

## “Intérêt des entrées/sorties d’air dissymétriques en présence de régimes transitoires”

Claude Frangin (1)

### 1 – Généralités

#### 1.1 – Rappel

Les appareils d’entrée/sortie d’air utilisés sur les réseaux d’eau sont conçus pour assurer les fonctions de déaéragage et/ou d’aéragage d’une conduite lors des opérations de mise en eau et de vidange de la conduite et/ou de dégazage en pression des poches d’air résiduelles de l’intérieur de la conduite vers l’extérieur (suivant norme NF EN 1074-4).

Pour le bon fonctionnement d’un réseau d’eau, il faut également examiner les entrées et sorties d’air lors des fonctionnements exceptionnels (manœuvre d’urgence, premier remplissage, casse de conduite, régimes transitoires, etc...).

La sélection et le dimensionnement d’un appareil d’entrée/sortie d’air nécessitent un minimum de connaissance théorique mais aussi des risques possibles résultant d’un choix non approprié.

#### 1.2 – Pressions minimales suivant les applications

Les appareils d’entrée/sortie d’air usuels du commerce sont conçus pour un fonctionnement sans sollicitations dynamiques exceptionnelles telles que celles résultant de régimes transitoires, avec des changements très rapides de la pression (exemple de la disjonction électrique des stations de pompage).

Pour des raisons de sécurité sanitaire, une conduite d’eau potable doit en toutes circonstances être en pression positive par rapport au milieu extérieur, y compris lors des régimes transitoires consécutifs à une disjonction électrique des pompes.

Ce n’est pas le cas des refoulements en assainissement pour lesquels l’exigence de pression minimum positive n’est pas requise. Par ailleurs les problématiques de ces réseaux sont différentes des réseaux d’eau potable.

#### 1.3 Problématiques spécifiques des réseaux d’assainissement

La configuration des réseaux d’assainissement sous pression, contrairement aux installations d’AEP (Alimentation en Eau Potable), se caractérise par :

- Des faibles dénivelés géométriques et des faibles pressions.
- Des profils en long relativement plats avec de faibles pentes, et dans certains cas des profils complètement descendants (car plus économiques à réaliser qu’un écoulement gravitaire à surface libre).
- Des profils présentant souvent une ou des bosses notamment depuis le développement des stations intercommunales de traitement des eaux usées (l’exutoire final à la rivière de l’installation se trouvant plus en aval des collectivités, donc à une altimétrie plus basse).

Les conditions d’exploitation des réseaux d’assainissement sous pression, contrairement aux installations d’AEP, se différencient par :

- La nature du fluide avec présence de corps étrangers et graisses flottantes.
- Une dépressurisation possible de la conduite, dans certaines limites.
- La possibilité d’un déaéragage partiel ou complet de la conduite lors des phases d’arrêt de pompage.

Il est, en effet, fréquent qu'une conduite de refoulement en assainissement se vide partiellement lors de l'arrêt des pompes, chaque redémarrage des pompes se fait alors sur réseau partiellement vide. Certaines conduites de refoulement se vident complètement à chaque arrêt (installation réalisée sans clapet de non-retour en sortie de pompe).

Les ventouses installées sur les conduites de refoulement en assainissement sont ainsi beaucoup plus sollicitées que celles équipant les réseaux d'alimentation en eau potable.

Il est connu que sur certains réseaux, plutôt long et plat, de transfert d'eaux brutes ou d'eaux usées, les ventouses cassent fréquemment.

## **2 - Régimes transitoires et ventouses**

### **2.1 - Appareils usuels de protections contre les régimes transitoires**

D'une manière générale, les protections des conduites contre les conséquences des régimes transitoires consécutifs à la disjonction électrique des stations de pompage sont réalisées avec un dispositif unique et localisé au niveau de la station de pompage.

Pour mémoire, les appareils de protection usuels sont de deux types :

- Appareils de protection avec réserve d'énergie (exemples : les volants d'inertie, très peu utilisés aujourd'hui, ou les ballons hydropneumatiques avec volume d'air sous pression, particulièrement efficace lorsque les transitoires commencent par une dépression).
- Appareils de protection sans réserve d'énergie (exemples : les clapets d'entrée d'air pour limiter des dépressions ou les soupapes anti-bélier particulièrement efficace lorsque les transitoires commencent par une surpression).

Un appareil de protection sans réserve d'énergie, aussi parfait soit-il n'assure qu'une protection locale contrairement à un appareil de protection avec réserve d'énergie.

Les appareils de protection contre les régimes transitoires des refoulement en assainissement présentent souvent des limites en raison de la nature même des eaux transportées (eaux brutes, eaux usées, eaux pluviales).

### **2.2 - Nouvelles approches pour la protection des refoulements en assainissement**

Compte tenu des problématiques en assainissement, des dispositifs spécifiques de protection contre les régimes transitoires commencent à être développés pour une utilisation simple ou combinée.

Ainsi certain ballon tel que l'ARAA associe un dispositif avec réserve d'énergie (volume d'air comprimé) et un dispositif sans réserve d'énergie (admission d'air à pression atmosphérique).

La possibilité d'accepter une dépressurisation dans les conduites de refoulement en assainissement permet de réduire le volume des ballons de protection. Ceci implique de faite la sollicitation des ventouses existantes sur le réseau, celles-ci limitent la dépressurisation des conduites par leur fonction d'aéragé automatique de la conduite.

On peut alors se poser la question du fonctionnement d'une protection contre les régimes transitoires impliquant des ventouses, les ventouses étant des appareils de protection mais sans réserve d'énergie. Le pas peut être vite franchi de substituer un appareil de protection avec réserve d'énergie par un appareil de protection sans réserve d'énergie

Nous allons plus particulièrement développer un cas type dans la suite de ce document pour illustrer la problématique spécifique des appareils d'entrées sorties d'air en présence de régimes transitoires.

### 3 - Présentation d'un cas type

#### 3.1 – Données

L'installation considérée concerne une conduite en DN 600 en fonte GS sur 3525 m de longueur.

Le débit de l'installation est de 0,425 m<sup>3</sup>/s et la Hmt de la pompe à ce débit est de 55 m.

Le profil en long est du type profil à bosse.

L'extrémité de la conduite s'apparente à une cheminée de type déversement, sans possibilité de mise en charge en aval.

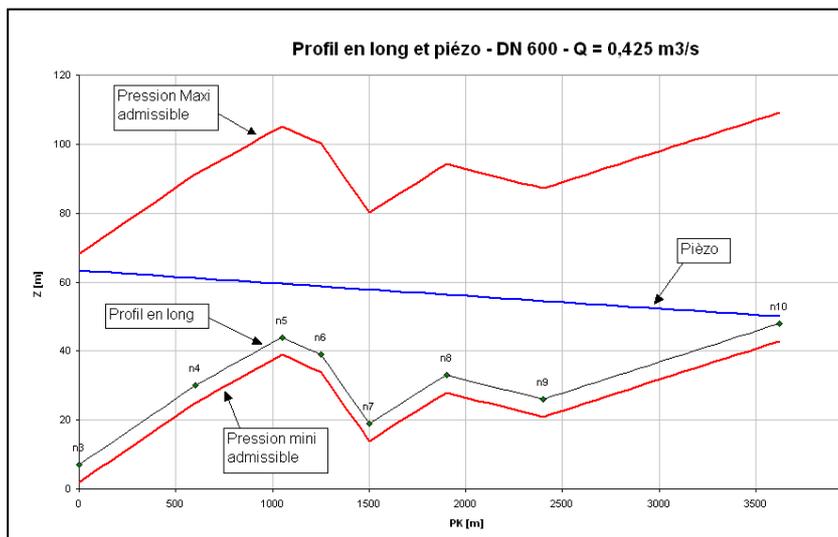
On rappelle que l'étude des régimes permanents préalable à une étude de transitoires se réalise sur conduite neuve et non usagée (voir guide technique du SNECOREP).

Modélisation et simulation des régimes permanents et des transitoires avec Cebel-Expert de DIADEME Ingénierie (St Martin d'Hères – 38).

#### 3.2 – Régime permanent

Résultats de l'étude du régime permanent.

Sur ce graphique figure le profil en long et la ligne piézométrique en bleu, ainsi que les pressions minimale et maximale admissible de la conduite figurées par les lignes en rouge.



Graph 1 : Cas type avec profil en long et piézo

#### 3.3 – Constats

On peut faire plusieurs constats :

- La pression au point haut principal en statique est très faible et n'est pas toujours compatible avec les pressions de service minimal des ventouses classiques, il s'ensuit que les ventouses installées risquent de ne pas être étanches.
- Une fuite sur l'un des clapets de non-retour en sortie des pompes contribuera à vider partiellement la conduite et augmenter le risque de fuites des ventouses.
- Suite à disjonction électrique et en présence d'un ballon, des oscillations en masse apparaissent, la colonne montante à l'arrivée de la conduite se vide partiellement, le niveau final dans la colonne s'abaissera et contribuera à abaisser la pression statique et à augmenter les risques de fuites des ventouses.

## 4 – Etude des transitoires avec protection par ballon sans dépressurisation de la conduite

### 4.1 – Préalable

L'étude des régimes transitoires porte sur la disjonction électrique (panne de courant) de la station de pompage initialement en plein débit.

L'installation est supposée pleine d'eau sans air en régime permanent.

On vérifie préalablement qu'en absence de protection contre les transitoires, les dépressions et les surpressions sont incompatibles avec les conduites.

Pour mémoire, une dépression trop forte est à l'origine d'ouverture de poches de cavitation, dont l'implosion crée systématiquement des coups de bélier à front raide qui ruinaient très rapidement la conduite.

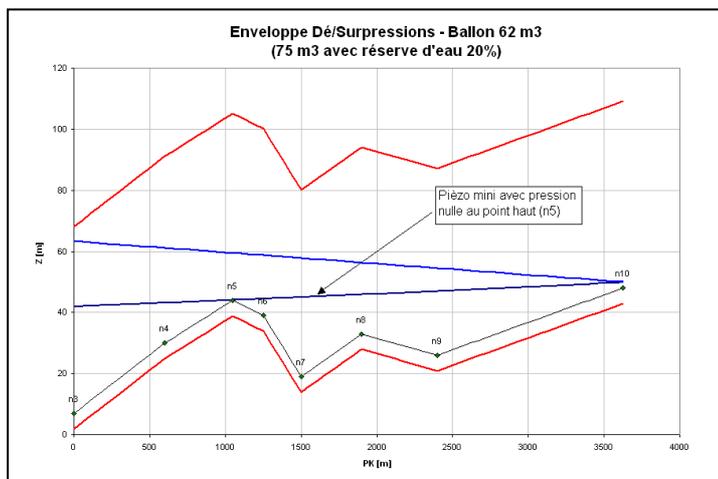
### 4.2 – Protection par ballon sans dépressurisation de la conduite

L'étude des régimes transitoires permet de caractériser l'enveloppe théorique des dépressions et des surpressions maximales dans la conduite.

Ce cas correspond à une étude suivant des conditions propres à un réseau d'eau potable, c'est-à-dire sans dépressurisation du réseau. On rappelle qu'il est d'usage en assainissement de prévoir une réserve d'eau dans le ballon, surtout pour les ballons à vessie.

Résultats de l'étude des régimes transitoires

Enveloppe des dépressions et des surpressions avec ballon de 75 m<sup>3</sup> dont 20 % de réserve d'eau (prégonflage 3,72 bar, raccordement DN 400)



Graph 2 : Protection par ballon sans dépressurisation de la conduite

### 4.3 – Constats

La conception d'une protection du cas proposé, par ballon à pression d'air tel que cela se fait pour des réseaux d'eau potable conduit à un volume de ballon énorme de 62 m<sup>3</sup>, hors marge de sécurité (généralement une marge de 20 % est demandée surtout si le ballon comporte une vessie).

## 5 – Etude des transitoires avec protection par ballon et dépressurisation de la conduite

### 5.1 – Préalable

L'étude des transitoires se fait dans les mêmes conditions que précédemment mais en acceptant une dépressurisation partielle des conduites jusqu'à « - 5 mCE », hors marge de sécurité, suivant valeur mentionnée dans les Fascicules 81.1 et 71.

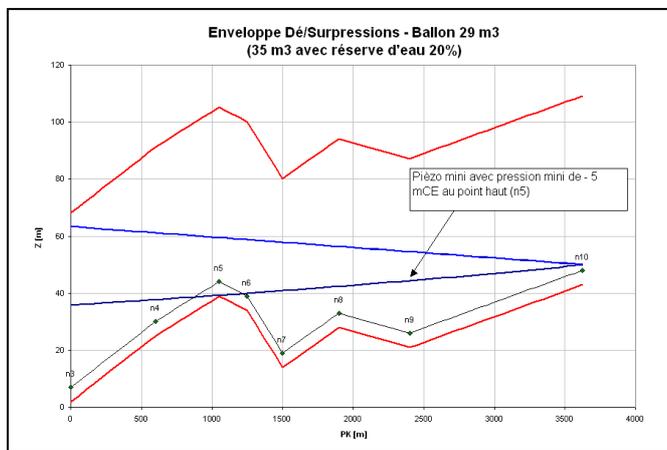
L'installation est supposée pleine d'eau sans air en régime permanent.

### 5.2 – Protection par ballon avec dépressurisation de la conduite

Ce cas correspond à une étude suivant des conditions propres à un réseau d'assainissement qui tolère une dépressurisation des conduites, contrairement au réseau d'eau potable.

Résultats de l'étude des régimes transitoires

Enveloppe des dépressions et des surpressions avec ballon de 35 m<sup>3</sup> dont 20 % de réserve d'eau (prégonflage 3,17 bar, raccordement DN 400)



Graph 3 : Protection par ballon avec dépressurisation de la conduite

### 5.3 – Constats

La conception d'une protection par ballon à pression d'air en acceptant une dépressurisation de la conduite permet de réduire notablement le volume du ballon (gain d'environ 50 % dans le cas étudié).

On peut donc penser qu'en acceptant une dépressurisation dans la conduite, il est possible d'optimiser le dimensionnement des ballons de protection à pression d'air.

Trop souvent l'étude des transitoires est arrêtée à ce stade !

### MAIS ATTENTION :

Ceci présuppose que la conduite reste pleine d'eau, mais dans la réalité le point haut n5 est obligatoirement équipé d'une ventouse, le plus souvent de type à grand débit.

Hors une ventouse en présence d'une dépressurisation s'ouvre et admet donc de l'air dans la conduite pour lutter contre la dépressurisation.

Il est donc indispensable pour valider cette solution d'intégrer dans la modélisation une ventouse, sachant que les ventouses classiques du commerce sont de type symétrique (les orifices d'entrée et de sortie d'air sont les mêmes).

## 6 – Etude des transitoires avec protection par ballon et ventouse symétrique

### 6.1 – Préalable

L'étude des transitoires se fait dans les mêmes conditions que précédemment avec le même ballon mais en positionnant une ventouse symétrique au point haut n5.

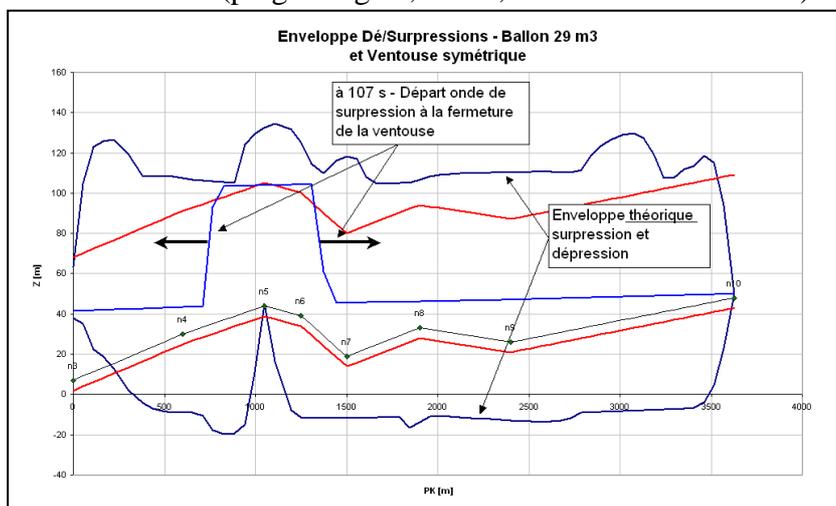
On considère que la ventouse est suffisamment dimensionnée pour négliger ses pertes de charge. L'installation est supposée initialement pleine d'eau. Lors des transitoires la ventouse est supposée s'ouvrir sans aucun retard sur une dépression, l'abaissement de la pression étant relativement lent en raison de la présence du ballon,

### 6.2 – Protection par ballon et ventouse symétrique

Résultats de l'étude des régimes transitoires

On suppose que le volume d'air admis dans la conduite reste localisé au niveau de la ventouse, l'écoulement dans la conduite restant de type monophasique.

Enveloppe des dépressions et des surpressions (au bout de 150 s) avec ballon de 35 m3 dont 20 % de réserve (prégonflage 3,17 bar, raccordement DN 400)



Graph 4 : Protection par ballon et ventouse symétrique

### 6.3 – Constats

Après admission d'air dans la phase dépressurisée suite à disjonction électrique, la pressurisation au retour d'onde génère une évacuation, à grande vitesse, de l'air précédemment admis. Lors de l'arrivée de l'interface air/eau dans la ventouse l'obturateur, en se fermant, coupe brutalement le débit (coup de bélier à front raide de type Joukowski). Sur le graphe est figuré, avec 2 flèches, le départ des ondes de surpression à l'instant  $t = 107$  s. Par le jeu des réflexions d'ondes aux extrémités de la conduite (notamment contre le ou les clapets de non-retour en sortie de pompe), des surpressions et des dépressions supérieures s'installent.

Les coups de béliers de fin de purge d'air, lors des transitoires, peuvent ruiner les installations. Souvent les premières ruptures sont les ventouses elle-mêmes, et en particulier les mécanismes à flotteur des ventouses.

### CONSEQUENCE :

Un dimensionnement de ballon prenant en compte une dépressurisation dans la conduite en présence de ventouses symétriques est très dangereux pour les ventouses et la conduite.

L'utilisation de ventouses symétriques en présence de transitoires est à proscrire, ou encore, le dimensionnement d'un ballon prenant en compte une dépressurisation dans la conduite est à proscrire en présence de ventouses symétriques.

## 7 – Etude des transitoires avec protection par ballon et ventouse dissymétrique

### 7.1 – Préalable

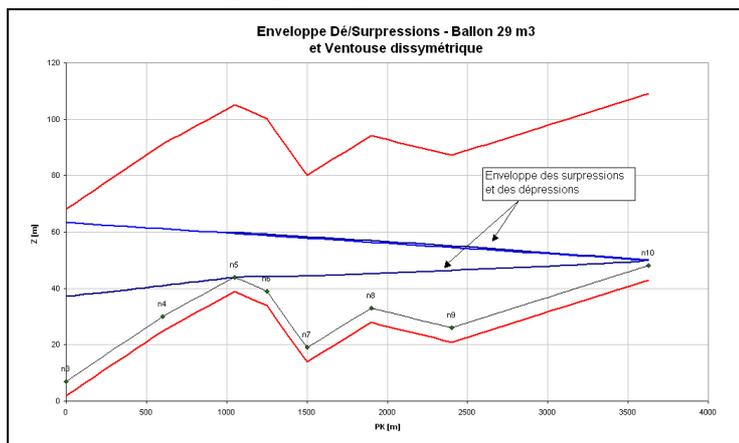
L'étude des transitoires se fait dans les mêmes conditions que précédemment mais avec une ventouse dissymétrique avec grand débit d'entrée d'air et petit débit de sortie d'air.

La ventouse dissymétrique avec possibilité de contrôler l'évacuation d'air évite des coups de bélier de fin de purge et donc les surpressions qui en découlent.

### 7.2 – Protection par ballon et ventouse dissymétrique

Résultats de l'étude des régimes transitoires

Enveloppe des dépressions et des surpressions (au bout de 150 s) avec ballon de 35 m<sup>3</sup> dont 20 % de réserve (prégonflage 3,17 bar, raccordement DN 400)



Graph 5 : Protection par ballon et ventouse dissymétrique

### 7.3 – Constats

Après admission d'air à grand débit, l'air se trouve bloqué dans la conduite et joue le rôle d'amortisseur. Il n'y a plus de coup de bélier de fin de purge d'air, par ailleurs l'entrée d'air, au point haut, permet de maintenir un piézo élevée dans la conduite, une optimisation du volume du ballon est encore possible. L'entrée d'air au niveau de la première bosse (en n5) joue le rôle de filtre des transitoires vis à vis de la zone située en aval.

L'évacuation d'air se fera par des dispositifs d'évacuation d'air de type purgeur sonique avec une section d'orifice calibré (pour le cas considéré, sachant que le point n5 est un point haut secondaire, un orifice calibré de diamètre égale à DN/45 convient pour une conduite acier – voir étude théorique). Ce système de protection est un système de protection combinée (ballon + ventouse dissymétrique).

### CONSEQUENCES :

Lorsque des ventouses sont sollicitées lors de régimes transitoires, l'utilisation de ventouses dissymétriques est indispensable. Une ventouse dissymétrique peut être réalisée en dissociant les fonctions par exemple avec un clapet d'entrée d'air (pour l'admission d'air) et un purgeur sonique (pour l'évacuation de l'air).

Le clapet d'entrée d'air sera un appareil spécifique, il devra avoir des temps de réponse rapide, l'obturateur sera de très faible inertie et son déclenchement devra être brutal sans effet aérocinétiq. Il est d'usage de raccorder cet appareil latéralement sur la conduite afin qu'il ne piége pas les corps flottants.

Pour des configurations favorables de profil en long, la prise en compte d'une ventouse dissymétrique dans la protection de l'ensemble de l'installation, permet d'optimiser le dimensionnement du ballon.

## 8 – Optimisation du volume du ballon d'une protection combinée par ballon et ventouse dissymétrique

### 8.1 – Préalable

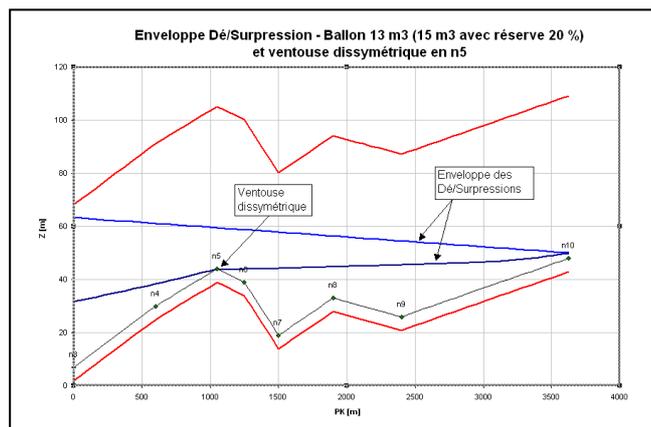
L'étude des transitoires se fait dans les mêmes conditions que précédemment.

On considère que la ventouse est suffisamment dimensionnée pour négliger ses pertes de charge à l'admission d'air et sa perte de charge est très élevée en sortie d'air.

### 8.2 – Protection par ballon et ventouse symétrique

Résultats de l'étude des régimes transitoires

Enveloppe des dépressions et des surpressions avec ballon de 15 m<sup>3</sup> dont 20 % de réserve (prégonflage 2,8 bar, raccordement DN 400)



Graph 6 : Protection combinée par ballon et ventouse dissymétrique

### 8.3 – Constats

La présence d'un dispositif d'entrée d'air en n5 a pour effet de protéger la partie de la conduite située en aval de ce point, aussi le ballon à pression d'air se trouve beaucoup moins sollicité, ce qui permet de réduire son volume.

Le dispositif d'entrée d'air devient une pièce maîtresse de la protection anti-bélier et son choix de doit être fait avec beaucoup de prudence. Après admission d'air à grand débit, l'air se trouve bloqué dans la conduite et joue, dans une faible mesure, le rôle d'amortisseur.

### CONSEQUENCES :

L'utilisation de ventouses dissymétriques en présence de régimes transitoires permet de réduire le volume du ballon, par contre il est indispensable que la vitesse d'abaissement de la pression au droit du dispositif d'entrée d'air soit en cohérence avec le temps de réponse du dit dispositif d'entrée d'air, dans l'exemple ci dessus la vitesse d'abaissement de la pièce en n5 est de 0,33 bar/seconde.

A ce jour, les rares fournisseurs de matériels d'entrée/sortie d'air dissymétriques ne fournissent pas d'élément sur la caractéristique dynamique de ces dispositifs, permettant de faire l'étude complète.

Des études approfondies théoriques avec expérimentations complémentaires seraient souhaitables, sachant qu'un temps de retard systématique est incontournable, à l'instar d'une soupape anti-bélier sur un réseau.

Le dispositif d'entrée d'air intervenant vis à vis de la sécurité, il est vivement recommandé de le doubler pour pouvoir assurer sa maintenance et permettre un continuité de service du réseau.

On rappellera que suite à disjonction d'une station de pompage, le redémarrage de la station doit se faire après stabilisation des régimes transitoires en prenant en compte une phase de fin de remplissage correspondant au temps nécessaire pour l'évacuation de l'air.

## 9 – Conclusion

Les appareils d'entrée et sortie d'air du commerce sont très généralement de type symétrique (même section en entrée d'air et en sortie d'air). Ces appareils sont conçus pour un fonctionnement en régime permanent avec des variations lentes.

Lorsque les appareils d'entrée/sortie d'air sont sollicités lors de régimes transitoires, il convient absolument de privilégier des appareils d'entrée/sortie d'air de type dissymétrique.

Dans des cas particuliers de profil en long à bosse, une protection combinée avec ballon et ventouse dissymétrique, permet de réduire de façon très significative le volume du ballon (toujours prévoir un temps de calcul suffisamment long).

Les sollicitations des ventouses, lors des transitoires, peuvent résulter aussi bien d'une insuffisance de la protection anti-bélier que de la possibilité offerte au concepteur de dimensionner une protection anti-bélier de la conduite intégrant des dépressions, il convient alors d'être très vigilant sur le choix des équipements.

Dans le cas des travaux neufs des erreurs sont vite possibles sachant que le lot pompage et le lot conduites sont des lots d'exécution séparés.

Les simulations ont été réalisées avec Cebel-Expert, ce progiciel est particulièrement bien adapté pour réaliser des simulations avec prise en compte de problématiques d'entrée sortie d'air en présence de régimes transitoires.

Claude Frangin  
EauServiceProjet  
6 Juin 2013

(1) : Ingénieur consultant de EauServiceProjet ([www.eauserviceprojet.fr](http://www.eauserviceprojet.fr))  
EauServiceProjet – 8, rue Pdt Kruger 6908 LYON France

Contact : [claudefrangin@gmail.com](mailto:claudefrangin@gmail.com)  
Tél. : 06 07 37 40 25

### Biblio

Norme NF EN 1074-4

Maurice MEUNIER (1980)

Les coups de bélier et la protection des réseaux d'eau sous pression

Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts

Article de CFr/MCo théorie de l'entrée/sortie d'air (non encore publié)

Guide technique 2010 du SNECOREP

Document FNDA n°27