



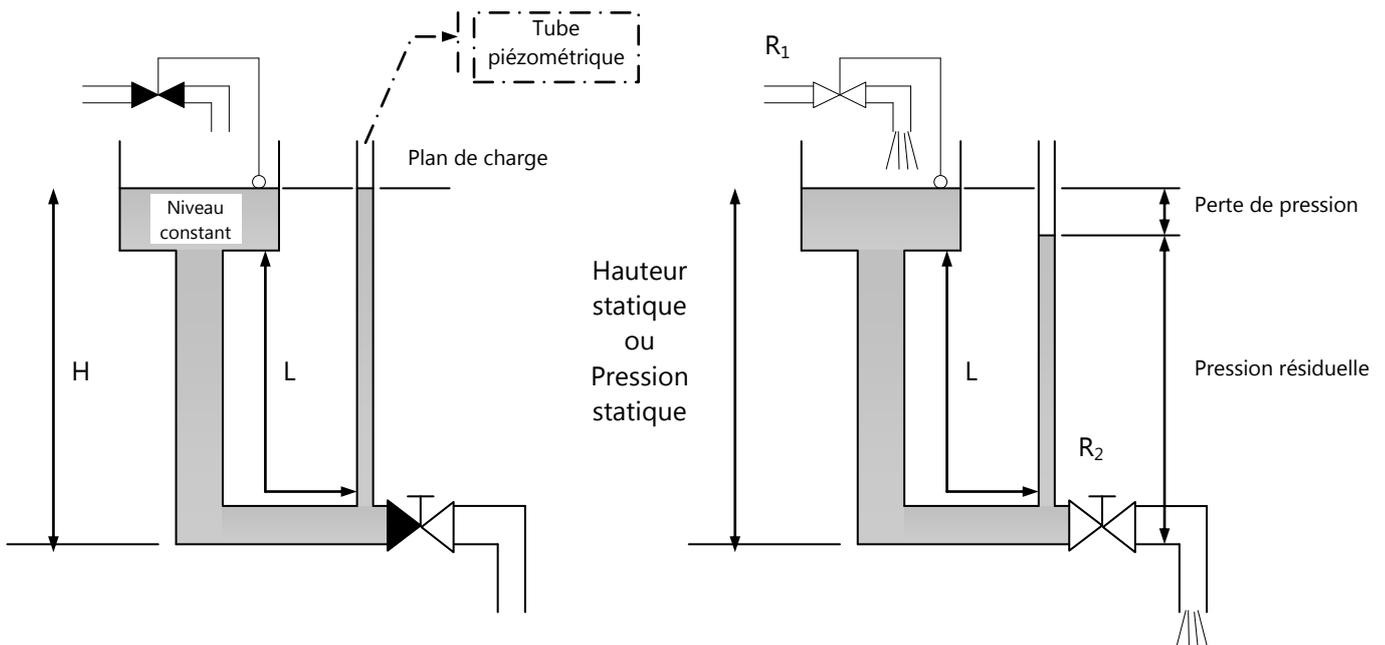
## NOTIONS DE PERTE DE CHARGE PERTE DE PRESSION

En raison de la VISCOSITE des fluides réels, de la RUGOSITE des parois intérieures des conduites et des accidents de parcours inhérents à un tracé fluïdique, l'écoulement d'un fluïde réel fait apparaître une dégradation de l'énergie interne du fluïde, que l'on appelle :

### LES PERTES DE CHARGE

#### I/ MATERIALISATION DES PERTES DE CHARGE

##### 1°) EXPERIENCE :



ROBINETS $R_1$ ET $R_2$ FERMES	ROBINETS $R_1$ ET $R_2$ OUVERTS
Pas d'écoulement : niveaux d'eau identiques	Le niveau d'eau dans le tube est maintenant inférieur au plan de charge
La ligne d'eau dans la partie supérieure du réservoir détermine : <b><u>LE PLAN DE CHARGE</u></b>	La hauteur d'eau dans le tube constitue la pression résiduelle ou <b><u>hauteur piézométrique</u></b>
La hauteur d'eau entre le réservoir et la tuyauterie détermine la : <b><u>HAUTEUR STATIQUE</u></b> de l'installation	La différence de niveau entre le réservoir et le tube matérialise <b><u>la CHUTE de PRESSION</u></b> ou encore <b><u>la perte de charge hydraulique !</u></b>



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 2°) EXTENSION DU PROBLEME

. Une chute de pression est le résultat d'une somme de résistances opposées au passage du fluide par la tuyauterie (pertes par frottement) et des accidents de parcours.

Les pertes de pression, ou Pertes de Charge, seront fonction :

- de la longueur de la conduite
- des éventuels accidents de parcours
- du diamètre de la conduite
- de la vitesse du fluide (donc du débit)
- de la rugosité de la tuyauterie ....

Certains paramètres tels que le diamètre mais aussi la vitesse interviennent dans le calcul du régime d'écoulement : on peut donc en déduire que le calcul des pertes de charge d'une installation passera, notamment, par la connaissance de celui.

En reprenant l'annotation des pertes de charge, on peut écrire :

$$\Delta H = f(Re, \varepsilon, L, qv, \text{Accidents de parcours})$$

Re = f(w, D,  $\rho$ ,  $\mu$ )

Rugosité absolue = f(canalisation)

Qv = f(w, D)

## 3°) DISTINCTION

Afin de rendre l'étude plus aisée, on distinguera :

- ❶ Les pertes de charge **REPARTIES** (ou **LINEAIRES**) : elles se produisent tout au long des canalisations rectilignes pendant l'écoulement régulier du fluide.
- ❷ Les pertes de charge **SINGULIERES** (ou **LOCALISEES**) : elles sont dues aux accidents (obstacles) rencontrés dans les conduites (coudes, dérivation, changement de section, ...).

## II/ PERTES DE CHARGE REPARTIES

L'expérience montre que la perte de charge répartie dans une canalisation est :

- Proportionnelle à la longueur : « L »
- Inversement proportionnelle au diamètre intérieur : « Di »
- Proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement

Notation :

« $J_R$ »	utilisée avec unité [mcf] ou [Pa]
« $\Delta P_R$ »	principalement utilisée en [Pa]

Autre annotation possible : «  $\Delta H_{lin}$  » (principalement en [mcf] (**M**ètre de **C**olonne de **F**luide))



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1°) RELATION

En raisonnant en [Pa] :

$$\Delta P_R = \Lambda \times \frac{L}{D_i} \times \frac{w^2}{2} \times \rho$$

Avec :	$\Lambda$ :	Facteur de perte de charge répartie	(sans dimension)
	L :	Longueur de la conduite	[m]
	$D_i$ :	Diamètre de la canalisation	[m]
	w :	Vitesse du fluide	[m/s]
	$\rho$ :	Masse volumique du fluide	[kg/m <sup>3</sup> ]

## 2°) PERTE DE CHARGE LINEIQUE

$$\ll \Delta P = j \gg$$

Elle définit la perte de charge répartie par mètre de conduite.

Elle est très souvent utilisée dans des abaques, valables uniquement pour des conduits cylindriques, ou tableaux de valeurs.

En raisonnant en [Pa/m] :

$$\Delta P_R = j = \Lambda \times \frac{1}{D_i} \times \frac{w^2}{2} \times \rho$$

## 3°) FACTEUR DE PERTE DE CHARGE REPARTIE

Il est aussi appelé « Facteur de frottement ». Il dépend :

- Du régime d'écoulement : « Re »
- De la rugosité absolue de la conduite : «  $\varepsilon$  »
- Du diamètre de la canalisation «  $D_i$  »

La recherche de ce facteur peut se réaliser soit en utilisant des relations empiriques ou en exploitant un diagramme appelé « diagramme Universel » ou « **diagramme de MOODY** ».

## III/ FACTEUR DE PERTES DE CHARGE REPARTIES – DIAGRAMME DE MOODY

Afin de tenir compte de tous les facteurs cités précédemment, on considérera plusieurs types d'écoulement :

<b>REGIME LAMINAIRE</b> $\lambda = f(Re)$
Equation : $\Lambda = \frac{64}{Re}$
<b>LOI DE POISEUILLE</b>



<b><u>REGIME TURBULENT</u></b>		
<u>LISSE</u> $\Lambda = f(\text{Re})$ (Paroi hydrauliquement lisse)	<u>TRANSITOIRE</u> $\Lambda = f(\text{Re} ; \frac{\epsilon}{D})$	<u>RUGUEUX</u> $\Lambda = f(\frac{\epsilon}{D})$ (Paroi hydrauliquement rugueuse) Pour $\text{Re} > 1.10^5$
<u>Equation : pour <math>\text{Re} &lt; 1.10^5</math></u> $\Lambda = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}$ <u>LOI DE BLASIUS</u>	Cette zone, aussi appelée ZONE TRANSITOIRE, délimite la fin du régime turbulent lisse et le début du régime turbulent rugueux. Elle a été étudiée par WHITE et COLEBROOK.  la grande majorité des écoulements étudiés se situent habituellement dans cette zone.	<u>1<sup>ère</sup> Equation :</u> $\frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = -2 \log \frac{\epsilon}{3.71 \times D}$ <u>LOI DE KARMAN - NIKURADSE</u>
<u>Equation : pour <math>\text{Re} &gt; 1.10^5</math></u> $\frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = -2 \log \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\Lambda}}$ <u>LOI DE PRANDL - NIKURADSE</u>		<u>2<sup>ème</sup> Equation : (avant projet)</u> $\Lambda = 0.79 \times \sqrt{\frac{\epsilon}{D}}$ <u>EQUATION DITE DE BLENCH</u>

Pour représenter simultanément la perte de charge en régime turbulent lisse, turbulent rugueux mais aussi dans la zone de transition entre les deux régimes, WHITE et COLEBROOK ont regroupé les lois correspondantes.

La forme générale est la suivante : 
$$\frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = -2 \times \log \left( \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\Lambda}} + \frac{\epsilon}{3,71 \times D} \right)$$

L'ensemble de ces lois sont représentées sous forme d'un graphique (fourni en annexe) appelé : **DIAGRAMME UNIVERSEL** ou de **DIAGRAMME DE MOODY** et permettant de déterminer «  $\Lambda$  » **pour des conduits cylindriques.**

#### **IV/ FACTEUR DE PERTES DE CHARGE SINGULIERES**

La perte de charge localisée, due à un accident, dépend de la pression dynamique du fluide qui circule :

$$P_{dyn} = \frac{w^2}{2} \times \rho \quad \text{en [J/m}^3\text{] ou [Pa]}$$

##### **1°) METHODE DU FACTEUR DE PERTE DE CHARGE LOCALISEE**

Chaque accident est caractérisé par un facteur de perte de charge.

La détermination des modules est expérimentale et les principales valeurs sont fournies dans le tableau joint en annexe.

Notation : «  $\zeta$  » (Zéta) (sans dimension)

DETERMINATION DE LA PERTE DE CHARGE SINGULIERE : 
$$\Delta P_s = \zeta \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad \text{en [Pa]}$$

##### **2°) METHODE DE LA LONGUEUR EQUIVALENTE :**

On remplace chaque accident par une longueur équivalente (notation «  $L_{eq}$  ») de canalisation droite qui entraînerait la même perte de charge.



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

**Exemple :** Sur une canalisation est disposé 3 coudes à 90 ° et chaque coude à une longueur équivalente de 1.5 m.



Longueurs droites :

AB = 5 m  
BC = 7 m  
CD = 3 m  
DE = 5 m

Longueur développée de la canalisation :  $L = 20$  m

Longueur équivalente des accidents :  $Leq = 4,5$  m

L'étude des pertes de charge se fera avec une longueur de canalisation de 24,5 m, alors que la longueur développée n'est que de 20 m.

### 3°) METHODE DU POURCENTAGE FORFAITAIRE

Il est parfois d'usage d'estimer les pertes de charge singulières en [%] des pertes de charge réparties.

**Exemple :** On estime à 15 % les pertes de charge singulières : cela revient à écrire :

$$\Delta P_s = 0.15 \times \Delta P_R$$

ou

$$\Delta P_s = 0.15 \times j \times L$$

$j$  : Pertes de charge linéiques en [Pa/m]

$L$  : longueur développée de la conduite en [m]

## V/ PERTE DE CHARGE D'UN TRONÇON D'UN RESEAU

### 1°) DEFINITION D'UN TRONÇON

C'est une portion de réseau où les conditions d'écoulement sont constantes, en pratique diamètre et débit sont constants.

### 2°) PERTES DE CHARGE TOTALES D'UN TRONÇON

C'est la somme des pertes de charge réparties et singulières du tronçon :

$$\Delta P = \Delta P_R + \Delta P_s = A \times \frac{L}{D_i} \times \frac{w^2}{2} \times \rho + \sum \zeta \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad \text{en [Pa]}$$

Que l'on peut aussi écrire selon les différentes méthodes :

1]  $\Delta P = j \times L + \sum \zeta \times P_{\text{dynamique}}$  («  $j$  » en [Pa/m])

2]  $\Delta P = j \times (L + Leq)$  (Leq = Longueur équivalente)

3]  $\Delta P = j \times L + (\% j \times L)$  avec 15 % :  $\Delta P = 1,15 j \times L$

### 3°) EQUATION D'UN RESEAU (OU TRONÇON)

Il nous sera très utile de rechercher l'équation d'un réseau (ou tronçon) afin :

- D'observer l'évolution des pertes de charge en fonction du débit
- De définir les conditions optimales de fonctionnement d'une pompe ou d'un ventilateur sur un réseau.

EQUATION :

$$\Delta H \text{ en [mcf]} \quad \Delta H_t = Z \times qv^2 \quad qv \text{ en [m}^3/\text{s]}$$

$$Z = \left[ \frac{1}{2 \times g \times S^2} \times \left( A \times \frac{L}{D_i} + \sum \zeta \right) \right] \text{ en [s}^2/\text{m}^5]$$

avec «  $Z$  » : coefficient caractéristique du réseau



## ÉCOULEMENT DE L'AIR DANS UN CONDUIT

### Etude théorique - Caractéristiques dimensionnelles

L'écoulement d'un fluide dans les conduits aérauliques d'une installation de ventilation (conditionnement d'air - VMC) est lié à des pertes de pression dues tant aux frottements du fluide sur les parois (pertes de charge linéaires) qu'aux changements de direction et de section, obstacles (coudes, filtres, batteries, volets, ...).

C'est le rôle des ventilateurs (de soufflage et de reprise) de vaincre ces pertes de pression (ou pertes de charge) dans les conduits afin de permettre la circulation des fluides.

### 1) CONDITIONS D'ETUDE DE L'ÉCOULEMENT DE L'AIR :

- 1) Les fluides gazeux seront considérés comme **INCOMPRESSIBLES**. Toutefois, si l'air subit une augmentation de pression de plus de 3000 Pa (entrée – sortie d'un ventilateur) il ne pourra plus être considéré comme *Incompressible*, et l'énergie fournie par le ventilateur devra être déterminée en conséquence (*cas rare en conditionnement d'air*).
- 2) En étude préalable, la température de l'air véhiculé est prise égale à 20°C sous une altitude de 0m. Des corrections seront à apporter aux différentes caractéristiques si les conditions d'étude sont différentes.
- 3) Les caractéristiques des fluides en mouvement (*débits - pressions - pertes de charge - températures*) dans un circuit sont définies en **régime permanent et stable**, dans les conditions de fonctionnement optimales (100% de charge).
- 4) Les lois régissant la conservation de l'énergie seront toujours vérifiées.

### 2) CONSERVATION DE L'ENERGIE : ÉQUATION DE BERNOULLI

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » (LAVOISIER)

Afin de caractériser l'énergie en un point d'un fluide, nous utilisons l'équation de Bernoulli. :  $P + \rho \cdot g \cdot Z + \rho \cdot W^2 / 2 = Cte$

- Le terme  $(\rho \cdot W^2 / 2)$  est appelé PRESSION DYNAMIQUE
- Le terme (P) est appelé PRESSION STATIQUE

Les pertes de pression se déduiront de l'énergie initiale : -  $\Delta P_{statique}$

Le ventilateur fournit de l'énergie au fluide : +  $\Delta P_{total}$

L'étude de l'évolution de l'énergie d'un fluide en mouvement, et donc de ses caractéristiques, se définira en réalisant un bilan énergétique entre deux ou plusieurs points choisis judicieusement.

#### 1) PERTES DE CHARGE REGULIERES OU LINEAIRES

Les frottements sont à l'origine de la chute de pression statique d'un fluide dans un conduit. Elle s'écrit :

$$\Delta P_R = j = \Lambda \times \frac{1}{D_i} \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad \text{en [Pa/m]}$$

$D_i$  : diamètre intérieur d'un conduit cylindrique en [m]

J : perte de charge linéique en [Pa/m]

$\Lambda$  : coefficient de perte de charge répartie  $\Lambda = f(\text{Re} ; \frac{\varepsilon}{D})$



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Revêtement Matériaux	Encadrement $\varepsilon$ en mm	Valeur courante $\varepsilon$ en mm
Plastique (ex : PVC)	0,01 à 0,05	0,03
Aluminium	0,04 à 0,06	0,05
Acier Inox	0,05	
<i>Fib Air Métal (aluminium)</i>		0,06
Acier Galvanisé à joint spirale	0,05 à 0,12	0,1
Fibre de verre	1,2 à 2,1	1,6
<i>Fib Air Classic (fibre de verre)</i>		0,9

Il est souvent attribué des valeurs forfaitaires à «  $j$  » : elles sont issues des recommandations en matière de vitesses limites d'écoulement, habituellement utilisées afin de limiter la génération de bruit dans les conduits.

- Pour l'eau :  $10 < j$  en daPa/ml  $< 20$  (20 mmce/ml jusqu'au DN100)
- Pour l'air :  $j < 1$  Pa/ml ( $j = 0,7$  Pa/ml en VMC par exemple)

Pour chaque cas de figure, une valeur pourra être arbitrairement fixée : elle permettra de définir le diamètre théorique du conduit.

### Vitesses admissibles dans les conduits d'air

TABLEAU 1	Basse Pression						Haute Pression	
	Habitations		Bureaux		Commerces			
	Théâtres		Hôpitaux		Restaurants		Inducteurs	
Applications	Salles de concert		Bâtiments publics		Industries		Longues distributions	
	Vitesses dans les conduits [m/s]							
	Normal	Maxi	Normal	Maxi	Normal	Maxi	Normal	Maxi
Conduit principal	4	6	6	8	7.5	11	12 - 18	30
Conduit montant	3.5	5.5	5	7	6.5	10	11 - 16	25
Conduit de distribution	3	5	4	6.5	5	9	10 - 15	22

## 2) SINGULIERES OU PARTICULIERES :

Chaque dérivation, coudes, clapets, bouches, volets d'air entraînent aussi des pertes de pression.

Elles peuvent être directement chiffrées (*cas des bouches*) en Pa, calculées à l'aide des relations, ou bien en utilisant des valeurs tabulées :

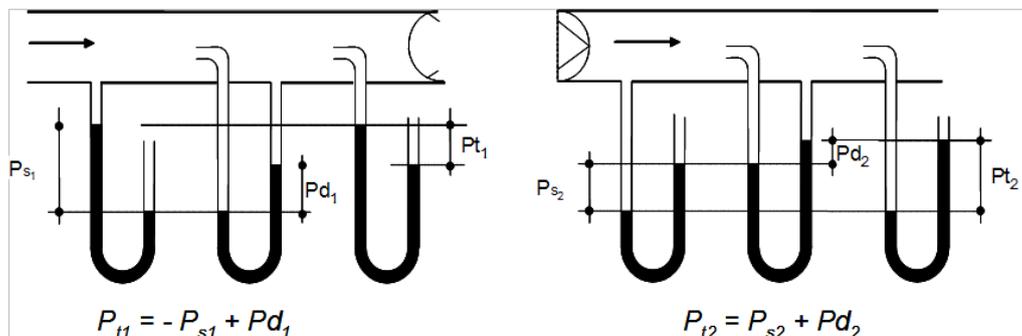
Conduits à section rectangulaire (b = largeur ; a = hauteur)																
	b/a	R/a	0,25	0,5	1,0	4,0		C/a	R/a	0,25	0,5		S2/S1	$\zeta$		
			0	0,5	0,75	1,0									1,5	0,5
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$
	$\alpha$	$\zeta_1 = 0$	15°	30°	45°	60°	90°	$\zeta_2$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$	$\alpha$	$\zeta$

Conduits à section circulaire (diamètre = D)											
	R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		$\alpha$	$\zeta$
	0,5	0,9		0,5	1,3		0,5	1,1		15°	0,1
	0,75	0,45		0,75	0,8		0,75	0,6		30°	0,2
	1,0	0,35		1,0	0,5		1,0	0,4		45°	0,5
	1,5	0,25		1,5	0,3		1,5	0,25		60°	0,7
2,0	0,2	2,0	0,25	2,0	0,2	90°	1,3				
	$\alpha$	$\zeta_2$		R/D	$\zeta_2$		R/D	$\zeta_2$		$\alpha$	$\zeta_2$
	15°	0,1		0,5	1,3		0,5	1,2		15°	0,1
	30°	0,3		0,75	0,9		0,75	0,6		30°	0,3
	45°	0,5		1,0	0,8		1,0	0,4		45°	0,7
	60°	0,7		1,5	0,6		1,5	0,25		60°	1,0
90°	1,3	2,0	0,5	2,0	0,2	90°	1,4				
				$\alpha$	$\zeta$		R/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				0°	0,9		0,2	0,2		0,1	2,5
				15°	0,5		0,5	0,1		2,5	
				30°	0,3		0,8	0,05		2,5	
				45°	0,3		0,6	0,05		2,3	
60°	0,4	0,8	0,05	1,9							
90°	0,5	0,8	0,05	1,5							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							
				$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$
				5°	0,15		0,1	0,6		1 + 0	
				10°	0,25		0,2	0,5		0,9 + 0,1	
				15°	0,4		0,4	0,4		0,8 - 1	
				30°	0,8		0,6	0,3		0,8 - 2	
45°	0,9	0,8	0,2	0,7 - 5							
90°	1,0	0,8	0,2	0,6 + 8							

### 3) PRESSION TOTALE

#### 31) EN UN POINT D'UN RESEAU

La pression totale en un point d'un fluide se définit par sa pression statique et dynamique.



$P_s$  : Pression statique mesurée

$P_t$  : Pression totale en 1 point

Pour la mesure de la pression dynamique : cf. document KIMO : Tube de PITOT

#### 32) POUR UN TRONÇON

De part la définition d'un tronçon, représentant tout ou partie d'un réseau caractérisé par un même régime d'écoulement entre l'entrée du fluide et sa sortie (section et débit identiques), les pertes de pression représentent alors la somme des pertes de pression statique entre les 2 points définis.

La vitesse restant constante entre ces points, la pression dynamique s'annule.

Dans ce cas, la pression totale différentielle  $\Delta P_t$ , s'écrit :

$$\Delta P_t = \Delta P_s = (\Delta P_{lin} + \Delta P_{sing}) + \Delta P_{particulieres}$$

**Nota :** Les  $\Delta P_{particulieres}$  représentent les pertes de charge d'équipements évaluées directement en Pa

**Remarque :** La pression différentielle totale engendrée par un équipement aéraulique (ventilateur, bouches, coudes, ...) ne pourra être complètement définie que par la seule application de l'équation de Bernoulli.

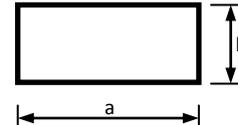


## PERTE DE CHARGE D'UN TRONÇON - CAS PARTICULIER DES CONDUITS NON CIRCULAIRES

Principalement pour la circulation d'air, et souvent dicté par des contraintes d'encombrement, on est amené à utiliser des conduits rectangulaires, mais aussi oblongs.

Dans ce cas, la détermination de la perte de charge linéique ne pourra plus s'obtenir directement sur des abaques.

### 1°) CAS DES CONDUITS RECTANGULAIRES



DIAMETRE HYDRAULIQUE : « Dh »

Le diamètre hydraulique d'un conduit est celui d'un conduit circulaire

engendrant la **même perte de charge** et véhiculant le fluide avec une **vitesse d'air identique**

$$D_h = \frac{2 \times (a \times b)}{(a + b)}$$

DIAMETRE EQUIVALENT : « De »

Le diamètre équivalent d'un conduit est celui d'un conduit circulaire

engendrant la même perte de charge et véhiculant le fluide avec un **débit d'air identique**

$$D_e = 1,265 \times \left[ \frac{a^3 \times b^3}{a + b} \right]^{0,20}$$

Nota : En pratique, on, évite les rapports trop importants entre les côtés tel que :

$$\frac{a}{b} < 7$$

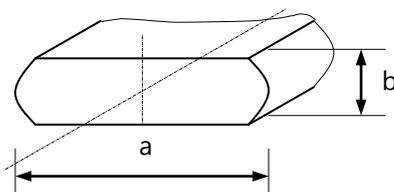
Le document annexe donne, sous forme d'abaques, la détermination du diamètre hydraulique ou équivalent de conduit rectangulaire.

### 2°) CAS DES CONDUITS OBLONGS

Ce type de conduit est de plus en plus utilisé et permet de réaliser des réseaux aérauliques (ventilation, conditionnement d'air) dans les locaux ou l'espace et la section de passage sont petits (faux plafond par exemple)

Le diamètre équivalent est donné par le fabricant en correspondance avec les dimensions du conduit oblong.

→ Forme du conduit :



→ Diamètre équivalent :

$$D_e = 1,55 \times \frac{\left[ (a-b) \times b + \frac{\pi \times b^2}{4} \right]^{0,625}}{\left[ 2 \times (a-b) + \pi \times b \right]^{0,25}}$$

Nota : La détermination de « λ » se fera avec les relations ou abaques vus précédemment à condition que (a/b < 5)



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 3) INFLUENCE DU DEBIT ET DE LA MASSE VOLUMIQUE SUR LES PERTES DE CHARGE

En partant de la relation bien connue et en considérant que le coefficient « Z » est invariable, on peut écrire :  $\Delta P = Z \times Qv^2$

$$\Delta P_1 = Z \times Qv_1^2$$

$$\Delta P_2 = Z \times Qv_2^2$$

### 1) VARIATION DE $\Delta P$ EN FONCTION DU DEBIT VOLUMIQUE $Qv$ SI $Z$ EST INCHANGE

$$\frac{(\Delta P_1)}{(\Delta P_2)} = \frac{Qv_1^2}{Qv_2^2}$$

Cette relation est importante car elle permet de déterminer la perte de charge d'un élément (ex batterie de ventilo-convecteur, aérotherme, ...) sous un débit évalué ou imposé (donc réel) à partir de données ( $Qv$  et  $\Delta P$ ) fixées par le constructeur ou par calcul.

### 2) VARIATION DE $\Delta P$ EN FONCTION DU $\rho$ SI LE DEBIT $Qv$ EST INCHANGE

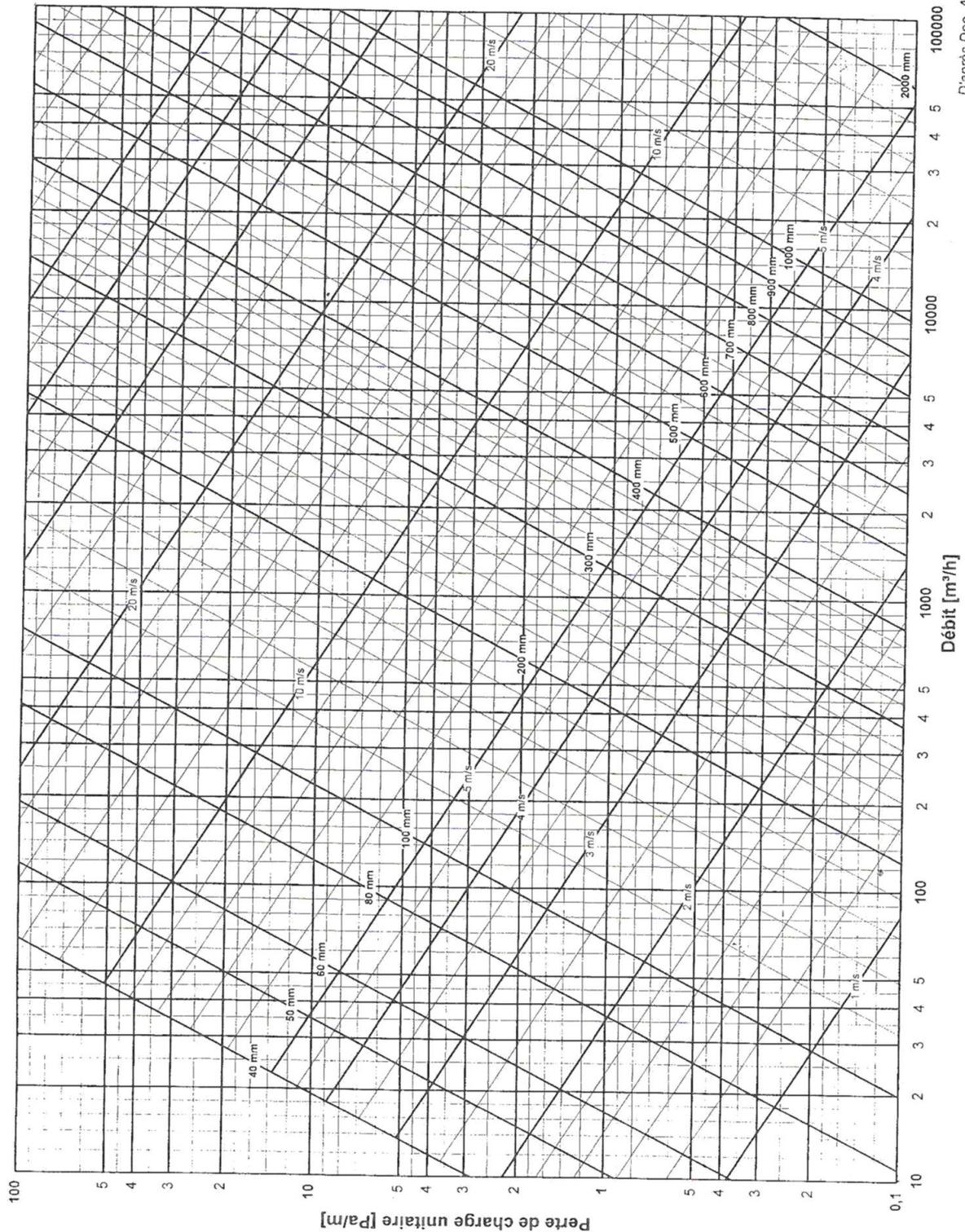
$$\frac{(\Delta P_1)}{(\Delta P_2)} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Relation intéressante lorsque on souhaite déterminer la perte de charge sur l'air, d'une batterie, soumis à un échauffement ou refroidissement sous un débit volumique inchangé (ce qui est le cas dans les réseaux aérauliques sans fuite !)



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Diagramme des pertes de charge pour l'air  
dans les conduits métalliques circulaires pour une température de 20 °C



D'après Doc. ANEMOTHER

Exemple de lecture :

$Q_v = 1000 m^3/h$  - Diamètre nominal = 200mm  
D'où une perte de charge linéique de 5,2 Pa/m



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## EQUILIBRAGE AERAIQUE DES RESEAUX

### Approche générale

L'objectif premier de l'équilibrage aéraulique est d'assurer à chaque bouche le débit nécessaire. Ceci passe par l'établissement, au droit de chaque bouche, d'une pression adaptée.

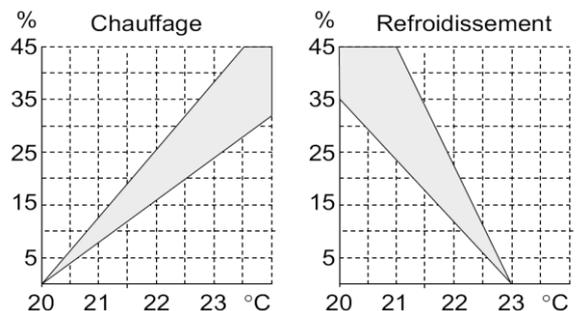
Les organes d'équilibrage permettront les ajustements de débit indispensables, soit après une modification d'installation, soit par suite des inévitables imprécisions de calcul.

Il est toutefois plus prudent de prévoir des organes d'équilibrage sur des installations calculées par des méthodes telles que celle des pertes de charge constantes ( $j = \text{cste}$ ) ou celle du « regain de pression statique » (autrement appelée « récupération de pression dynamique »), même si théoriquement ces méthodes permettent un auto-équilibrage des réseaux.

L'objectif essentiel pour une installation de chauffage et de climatisation est l'obtention de conditions d'ambiance confortables stables en toute saison. Sa conception (étude et mise en œuvre) devra en outre réduire les coûts d'exploitation et la maintenance.

Toutefois, si en théorie la technologie moderne semble satisfaire les besoins, la pratique montre un niveau important de mécontentements tant sur le plan du confort que sur les coûts d'exploitation sans cesse en hausse.

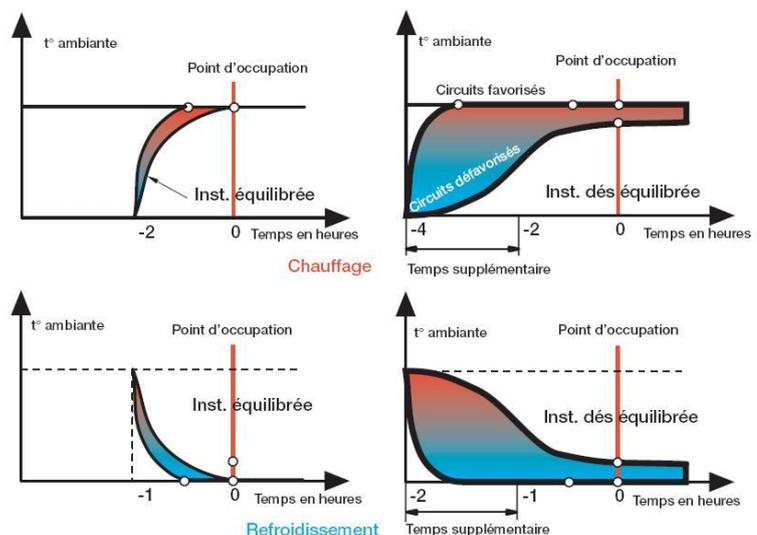
*Accroissement de l'énergie consommée par degré d'écart par rapport à la température ambiante de confort.*



On parle alors d'installations **EQUILIBREES** ou **DESEQUILIBREES**.

*La solution d'un démarrage de l'installation beaucoup plus tôt dans le temps ne semble satisfaire que les circuits favorisés, mais :*

- Consommation accrue
- Ecart résiduel persistant de température ambiante



Document Tour Anderson



# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 1. COUT ENERGETIQUE D'UNE PERTE DE CHARGE

On peut estimer le coût d'une perte de charge par la relation :

$$C_{en kWh} = \frac{Q_v \times \Delta P \times T_{\text{temps de fonctionnement du ventilateur}}}{3600 \times R_{\text{rendement du Ventilateur}} \times 1000}$$

Le seul facteur sur lequel on peut agir pour réduire le coût énergétique d'une installation sans modifier la **Qualité de l'Air ambiant** est la Perte de charge !

Exemple :  $Q_v = 8000 \text{ m}^3/\text{h}$        $\Delta P = 160 \text{ Pa}$   
Rendement = 65%  
Au cours d'une journée de fonctionnement !  
Coût moyen du kWh électrique consommé par le ventilateur : 0,10€

Soit un coût énergétique de :

$$C_{en kWh} = \frac{8000 \times 160 \times 24}{3600 \times 0,65 \times 1000} = 13,13 \text{ kWh}_{24h}$$

$$C_{en kWh} = \frac{8000 \times 160 \times 24}{3600 \times 0,65 \times 1000} = 13,13 \text{ kWh}_{24h}$$

Et sur 365 jours :       $C_{en kWh} = 13,13 \times 365 = 4792,45 \text{ kWh}$        $C_{en €} = 479,25 \text{ €/an}$

### Nota :

En utilisant l'abaque de perte de charge fourni dans ce document, on peut estimer la perte de charge de chaque tronçon d'un réseau aéraulique et évaluer ainsi le coût énergétique du diamètre choisi !

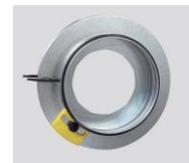
Ce coût augmentera inévitablement au cours du fonctionnement dans le temps du ventilateur du fait de l'usure des équipements, de l'encrassement des réseaux (dépôts sur la surface interne des conduits), mais aussi de la filtration de l'air comprenant le changement régulier du système de filtration.

## 2. DISPOSITIFS D'EQUILIBRAGE

Il existe de multiples types de dispositifs d'équilibrage.

Citons par exemple :

- Volets (à lames parallèles ou opposées)
- Diaphragmes
- Clapets à iris
- Clapets papillon
- ...



Clapets et registre de réglage – Doc France air

Pour les éléments circulaires, le diamètre des dispositifs correspond au diamètre des conduits normalisés.

Attention toutefois aux conduits rectangulaires dont les dimensions déterminées par calculs pourraient poser des problèmes de sélection de clapets de dosage (voir constructeurs pour dimensions standards)

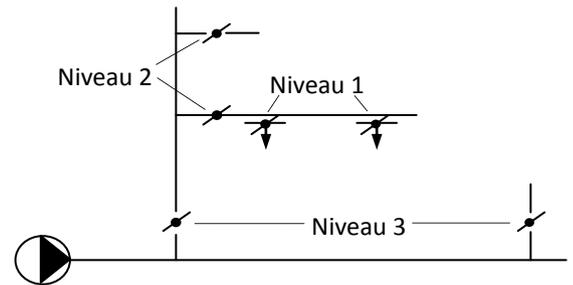


# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

## 3. IMPLANTATION DES ORGANES D'EQUILIBRAGE

Une installation aéraulique est souvent ramifiée et possède plusieurs niveaux de subdivision. Le réglage du débit de chaque bouche relève d'organes d'équilibrage terminaux que l'on qualifie d'organes de 1<sup>er</sup> niveau. Les niveaux d'ordres supérieurs correspondent aux organes de réglage disposés sur les conduits communs, à chaque point de subdivision de l'installation, en s'éloignant des bouches pour se rapprocher du ventilateur.

Le fait de prévoir des organes d'équilibrage à chaque niveau facilite beaucoup la mise au point de l'équilibrage, aussi bien lors de la première mise en service, qu'à l'occasion d'une modification.



Le bruit généré par un organe d'équilibrage augmente avec sa perte de charge.

Il est donc parfois utile voir nécessaire d'éloigner le point de réglage afin de bénéficier de l'atténuation naturelle du niveau sonore.

Si cela est impossible, il faudra augmenter les réglages des niveaux supérieurs afin de limiter les valeurs terminales.

### IMPLANTATION

Chaque organe est généralement implanté en aval du point de dérivation de l'installation, et commande le débit dans l'une des branches issues de cette dérivation.

## 4. SELECTION

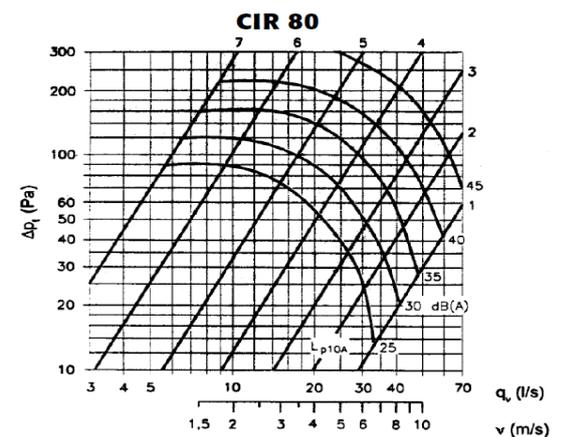
Pour sélectionner un clapet de dosage, il faut connaître la perte de charge à créer «  $\Delta P$  » ainsi que le débit de passage «  $Q_v$  ». Il est, la plupart du temps, souhaitable de sélectionner un organe en position d'ouverture intermédiaire, de manière à conserver toute possibilité d'ajustement du débit.

Si l'organe est un dispositif réglable, les fabricants donnent un diagramme de pertes de charge en fonction du degré d'ouverture, du débit et d'un critère acoustique. De ces tracés on peut en déduire le degré d'ouverture.

Exemple Doc France Air – Diamètre 80 mm

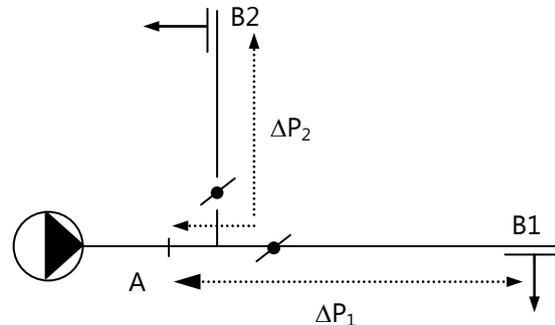


### > Version standard





## VALEUR DE LA PERTE DE CHARGE A CREER



- 1) Calculer les pertes de charge totales de chaque branche, depuis le point situé en amont de la dérivation jusqu'à la bouche la plus éloignée.
- 2) Comparer ces valeurs totales. La branche la plus forte est la plus défavorisée : **Réseau le plus défavorisé**. Son organe d'équilibrage sera grand ouvert. Ceux des autres branches seront ajustés.
- 3) Calculer, pour chaque branche, la différence de sa perte de charge avec celle de la branche la plus défavorisée. Cette différence représentera la perte de charge de son organe d'équilibrage.

On peut aussi définir la position de l'organe de réglage par l'intermédiaire de la relation :

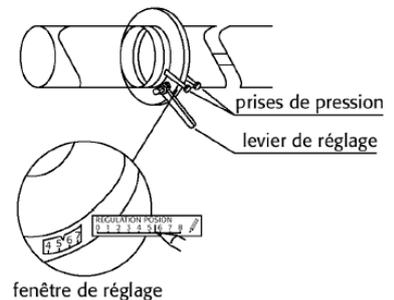
$$q_v = K \times \sqrt{\Delta P} \quad \Delta P = \left( \frac{q_v}{K} \right)^2$$

$q_v$  : Débit de fluide traversant la vanne : [m<sup>3</sup>/h]

$\Delta P$  : Perte de charge de la vanne dans le réseau en [bar]

$\rho$  : Masse volumique du fluide en [kg/m<sup>3</sup>]

où la valeur de la  $\Delta P$  sera définie comme préalablement, le débit lui étant déjà connu !



Attention toutefois aux unités des paramètres fournis par les fabricants !!!

Ø	Position														
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
80	6,1	–	4,1	–	3,2	–	2,3	–	1,4	–	0,9	–	0,6	–	–
100	10,4	7,9	7,5	6,6	6,0	5,2	4,5	3,8	3,4	2,9	2,5	2,1	1,7	1,2	0,9
125	13,8	10,4	8,8	7,3	6,5	5,5	4,7	4,0	3,5	3,1	2,7	2,2	1,5	–	–
150	24,1	20,0	16,5	14,9	13,4	12,0	11,0	10,0	8,9	7,9	6,9	6,0	5,2	4,4	3,7
160	22,1	17,2	14,8	13,4	12,5	11,5	10,7	9,5	8,5	7,5	6,8	5,6	4,9	4,0	3,5
200	44,2	36,6	30,9	26,9	23,2	20,6	18,2	15,9	14,0	12,3	11,0	9,6	8,4	6,5	5,0
250	64,4	53,5	45,6	41,8	38,7	34,5	30,7	27,3	24,1	21,4	18,4	15,8	12,8	10,9	8,9
315	118,0	88,3	70,0	64,5	58,7	53,0	45,1	42,4	37,0	33,3	30,0	25,9	21,8	19,0	15,8
400	131,0	–	102,0	–	88,3	–	67,3	–	52,7	–	38,5	–	28,4	–	15,5
500	230,0	–	177,0	–	146,0	–	112,0	–	88,5	–	66,6	–	48,0	–	30,0
630	451,0	–	297,0	–	238,0	–	169,0	–	127,0	–	91,6	–	62,8	–	35,1
800	489,0	–	402,0	–	344,0	–	267,0	–	217,0	–	170,0	–	122,0	–	73,7

$$q_v = k \sqrt{\Delta p_m}$$

[l/s] [Pa]

Exemple : Doc France Air – CIRC – **Attention** : Unités différentes !!