

Régimes transitoires les coups de bélier

1

Coups de bélier

Définition d'un coup de bélier

► **NF EN 805**
Alimentation en eau
Exigences pour les réseaux extérieurs aux bâtiments et leurs composants

§ 3.1.9 **Coup de bélier**
«Fluctuations rapides de la pression dues aux variations de débit pendant de courts laps de temps».

Observation CFr
Régimes transitoires s'établissent entre deux régimes permanents stables d'où la nécessité d'identifier ces régimes.

2

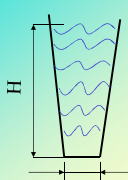
Sommaire

- **Rappels**
- Aspects qualitatifs
- Aspects quantitatifs
- Synthèse

3

Coups de bélier
Rappels

Unités



$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $H = 10,33 \text{ m}$, $S = 1 \text{ m}^2$
 $\rho \cdot g \cdot H = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

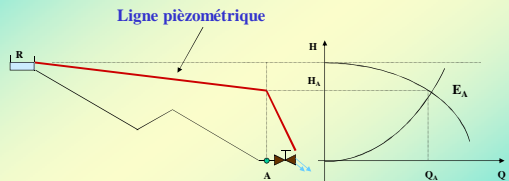
Conversion unités

1 bar = Pa (N/m²)
 1 bar = mCE
 1 bar = daN/cm²

4

Coups de bélier
Rappels

Point figuratif du fonctionnement de l'installation



Question : Tracer la ligne piézométrique à $Q = 50\% Q_A$

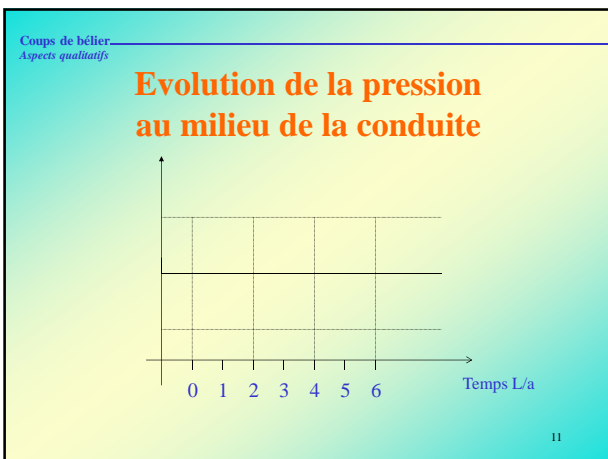
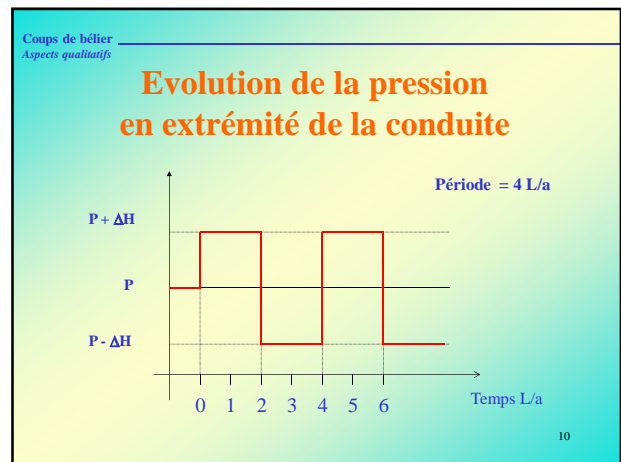
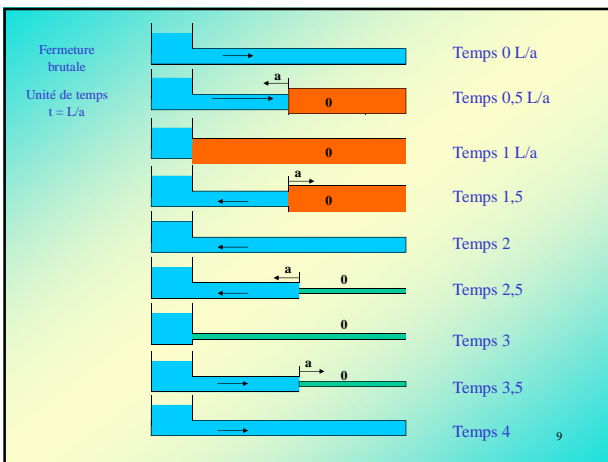
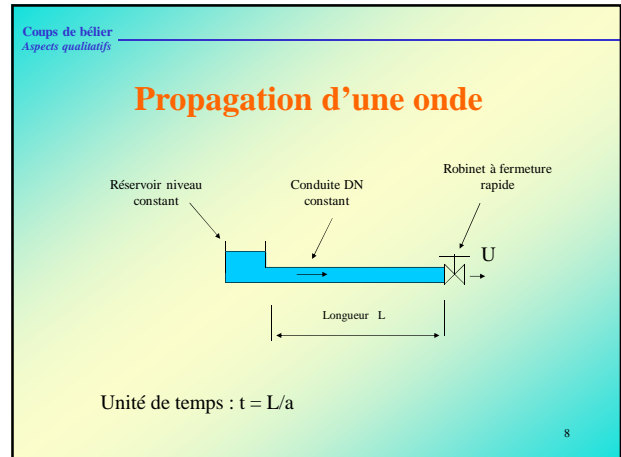
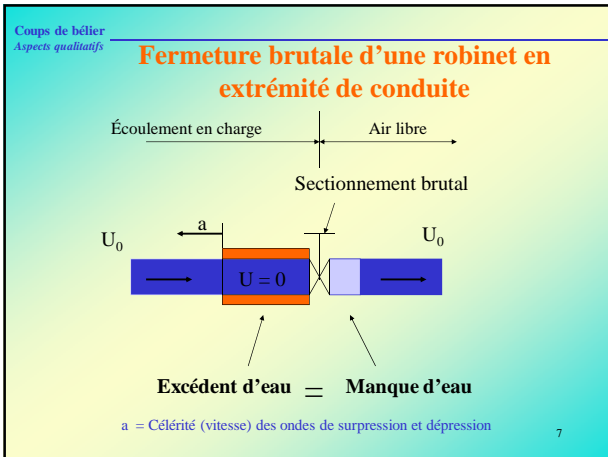
En A : Q_A , H_A

5

Sommaire

- **Rappels**
- **Aspects qualitatifs**
- **Aspects quantitatifs**
- **Synthèse**

6



- ## Sommaire
- Rappels
 - Aspects qualitatifs
 - **Aspects quantitatifs**
 - Synthèse
- 12

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

Valeur de la variation des pressions

Examen pendant un temps $\Delta t = 1$ seconde, $\Delta l = a \cdot \Delta t$
 Variation de la quantité de mouvement de $m = \rho S \Delta l$:
 état initial : $(\rho a S) \cdot U_0$ et état final :
 variation :

Forces extérieures : $(P_0 - P_1)S$
 La surpression ΔH qui remonte la conduite a pour valeur :
 soit $(P_0 - P_1)S = \dots\dots\dots$
 avec $(P_0 - P_1) = \dots\dots\dots \Delta H$
 soit $\Delta H = f(\Delta U) = \dots\dots\dots$

$\Delta l = a \Delta t$

13

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

Variations maximales des pressions Fermeture brusque

Temps manœuvre : T_f Temps de réflexion : $T_r = 2L/a$

Si $T_f < 2L/a$ (manœuvre brusque)
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = a \cdot \Delta Q / g \cdot S$
 ou
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = a \cdot \Delta U / g$
Formule de Joukowski

Coup de bélier d'onde à front raide

14

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

Variations maximales des pressions Fermeture progressive

Temps manœuvre : T_f Temps de réflexion : $T_r = 2L/a$

Si $T_f > 2L/a$ (manœuvre progressive)
 Avec Q coupé en T_f ($Q = U_0 \cdot S$)
 Alors ΔQ coupé en T_r
 $\Delta Q = (2L/a) / T_f \cdot Q$
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = a \cdot \Delta Q / g \cdot S = (a/gS) \cdot (2L/a) / T_f \cdot Q$
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = 2L \cdot U_0 / g \cdot T_f$
Formule de Michaud

15

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

Variations maximales des pressions Fermeture progressive

Temps manœuvre : T_f Temps de réflexion : $T_r = 2L/a$

Si $T_f > 2L/a$ (manœuvre progressive)
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = 2L \cdot U_0 / g \cdot T_f$
Formule de Michaud

Coup de bélier d'onde « progressif »

16

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

Célérité

MATÉRIAU	CÉLÉRITÉ (m/s)
Polyéthylène Hte densité	300
PVC	400
PRV	600
Acier	1100
Inox	
Fonte ductile	1150
Béton	1200
Vaisseau sanguin	9

Attention
 Risques liés à la présence de FtGI (matériaux cassant)
 Fragilité du PVC collé (pas de souplesse)

17

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

AN : Manœuvre d'un robinet

Temps manœuvre : T_f

Données
 Conduite avec célérité $a = 1000$ m/s
 Vitesse fluide 2 m/s
 Chute $H = 50$ m et Longueur $L = 1000$ m
 $T_f = 0,2 - 0,6 - 1,2 - 12$ ou 60 secondes

Calculer ΔH en bar =

18

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

AN : Manœuvre d'un robinet

Données
 $a = 1000$ m/s, Vitesse fluide 2 m/s, Longueur 1000 m
 $T_f = 0,2 - 0,6 - 1,2 - 12$ ou 60 secondes

Avec $T_f = 0,2$ seconde alors $T_f < T_r$ et $\Delta H = \dots\dots$ bar

Avec $T_f = 0,6$ seconde alors $T_f = T_r$ et $\Delta H = \dots\dots$ bar

Avec $T_f = 1,2$ seconde alors $T_f > T_r$ et $\Delta H = \dots\dots$ bar

Avec $T_f = 12$ secondes alors $T_f > T_r$ et $\Delta H = \dots\dots$ bar

Avec $T_f = 60$ secondes alors $T_f > T_r$ et $\Delta H = \dots\dots$ bar

19

Coups de bélier
Aspects quantitatifs

AN : Temps de manœuvre d'un robinet pour limiter la surpression

Temps manœuvre : T_f pour limiter la surpression à 5 mCE

Données
 Conduite avec célérité $a = 1000$ m/s
 Vitesse fluide 2 m/s
 Longueur 3000 m
 Surpression maxi 5 mCE

Calculer T_f en minute =

20

Sommaire

- Rappels
- Aspects qualitatifs
- Aspects quantitatifs
- Synthèse

21

Coups de bélier
d'ondes

Coup de bélier d'onde

Temps manœuvre : $T_f < T_r (2L/a)$

Si $T_f < 2L/a$ (manœuvre brusque)
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = a \cdot \Delta U / g$
Formule de Joukowski

Cette variation est constante le long de la conduite

22

Coups de bélier
d'onde ou de masse

Coup de bélier progressif

Temps manœuvre : $T_f > T_r (2L/a)$

Si $T_f > 2L/a$ (manœuvre progressive)
 alors $\Delta H_{\text{maxi}} = 2 \cdot L \cdot U_0 / g \cdot T_f$
Formule de Michaud

Cette variation est linéaire le long de la conduite

23

Coups de bélier
d'onde ou de masse

Synthèse coups de bélier

Le diagramme illustre la variation de la surpression ΔH le long d'une conduite de longueur L pour deux types de manœuvres :

- Cas $T_f < T_r$ (Coup de bélier d'onde) :** La surpression est constante et égale à $\Delta H = \frac{a \cdot U_0}{g}$. La zone affectée par le coup de bélier s'étend sur une longueur de $L - \frac{a T_f}{2}$.
- Cas $T_f > T_r$ (Coup de bélier progressif) :** La surpression augmente linéairement de 0 à $\Delta H_{\text{max}} = \frac{2 L U_0}{g T_f}$ sur toute la longueur de la conduite.

24

Coups de bélier
d'ondes

Synthèse

Deux types de coups de bélier d'ondes

Coup bélier d'onde	Temps coupure	ΔH maxi en mCE	Application
à Front raide	$Tf < 2L/a$	$\pm a \cdot \Delta U/g$	Constante
progressif	$Tf > 2L/a$	$\pm 2 \cdot L \cdot U_0 / g \cdot Tf$	Linéaire

25

Coups de bélier
Rappels

Cas de la fermeture rapide d'un robinet

Droite de Bergeron

En A : Q_A, H_A

Joukowski : $\Delta H \text{ maxi} = (a/g S) \cdot \Delta Q$

26

Coups de bélier
Méthode graphique

Cas de la station de pompage arrêt d'une pompe

En A : $Q_A, H_A = H_{mf}$

27