

# Comment choisir les vannes de régulation



## Table des matières

Coefficient de débit $C_v$ .....	3
Conditions de service.....	3
Densité .....	3
Chute de pression dans la vanne.....	4
Débit.....	4
Formules pour liquides.....	5
Facteur de récupération de pression $F_L$ .....	6
Facteur de récupération de pression entre convergent et divergent $F_{LP}$ .....	6
Cavitation .....	6, 7
Comment éviter la cavitation.....	7
Influence des convergents-divergents .....	7
Ecoulements non turbulents.....	8
Formules pour gaz et vapeur d'eau.....	9
Formules pour vannes multi-étagées avec gaz et vapeur d'eau.....	10
Facteur de rapport des chaleurs spécifiques $F_k$ .....	10
Facteur de détente $Y$ .....	10
Ecoulement biphasique.....	11
Ecoulement engorgé .....	12
Fluides supercritiques .....	12
Compressibilité.....	13-14
Constantes thermodynamiques critiques .....	15-16

## Données techniques

Vitesse des liquides dans les tuyauteries .....	17
Vitesse de la vapeur d'eau et des gaz dans les tuyauteries .....	18-19
Caractéristiques des tuyauteries industrielles.....	20-21
Constantes physiques de la vapeur d'eau .....	22-27
Table de conversion des températures.....	28
Dimensionnement des vannes de régulation .....	29-30
Tableaux de conversion unités métriques / unités anglo-saxonnes.....	31-32
Bibliographie .....	33

Note : Les tableaux des  $C_v$ ,  $F_L$ ,  $x_T$  et  $K_c$  en fonction de la course se trouvent dans le Supplément du document Masoneilan OZ 1000 "Comment choisir les vannes de régulation".

Ce manuel de dimensionnement des vannes de régulation repose sur les définitions et les équations des normes ISA S75.01 et CEI 534-2. Ce manuel apporte aussi des explications et des informations supplémentaires.

Les formules de dimensionnement reposent sur les équations de calcul de débit des fluides compressibles et incompressibles à travers les vannes de régulation. Ces formules ne sont pas valables pour des fluides non newtoniens, des boues ou des solides "secs".

Masoneilan a développé des formules et des méthodes qui tiennent compte des écoulements biphasiques, des écoulements multiétagés et des fluides supercritiques.

Les valeurs des constantes numériques et des facteurs de correction sont données dans plusieurs unités, en unités américaines et en unités métriques.

L'ensemble de ces formules a pour objectif d'être une aide à la détermination d'une vanne appropriée à une application bien spécifique.

Dans ces formules, les données connues sont les paramètres du fluide, les conditions de débit et les caractéristiques de la vanne choisie à l'ouverture nominale. Avec ces données, on peut calculer les paramètres inconnus (par exemple  $F_p$ ,  $C_v$ ). Toutefois, même si ces facteurs sont calculés pour déterminer une vanne, ils ne représentent pas les conditions de service réelles. Certains des facteurs calculés le sont pour la course nominale, tandis que d'autres, relatifs aux conditions de service, le sont pour une ouverture partielle de la vanne.

Une fois la dimension de la vanne déterminée, on peut calculer les inconnues restantes tel que  $F_p$ . Une première appréciation peut donc être faite quant au bon dimensionnement de la vanne. Il n'est pas nécessaire de continuer les calculs pour prévoir l'ouverture exacte de la vanne. Pour cela, il faudrait connaître tous les paramètres pour des ouvertures partielles. Un programme informatique de dimensionnement peut facilement exécuter cette tâche.

---

## Coefficient de débit $C_v$

Le coefficient de débit  $C_v$ , utilisé pour la première fois par Masoneilan en 1944, est devenu rapidement l'étalon universel de mesure du débit de fluide qui s'écoule dans une vanne. Ce coefficient est en effet si pratique qu'il est maintenant presque toujours employé dans les calculs qui conduisent au dimensionnement des vannes ou à la détermination des débits qui les traversent.

Par définition, le coefficient  $C_v$  est le nombre de gallons U.S. d'eau traversant en une minute une restriction

lorsque la chute de pression au passage de cette restriction est de 1 psi (une livre par pouce carré).

Par exemple, on dira qu'une vanne possède un  $C_v$  de 12 lorsque, sous une chute de pression de 1 psi, elle sera traversée à pleine ouverture par un débit de 12 gallons U.S. d'eau par minute. Le  $C_v$  est un repère de grandeur au moyen duquel le technicien peut déterminer rapidement et avec précision la dimension d'une restriction connaissant les conditions de débit, de pression - éventuellement d'autres paramètres annexes - et cela pour n'importe quel fluide.

---

## Conditions de service

Un dimensionnement précis suppose la connaissance de conditions de service bien déterminées. En général, une des conditions de service doit être surestimée (par exemple la chute de pression), et c'est malheureusement sur cette estimation qu'il faut calculer le coefficient de débit  $C_v$  de la vanne. Une longue pratique industrielle

est indispensable. Généralement, les erreurs de dimensionnement proviennent d'une accumulation de coefficients de sécurité qui fait que le  $C_v$  calculé est trop grand. Dans ces conditions, le clapet doit effectuer le réglage à une trop faible ouverture, ce qui est défavorable.

---

## Densité

L'examen des formules de calcul montre que la densité n'intervient que par sa racine carrée dans le calcul du débit. Cela signifie que - s'il est utile de tenir compte de ce paramètre - sa connaissance avec une

grande précision n'est toutefois pas essentielle. Si par exemple, la valeur de la densité passe de 0,8 à 0,9, il n'en résulte qu'une variation de 5 % pour le débit.

## Chute de pression dans la vanne

Celle-ci est parfois très bien définie : simple détente entre deux pressions connues, déversement à l'atmosphère ou réglage entre deux niveaux pratiquement constants. Le plus souvent, il faut choisir la chute de pression dans la vanne d'une manière plus ou moins arbitraire ; le mieux est alors de procéder par analogie avec des installations similaires ; à défaut, on appliquera la règle suivante : la chute de pression dans la vanne doit être égale à 50 % de la chute de pression par frottement dans le reste de la boucle de régulation. Autrement dit, on suppose qu'un tiers de la chute de pression totale doit être absorbé par la vanne, les deux autres tiers l'étant par exemple par un injecteur, un échangeur et bien entendu par les tuyauteries. La proportion de la chute de pression dans la vanne peut paraître excessive, mais si celle-ci était complètement éliminée de la boucle de régulation, le débit augmenterait simplement de 3/2, soit environ de 23 %.

En fait, il faut analyser complètement les chutes de pression dans le circuit en fonction du débit.

S'il existe une pompe centrifuge à grande hauteur de refoulement, la caractéristique revêt une grande importance, et il faut en tenir compte de façon précise pour le choix du type de clapet et son dimensionnement.

---

## Débit

Par l'expérience ou par le calcul, on peut estimer approximativement le débit normal passant dans une tuyauterie quand l'installation fonctionne à pleine charge. La vanne de régulation doit permettre un débit supplémentaire de 10 à 15 %. On voit donc qu'il est important de ne pas majorer, au préalable, le débit normal par un facteur de sécurité lorsqu'on procède au dimensionnement de la vanne. Les variations du débit lorsque la boucle de régulation est en fonctionnement doivent être considérées avec attention. Il arrive souvent qu'une diminution du débit entraîne une augmentation de chute de pression et les variations nécessaires de la section de passage au droit du clapet sont plus importantes qu'il n'apparaît à priori.

Exemple :

- a. Fonctionnement maximum  
Débit : 100 m<sup>3</sup>/h  
Chute de pression : 1 bar
- b. A marche réduite  
Débit : 10 m<sup>3</sup>/h  
Chute de pression : 4 bar

Une analyse précise permet, lorsque les variations de débit ne sont pas importantes, de n'assigner à la vanne que 15 à 25 % de la chute de pression totale dans le circuit. Ces valeurs doivent toutefois être considérées comme des minima admissibles.

Remarque : il convient de ne pas perdre de vue que les courbes caractéristiques des vannes de régulation sont définies à chute de pression constante.

Or, dans une boucle de régulation, la chute de pression peut varier avec le débit. Il faut donc calculer les ouvertures en fonction des valeurs du débit, compte tenu de la chute de pression correspondant à chaque valeur du débit ; le choix de la vanne revient à s'assurer de la compatibilité de sa courbe caractéristique avec les résultats des calculs précédents.

Il est séduisant de réduire la puissance consommée dans la boucle de réglage et en particulier la chute de pression au niveau de la vanne automatique. Cependant, il est impossible d'obtenir de bons résultats si la vanne ne peut absorber une puissance disponible suffisante pour maintenir constante la grandeur réglée.

Dans cet exemple, la variation de la section de passage est dans le rapport de 20/1 et non de 10/1, comme on pourrait l'escompter à première vue si la chute de pression demeurerait inchangée.

En effet, dans cet exemple, la section de passage dépend du rapport des débits et de la racine carrée de l'inverse du rapport des chutes de pression. Le rapport est bien de :

$$\frac{200 \times \sqrt{100}}{25 \times \sqrt{25}} = \frac{16}{1}$$

Il existe de nombreux systèmes pour lesquels l'augmentation de la chute de pression pour une même variation de débit est proportionnellement beaucoup plus importante que dans ce cas.

# Formules pour liquides

## Écoulement non engorgé d'un liquide

Les formules suivantes permettent de déterminer le dimensionnement de vannes dans des conditions d'écoulements turbulents non engorgés.  $F_p$  vaut 1,0 lorsque la vanne est installée sans raccords.

Débit volumique 
$$C_v = \frac{q}{N_1 F_p} \sqrt{\frac{G_f}{p_1 - p_2}}$$

Débit massique 
$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p \sqrt{(p_1 - p_2) \gamma_1}}$$

## Écoulement engorgé d'un liquide

Un écoulement engorgé est un écoulement limite ou maximal qui se produit par suite de la vaporisation du liquide quand la pression à l'intérieur de la vanne est égale ou inférieure à la tension de vapeur du liquide.

Il y a un écoulement engorgé si :

$$p < F_L^2 (p_1 - F_F p_v)$$

Dans ce cas, on utilise les formules suivantes :

Débit volumétrique 
$$C_v = \frac{q}{N_1 F_{LP}} \sqrt{\frac{G_f}{p_1 - F_F p_v}}$$

Débit massique 
$$C_v = \frac{w}{N_6 F_{LP} \sqrt{(p_1 - F_F p_v) \gamma_1}}$$

## Nomenclature

- $C_v$  = coefficient de débit
- $N$  = constantes numériques dépendant des unités prises (cf. Tableau 1)
- $F_p$  = facteur résultant de la géométrie de la tuyauterie
- $F_F$  = facteur de rapport de pression critique du liquide
- $F_L$  = facteur de récupération de pression du liquide
- $F_{LP}$  = facteur combiné de récupération de pression du liquide et de géométrie d'une vanne de régulation avec raccords adjacents
- $K_i$  = coefficient de charge dynamique en amont
- $p_c$  = pression thermodynamique critique absolue
- $q$  = débit volumique
- $G_f$  = densité à la température de l'écoulement, calculée par rapport à l'eau (1 à 15,6° C)
- $p_1$  = pression absolue en amont
- $p_v$  = tension de vapeur du liquide à la température en amont
- $p_2$  = pression absolue en aval
- $w$  = débit massique du liquide
- $\gamma_1$  = masse volumique dans les conditions amont

## Constantes numériques des formules pour liquides

Constantes		Unités utilisées dans les formules				
	N	w	q	p, Δp	d, D	γ <sub>1</sub>
N <sub>1</sub>	0.0865	-	m <sup>3</sup> /h	kPa	-	-
	0.865	-	m <sup>3</sup> /h	bar	-	-
	1.00	-	gpm	psia	-	-
N <sub>2</sub>	0.00214	-	-	-	mm	-
	890.0	-	-	-	in	-
N <sub>6</sub>	2.73	kg/h	-	kPa	-	kg/m <sup>3</sup>
	27.3	kg/h	-	bar	-	kg/m <sup>3</sup>
	63.3	lb/h	-	psia	-	lb/ft <sup>3</sup>

Tableau 1

## Facteur de récupération de pression du liquide $F_L$

Le facteur de récupération de pression est un nombre sans dimension qui représente la récupération de pression à l'aval du clapet d'une vanne de régulation :

$$F_L = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_{vc}}}$$

Dans cette expression mathématique,  $p_{vc}$  est la pression à la vena contracta dans la vanne.

Les facteurs de récupération de pression des différents types de vannes à l'ouverture nominale et à des ouvertures partielles sont données dans les bulletins techniques. Ces valeurs ont été obtenus par des tests en laboratoire selon les normes ISA et CEI.

---

## Facteur combiné de récupération de pression et de géométrie avec raccords adjacents $F_{LP}$

Quand une vanne est installée entre un convergent et un divergent, la récupération de pression n'est pas la même que pour une vanne montée sur une tuyauterie de même dimension. Pour des calculs dans des conditions d'écoulement critique, le facteur géométrique de correction de débit  $F_p$  et le facteur de récupération de pression  $F_L$  sont regroupés en un seul facteur  $F_{LP}$ . La valeur de  $F_L$  est donc  $F_{LP}/F_p$  avec :

$$\frac{F_{LP}}{F_p} = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_{vc}}}$$

La formule suivante peut être utilisée pour déterminer  $F_{LP}$ .

$$F_{LP} = F_L \left( \frac{K_i F_L^2 C_v^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{-1/2}$$

où  $K_i = K_1 + K_{B1}$  (coefficients de résistance et de Bernoulli amont)

---

## Cavitation

La cavitation est un phénomène nuisible qui se présente fréquemment dans les problèmes de pompage ; cependant, on la rencontre de plus en plus souvent dans les vannes automatiques, lorsque les chutes de pression sont importantes. Cette difficulté provient également de l'emploi de vannes ayant un coefficient de débit  $C_v$  relativement élevé : il s'agit par exemple des vannes papillon ou des vannes à boisseau sphérique qui ont des  $C_v$  plus importants que les vannes à soupape de diamètre correspondant.

La cavitation est la transformation d'une partie du liquide en phase vapeur lors de l'accélération rapide au passage du liquide entre le siège et le clapet. Ce phénomène englobe la disparition de ces bulles de vapeur à l'aval, ce qui produit des ondes de pression pouvant atteindre une valeur de 7000 bar. Ces ondes de pression, lors de la disparition de la phase vapeur, sont plus que toutes autres responsables de l'usure rapide des clapets et sièges lorsque la chute de pression dans la vanne est élevée.

La cavitation ne conduit pas seulement à une rapide détérioration des matériaux du clapet du siège, mais est aussi à l'origine des bruits extrêmement désagréables et de vibrations anormales du clapet. Il est, par conséquent, nécessaire de comprendre, et si possible d'éviter ce phénomène.

La cavitation se produira chaque fois que la pression statique atteindra une valeur correspondant à la tension de vapeur du liquide à la température de l'écoulement. Il existe dans celui-ci une section minimale de passage, qui est plus ou moins voisine du siège et que l'on appelle "vena contracta" ; c'est là que la vitesse est maximale et la pression statique minimale. La différence entre la chute de pression statique à la "vena contracta" et la chute de pression totale dans la vanne est fonction de la récupération de pression qui se produit côté aval d'une vanne de régulation donnée. Généralement, c'est la vanne la mieux profilée intérieurement qui donne la meilleure récupération de pression, ce qui signifie qu'une vanne bien profilée aura, bien malheureusement, une tendance accrue à la cavitation.

La chute de pression maximale utilisable pour l'accroissement du débit ( $P_{critique}$ ), et en particulier les conditions de pression pour lesquelles une vanne sera complètement soumise à la cavitation peuvent être définies grâce à ce facteur  $F_L$  de la façon suivante :

$$p_{crit} = F_L^2 (p_1 - F_F p_v),$$

Si la vanne est installée avec convergent-divergent :

$$p_{crit} = \left( \frac{F_{LP}}{F_p} \right)^2 (p_1 - F_F p_v),$$

$$\text{où } F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{p_v}{p_c}}$$

## Comment éviter la cavitation

Si l'on se réfère à la relation  $p_{crit} = F_L^2 (p_1 - F_F p_v)$  une solution est de ramener la chute de pression dans la vanne à une valeur inférieure à  $P_{critique}$ . Une autre solution est d'augmenter à la fois les pressions amont et aval en choisissant pour la vanne une position qui se trouve à un niveau plus bas dans l'installation : ceci augmente la  $P_{critique}$ .

Il est possible également de sélectionner un type de vanne ayant un  $F_L$  plus important.

Si la chute de pression est extrêmement élevée, il est cependant préférable d'employer une vanne Masoneilan à détente multiple spéciale.

## Influence des convergents-divergents

Quand une vanne n'est pas de la même dimension que la tuyauterie, elle est installée entre un convergent et un divergent. Ceux-ci créent une chute de pression supplémentaire provoquée par la contraction et la dilatation de la veine fluide. La correction de débit pour ce type d'installation est caractérisée par un facteur de correction  $F_p$ .

$$F_p = \left( \frac{C_v^2 \sum K}{N_2 d^4} + 1 \right)^{-1/2}$$

### Coefficients de résistance

#### Coefficients de résistance

$$\text{entrée} \quad K_1 = 0.5 \left[ 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^2 \right]^2$$

$$\text{sortie} \quad K_2 = \left[ 1 - \left( \frac{d}{D_2} \right)^2 \right]^2$$

#### Coefficients de Bernoulli

$$K_{B1} = 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^4$$

$$K_{B2} = 1 - \left( \frac{d}{D_2} \right)^4$$

### Somme

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$$

Quand les convergent et divergent sont de la même dimension, les coefficients de Bernoulli sont nuls.

## Nomenclature

$C_v$  = coefficient de débit

$d$  = diamètre nominal de la vanne

$D_1$  = diamètre intérieur de la tuyauterie amont

$D_2$  = diamètre intérieur de la tuyauterie aval

$F_p$  = facteur résultant de la géométrie de la tuyauterie

$F_{LP}$  = facteur combiné de récupération de pression et de géométrie d'une vanne avec raccords adjacents

$K_1$  = coefficient de résistance amont, sans dimension

$K_2$  = coefficient de résistance aval, sans dimension

$K_{B1}$  = coefficient de Bernoulli d'entrée, sans dimension

$K_{B2}$  = coefficient de Bernoulli de sortie, sans dimension

$K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$ , sans dimension

## Ecoulements non turbulents

On obtient un écoulement laminaire ou intermédiaire quand la viscosité du liquide est élevée, ou lorsque la chute de pression ou le  $C_v$  sont petits :

Débit volumique 
$$C_v = \frac{q}{N_1 F_R} \sqrt{\frac{G_f}{p_1 - p_2}}$$

Débit massique 
$$C_v = \frac{w}{N_6 F_R \sqrt{(p_1 - p_2) \gamma_1}}$$

Le nombre de Reynolds de la vanne est défini de la façon suivante :

$$Re_v = \frac{N_4 F_d q}{v F_L^{1/2} C_v^{1/2}} \left( \frac{F_L^2 C_v^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{1/4}$$

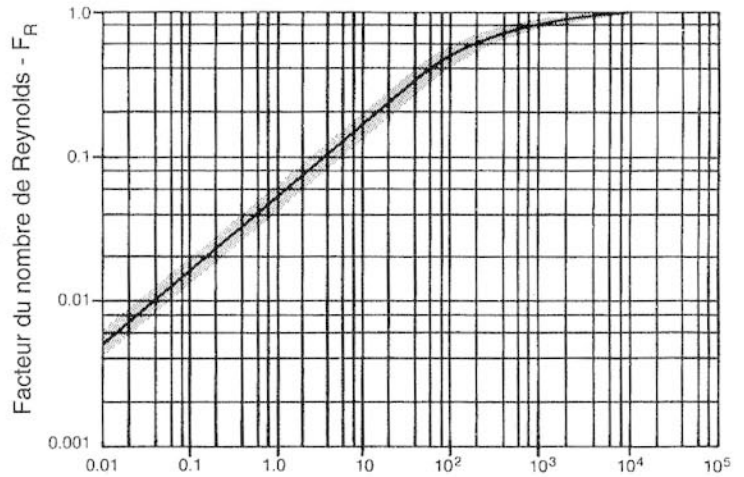


Figure 1 Facteur du nombre de Reynolds

## Nomenclature

- $C_v$  = coefficient de débit
- $d$  = diamètre nominal de la vanne
- $F_d$  = facteur de correction générique de la vanne, sans dimension
- $F_L$  = facteur de récupération de pression du liquide
- $F_R$  = facteur du nombre de Reynolds, sans dimension
- $G$  = densité calculée par rapport à l'eau (1 à 15,6° C)
- $\Delta p$  = chute de pression entre l'amont et l'aval
- $q$  = débit volumique
- $Re_v$  = nombre de Reynolds de la vanne, sans dimension
- $w$  = débit massique du liquide
- $\gamma$  = masse volumique dans les conditions amont
- $v$  = viscosité cinématique, centistokes

## Constantes numériques des formules pour liquide

Constantes	Unités utilisées dans les formules					
	N	w	q	p, Δp	d, D	γ <sub>1</sub>
N <sub>1</sub>	0.0865	-	m <sup>3</sup> /h	kPa	-	-
	0.865	-	m <sup>3</sup> /h	bar	-	-
	1.00	-	gpm	psia	-	-
N <sub>2</sub>	0.00214	-	-	-	mm	-
	890.0	-	-	-	in	-
N <sub>4</sub>	76000	-	m <sup>3</sup> /h	-	mm	-
	17300	-	gpm	-	in	-
N <sub>6</sub>	2.73	kg/h	-	kPa	-	kg/m <sup>3</sup>
	27.3	kg/h	-	bar	-	kg/m <sup>3</sup>
	63.3	lb/h	-	psia	-	lb/ft <sup>3</sup>

Tableau 2

## Facteurs de correction générique de la vanne $F_d$

Vannes à simple siège	$F_d = 1,0$
Vannes à double siège	$F_d = 0,7$
Vannes type Camflex	$F_d = 1,0$
Vannes à tournant sphérique	$F_d = 1,0$
Vannes papillon	$F_d = 0,7$

En général,  $F_d$  vaut 1,0 pour les vannes ayant un seul écoulement de passage et  $F_d$  vaut 0,7 pour les vannes où le fluide se sépare en deux, telles que les vannes à double siège et les vannes papillon.



# Formules pour gaz et vapeur d'eau

Débit volumique

$$C_v = \frac{q}{N_7 F_p p_1 Y} \sqrt{\frac{G_g T_1 Z}{x}}$$

ou

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_p p_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z}{x}} *$$

Débit massique

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p Y} \sqrt{\frac{x p_1}{\gamma_1}} *$$

ou

$$C_v = \frac{w}{N_8 F_p p_1 Y} \sqrt{\frac{T_1 Z}{x M}} *$$

Facteur de détente Y

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T}$$

Rapport de la pression différentielle à la pression absolue d'entrée, x

$$x = \frac{p}{p_1}$$

Facteur de rapport des chaleurs spécifiques, F<sub>k</sub>

$$F_k = \frac{k}{1.40}$$

Les formules de la norme 534-2 sont identiques aux formules ISA ci-dessus (marquées d'un \*) à l'exception des symboles suivants :

k (ISA) correspond à (CEI)  
 γ<sub>1</sub> (ISA) correspond à γ<sub>1</sub> (CEI)

## Nomenclature

- C<sub>v</sub> = coefficient de débit
- F<sub>p</sub> = facteur de géométrie de tuyauterie
- p<sub>1</sub> = pression absolue en amont
- p<sub>2</sub> = pression absolue en aval
- q = débit volumique
- N = constantes numériques dépendant des unités prises (cf. tableau ci-contre)
- G<sub>g</sub> = densité du gaz dans les conditions standard
- T<sub>1</sub> = température absolue du gaz
- M = masse molaire du gaz
- x = rapport de la pression différentielle à la pression absolue d'entrée p/p<sub>1</sub>, limite x = x<sub>T</sub>
- Z = facteur de compressibilité du gaz
- Y = facteur de détente,  $Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T}$
- F<sub>k</sub> = facteur de rapport des chaleurs spécifiques (air = 1,0)
- x<sub>T</sub> = facteur du rapport de la pression différentielle d'une vanne de régulation sans raccords adjacents, à débit engorgé
- ρ<sub>1</sub> = masse volumique dans les conditions amont
- w = débit massique du liquide

## Constantes numériques pour les gaz et la vapeur d'eau

Constantes		Unités utilisées dans les formules				
N		w	q*	p, Δp	γ <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>
N <sub>6</sub>	2.73	kg/h	-	kPa	kg/m <sup>3</sup>	-
	27.3	kg/h	-	bar	kg/m <sup>3</sup>	-
	63.3	lb/h	-	psia	lb/ft <sup>3</sup>	-
N <sub>7</sub>	4.17	-	m <sup>3</sup> /h	kPa	-	K
	417.0	-	m <sup>3</sup> /h	bar	-	K
	1360.0	-	scfh	psia	-	R
N <sub>8</sub>	0.948	kg/h	-	kPa	-	K
	94.8	kg/h	-	bar	-	K
	19.3	lb/h	-	psia	-	R
N <sub>9</sub>	22.5	-	m <sup>3</sup> /h	kPa	-	K
	2250.0	-	m <sup>3</sup> /h	bar	-	K
	7320.0	-	scfh	psia	-	R

\*q est en scfh mesuré à 14,73 psia et 60° F, ou en m<sup>3</sup>/h à 101,3 kPa et 15,6° C.

Tableau 3

## Formules pour vannes multi-étagées avec gaz et vapeur d'eau

Débit volumique

$$C_v = \frac{q}{N_7 F_p p_1 Y_M} \sqrt{\frac{G_g T_1 Z}{x_M}}$$

ou

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_p p_1 Y_M} \sqrt{\frac{M T_1 Z}{x_M}}$$

$$Y_M = 1 - \frac{x_M}{3 F_k x_T}$$

$$x_M = F_M \frac{p}{p_1}, \text{ limite } x_M = x_T$$

Débit massique

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p Y_M \sqrt{x_M p_1 \gamma_1}}$$

ou

$$C_v = \frac{w}{N_8 F_p p_1 Y_M} \sqrt{\frac{T_1 Z}{x_M M}}$$

$$F_k = \frac{k}{1.40}$$

$F_M$  = Facteur pour fluides compressibles avec détente multi-étagée  
( $F_M = 0,74$  pour vannes multi-étagées)

## Facteur de rapport des chaleurs spécifiques $F_k$

Le débit d'un fluide compressible à travers une vanne dépend du rapport des chaleurs spécifiques.  $F_k$  vaut 1,0 pour de l'air à des températures et des pressions modérées, car son rapport des chaleurs spécifiques est alors d'environ 1,40.

Pour dimensionner les vannes,  $F_k$  est défini par la relation linéaire :

$$F_k = \frac{k}{1.40}$$

## Facteur de détente $Y$

Le facteur de détente  $Y$  est un facteur de correction qui rend compte de la variation de masse volumique du fluide entre l'entrée de la vanne et la vena contracta. Il rend aussi compte de la variation de section de la vena contracta lorsque la pression différentielle varie.

Les influences des points 1, 2 et 3 sont prises en compte par le facteur de rapport de pression différentielle  $x_T$ . L'influence du point 4 est traduite par le facteur  $F_k$ . Le nombre de Reynolds a une influence négligeable dans les écoulements avec des gaz ou de la vapeur d'eau.

$Y$  dépend des influences suivantes :

$Y$  peut être calculé par la relation linéaire suivante :

1. Rapport de la section de l'orifice de passage à la section d'entrée du corps de vanne
2. Configuration de la trajectoire de l'écoulement
3. Rapport de la pression différentielle,  $x$
4. Rapport des chaleurs spécifiques,  $k$
5. Nombre de Reynolds

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T}$$

## Écoulement biphase

Un écoulement est biphase lorsqu'il est constitué d'un mélange entre un liquide et un gaz incondensable, ou un mélange entre un liquide et sa vapeur.

La formule ci-dessous ne s'appliquera que si ces conditions sont réunies à l'entrée de la vanne. Elle tient compte de la détente du gaz ou de la phase vapeur, et d'une possible vaporisation du liquide. Il faut tenir compte à la fois des valeurs limites de chutes de pression des phases gazeuse et liquide.

La formule de calcul du  $C_v$  d'une vanne avec un écoulement biphase à son entrée est :

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p} \sqrt{\frac{f_f}{\Delta p_f \gamma_f} + \frac{f_g}{\Delta p_g \gamma_g Y^2}}$$

Remarque :  $F_p$  vaut 1 lorsque la vanne est installée sans raccords adjacents.

On utilise les chutes de pression réelles pour  $p_f$  et  $p_g$ , mais en limitant les valeurs pour chacune des phases à :

$$p_f = F_L^2 (p_1 - F_F p_v)$$

$$p_g = F_k x_T p_1$$

Avec cette formule, on obtient un  $C_v$  plus important que la somme des  $C_v$  calculés séparément pour le liquide et pour le gaz ou la vapeur. Cette formule modélise assez bien les écoulements biphases connus.

Si le fluide est totalement à l'état liquide ( $f_f = 1$ ), on retrouve la formule du calcul du  $C_v$  pour un liquide en fonction du débit massique.

Si le fluide est totalement à l'état de gaz ou de vapeur ( $f_g = 1$ ), on retrouve la formule du calcul du  $C_v$  pour un gaz.

## Nomenclature

- $C_v$  = coefficient de débit
- $f_f$  = fraction massique de la phase liquide du mélange
- $f_g$  = fraction massique de la phase gazeuse du mélange
- $F_F$  = facteur de rapport de pression critique du liquide  
 $= 0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{p_v}{p_c}}$
- $F_k$  = facteur du rapport des chaleurs spécifiques
- $F_L$  = facteur de récupération de pression du liquide
- $F_p$  = facteur résultant de la géométrie de la tuyauterie
- $p_1$  = pression absolue en amont
- $p_v$  = tension de vapeur du liquide à la température en amont
- $p_f$  = chute de pression de la phase liquide
- $p_g$  = chute de pression de la phase gazeuse
- $w$  = débit massique du mélange
- $x_T$  = facteur du rapport de la pression différentielle d'une vanne de régulation sans raccords adjacents, à débit engorgé
- $Y$  = facteur de détente,  $Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T}$
- $\rho_f$  = masse volumique de la phase liquide dans les conditions amont
- $\rho_g$  = masse volumique de la phase gazeuse dans les conditions amont

## Constantes numériques des formules pour liquide

Constantes		Unités utilisées dans les formules				
N		w	q	p, Δp	d, D	γ <sub>1</sub>
N <sub>6</sub>	2.73	kg/h	-	kPa	-	kg/m <sup>3</sup>
	27.3	kg/h	-	bar	-	kg/m <sup>3</sup>
	63.3	lb/h	-	psia	-	lb/ft <sup>3</sup>

Tableau 4

## Écoulement engorgé

Si toutes les conditions à l'entrée de la vanne restent constantes et si le rapport de la pression différentielle à la pression absolue d'entrée  $x$  augmente par une diminution de la pression aval, le débit massique augmentera jusqu'à atteindre une limite. Un écoulement où la valeur de  $x$  est supérieure à cette limite est un écoulement engorgé.

Les valeurs de  $x_T$  pour différents types de vannes en fonction de l'ouverture nominale et des ouvertures partielles sont données dans les bulletins techniques. Ces valeurs ont été obtenues par des tests en laboratoire.

Quand une vanne est installée entre un convergent et un divergent, le facteur de rapport de pression différentielle  $x_{TP}$  est différent de celui d'une vanne installée sans raccords adjacents  $x_T$ . La formule suivante peut être utilisée pour calculer  $x_{TP}$  :

$$x_{TP} = \frac{x_T}{F_p^2} \left( \frac{x_T K_i C_v^2}{N_5 d^4} + 1 \right)^{-1}, \quad \text{avec}$$

$$K_i = K_1 + K_{B1} \text{ (coefficients de résistance et de Bernoulli amont)}$$

$N_5$  vaut 0,00241 si  $d$  est en mm, et 1000 si  $d$  est en inch.

---

## Fluides supercritiques

Les écoulements à des températures et des pressions supérieures à la fois à la température et à la pression du point critique sont appelés écoulements supercritiques. Dans ce domaine, il n'y a pas de distinction physique entre l'état liquide et l'état gazeux. Le fluide se comporte comme un fluide compressible, mais près du point critique, son comportement s'éloigne de façon sensible des lois des gaz parfaits. Il est très important de prendre en compte ces caractéristiques lorsque l'on utilise la masse volumique et le rapport des chaleurs spécifiques dans les tables thermodynamiques.

Les applications de fluides supercritiques au travers de vannes sont assez fréquentes. Par exemple, le point critique de l'éthylène est de 10°C (50° F) et 51,1 bar (742 psia). Toutes les applications avec de l'éthylène à des températures et des pressions supérieures à ce point sont par définition supercritiques.

Pour dimensionner des vannes où circuleront des fluides supercritiques, il faut utiliser une formule de calcul de  $C_v$  pour fluides compressibles en fonction du débit massique ou en fonction du débit volumique et du facteur de compressibilité. Il faut aussi prendre en compte le rapport des chaleurs spécifiques.

## Facteur de compressibilité Z

Pour de nombreux gaz réels soumis à des variations de pression et de température, la loi des gaz parfaits n'est pas applicable si l'on veut obtenir une précision suffisante. Pour le calcul précis du débit, il est alors nécessaire d'introduire dans les formules des facteurs de correction.

En pratique, l'équation des gaz parfaits est corrigée à l'aide d'un coefficient de compressibilité Z pour aboutir à la forme :  $p_v = ZRT$ . En dessous de 7 bar (100 psi), Z peut être négligé pour un grand nombre de gaz.

La valeur de Z varie peu en fonction de la nature du gaz à condition que l'on exprime les pressions et températures en coordonnées réduites  $p_r$  et  $T_r$ .

Ces dernières valeurs sont obtenues en effectuant respectivement les rapports des pressions absolues et des températures absolues aux valeurs critiques thermodynamiques correspondantes  $p_c$  et  $T_c$  (page 14). La valeur de Z sera lue sur les figures 2 et 3. La figure 2 est un agrandissement de la figure 3. Les valeurs de Z obtenues doivent avoir une précision de l'ordre de  $\pm 2\%$ .

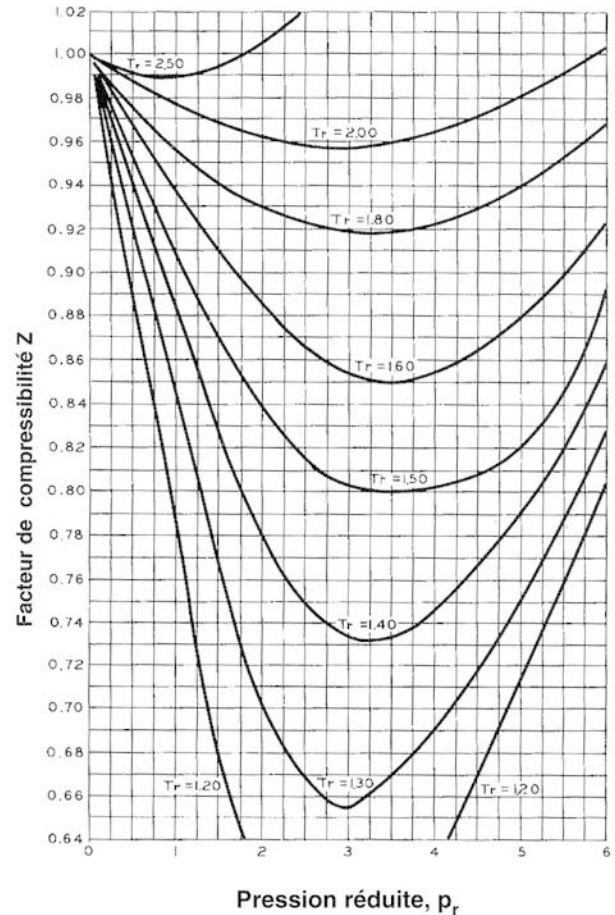
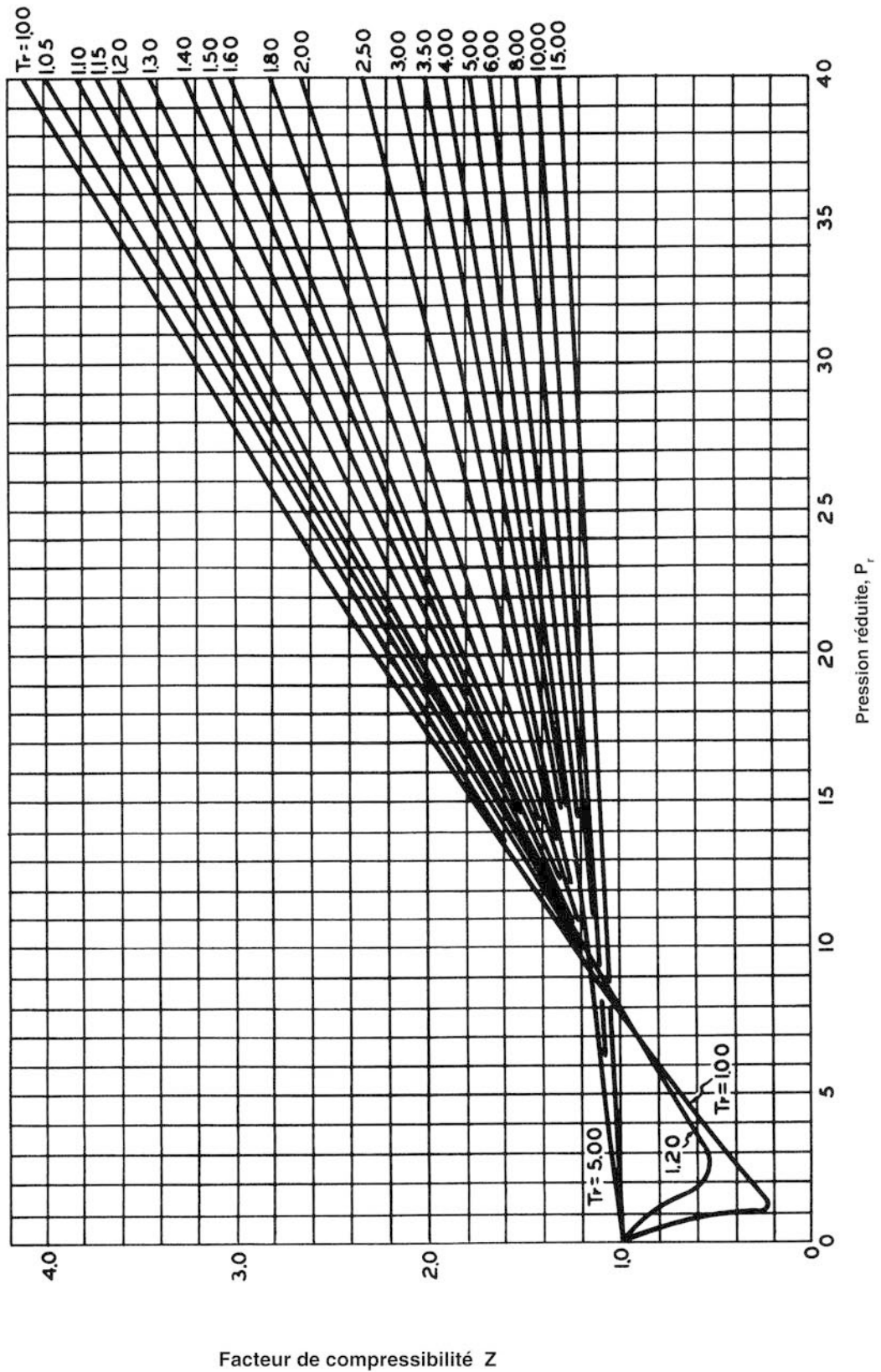


Figure 2  
Facteur de compressibilité pour les gaz;  
Pression réduite  $p_r$  de 0 à 6

(Courbes de L. C. Nelson et E. F. Obert,  
Northwestern Technological Institute, U.S.A.)

Le facteur de compressibilité Z obtenu dans l'abaque de Nelson-Obert est généralement d'une précision de 3 à 5 %. Pour l'hydrogène, l'hélium, le néon et l'argon, certaines restrictions existent. Consulter la littérature spécialisée pour de plus amples renseignements.

# Compressibilité



$$P_r = \frac{\text{pression absolue d'entrée}}{\text{pression absolue critique}}$$

$$T_r = \frac{\text{température absolue d'entrée}}{\text{température absolue critique}}$$

**Figure 3**  
Facteur de compressibilité des gaz pour des pressions réduites de 0 à 40  
pressions et températures critiques : voir page 15

(Courbes de L. C. Nelson et E. F. Obert, Northwestern Technological Institute U.S.A.)

## Constantes critiques et masses volumiques de certains éléments et corps composés

Désignation	Pression critique - $p_c$		Température critique - $T_c$		$k^*$ $C_p / C_v$
	psia	bar (abs)	° F	° C	
Acide acétique, $CH_3-CO-OH$	841	58.0	612	322	1.15
Acétone, $CH_3-CO-CH_3$	691	47.6	455	235	-
Acétylène, $C_2H_2$	911	62.9	97	36	1.26
Air, $O_2+N_2$	547	37.8	-222	-141	1.40
Ammoniac, $NH_3$	1638	113.0	270	132	1.33
Argon, A	705	48.6	-188	-122	1.67
Benzène, $C_6H_6$	701	48.4	552	289	1.12
Butane, $C_4H_{10}$	529	36.5	307	153	1.09
Gaz carbonique, $CO_2$	1072	74.0	88	31	1.30
Monoxyde de carbone, $CO$	514	35.5	-218	-139	1.40
Tétrachlorure de carbone, $CCl_4$	661	45.6	541	283	-
Chlore, $Cl_2$	1118	77.0	291	144	1.36
Ethane, $C_2H_6$	717	49.5	90	32	1.22
Alcool éthylique, $C_2H_5OH$	927	64.0	469	243	1.13
Ethylène, $CH_2=CH_2$	742	51.2	50	10	1.26
Ether, $C_2H_5-O-C_2H_5$	522	36.0	383	195	-
Fluor, $F_2$	367	25.3	-247	-155	1.36
Hélium, He	33.2	2.29	-450	-268	1.66
Heptane, $C_7H_{16}$	394	27.2	513	267	-
Hydrogène, $H_2$	188	13.0	-400	-240	1.41
Acide chlorhydrique, $HCl$	1199	82.6	124	51	1.41
Isobutane, $(CH_3) CH-CH_3$	544	37.5	273	134	1.10
Alcool isopropylique, $CH_3-CHOH-CH_3$	779	53.7	455	235	-
Méthane, $CH_4$	673	46.4	-117	-83	1.31
Alcool méthylique, $H-CH_2OH$	1156	79.6	464	240	1.20
Azote, $N_2$	492	34.0	-233	-147	1.40
Protoxyde d'azote, $N_2O$	1054	72.7	99	37	1.30
Octane, $CH_3-(CH_2)_6-CH_3$	362	25.0	565	296	1.05
Oxygène, $O_2$	730	50.4	-182	-119	1.40
Pentane, $C_5H_{12}$	485	33.5	387	197	1.07
Phénol, $C_6H_5OH$	889	61.3	786	419	-
Phosgène, $COCl_2$	823	56.7	360	182	-
Propane, $C_3H_8$	617	42.6	207	97	1.13
Propylène, $CH_2=CH-CH_3$	661	45.6	198	92	1.15
Fluide frigorigène 12, $CCl_2F_2$	582	40.1	234	112	1.14
Fluide frigorigène 22, $CHClF_2$	713	49.2	207	97	1.18
Anhydride sulfureux, $SO_2$	1142	78.8	315	157	1.29
Eau, $H_2O$	3206	221.0	705	374	1.32

\* Conditions standard

Tableau 5

## Constantes critiques et masses volumiques de certains éléments et corps composés

Désignation	Masse volumique - lb/ft <sup>3</sup> 14.7 psia & 60°F		Masse volumique - kg/m <sup>3</sup> 1013 mbar & 15.6°C		Masse molaire g/mol
	Liquide	Gaz	Liquide	Gaz	
Acide acétique, CH <sub>3</sub> -CO-OH	65.7		1052.4		66.1
Acétone, CH <sub>3</sub> -CO-CH <sub>3</sub>	49.4		791.3		58.1
Acétylène, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		0.069		1.11	26.0
Air, O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>		0.0764		1.223	29.0
Ammoniac, NH <sub>3</sub>		0.045		0.72	17.0
Argon, A		0.105		1.68	39.9
Benzène, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	54.6		874.6		78.1
Butane, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		0.154		2.47	58.1
Gaz carbonique, CO <sub>2</sub>		0.117		1.87	44.0
Monoxyde de carbone, CO		0.074		1.19	28.0
Tétrachlorure de carbone, CCl <sub>4</sub>	99.5		1593.9		153.8
Chlore, Cl <sub>2</sub>		0.190		3.04	70.9
Ethane, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		0.080		1.28	30.1
Alcool éthylique, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	49.52		793.3		46.1
Ethylène, CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>		0.074		1.19	28.1
Ether, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -O-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	44.9		719.3		74.1
Fluor, F <sub>2</sub>		0.097		1.55	38.0
Hélium, He		0.011		0.18	4.00
Heptane, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	42.6		682.4		100.2
Hydrogène, H <sub>2</sub>		0.005		0.08	2.02
Acide chlorhydrique, HCl		0.097		1.55	36.5
Isobutane, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH-CH <sub>3</sub>		0.154		2.47	58.1
Alcool isopropylique, CH <sub>3</sub> -CHOH-CH <sub>3</sub>	49.23		788.6		60.1
Méthane, CH <sub>4</sub>		0.042		0.67	16.0
Alcool méthylique, H-CH <sub>2</sub> OH	49.66		795.5		32.0
Azote, N <sub>2</sub>		0.074		1.19	28.0
Protoxyde d'azote, N <sub>2</sub> O		0.117		1.87	44.0
Octane, CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -CH <sub>3</sub>	43.8		701.6		114.2
Oxygène, O <sub>2</sub>		0.084		1.35	32.0
Pentane, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	38.9		623.1		72.2
Phénol, C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	66.5		1065.3		94.1
Phosgène, COCl <sub>2</sub>		0.108		1.73	98.9
Propane, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		0.117		1.87	44.1
Propylène, CH <sub>2</sub> =CH-CH <sub>3</sub>		0.111		1.78	42.1
Fluide frigorigène 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>		0.320		5.13	120.9
Fluide frigorigène 22, CHClF <sub>2</sub>		0.228		3.65	86.5
Anhydride sulfureux, SO <sub>2</sub>		0.173		2.77	64.1
Eau, H <sub>2</sub> O	62.34		998.6		18.0

Tableau 5



## Vitesse V des liquides dans les tuyauteries

### Unités anglo-saxonnes

$$v = .321 \frac{q}{A}$$

où v = vitesse du liquide, ft/s  
q = débit volumique, gpm  
A = section de passage, sq in

### Unités métriques

$$v = 278 \frac{q}{A}$$

où v = vitesse du liquide, m/s  
q = débit volumique, m<sup>3</sup>/h  
A = section de passage, mm<sup>2</sup>

La figure 4 représente la solution graphique de ces formules pour une gamme importante de débits et pour des diamètres de 25 à 300 mm (1" à 12"). Etant donné la diversité des tuyauteries utilisées, nous avons sélectionné pages 22 et 23 les données concernant les tuyauteries américaines en acier, correspondant au standard ANSI B36.10 fréquemment employé.

## Vitesse V de la vapeur d'eau et des gaz dans les tuyauteries

### Vapeur d'eau ou gaz (débit massique)

#### Unités anglo-saxonnes

$$v = .04 \frac{WV}{A}$$

où v = vitesse du fluide, ft/s  
W = débit massique, lb/h  
V = volume massique aux conditions de pression et de température de l'écoulement, cu ft/lb  
A = section de passage, sq in

#### Unités métriques

$$v = 278 \frac{WV}{A}$$

où v = vitesse du fluide, m/s  
W = débit massique, kg/h  
V = volume massique aux conditions de pression et de température de l'écoulement, m<sup>3</sup>/kg  
A = section de passage, mm<sup>2</sup>

La figure 5 permet de calculer le débit de vapeur d'eau saturée dans les tuyauteries de "schedule 40" pour des vitesses fréquemment rencontrées dans les installations industrielles.

### Gaz (débit volumique)

#### Unités anglo-saxonnes

$$v = .04 \frac{F}{A}$$

où v = vitesse du fluide, ft/s  
F = débit volumique aux conditions de pression et de température de l'écoulement\*, ft<sup>3</sup>/hr  
A = section de passage, sq in

\* si le débit est donné à 14,7 psia. et 60° F, st. m<sup>3</sup>/h, calculer F par la formule approchée :

$$F = \frac{\text{std cu ft}}{\text{hr}} \times \frac{14.7}{P} \times \frac{T}{520}$$

où p = pression absolue, psia  
T = température absolue, R

#### Unités métriques

$$v = 278 \frac{F}{A}$$

où v = vitesse du fluide, m/s  
F = débit volumique aux conditions de pression et de température de l'écoulement\*, m<sup>3</sup>/h  
A = section de passage, mm<sup>2</sup>

\* si le débit est donné à 1013 mbar abs. et 15,6° C, st. m<sup>3</sup>/h, calculer F par la formule approchée :

$$F = \frac{\text{std cu meters}}{\text{hr}} \times \frac{1.013}{P} \times \frac{T}{288}$$

où p = pression absolue, bar  
T = température absolue, K

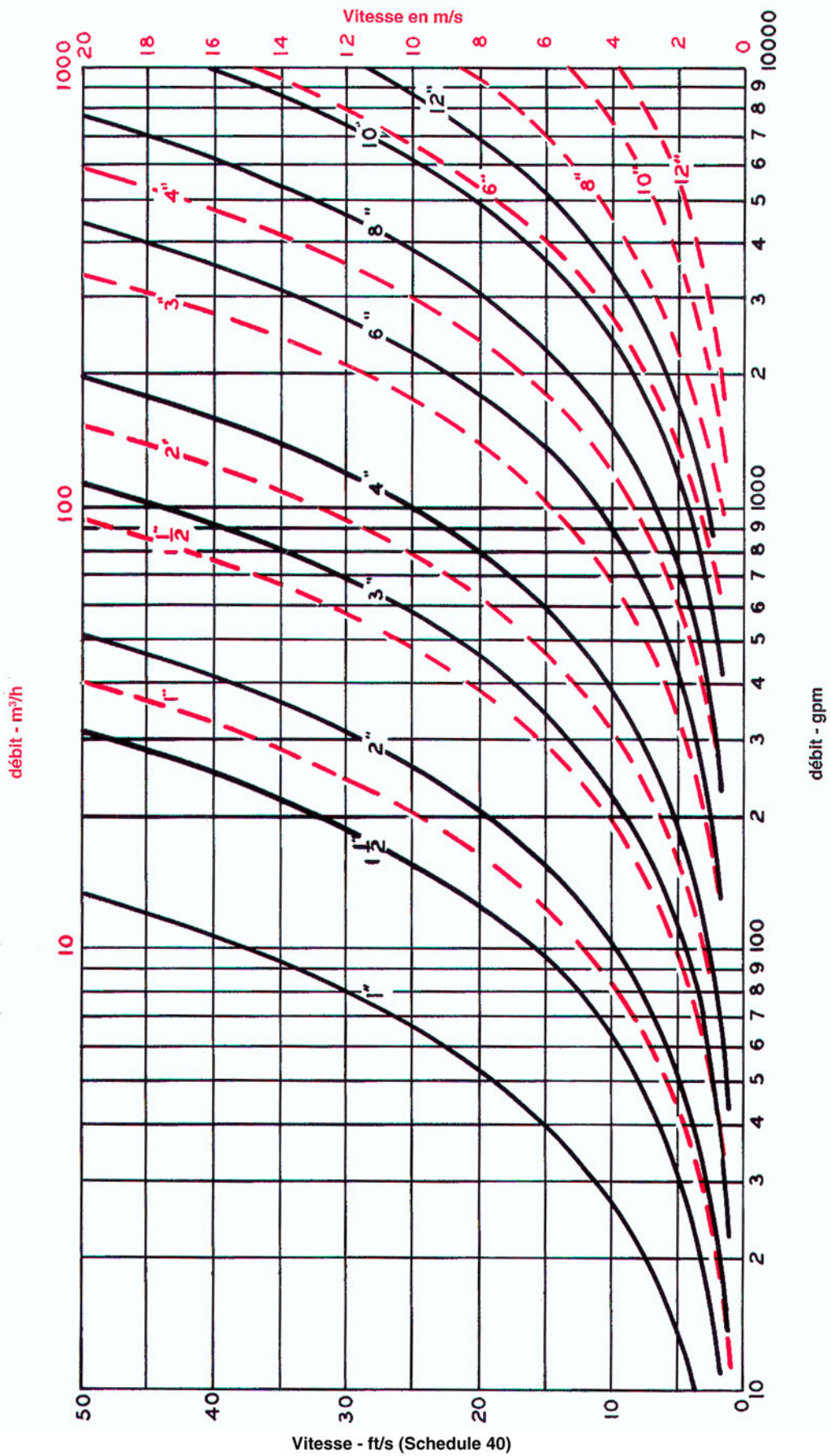


Figure 4

Vitesse d'un liquide en fonction du débit

- Unités anglo saxonnes
- Unités métriques

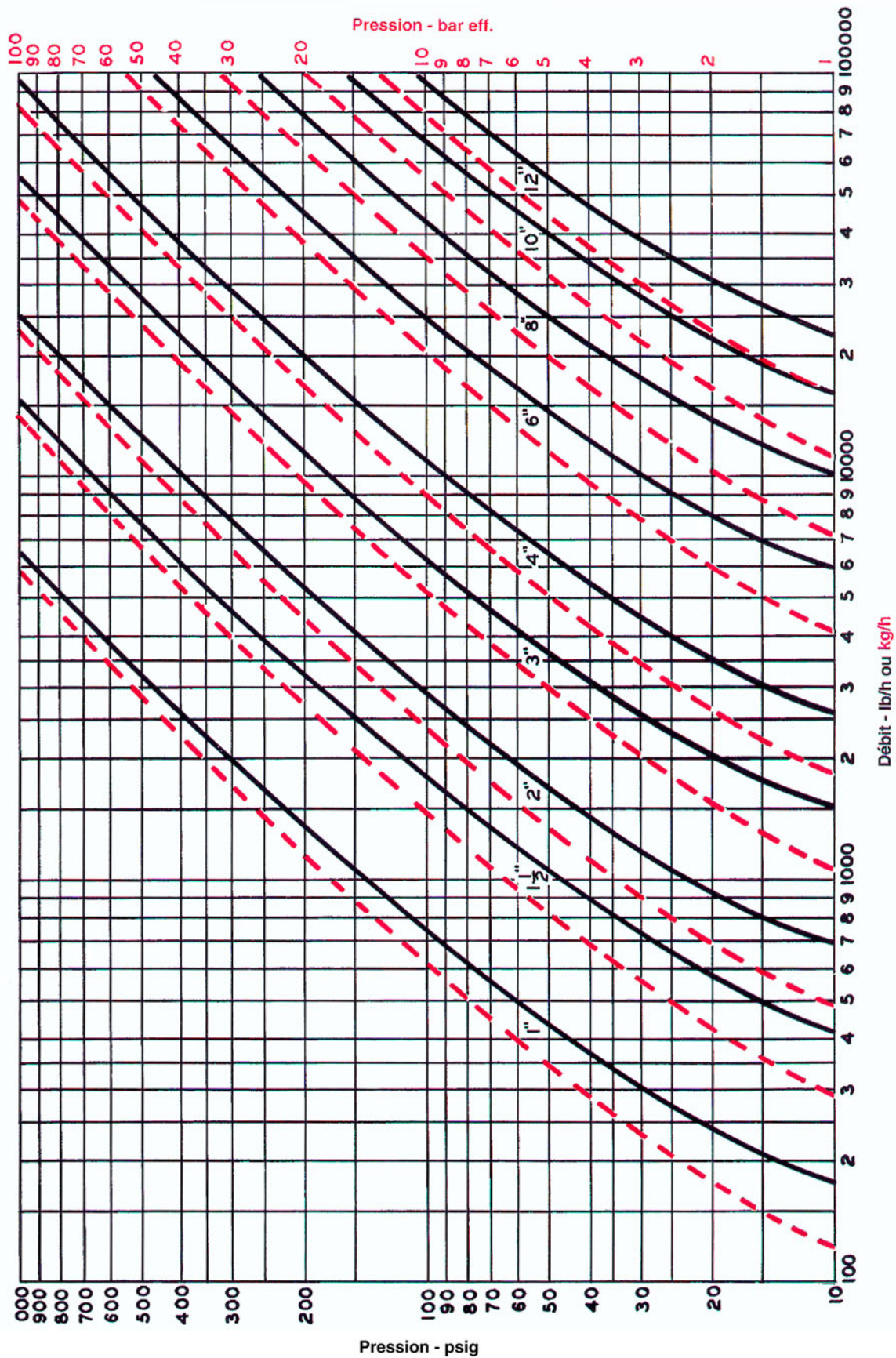


Figure 5

Débit de vapeur saturée en fonction de la pression effective pour tuyauterie de 1" à 12", schedule 40

- Unités anglo saxonnes
- Unités métriques

Vitesse -- 130 à 170 ft/s --  
 -- 50 à 60 m/s --

## Tubes étirés en acier (ANSI B36.10)

	Dimension nominale		Diamètre extérieur	Epaisseur		Diamètre inférieure	Section de passage	
	mm	inches	inches	mm	inches	inches	mm <sup>2</sup>	sq in
Schedule 10	350	14	14	6.35	0.250	13.5	92200	143
	400	16	16	6.35	0.250	15.5	121900	189
	450	18	18	6.35	0.250	17.5	155500	241
	500	20	20	6.35	0.250	19.5	192900	299
	600	24	24	6.35	0.250	23.5	280000	434
	750	30	30	7.92	0.312	29.4	437400	678
Schedule 20	200	8	8.63	6.35	0.250	8.13	33500	51.9
	250	10	10.8	6.35	0.250	10.3	53200	82.5
	300	12	12.8	6.35	0.250	12.3	76000	117.9
	350	14	14.0	7.92	0.312	13.4	90900	141
	400	16	16.0	7.92	0.312	15.4	120000	186
	450	18	18.0	7.92	0.312	17.4	152900	237
	500	20	20.0	9.53	0.375	19.3	187700	291
	750	30	30.0	12.70	0.500	29.0	426400	661
Schedule 30	200	8	8.63	7.04	0.277	8.07	33000	51.2
	250	10	10.8	7.80	0.307	10.1	52000	80.7
	300	12	12.8	8.38	0.330	12.1	74200	115
	350	14	14.0	9.53	0.375	13.3	89000	138
	400	16	16.0	9.53	0.375	15.3	118000	183
	450	18	18.0	11.13	0.438	17.1	148400	230
	500	20	20.0	12.70	0.500	19.0	183200	284
	750	30	30.0	15.88	0.625	28.8	418700	649
Schedule 40*	15	1/2	0.84	2.77	0.109	0.622	190	0.304
	20	3/4	1.05	2.87	0.113	0.824	340	0.533
	25	1	1.32	3.38	0.133	1.05	550	0.864
	32	1 1/4	1.66	3.56	0.140	1.38	970	1.50
	40	1 1/2	1.90	3.68	0.145	1.61	1300	2.04
	50	2	2.38	3.91	0.154	2.07	2150	3.34
	65	2 1/2	2.88	5.16	0.203	2.47	3100	4.79
	80	3	3.50	5.49	0.216	3.07	4700	7.39
	100	4	4.50	6.02	0.237	4.03	8200	12.7
	150	6	6.63	7.11	0.280	6.07	18600	28.9
	200	8	8.63	8.18	0.322	7.98	32200	50.0
	250	10	10.8	9.27	0.365	10.02	50900	78.9
	300	12	12.8	10.31	0.406	11.9	72200	112
	350	14	14.0	11.13	0.438	13.1	87100	135
	400	16	16.0	12.70	0.500	15.0	114200	177
	450	18	18.0	14.27	0.562	16.9	144500	224
500	20	20.0	15.06	0.593	18.8	179300	278	
600	24	24.0	17.45	0.687	22.6	259300	402	

\* La série de tubes américains dite "Standard" a les mêmes caractéristiques que celles du "Schedule 40" jusqu'à 250 mm (10"). Les caractéristiques "Standard" pour 300 mm (12") sont les suivantes :

300	12	12.8	9.53	0.375	12.00	72900	113
-----	----	------	------	-------	-------	-------	-----

Tableau 6

## Tubes étirés en acier (ANSI B36.10) (suite)

	Dimension nominale		Diamètre extérieur	Epaisseur		Diamètre inférieure	Section de passage	
	mm	inches	inches	mm	inches	inches	mm <sup>2</sup>	sq in
<b>Schedule 80*</b>	15	1/2	0.84	3.73	0.147	0.546	150	0.234
	20	3/4	1.05	3.91	0.154	0.742	280	0.433
	25	1	1.32	4.55	0.179	0.957	460	0.719
	32	1 1/4	1.66	4.85	0.191	1.28	820	1.28
	40	1 1/2	1.90	5.08	0.200	1.50	1140	1.77
	50	2	2.38	5.54	0.218	1.94	1900	2.95
	65	2 1/2	2.88	7.01	0.276	2.32	2700	4.24
	80	3	3.50	7.62	0.300	2.90	4200	6.61
	100	4	4.50	8.56	0.337	3.83	7400	11.5
	150	6	6.63	10.97	0.432	5.76	16800	26.1
	200	8	8.63	12.70	0.500	7.63	29500	45.7
	250	10	10.8	15.06	0.593	9.56	46300	71.8
	300	12	12.8	17.45	0.687	11.4	65800	102
	350	14	14.0	19.05	0.750	12.5	79300	123
	400	16	16.0	21.41	0.843	14.3	103800	161
	450	18	18.0	23.80	0.937	16.1	131600	204
500	20	20.0	26.16	1.03	17.9	163200	253	
600	24	24.0	30.99	1.22	21.6	235400	365	
<b>Schedule 160</b>	15	1/2	0.84	4.75	0.187	0.466	110	0.171
	20	3/4	1.05	5.54	0.218	0.614	190	0.296
	25	1	1.32	6.35	0.250	0.815	340	0.522
	32	1 1/4	1.66	6.35	0.250	1.16	680	1.06
	40	1 1/2	1.90	7.14	0.281	1.34	900	1.41
	50	2	2.38	8.71	0.343	1.69	1450	2.24
	65	2 1/2	2.88	9.53	0.375	2.13	2300	3.55
	80	3	3.50	11.13	0.438	2.62	3500	5.41
	100	4	4.50	13.49	0.531	3.44	6000	9.28
	150	6	6.63	18.24	0.718	5.19	13600	21.1
	200	8	8.63	23.01	0.906	6.81	23500	36.5
	250	10	10.8	28.70	1.13	8.50	36600	56.8
	300	12	12.8	33.27	1.31	10.1	51900	80.5
	350	14	14.0	35.81	1.41	11.2	63400	98.3
	400	16	16.0	40.39	1.59	12.8	83200	129
	450	18	18.0	45.21	1.78	14.4	105800	164
500	20	20.0	50.04	1.97	16.1	130900	203	
600	24	24.0	59.44	2.34	19.3	189000	293	
<b>Double Extra Strong</b>	15	1/2	0.84	7.47	0.294	0.252	30	0.050
	20	3/4	1.05	7.82	0.308	0.434	90	0.148
	25	1	1.32	9.09	0.358	0.599	180	0.282
	32	1 1/4	1.66	9.70	0.382	0.896	400	0.630
	40	1 1/2	1.90	10.16	0.400	1.10	610	0.950
	50	2	2.38	11.07	0.436	1.50	1140	1.77
	65	2 1/2	2.89	14.02	0.552	1.77	1600	2.46
	80	3	3.50	15.24	0.600	2.30	2700	4.16
	100	4	4.50	17.12	0.674	3.15	5000	7.80
	150	6	6.63	21.94	0.864	4.90	12100	18.8
	200	8	8.63	22.22	0.875	6.88	23900	37.1

\* La série de tubes américains dite "Extra strong" a les mêmes caractéristiques que celles du "Schedule 80" jusqu'à 200 mm (8"). Les caractéristiques "Extra strong" pour 250 mm (10") et 300 mm (12") sont les suivantes :

250	10	10.8	12.70	0.500	9.75	48200	74.7
300	12	12.8	12.70	0.500	11.8	69700	108

Tableau 6

# Constantes physiques de la vapeur d'eau

## Unités anglo-saxonnes

Vapeur d'eau saturée					Vapeur d'eau surchauffée									
P' abs.	P rel.	Temp. sat.	*	Sat.	360 °F	400 °F	440 °F	480 °F	500 °F	600 °F	700 °F	800 °F	900 °F	1000 °F
14.696	0.0	212.00	V hg	26.80 1150.4	33.03 1221.1	34.68 1239.9	36.32 1258.8	37.96 1277.6	38.78 1287.1	42.86 1334.8	46.94 1383.2	51.00 1432.3	55.07 1482.3	59.13 1533.1
20.0	5.3	227.96	V hg	20.08 1156.3	24.21 1220.3	25.43 1239.2	26.65 1258.2	27.86 1277.1	28.46 1286.6	31.47 1334.4	34.47 1382.9	37.46 1432.1	40.45 1482.1	43.44 1533.0
30.0	15.3	250.33	V hg	13.746 1164.1	16.072 1218.6	16.897 1237.9	17.714 1257.0	18.528 1276.2	18.933 1285.7	20.95 1333.8	22.96 1382.4	24.96 1431.7	26.95 1481.8	28.95 1532.7
40.0	25.3	267.25	V hg	10.498 1169.7	12.001 1216.9	12.628 1236.5	13.247 1255.9	13.862 1275.2	14.168 1284.8	15.688 1333.1	17.198 1381.9	18.702 1431.3	20.20 1481.4	21.70 1532.4
50.0	35.3	281.01	V hg	8.515 1174.1	9.557 1215.2	10.065 1235.1	10.567 1254.7	11.062 1274.2	11.309 1283.9	12.532 1332.5	13.744 1381.4	14.950 1430.9	16.152 1481.1	17.352 1532.1
60.0	45.3	292.71	V hg	7.175 1177.6	7.927 1213.4	8.357 1233.6	8.779 1253.5	9.196 1273.2	9.403 1283.0	10.427 1331.8	11.441 1380.9	12.449 1430.5	13.452 1480.8	14.454 1531.9
70.0	55.3	302.92	V hg	6.206 1180.6	6.762 1211.5	7.136 1232.1	7.502 1252.3	7.863 1272.2	8.041 1282.0	8.924 1331.1	9.796 1380.4	10.662 1430.1	11.524 1480.5	12.383 1531.6
80.0	65.3	312.03	V hg	5.472 1183.1	5.888 1209.7	6.220 1230.7	6.544 1251.1	6.862 1271.1	7.020 1281.1	7.797 1330.5	8.562 1379.9	9.322 1429.7	10.077 1480.1	10.830 1531.3
90.0	75.3	320.27	V hg	4.896 1185.3	5.208 1207.7	5.508 1229.1	5.799 1249.8	6.084 1270.1	6.225 1280.1	6.920 1329.8	7.603 1379.4	8.279 1429.3	8.952 1479.8	9.623 1531.0
100.0	85.3	327.81	V hg	4.432 1187.2	4.663 1205.7	4.937 1227.6	5.202 1248.6	5.462 1269.0	5.589 1279.1	6.218 1329.1	6.835 1378.9	7.446 1428.9	8.052 1479.5	8.656 1530.8
120.0	105.3	341.25	V hg	3.728 1190.4	3.844 1201.6	4.081 1224.4	4.307 1246.0	4.527 1266.9	4.636 1277.2	5.165 1327.7	5.683 1377.8	6.195 1428.1	6.702 1478.8	7.207 1530.2
140.0	125.3	353.02	V hg	3.220 1193.0	3.258 1197.3	3.468 1221.1	3.667 1243.3	3.860 1264.7	3.954 1275.2	4.413 1326.4	4.861 1376.8	5.301 1427.3	5.738 1478.2	6.172 1529.7
160.0	145.3	363.53	V hg	2.834 1195.1	----- 1195.1	3.008 1217.6	3.187 1240.6	3.359 1262.4	3.443 1273.1	3.849 1325.0	4.244 1375.7	4.631 1426.4	5.015 1477.5	5.396 1529.1
180.0	165.3	373.06	V hg	2.532 1196.9	----- 1196.9	2.649 1214.0	2.813 1237.8	2.969 1260.2	3.044 1271.0	3.411 1323.5	3.764 1374.7	4.110 1425.6	4.452 1476.8	4.792 1528.6
200.0	185.3	381.79	V hg	2.288 1198.4	----- 1198.4	2.631 1210.3	2.513 1234.9	2.656 1257.8	2.726 1268.9	3.060 1322.1	3.380 1373.6	3.693 1424.8	4.002 1476.2	4.309 1528.0
220.0	205.3	389.86	V hg	2.087 1199.6	----- 1199.6	2.125 1206.5	2.267 1231.9	2.400 1255.4	2.465 1266.7	2.772 1320.7	3.066 1372.6	3.352 1424.0	3.634 1475.5	3.913 1527.5
240.0	225.3	397.37	V hg	1.918 1200.6	----- 1200.6	1.9276 1202.5	2.062 1228.8	2.187 1253.0	2.247 1264.5	2.533 1319.2	2.804 1371.5	3.068 1423.2	3.327 1474.8	3.584 1526.9
260.0	245.3	404.42	V hg	1.774 1201.5	----- 1201.5	----- -----	1.8882 1225.7	2.006 1250.5	2.063 1262.3	2.330 1317.7	2.582 1370.4	2.827 1422.3	3.067 1474.2	3.305 1526.3
280.0	265.3	411.05	V hg	1.651 1202.3	----- 1202.3	----- -----	1.7388 1222.4	1.8512 1247.9	1.9047 1260.0	2.156 1316.2	2.392 1369.4	2.621 1421.5	2.845 1473.5	3.066 1525.8
300.0	285.3	417.33	V hg	1.543 1202.8	----- 1202.8	----- -----	1.6090 1219.1	1.7165 1245.3	1.7675 1257.6	2.005 1314.7	2.227 1368.3	2.442 1420.6	2.652 1472.8	2.859 1525.2
320.0	305.3	423.29	V hg	1.448 1203.4	----- 1203.4	----- -----	1.4950 1215.6	1.5985 1242.6	1.6472 1255.2	1.8734 1313.2	2.083 1367.2	2.285 1419.8	2.483 1472.1	2.678 1524.7
340.0	325.3	428.97	V hg	1.364 1203.7	----- 1203.7	----- -----	1.3941 1212.1	1.4941 1239.9	1.5410 1252.8	1.7569 1311.6	1.9562 1366.1	2.147 1419.0	2.334 1471.5	2.518 1524.1
360.0	345.3	434.40	V hg	1.289 1204.1	----- 1204.1	----- -----	1.3041 1208.4	1.4012 1237.1	1.4464 1250.3	1.6533 1310.1	1.8431 1365.0	2.025 1418.1	2.202 1470.8	2.376 1523.5

\* V = volume massique, cft par pound  
hg = chaleur totale, Btu par pound

Tableau 7

# Constantes physiques de la vapeur d'eau (suite)

## Unités anglo-saxonnes

Vapeur d'eau saturée					Vapeur d'eau surchauffée									
P' abs.	P rel.	Temp. sat.	*	Sat	500 °F	540 °F	600 °F	640 °F	660 °F	700 °F	740 °F	800 °F	900 °F	1000 °F
380.0	365.3	439.60	V hg	1.222 1204.3	1.3616 1247.7	1.4444 1273.1	1.5605 1308.5	1.6345 1331.0	1.6707 1342.0	1.7419 1363.8	1.8118 1385.3	1.9149 1417.3	2.083 1470.1	2.249 1523.0
400.0	385.3	444.59	V hg	1.161 1204.5	1.2851 1245.1	1.3652 1271.0	1.4770 1306.9	1.5480 1329.6	1.5827 1340.8	1.6508 1362.7	1.7177 1384.3	1.8161 1416.4	1.9767 1469.4	2.134 1522.4
420.0	405.3	449.39	V hg	1.106 1204.6	1.2158 1242.5	1.2935 1268.9	1.4014 1305.3	1.4697 1328.3	1.5030 1339.5	1.5684 1361.6	1.6324 1383.3	1.7267 1415.5	1.8802 1468.7	2.031 1521.9
440.0	425.3	454.02	V hg	1.055 1204.6	1.1526 1239.8	1.2282 1266.7	1.3327 1303.6	1.3984 1326.9	1.4306 1338.2	1.4934 1360.4	1.5549 1382.3	1.6454 1414.7	1.7925 1468.1	1.9368 1521.3
460.0	445.3	458.50	V hg	1.009 1204.6	1.0948 1237.0	1.1685 1264.5	1.2698 1302.0	1.3334 1325.4	1.3644 1336.9	1.4250 1359.3	1.4842 1381.3	1.5711 1413.8	1.7124 1467.4	1.8508 1520.7
480.0	465.3	462.82	V hg	0.967 1204.5	1.0417 1234.2	1.1138 1262.3	1.2122 1300.3	1.2737 1324.0	1.3038 1335.6	1.3622 1358.2	1.4193 1380.3	1.5031 1412.9	1.6390 1466.7	1.7720 1520.2
500.0	485.3	467.01	V hg	0.927 1204.4	0.9927 1231.3	1.0633 1260.0	1.1591 1298.6	1.2188 1322.6	1.2478 1334.2	1.3044 1357.0	1.3596 1379.3	1.4405 1412.1	1.5715 1466.0	1.6996 1519.6
520.0	505.3	471.07	V hg	0.891 1204.2	0.9473 1228.3	1.0166 1257.7	1.1101 1296.9	1.1681 1321.1	1.1962 1332.9	1.2511 1355.8	1.3045 1378.2	1.3826 1411.2	1.5091 1465.3	1.6326 1519.0
540.0	525.3	475.01	V hg	0.857 1204.0	0.9052 1225.3	0.9733 1255.4	1.0646 1295.2	1.1211 1319.7	1.1485 1331.5	1.2017 1354.6	1.2535 1377.2	1.3291 1410.3	1.4514 1464.6	1.5707 1518.5
560.0	545.3	478.85	V hg	0.826 1203.8	0.8659 1222.2	0.9330 1253.0	1.0224 1293.4	1.0775 1318.2	1.1041 1330.2	1.1558 1353.5	1.2060 1376.1	1.2794 1409.4	1.3978 1463.9	1.5132 1517.9
580.0	565.3	482.58	V hg	0.797 1203.5	0.8291 1219.0	0.8954 1250.5	0.9830 1291.7	1.0368 1316.7	1.0627 1328.8	1.1131 1352.3	1.1619 1375.1	1.2331 1408.6	1.3479 1463.2	1.4596 1517.3
600.0	585.3	486.21	V hg	0.769 1203.2	0.7947 1215.7	0.8602 1248.1	0.9463 1289.9	0.9988 1315.2	1.0241 1327.4	1.0732 1351.1	1.1207 1374.0	1.1899 1407.7	1.3013 1462.5	1.4096 1516.7
620.0	605.3	489.75	V hg	0.744 1202.9	0.7624 1212.4	0.8272 1245.5	0.9118 1288.1	0.9633 1313.7	0.9880 1326.0	1.0358 1349.9	1.0821 1373.0	1.1494 1406.8	1.2577 1461.8	1.3628 1516.2
640.0	625.3	493.21	V hg	0.719 1202.5	0.7319 1209.0	0.7962 1243.0	0.8795 1286.2	0.9299 1312.2	0.9541 1324.6	1.0008 1348.6	1.0459 1371.9	1.1115 1405.9	1.2168 1461.1	1.3190 1515.6
660.0	645.3	496.58	V hg	0.697 1202.1	0.7032 1205.4	0.7670 1240.4	0.8491 1284.4	0.8985 1310.6	0.9222 1323.2	0.9679 1347.4	1.0119 1370.8	1.0759 1405.0	1.1784 1460.4	1.2778 1515.0
680.0	665.3	499.88	V hg	0.675 1201.7	0.6759 1201.8	0.7395 1237.7	0.8205 1282.5	0.8690 1309.1	0.8922 1321.7	0.9369 1346.2	0.9800 1369.8	1.0424 1404.1	1.1423 1459.7	1.2390 1514.5
700.0	685.3	503.10	V hg	0.655 1201.2	----- 1201.2	0.7134 1235.0	0.7934 1280.6	0.8411 1307.5	0.8639 1320.3	0.9077 1345.0	0.9498 1368.7	1.0108 1403.2	1.1082 1459.0	1.2024 1513.9
750.0	735.3	510.86	V hg	0.609 1200.0	----- 1200.0	0.6540 1227.9	0.7319 1275.7	0.7778 1303.5	0.7996 1316.6	0.8414 1341.8	0.8813 1366.0	0.9391 1400.9	1.0310 1457.2	1.1196 1512.4
800.0	785.3	518.23	V hg	0.568 1198.6	----- 1198.6	0.6015 1220.5	0.6779 1270.7	0.7223 1299.4	0.7433 1312.9	0.7833 1338.6	0.8215 1363.2	0.8763 1398.6	0.9633 1455.4	1.0470 1511.0
850.0	835.3	525.26	V hg	0.532 1197.1	----- 1197.1	0.5546 1212.7	0.6301 1265.5	0.6732 1295.2	0.6934 1309.0	0.7320 1335.4	0.7685 1360.4	0.8209 1396.3	0.9037 1453.6	0.9830 1509.5
900.0	885.3	531.98	V hg	0.500 1195.4	----- 1195.4	0.5124 1204.4	0.5873 1260.1	0.6294 1290.9	0.6491 1305.1	0.6863 1332.1	0.7215 1357.5	0.7716 1393.9	0.8506 1451.8	0.9262 1508.1
950.0	935.3	538.42	V hg	0.471 1193.7	----- 1193.7	0.4740 1195.5	0.5489 1254.6	0.5901 1286.4	0.6092 1301.1	0.6453 1328.7	0.6793 1354.7	0.7275 1391.6	0.8031 1450.0	0.8753 1506.6
1000.0	985.3	544.61	V hg	0.445 1191.8	----- 1191.8	----- -----	0.5140 1248.8	0.5546 1281.9	0.5733 1297.0	0.6084 1325.3	0.6413 1351.7	0.6878 1389.2	0.7604 1448.2	0.8294 1505.1

\* V = volume massique, cubic feet par pound  
hg = chaleur totale, Btu par pound

Tableau 7

# Constantes physiques de la vapeur d'eau (suite)

## Unités anglo-saxonnes

Vapeur d'eau saturée					Vapeur d'eau surchauffée										
P' abs.	P rel.	Temp. sat.	*	Sat	660 °F	700 °F	740 °F	760 °F	780 °F	800 °F	860 °F	900 °F	1000 °F	1100 °F	1200 °F
1100.0	1085.3	556.31	V hg	0.4001 1187.8	0.5110 1288.5	0.5445 1318.3	0.5755 1345.8	0.5904 1358.9	0.6049 1371.7	0.6191 1384.3	0.6601 1420.8	0.6866 1444.5	0.7503 1502.2	0.8117 1558.8	0.8716 1615.2
1200.0	1185.3	567.22	V hg	0.3619 1183.4	0.4586 1279.6	0.4909 1311.0	0.5206 1339.6	0.5347 1353.2	0.5484 1366.4	0.5617 1379.3	0.6003 1416.7	0.6250 1440.7	0.6843 1499.2	0.7412 1556.4	0.7967 1613.1
1300.0	1285.3	577.46	V hg	0.3293 1178.6	0.4139 1270.2	0.4454 1303.4	0.4739 1333.3	0.4874 1347.3	0.5004 1361.0	0.5131 1374.3	0.5496 1412.5	0.5728 1437.0	0.6284 1496.2	0.6816 1553.9	0.7333 1611.0
1400.0	1385.3	587.10	V hg	0.3012 1173.4	0.3753 1260.3	0.4062 1295.5	0.4338 1326.7	0.4468 1341.3	0.4593 1355.4	0.4714 1369.1	0.5061 1408.2	0.5281 1433.1	0.5805 1493.2	0.6305 1551.4	0.6789 1608.9
1500.0	1485.3	596.23	V hg	0.2765 1167.9	0.3413 1249.8	0.3719 1287.2	0.3989 1320.0	0.4114 1335.2	0.4235 1349.7	0.4352 1363.8	0.4684 1403.9	0.4893 1429.3	0.5390 1490.1	0.5862 1548.9	0.6318 1606.8
1600.0	1585.3	604.90	V hg	0.2548 1162.1	0.3112 1238.7	0.3417 1278.7	0.3682 1313.0	0.3804 1328.8	0.3921 1343.9	0.4034 1358.4	0.4353 1399.5	0.4553 1425.3	0.5027 1487.0	0.5474 1546.4	0.5906 1604.6
1700.0	1685.3	613.15	V hg	0.2354 1155.9	0.2842 1226.8	0.3148 1269.7	0.3410 1305.8	0.3529 1322.3	0.3643 1337.9	0.3753 1352.9	0.4061 1395.0	0.4253 1421.4	0.4706 1484.0	0.5132 1543.8	0.5542 1602.5
1800.0	1785.3	621.03	V hg	0.2179 1149.4	0.2597 1214.0	0.2907 1260.3	0.3166 1298.4	0.3284 1315.5	0.3395 1331.8	0.3502 1347.2	0.3801 1390.4	0.3986 1417.4	0.4421 1480.8	0.4828 1541.3	0.5218 1600.4
1900.0	1885.3	628.58	V hg	0.2021 1142.4	0.2371 1200.2	0.2688 1250.4	0.2947 1290.6	0.3063 1308.6	0.3173 1325.4	0.3277 1341.5	0.3568 1385.8	0.3747 1413.3	0.4165 1477.7	0.4556 1538.8	0.4929 1598.2
2000.0	1985.3	635.82	V hg	0.1878 1135.1	0.2161 1184.9	0.2489 1240.0	0.2748 1282.6	0.2863 1301.4	0.2972 1319.0	0.3074 1335.5	0.3358 1381.2	0.3532 1409.2	0.3985 1474.5	0.4311 1536.2	0.4668 1596.1
2100.0	2085.3	642.77	V hg	0.1746 1127.4	0.1962 1167.7	0.2306 1229.0	0.2567 1274.3	0.2682 1294.0	0.2789 1312.3	0.2890 1329.5	0.3167 1376.4	0.3337 1405.0	0.3727 1471.4	0.4089 1533.6	0.4433 1593.9
2200.0	2185.3	649.46	V hg	0.1625 1119.2	0.1768 1147.8	0.2135 1217.4	0.2400 1265.7	0.2514 1286.3	0.2621 1305.4	0.2721 1323.3	0.2994 1371.5	0.3159 1400.8	0.3538 1468.2	0.3887 1531.1	0.4218 1591.8
2300.0	2285.3	655.91	V hg	0.1513 1110.4	0.1575 1123.8	0.1978 1204.9	0.2247 1256.7	0.2362 1278.4	0.2468 1298.4	0.2567 1316.9	0.2835 1366.6	0.2997 1396.5	0.3365 1464.9	0.3703 1528.5	0.4023 1589.6
2400.0	2385.3	662.12	V hg	0.1407 1101.1	----- 1101.1	0.1828 1191.5	0.2105 1247.3	0.2221 1270.2	0.2327 1291.1	0.2425 1310.3	0.2689 1361.6	0.2848 1392.2	0.3207 1461.7	0.3534 1525.9	0.3843 1587.4
2500.0	2485.3	668.13	V hg	0.1307 1091.1	----- 1091.1	0.1686 1176.8	0.1973 1237.6	0.2090 1261.8	0.2196 1283.6	0.2294 1303.6	0.2555 1356.5	0.2710 1387.8	0.3061 1458.4	0.3379 1523.2	0.3678 1585.3
2600.0	2585.3	673.94	V hg	0.1213 1080.2	----- 1080.2	0.1549 1160.6	0.1849 1227.3	0.1967 1252.9	0.2074 1275.8	0.2172 1296.8	0.2431 1351.4	0.2584 1383.4	0.2926 1455.1	0.3236 1520.6	0.3526 1583.1
2700.0	2685.3	679.55	V hg	0.1123 1068.3	----- 1068.3	0.1415 1142.5	0.1732 1216.5	0.1853 1243.8	0.1960 1267.9	0.2059 1289.7	0.2315 1346.1	0.2466 1378.9	0.2801 1451.8	0.3103 1518.0	0.3385 1580.9
2800.0	2785.3	684.99	V hg	0.1035 1054.8	----- 1054.8	0.1281 1121.4	0.1622 1205.1	0.1745 1234.2	0.1854 1259.6	0.1953 1282.4	0.2208 1340.8	0.2356 1374.3	0.2685 1448.5	0.2979 1515.4	0.3254 1578.7
2900.0	2885.3	690.26	V hg	0.0947 1039.0	----- 1039.0	0.1143 1095.9	0.1517 1193.0	0.1644 1224.3	0.1754 1251.1	0.1853 1274.9	0.2108 1335.3	0.2254 1369.7	0.2577 1445.1	0.2864 1512.7	0.3132 1576.5
3000.0	2985.3	695.36	V hg	0.0858 1020.8	----- 1020.8	0.0984 1060.7	0.1416 1180.1	0.1548 1213.8	0.1660 1242.2	0.1760 1267.2	0.2014 1329.7	0.2159 1365.0	0.2476 1441.8	0.2757 1510.0	0.3018 1574.3
3100.0	3085.3	700.31	V hg	0.0753 993.1	----- 993.1	----- -----	0.1320 1166.2	0.1456 1202.9	0.1571 1233.0	0.1672 1259.3	0.1926 1324.1	0.2070 1360.3	0.2382 1438.4	0.2657 1507.4	0.2911 1572.1
3200.0	3185.3	705.11	V hg	0.0580 934.4	----- 934.4	----- -----	0.1226 1151.1	0.1369 1191.4	0.1486 1223.5	0.1589 1251.1	0.1843 1318.3	0.1986 1355.5	0.2293 1434.9	0.2563 1504.7	0.2811 1569.9
3206.0	3191.2	705.40	V hg	0.0503 902.7	----- 902.7	----- -----	0.1220 1150.2	0.1363 1190.6	0.1480 1222.9	0.1583 1250.5	0.1838 1317.9	0.1981 1355.2	0.2288 1434.7	0.2557 1504.5	0.2806 1569.8

\* V = volume massique, cubic feet par pound

hg = chaleur totale, Btu par pound

Tableau 7



# Constantes physiques de la vapeur d'eau

## Unités métriques

Pression (bar abs.)	Vapeur d'eau saturée			Vapeur d'eau surchauffée								
	Température (°C)	*	Sat.	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C
1	99.63	V h	1.649 2673	2.406 2973	2.638 3073	2.870 3174	3.102 3277	3.334 3381	3.565 3487	3.796 3594	4.027 3703	4.258 3814
1 1/2	111.37	V h	1.159 2691	1.601 2972	1.757 3072	1.912 3173	2.067 3276	2.221 3380	2.376 3486	2.530 3594	2.684 3703	2.838 3814
2	120.33	V h	0.885 2704	1.198 2970	1.316 3071	1.433 3172	1.549 3275	1.665 3380	1.781 3486	1.897 3593	2.013 3703	2.128 3814
3	133.54	V h	0.605 2723	0.796 2967	0.875 3068	0.953 3170	1.031 3274	1.109 3378	1.186 3485	1.264 3592	1.341 3702	1.418 3813
4	143.63	V h	0.462 2736	1.594 2963	0.654 3065	0.713 3168	0.772 3272	0.830 3377	0.889 3483	0.947 3591	1.005 3701	1.063 3812
5	151.85	V h	0.374 2746	0.474 2960	0.522 3063	0.569 3166	0.617 3270	0.664 3376	0.710 3482	0.757 3590	0.803 3700	0.850 3812
6	158.84	V h	0.315 2755	0.393 2957	0.434 3060	0.474 3164	0.513 3269	0.552 3374	0.591 3481	0.630 3590	0.669 3699	0.708 3811
7	164.96	V h	0.272 2762	0.336 2953	0.371 3058	0.405 3162	0.439 3267	0.473 3373	0.506 3480	0.540 3589	0.573 3699	0.606 3810
8	170.41	V h	0.240 2768	0.293 2950	0.323 3055	0.354 3160	0.384 3265	0.413 3372	0.443 3479	0.472 3588	0.501 3698	0.530 3809
9	175.36	V h	0.214 2773	0.259 2946	0.287 3053	0.314 3158	0.340 3264	0.367 3370	0.393 3478	0.419 3587	0.445 3697	0.471 3809
10	179.88	V h	0.194 2777	0.232 2943	0.257 3050	0.282 3156	0.306 3262	0.330 3369	0.353 3477	0.377 3586	0.400 3696	0.424 3808
11	184.06	V h	0.177 2781	0.210 2939	0.233 3047	0.256 3154	0.278 3261	0.299 3368	0.321 3476	0.342 3585	0.364 3695	0.385 3807
12	187.96	V h	0.163 2784	0.192 2936	0.213 3045	0.234 3152	0.254 3259	0.274 3366	0.294 3475	0.314 3584	0.333 3695	0.353 3807
13	191.60	V h	0.151 2787	0.176 2932	0.196 3042	0.215 3150	0.234 3257	0.253 3365	0.271 3473	0.289 3583	0.307 3694	0.326 3806
14	195.04	V h	0.140 2790	0.163 2928	0.182 3039	0.200 3148	0.217 3256	0.234 3364	0.252 3472	0.268 3582	0.285 3693	0.302 3805
15	198.28	V h	0.131 2792	0.152 2925	0.169 3037	0.186 3146	0.202 3254	0.219 3362	0.235 3471	0.250 3581	0.266 3692	0.282 3805
16	201.37	V h	0.123 2794	0.141 2921	0.158 3034	0.174 3144	0.189 3252	0.205 3361	0.220 3470	0.235 3580	0.249 3691	0.264 3804
17	204.30	V h	0.116 2796	0.133 3917	0.148 3031	0.163 3142	0.178 3251	0.192 3360	0.207 3469	0.221 3579	0.235 3691	0.248 3803
18	207.11	V h	0.110 2798	0.125 2913	0.140 3029	0.154 3140	0.168 3249	0.181 3358	0.195 3468	0.208 3578	0.221 3690	0.235 3803
19	209.79	V h	0.104 2799	0.117 2909	0.132 3026	0.146 3138	0.159 3247	0.172 3357	0.184 3467	0.197 3577	0.210 3689	0.222 3802
20	212.37	V h	0.099 2800	0.111 2905	0.125 3023	0.138 3135	0.151 3246	0.163 3356	0.175 3466	0.187 3576	0.199 3688	0.211 3801
22	217.24	V h	0.090 2802	0.100 2897	0.113 3018	0.125 3131	0.136 3242	0.148 3353	0.159 3463	0.170 3575	0.181 3687	0.191 3800
24	221.78	V h	0.083 2803	0.091 2888	0.103 3012	0.114 3127	0.125 3239	0.135 3350	0.145 3461	0.155 3573	0.165 3685	0.175 3798

\*V = volume massique (m<sup>3</sup>/kg)

h = enthalpie (kJ/kg)

Tableau 7

## Constantes physiques de la vapeur d'eau (suite)

### Unités métriques

Pression (bar abs.)	Vapeur d'eau saturée			Vapeur d'eau surchauffée								
	Température (°C)	*	Sat.	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C
26	99.63	V h	0.076 2804	0.083 2879	0.094 3006	0.105 3123	0.115 3236	0.124 3348	0.134 3459	0.143 3571	0.153 3683	0.162 3797
28	230.04	V h	0.071 2805	0.076 2869	0.087 3000	0.097 3199	0.106 3232	0.115 3345	0.124 3457	0.133 3569	0.141 3682	0.150 3796
30	233.84	V h	0.066 2805	0.070 2859	0.081 2994	0.090 3114	0.099 3229	0.107 3342	0.116 3455	0.124 3567	0.132 3680	0.140 3794
32	237.44	V h	0.062 2805	0.065 2848	0.075 2998	0.084 3110	0.092 3226	0.100 3339	0.108 3452	0.116 3565	0.123 3679	0.131 3793
34	240.88	V h	0.058 2805	0.060 2837	0.070 2982	0.079 3106	0.087 3222	0.094 3337	0.102 3450	0.109 3563	0.116 3677	0.123 3792
36	244.16	V h	0.055 2804	0.056 2826	0.066 2976	0.074 3101	0.081 3219	0.089 3334	0.096 3448	0.103 3561	0.109 3675	0.116 3790
38	247.31	V h	0.052 2803	0.053 2813	0.062 2969	0.070 3097	0.077 3216	0.084 3331	0.091 3446	0.097 3560	0.104 3674	0.110 3789
40	250.33	V h	0.049 2802	----- 2802	0.058 2962	0.066 3092	0.073 3212	0.079 3329	0.086 3443	0.092 3558	0.098 3672	0.104 3787
42	253.24	V h	0.047 2801	----- 2801	0.055 2956	0.063 3088	0.069 3209	0.075 3326	0.082 3441	0.088 3556	0.093 3671	0.099 3786
44	256.05	V h	0.045 2799	----- 2799	0.052 2949	0.059 3083	0.066 3205	0.072 3323	0.078 3439	0.083 3554	0.089 3669	0.095 3785
46	258.76	V h	0.042 2798	----- 2798	0.050 2941	0.057 3078	0.063 3202	0.069 3320	0.074 3437	0.080 3552	0.085 3667	0.090 3783
48	261.38	V h	0.041 2796	----- 2796	0.047 3934	0.054 3073	0.060 3198	0.066 3318	0.071 3434	0.076 3550	0.081 3666	0.087 3782
50	263.92	V h	0.039 2794	----- 2794	0.045 2926	0.051 3069	0.057 3195	0.063 3315	0.068 3432	0.073 3548	0.078 3664	0.083 3781
52	266.38	V h	0.037 2792	----- 2792	0.043 2919	0.049 3064	0.055 3191	0.060 3312	0.065 3430	0.070 3546	0.075 3663	0.080 3779
54	268.77	V h	0.036 2790	----- 2790	0.041 2911	0.047 3059	0.053 3188	0.058 3309	0.063 3428	0.067 3545	0.072 3661	0.077 3778
56	271.09	V h	0.034 2788	----- 2788	0.039 2902	0.045 3054	0.051 3184	0.056 3306	0.060 3425	0.065 3543	0.069 3659	0.074 3776
58	273.36	V h	0.033 2786	----- 2786	0.037 2894	0.043 3049	0.049 3181	0.054 3304	0.058 3423	0.063 3541	0.067 3658	0.071 3775
60	275.56	V h	0.032 2783	----- 2783	0.036 2885	0.042 3044	0.047 3177	0.052 3301	0.056 3421	0.060 3539	0.065 3656	0.069 3774
65	280.83	V h	0.029 2777	----- 2777	0.032 2862	0.038 3031	0.043 3168	0.047 3294	0.052 3415	0.056 3534	0.059 3652	0.063 3770
70	285.80	V h	0.027 2771	----- 2771	0.029 2838	0.035 3017	0.039 3158	0.044 3287	0.048 3409	0.051 3529	0.055 3648	0.059 3767
75	290.51	V h	0.025 2764	----- 2764	0.026 2812	0.032 3003	0.036 3149	0.040 3279	0.044 3404	0.048 3525	0.051 3644	0.055 3763
80	294.98	V h	0.023 2756	----- 2756	0.024 2783	0.029 2988	0.034 3139	0.038 3272	0.041 3398	0.045 3520	0.048 3640	0.051 3760
85	299.24	V h	0.021 2749	----- 2749	----- -----	0.027 2972	0.032 3129	0.035 3265	0.039 3392	0.042 3515	0.045 3636	0.048 3757

\* V = volume massique (m<sup>3</sup>/kg)

h = enthalpie (kJ/kg)

Tableau 7

## Constantes physiques de la vapeur d'eau (suite)

### Unités métriques

Pression (bar abs.)	Vapeur d'eau saturée			Vapeur d'eau surchauffée								
	Température (°C)	*	Sat.	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C
90	303.31	V h	0.020 2741	----- -----	----- -----	0.025 2956	0.029 3119	0.033 3257	0.036 3386	0.039 3510	0.042 3632	0.045 3753
95	307.22	V h	0.019 2733	----- -----	----- -----	0.024 2939	0.028 3108	0.031 3250	0.034 3380	0.037 3505	0.040 3628	0.043 3750
100	310.96	V h	0.018 2725	----- -----	----- -----	0.022 2922	0.026 3098	0.029 3242	0.032 3374	0.035 3501	0.038 3624	0.040 3746
105	314.57	V h	0.017 2717	----- -----	----- -----	0.020 2904	0.024 3087	0.028 3235	0.031 3368	0.033 3496	0.036 3620	0.038 3743
110	318.04	V h	0.016 2708	----- -----	----- -----	0.019 2884	0.023 3076	0.026 3227	0.029 3362	0.032 3491	0.034 3616	0.037 3739
115	321.40	V h	0.015 2698	----- -----	----- -----	0.018 2864	0.022 3064	0.025 3219	0.028 3356	0.030 3486	0.033 3612	0.035 3736
120	324.64	V h	0.014 2687	----- -----	----- -----	0.017 2844	0.021 3052	0.024 3211	0.026 3350	0.029 3481	0.031 3608	0.033 3732
125	327.77	V h	0.0135 2675	----- -----	----- -----	0.016 2822	0.020 3040	0.023 3203	0.025 3344	0.027 3476	0.030 3604	0.032 3729
130	330.81	V h	0.0127 2663	----- -----	----- -----	0.015 2799	0.019 3028	0.022 3194	0.024 3338	0.026 3471	0.029 3600	0.031 3725
135	333.76	V h	0.0121 2651	----- -----	----- -----	0.014 2776	0.018 3015	0.021 3186	0.023 3332	0.025 3466	0.027 3596	0.029 3722
140	336.63	V h	0.0114 2637	----- -----	----- -----	0.013 2749	0.017 3002	0.020 3177	0.022 3325	0.024 3462	0.026 3592	0.028 3719
145	339.41	V h	0.0109 2624	----- -----	----- -----	0.012 2722	0.016 2988	0.019 3169	0.021 3319	0.023 3457	0.025 3587	0.027 3715
150	342.12	V h	0.0103 2610	----- -----	----- -----	0.011 2690	0.015 2974	0.018 3160	0.020 3313	0.022 3451	0.024 3583	0.026 3712
155	344.75	V h	0.0098 2596	----- -----	----- -----	0.010 2654	0.014 2960	0.017 3151	0.020 3306	0.022 3446	0.024 3579	0.025 3708
160	347.32	V h	0.0093 2581	----- -----	----- -----	0.009 2614	0.014 2946	0.017 3142	0.019 3300	0.021 3441	0.023 3575	0.024 3705
165	349.82	V h	0.0088 2565	----- -----	----- -----	0.008 2565	0.013 2931	0.016 3133	0.018 3293	0.020 3436	0.022 3571	0.024 3701
170	352.29	V h	0.0083 2547	----- -----	----- -----	----- -----	0.013 2915	0.015 3123	0.018 3287	0.019 3431	0.021 3567	0.023 3698
175	354.64	V h	0.0079 2530	----- -----	----- -----	----- -----	0.012 2899	0.015 3114	0.017 3280	0.019 3426	0.021 3563	0.022 3694
180	356.96	V h	0.0075 2511	----- -----	----- -----	----- -----	0.011 2883	0.014 3104	0.016 3273	0.018 3421	0.020 3558	0.021 3691
190	361.44	V h	0.0067 2468	----- -----	----- -----	----- -----	0.010 2850	0.013 3084	0.015 3259	0.017 3410	0.019 3550	0.020 3684
200	365.71	V h	0.0059 2416	----- -----	----- -----	----- -----	0.009 2815	0.012 3064	0.014 3245	0.016 3400	0.018 3542	0.019 3677
210	369.79	V h	0.0050 2344	----- -----	----- -----	----- -----	0.009 2779	0.011 3042	0.013 3231	0.015 3389	0.017 3533	0.018 3670
220	373.70	V h	0.0038 2218	----- -----	----- -----	----- -----	0.008 2737	0.011 3020	0.013 3216	0.014 3378	0.016 3524	0.017 3662

\* V = volume massique (m<sup>3</sup>/kg)  
h = enthalpie (kJ/kg)

Tableau 7

## Table de conversion des températures

° C		° F	° C		° F
-273	-459.4		43.3	110	230
-268	-450		46.1	115	239
-240	-400		48.9	120	248
-212	-350		54.4	130	266
-184	-300		60.0	140	284
-157	-250	-418	65.6	150	302
-129	-200	-328	71.1	160	320
-101	-150	-238	76.7	170	338
-73	-100	-148	82.2	180	356
-45.6	-50	-58	87.8	190	374
-42.8	-45	-49	93.3	200	392
-40	-40	-40	98.9	210	410
-37.2	-35	-31	104.4	220	428
-34.4	-30	-22	110	230	446
-31.7	-25	-13	115.6	240	464
-28.9	-20	-4	121	250	482
-26.1	-15	5	149	300	572
-23.2	-10	14	177	350	662
-20.6	-5	23	204	400	752
-17.8	0	32	232	450	842
-15	5	41	260	500	932
-12.2	10	50	288	550	1022
-9.4	15	59	316	600	1112
-6.7	20	68	343	650	1202
-3.9	25	77	371	700	1292
-1.1	30	86	399	750	1382
0	32	89.6	427	800	1472
1.7	35	95	454	850	1562
4.4	40	104	482	900	1652
7.2	45	113	510	950	1742
10	50	122	538	1000	1832
12.8	55	131	566	1050	1922
15.6	60	140	593	1100	2012
18.3	65	149	621	1150	2102
21.1	70	158	649	1200	2192
23.9	75	167	677	1250	2282
26.7	80	176	704	1300	2372
29.4	85	185	732	1350	2462
32.2	90	194	762	1400	2552
35	95	203	788	1450	2642
37.8	100	212	816	1500	2732
40.6	105	221			

Note 1 : La valeur de la température à transformer est lue dans la colonne en chiffres rouges. Pour obtenir la température en degrés Celsius, lire le résultat dans la colonne de gauche. Pour obtenir des degrés Fahrenheit, lire dans la colonne de droite.

Note 2 : Cette table utilise la relation :  $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(T(^{\circ}\text{F}) - 32)$ . Pour convertir une température de surchauffe, appliquer la relation :  $T_{\text{sh}}(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}T_{\text{sh}}(^{\circ}\text{F})$

Tableau 8

## Dimensionnement des vannes de régulation

Les formules de dimensionnement des vannes de Masoneilan sont utilisées depuis près de 50 ans. Les formules les plus récentes pour les liquides, les gaz et la vapeur d'eau sont regroupées sur cette page et la suivante pour pouvoir les utiliser ou s'y référer.

### Formules pour liquides

#### Unités anglo-saxonnes

A. Ecoulement non critique	B. Ecoulement critique cavitation ou vaporisation
$P < C_f^2 ( P_s )$	$P < C_f^2 ( P_s )$

débit volumique

$$C_v = q \sqrt{\frac{G_f}{P}}$$

$$C_v = \frac{q}{C_f} \sqrt{\frac{G_f}{P_s}}$$

débit massique

$$C_v = \frac{W}{500 \sqrt{G_f P}}$$

$$C_v = \frac{W}{500 C_f \sqrt{G_f P_s}}$$

$$* P_s = P_1 - \left( 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \right) P_v$$

ou pour simplifier, si  $P_v < 0.5 P_1$ ,  $P_s = P_1 - P_v$

avec :

- $C_v$  = coefficient de débit
- $C_f$  = facteur de récupération de pression du liquide dans une vanne de régulation sans raccords adjacents
- $G_f$  = densité à la température de l'écoulement, calculée par rapport à l'eau (1 à 60°F)
- $P_1$  = pression absolue en amont, psia
- $P_2$  = pression absolue en aval, psia
- $P_c$  = Pression thermodynamique critique absolue, psia
- $P_v$  = tension de vapeur du liquide à la température en amont, psia
- $P$  = chute de pression  $P_1 - P_2$ , psi
- $q$  = débit volumique du liquide, U. S. gpm
- $W$  = débit massique du liquide, pounds par heure

#### Unités métriques

A. Ecoulement non critique	B. Ecoulement critique cavitation ou vaporisation
$P < C_f^2 ( P_s )$	$P < C_f^2 ( P_s )$

débit volumique

$$(Ref. 1) C_v = 1.16q \sqrt{\frac{G_f}{P}}$$

$$C_v = \frac{1.16q}{C_f} \sqrt{\frac{G_f}{P_s}}$$

débit massique

$$C_v = \frac{1.16 W}{\sqrt{G_f P}}$$

$$C_v = \frac{1.16 W}{C_f \sqrt{G_f P_s}}$$

$$* P_s = P_1 - \left( 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \right) P_v$$

ou pour simplifier, si  $P_v < 0.5 P_1$ ,  $P_s = P_1 - P_v$

avec :

- $C_v$  = coefficient de débit
- $C_f$  = facteur de récupération de pression du liquide dans une vanne de régulation sans raccords adjacents
- $G_f$  = densité à la température de l'écoulement, calculée par rapport à l'eau (1 à 15,6°C)
- $P_1$  = pression absolue en amont, bar abs.
- $P_2$  = pression absolue en aval, bar abs.
- $P_c$  = Pression thermodynamique critique absolue, bar abs.
- $P_v$  = tension de vapeur du liquide à la température en amont, bar abs.
- $P$  = chute de pression  $P_1 - P_2$ , bar
- $q$  = débit volumique du liquide, m<sup>3</sup>/h
- $W$  = débit massique du liquide, t/h

## Formules pour gaz et vapeur d'eau

### Unités anglo-saxonnes

débit volumique pour gaz

$$C_v = \frac{Q \sqrt{GTZ}}{834 C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

débit massique pour gaz

$$C_v = \frac{W \sqrt{Z}}{2.8 C_f P_1 \sqrt{G_f} (y - 0.148 y^3)}$$

vapeur saturée

$$C_v = \frac{W}{1.83 C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

vapeur surchauffée

$$C_v = \frac{W (1 + 0.0007 T_{sh})}{1.83 C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

### Unités métriques

débit volumique pour gaz

$$C_v = \frac{Q \sqrt{GTZ}}{257 C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

débit massique pour gaz

$$C_v = \frac{54.5 W \sqrt{Z}}{C_f P_1 \sqrt{G_f} (y - 0.148 y^3)}$$

Vapeur saturée

$$C_v = \frac{83.7 W}{C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

vapeur surchauffée

$$C_v = \frac{83.7 (1 + 0.00126 T_{sh}) W}{C_f P_1 (y - 0.148 y^3)}$$

avec :

$$y = \frac{1.40}{C_f} \sqrt{\frac{P}{P_1}}$$

(pour les vannes 77000, cartouches LO-DB® et plaques de détente ainsi que les 41000 et les 72000 à deux étages)

$$y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{P}{P_1}}$$

(pour toutes les autres vannes)  
valeur maximale de  $y = 1,50$   
à cette valeur,  $y - 0,148y^3 = 1,0$

avec :

- $C_v$  = coefficient de débit
- $C_f$  = facteur de récupération de pression du liquide dans une vanne de régulation sans raccords adjacents
- $G$  = densité du gaz à 60°F (air = 1,0)
- $G_f$  = densité à la température de l'écoulement,  
=  $G \times \frac{520}{T}$
- $P_1$  = pression en amont, psia
- $P_2$  = pression en aval, psia
- $P$  = chute de pression  $P_1 - P_2$ , psi
- $Q$  = débit volumique à 14,7 psia et 60°F, scfh
- $T$  = température de l'écoulement, R
- $T_{sh}$  = surchauffe de la vapeur d'eau, F
- $W$  = débit massique, lbs/hr
- $Z$  = facteur de compressibilité

avec :

- $C_v$  = coefficient de débit
- $C_f$  = facteur de récupération de pression du liquide dans une vanne de régulation sans raccords adjacents
- $G$  = densité du gaz à 15,6°C (air = 1,0)
- $G_f$  = densité à la température de l'écoulement,  
=  $G \times \frac{288}{T}$
- $P_1$  = pression en amont, bar abs.
- $P_2$  = pression en aval, bar abs.
- $P$  = chute de pression  $P_1 - P_2$ , bar
- $Q$  = débit volumique à 15°C et 1013 mbar abs., m<sup>3</sup>/h
- $T$  = température de l'écoulement, K
- $T_{sh}$  = surchauffe de la vapeur d'eau, °C
- $W$  = débit massique, t/h
- $Z$  = facteur de compressibilité

## Tableaux de conversion unités métriques / unités anglo-saxonnes

Multiplieur	par	pour obtenir	Multiplieur	par	pour obtenir
<b>Longueurs</b>			<b>Débits</b>		
mm	0.10	cm	cubic feet/minute	60.0	cubic feet/hr
mm	0.001	m	cubic feet/minute	1.699	m <sup>3</sup> /h
mm	0.039	inches	cubic feet/minute	256.5	Barrels/day
mm	0.00328	feet	cubic feet/hr	0.1247	GPM
cm	10.0	mm	cubic feet/hr	0.472	l/min
cm	0.010	m	cubic feet/hr	0.01667	cubic feet/minute
cm	0.394	inches	cubic feet/hr	0.0283	m <sup>3</sup> /h
cm	0.0328	feet	m <sup>3</sup> /h	4.403	GPM
inches	25.40	mm	m <sup>3</sup> /h	16.67	l/min
inches	2.54	cm	m <sup>3</sup> /h	0.5886	cubic feet/minute
inches	0.0254	m	m <sup>3</sup> /h	35.31	cubic feet/hr
inches	0.0833	feet	m <sup>3</sup> /h	150.9	Barrels/day
feet	304.8	mm			
feet	30.48	cm			
feet	0.304	m			
feet	12.0	inches			
<b>Surfaces</b>			<b>Vitesses</b>		
mm <sup>2</sup>	0.010	cm <sup>2</sup>	feet/sec	60	feet/minute
mm <sup>2</sup>	10. <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup>	feet/sec	0.3048	m/s
mm <sup>2</sup>	0.00155	sq. inches	feet/sec	1.097	km/h
mm <sup>2</sup>	1.076 x 10 <sup>-5</sup>	sq. feet	feet/sec	0.6818	miles/hr
cm <sup>2</sup>	100	mm <sup>2</sup>	m/s	3.280	feet/sec
cm <sup>2</sup>	0.0001	m <sup>2</sup>	m/s	196.9	feet/minute
cm <sup>2</sup>	0.155	sq. inches	m/s	3.600	km/h
cm <sup>2</sup>	0.001076	sq. feet	m/s	2.237	miles/hr
sq. inches	645.2	mm <sup>2</sup>			
sq. inches	6.452	cm <sup>2</sup>			
sq. inches	0.000645	m <sup>2</sup>			
sq. inches	0.00694	sq. feet			
sq. feet	9.29 x 10 <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup>			
sq. feet	929	cm <sup>2</sup>			
sq. feet	0.0929	m <sup>2</sup>			
sq. feet	144	sq. inches			
<b>Débits</b>			<b>Masses</b>		
gallons US/minute			pounds	0.0005	short ton
GPM	3.785	l/min	pounds	0.000446	long ton
gallons US/minute	0.133	cubic feet/min	pounds	0.453	kg
gallons US/minute	8.021	cubic feet/hr	pounds	0.000453	t
gallons US/minute	0.227	m <sup>3</sup> /h	short ton	2000.0	pounds
gallons US/minute	34.29	Barrels/day	short ton	0.8929	long ton
		(42 US gal)	short ton	907.2	kg
cubic feet/minute	7.481	GPM	short ton	0.9072	t
cubic feet/minute	28.32	l/min	long ton	2240	pounds
			long ton	1.120	short ton
			long ton	1016	kg
			long ton	1.016	t
			kg	2.205	pounds
			kg	0.0011	short ton
			kg	0.00098	long ton
			kg	0.001	t
			t	2205	pounds
			t	1.102	short ton
			t	0.984	long ton
			t	1000	kg

Certaines des unités données dans ce tableau ne sont pas recommandées par le Système International (SI). Par exemple, kg/cm<sup>2</sup>, qui devrait s'appeler kilogramme-force par centimètre carré.

**Tableau 9**

Multiplieur	par	pour obtenir	Multiplieur	par	pour obtenir
<b>Volume &amp; Capacité</b>			<b>Pression &amp; Hauteur</b>		
cm <sup>3</sup>	0.06102	cubic inches	atmosphère	14.69	psi
cm <sup>3</sup>	3.531 x 10 <sup>-5</sup>	cubic feet	atmosphère	1.013	bar
cm <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup>	m <sup>3</sup>	atmosphère	1.033	Kg/cm <sup>2</sup>
cm <sup>3</sup>	0.0001	l	atmosphère	101.3	kPa
cm <sup>3</sup>	2.642 x 10 <sup>-4</sup>	gallons (US)	atmosphère	33.9	ft de H <sub>2</sub> O
m <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup>	cm <sup>3</sup>	atmosphère	10.33	m de H <sub>2</sub> O
m <sup>3</sup>	61,023.0	cubic inches	atmosphère	76.00	cm de Hg
m <sup>3</sup>	35.31	cubic feet	atmosphère	760.0	torr (mm de Hg)
m <sup>3</sup>	1000.0	l	atmosphère	29.92	in de Hg
m <sup>3</sup>	264.2	gallons	bar	14.50	psi
cubic feet	28,320.0	cm <sup>3</sup>	bar	0.9869	atmosphère
cubic feet	1728.0	cubic inches	bar	1.020	Kg/cm <sup>2</sup>
cubic feet	0.0283	m <sup>3</sup>	bar	100.0	kPa
cubic feet	28.32	l	bar	33.45	ft de H <sub>2</sub> O
cubic feet	7.4805	gallons	bar	10.20	m de H <sub>2</sub> O
l	1000.0	cm <sup>3</sup>	bar	75.01	cm de Hg
l	61.02	cubic inches	bar	750.1	torr (mm de Hg)
l	0.03531	cubic feet	bar	29.53	in de Hg
l	0.001	m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	14.22	psi
l	0.264	gallons	kg/cm <sup>2</sup>	0.9807	bar
gallons	3785.0	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	0.9678	atmosphère
gallons	231.0	cubic inches	kg/cm <sup>2</sup>	98.07	kPa
gallons	0.1337	cubic feet	kg/cm <sup>2</sup>	32.81	ft de H <sub>2</sub> O (à 4°C)
gallons	3.785 x 10 <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	10.00	m de H <sub>2</sub> O (à 4°C)
gallons	3.785	l	kg/cm <sup>2</sup>	73.56	cm de Hg
			kg/cm <sup>2</sup>	735.6	torr (mm de Hg)
			kg/cm <sup>2</sup>	28.96	in de Hg
			kPa	0.145	psi
			kPa	0.01	bar
			kPa	0.00986	atmosphère
			kPa	0.0102	kg/cm <sup>2</sup>
			kPa	0.334	ft de H <sub>2</sub> O
			kPa	0.102	m de H <sub>2</sub> O
			kPa	0.7501	cm de Hg
			kPa	7.501	torr (mm de Hg)
			kPa	0.295	in de Hg
			mbar	0.001	bar
<b>Pression &amp; Hauteur</b>					
pounds/sq. inch	0.06895	bar			
pounds/sq. inch	0.06804	atmosphère			
pounds/sq. inch	0.0703	kg/cm <sup>2</sup>			
pounds/sq. inch	6.895	kPa			
pounds/sq. inch	2.307	ft de H <sub>2</sub> O (à 4°C)			
pounds/sq. inch	0.703	m de H <sub>2</sub> O (à 4°C)			
pounds/sq. inch	5.171	cm de Hg (à 0°C)			
pounds/sq. inch	51.71	torr (mm de Hg) (à 0°C)			
pounds/sq. inch	2.036	in de Hg (à 0°C)			

Certaines des unités données dans ce tableau ne sont pas recommandées par le Système International (SI). Par exemple, kilogramme par centimètre carré (kg/cm<sup>2</sup>), qui devrait s'appeler kilogramme-force par centimètre carré.

**Tableau 9**



## **Bibliographie**

1. "The Introduction of a Critical Flow Factor for Valve Sizing," H. D. Baumann, ISA Transactions, Vol. 2, No. 2, April 1963.
2. "Sizing Control Valves for Flashing Service," H. W. Boger, Instruments and Control Systems, January 1970.
3. "Recent Trends in Sizing Control Valves," H. W. Boger, Proceedings Texas A&M 23rd Annual Symposium on Instrumentation for the Process Industries, 1968.
4. "Effect of Pipe Reducers on Valve Capacity," H. D. Baumann, Instruments and Control Systems, December 1968.
5. "Flow of a Flashing Mixture of Water and Steam through Pipes and Valves," W. F. Allen, Trans. ASME, Vol. 73, 1951.
6. "Flow Characteristics for Control Valve Installations," H. W. Boger, ISA Journal, October 1966.
7. Flowmeter Computation Handbook, ASME, 1961.
8. ANSI/ISA S75.01, Flow Equations for Sizing Control Valves.
9. CEI 534-2-1, 1978, Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides incompressibles dans les conditions d'installation.
10. CEI 534-2-2, 1980, Equations de dimensionnement pour l'écoulement des fluides compressibles dans les conditions d'installation.

**Masoneilan - Dresser Valve Division**

4, place de Saverne  
92971 Paris La Défense Cedex (France)  
Tel. : 33 1 49 04 90 00  
Fax : 33 1 49 04 90 10

**Sud-Est - Jean-Pierre MOREAU**

Azur II, La Palunette  
13220 CHATEAUNEUF-les-MARTIGUES  
Tel. : 04 42 76 17 24  
Fax : 04 42 79 87 52

**Ouest - Jean GUILLE**

14, rue Paul Ferrand  
64000 PAU  
Tel. : 05 59 84 25 85  
Fax : 05 59 30 54 20

**Centre de Service Clients de Lyon  
Christian PERRIN**

55, rue de la Mouche  
69540 IRIGNY  
Tel. : 04 72 39 06 29  
Fax : 04 72 39 21 93

**Nord-Est - Alain ESPOSITO**

10, Chemin des Pêcheurs  
39100 DOLE  
Tel. : 03 84 69 02 11  
Fax : 03 84 69 02 12

**Nord - Daniel REBINDAINE**

1, rue des Maraîchers  
95130 LE PLESSIS-BOUCHARD  
Tel. : 01 34 13 31 12  
Fax : 01 34 14 58 57

**Masoneilan Contro Valve INC.**

9610 B, Ignace, BROSSARD,  
QUEBEC J4Y 2R4  
Tel. : 1 514 444 5858  
Fax : 1 514 444 4088

**Masoneilan****Division de Dresser Europe S.A.**

Chaussée de Bruxelles 281-283  
1190 BRUXELLES (Belgique)  
Tel. : 02 344 09 70  
Fax : 02 344 11 23

**Bureaux de Vente  
et  
Centres de Services**

Cette liste  
correspond  
aux adresses  
de Masoneilan  
dans les pays  
francophones.  
Pour tout  
renseignement  
sur le réseau  
international,  
veuillez  
consulter  
le catalogue  
en langue  
anglaise.