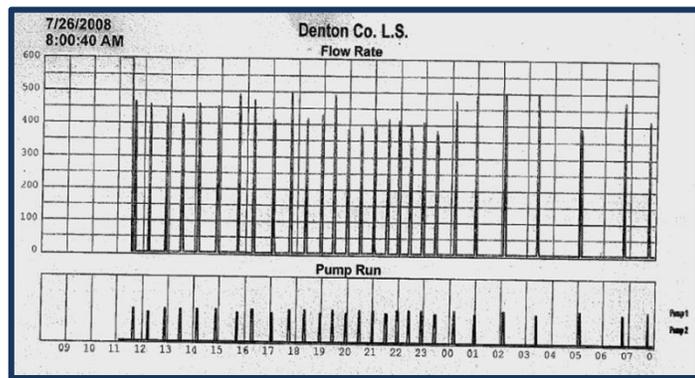
25/07/2008 :

Le résultat ne se fait pas attendre et montre, dès le changement des ventouses, une diminution des temps de fonctionnement des pompes mais surtout un changement flagrant dans l'échelle des débits. Débit qui devait normalement être prévu au cahier des charges.



26/07/2008 :

Au troisième enregistrement, l'échelle des débits est réajustée au niveau du rapport pour montrer exactement la nouvelle efficacité du système.



Maintenant, si nous faisons le compte sur le gain énergétique avant et après le changement de ventouses :

Analyse Energétique	Avant	Après	Unités
Moyenne de débit par opération de pompe	90	375	Usgpm
	20,5	85	m ³ /h
Moyenne de temps d'opération de pompe	30,7	5,2	min
HMT	52,8	48	mCE
Rendement de pompe	43%	62%	
Consommation par cycle de fonctionnement	6,86	17,93	kW
Consommation ramenée au m ³	0,334	0,21	kW.h/m ³
Prix du kwh EDF	0,12 €	0,12 €	/kWh
Coût énergétique	0,82 €	2,15 €	/h
Cycles de fonctionnement par jour	21	30	/jour
Temps d'opération des pompes	644,7	156	min/jour
	10,745	2,6	h/jour
Estimation du coût d'exploitation	8,84 €	5,59 €	/jour
	265,32 €	167,83 €	/mois
	3 228,00 €	2 041,97 €	/an
Gain		-37%	

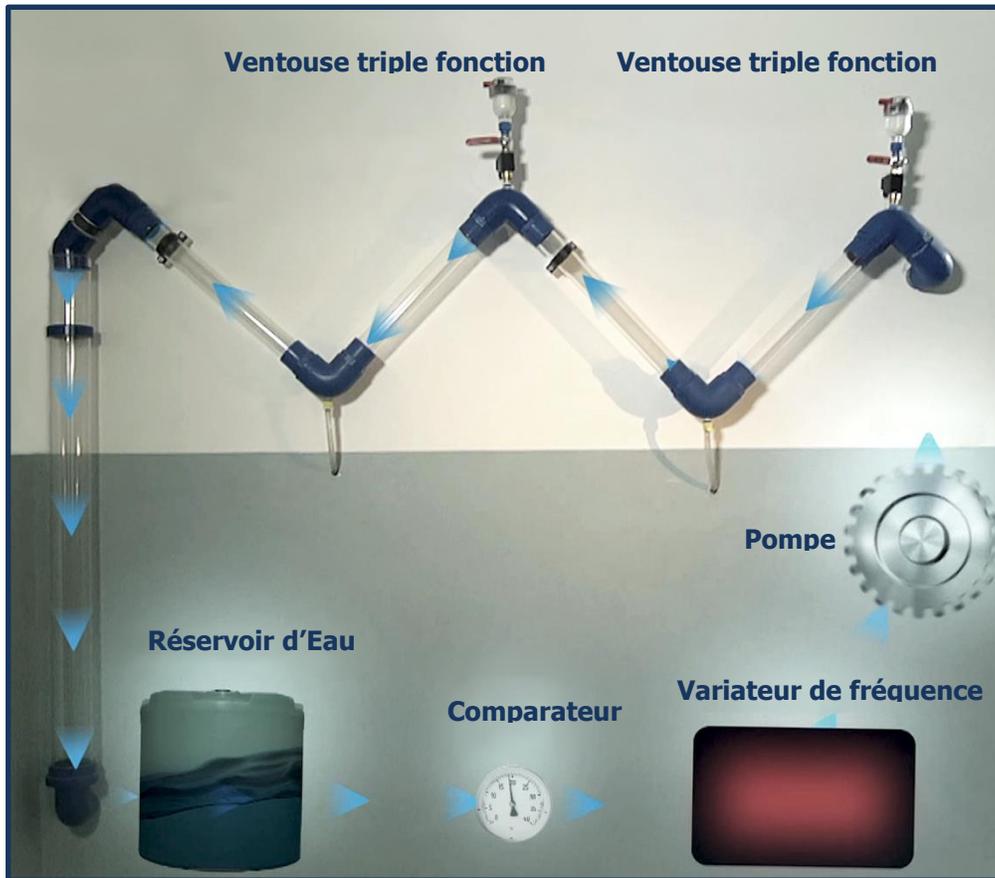
Conclusion :

Le retour sur investissement de deux ventouses eaux usées de type D025 est d'environ 12 mois mais celui-ci pourrait encore moindre, considérant également l'extension de durée de vie de la pompe (usure des roulements et des garnitures).

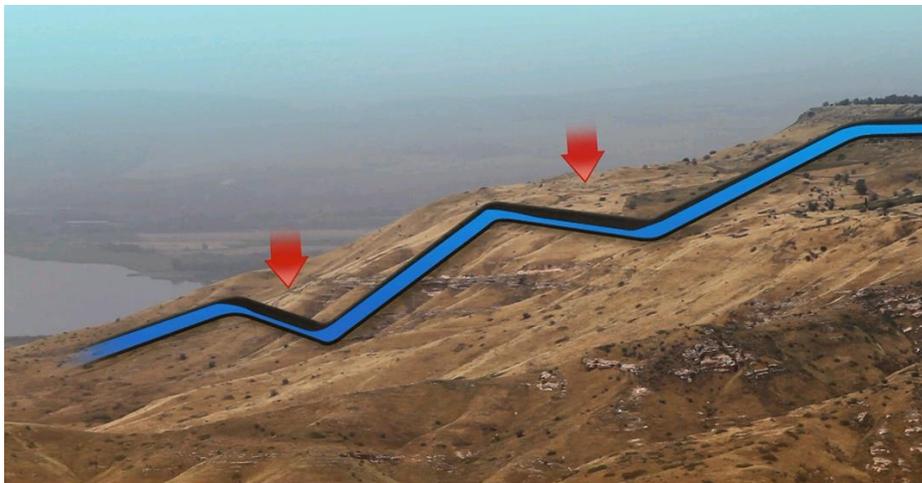
2- Installation avec variateur de vitesse :

Nous sommes ici dans le cas où, dès l'origine du projet, le variateur de fréquence a été prévu de manière à maintenir un débit constant dans l'installation. Pour autant, si les poches d'air dans le réseau ne sont pas prises en considération dès le départ, cela ne fera qu'ajouter à la consommation d'énergie du système de pompage. ARI/AIRVALVE a mis en évidence, à l'aide d'un banc de démonstration, cette différence de consommation sur un réseau avec et sans la prise en considération des ventouses sur les points hauts.

Le banc de démonstration se compose de la manière suivante :



L'objectif ici est de maintenir un débit constant de 17,1 l/mn et d'observer les différences de consommation lorsque les ventouses sont d'abord hors fonction puis ensuite en fonction. Les résultats des mesures sont retransmis en temps réel à l'ordinateur (voir le tableau ci-après).

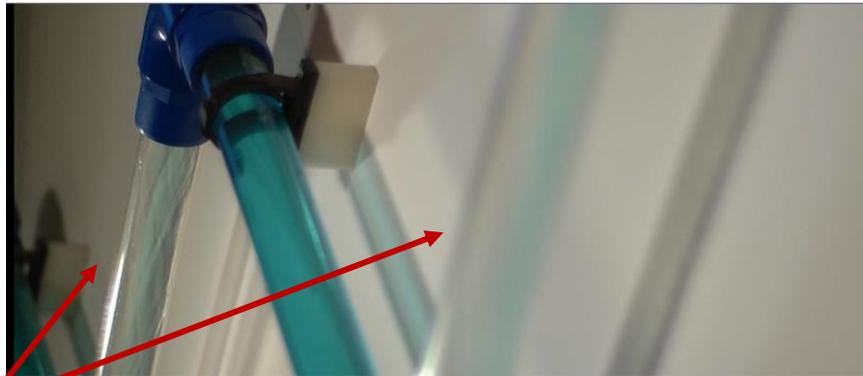


La forme volontaire en W de ce banc de démonstration a pour objectif de simuler les conditions sur site où les profils suivent les irrégularités du terrain.

Ventouses hors fonction :

Dans un premier temps, les ventouses sont hors fonction. L'ordinateur indique alors que pour maintenir un débit de 17,1 l/mn, la pompe doit tourner à une vitesse de 550 tr/min. En effet, les ventouses étant condamnées, l'accumulation de l'air dans le réseau au niveau des points hauts va induire des pertes de charges supplémentaires qui n'étaient pas prévues au départ lors de la sélection des pompes. Nous perdons alors le point de fonctionnement qui va alors glisser vers la gauche de la courbe de pompe.

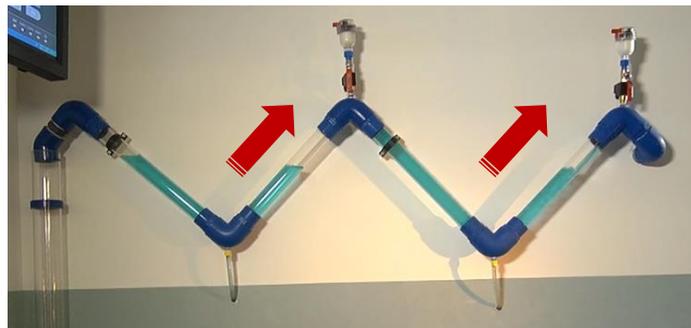
Pour maintenir malgré tout le débit constant, le variateur de fréquence prévu va augmenter la vitesse de rotation du moteur de la pompe et faire revenir le point de fonctionnement à sa sélection originale mais avec une consommation plus importante.



Section de débit
totalement diminuée !

Ventouses en fonction :

Dans un deuxième temps, les ventouses triple fonction sont mises en service. Les poches d'air vont rapidement disparaître et la section de débit va revenir à la normale. Nous nous retrouvons alors avec un point de fonctionnement tel qu'il aurait dû être prévu dès le départ à la sélection de la pompe, c'est-à-dire sans la surprise de pertes de charge supplémentaire liées à la présence d'air au niveau des points haut du réseau. Nous sommes sur le point de fonctionnement optimal et donc, pour maintenir un débit de 17,1 l/min, le moteur de la pompe va tourner à 488 tr/min pour donner une consommation moindre de pas moins de 20% !!



Vitesse de rotation du moteur (tr/min)	Débit (l/min)	Consommation (W/h)
Ventouses hors fonction		
550	17,1	9,2
Ventouses en fonction		
488	17,1	7,4
Différence (économie)		
9,6%		19,6%

Le film de démonstration est visible sur Youtube à l'adresse suivante :

<http://www.youtube.com/watch?v=OGC0SK5kr7k>

Conclusion :

La solution du variateur de fréquence pour contrôler la vitesse du moteur est probablement la solution la plus efficace pour maintenir un débit ou une pression constante dans un réseau, qu'il soit d'eau potable ou d'eaux usées. Cette solution permet d'ajuster les caractéristiques des pompes en fonction du cahier des charges. Cependant, il convient de ne pas oublier ce qui se passe dans un réseau en aval des pompes car malheureusement l'air peut venir troubler la fête !

Laurent Dupuis



31 avenue du Peuple Belge

59000 Lille

Tel : +33 (0)7 87 00 93 11

Email : ldupuis@airvalvefrance.fr