

12/96

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

ETUDE HYDRODYNAMIQUE  
D'UN JET GAZEUX IMMERGE  
DANS UN LIT DE PARTICULES

Proposé par:  
Dr F. BENTAHAR

Etudié par:  
M. A. M'RAOUI  
M. A. ROUIDI

Dirigé par:  
M<sup>lle</sup> J. ARRAR  
M. H. FRAIHAT

PROMOTION  
1996

E. N. P. 10, Avenue Hassen Badi - EL HARRACH - ALGER

الموسسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique



A Missoum

## Nomenclature.

### Lettres latines

$A$	Surface.
$b$	Demi-largeur du jet.
$d_p$	Diamètre des particules.
$d_0$	Diamètre de l'injecteur.
$D_C$	Diamètre de la colonne.
$g$	Gravité.
$H$	Hauteur.
$H_{sm}$	Hauteur maximale du lit à jet.
$L_{mf}$	Hauteur du lit au minimum de fluidisation.
$M$	Flux de quantité de mouvement.
$\Delta P$	Perte de charge.
$\Delta P_{total}$	Perte de charge totale.
$\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)$	Gradient de pression.
$Q$	Débit volumique.
$Q_m$	Débit massique.
$r_0$	le rayon de l'injecteur.
$U$	Vitesse du gaz.
$U_0$	Vitesse d'entrée du jet
$U_m$	Vitesse maximale sur l'axe.
$U_{mf}$	Vitesse minimale de fluidisation.
$U_{mb}$	Vitesse minimale de bullage.
$U_{mp}$	Vitesse minimale de pistonage.
$U_{ft}$	Vitesse minimale de fluidisation turbulente.
$U_{tr}$	Vitesse terminale.
$U_f$	Vitesse de fluidisation.
$U_{fs}$	Vitesse de la frontière du jet.
$U_{exp}$	Vitesse expérimentale.
$U_{Gauss}$	Vitesse calculée suivant la relation de Gauss.
$U_{Schlichting}$	Vitesse calculée suivant la relation de Schlichting.
$U_{Gorther}$	Vitesse calculée suivant la relation de Gorther.
$W$	Poids.
$X_p$	Longueur de la zone initiale du jet.
$x$	Abscisse longitudinale.
$y$	Abscisse latérale du jet.
$y_{1/2}$	Abscisse caractéristique. $U(y_{1/2}) = \frac{U_m}{2}$
$z$	Abscisse transversale.

### Lettres grecques.

$\rho_g$	Masse volumique du gaz ( $\text{kg/m}^3$ ).
$\rho_s$	Masse volumique du solide ( $\text{kg/m}^3$ ).
$\rho_f$	Masse volumique du fluide ( $\text{kg/m}^3$ ).
$\rho_0$	Masse volumique du gaz à la sortie de l'injecteur
$\rho_G$	Masse volumique du fluide hors du jet.
$\alpha$	Angle interne de friction.
$\theta$	Demi-angle du jet ( $^\circ$ ).
$\psi$	Facteur de sphéricité.
$\varepsilon$	Porosité.
$\mu$	Viscosité (Pa.s).

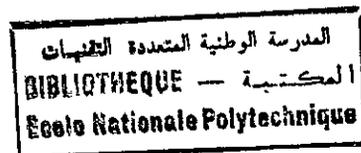
### Nombres adimensionnels

$$Re = \frac{dU\rho_f}{\mu} \quad \text{Le nombre de Reynolds}$$

$$Ga = \frac{d^3 \rho_f (\rho_s - \rho_f) g}{\mu^2} \quad \text{Le nombre de Galilée.}$$

$$Mv = \frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f}$$

# TABLE DES MATIERES



## INTRODUCTION

<b>I. LA FLUIDISATION</b>	<b>2</b>
I1 .. Introduction.	2
I2 .. Les différents régimes de fluidisation.	3
I3 .. Choix du solide de fluidisation.	5
I4 .. Choix du type de distributeur.	6
I5 .. Perte de charge dans les lits fluidisés.	8
I1 .5 .. Le Renardage.	10
I2 .5 .. Le Pistonnage.	11
I6 .. La Vitesse minimale de fluidisation.	11
<b>II. LES JETS LIBRES</b>	<b>14</b>
II1 .. Les Jets laminaires	14
II1 .1 .. Jet laminaire circulaire.	14
II2 .. Les Jets libres turbulents.	15
II1 .2 .. La vitesse maximale sur l'axe	16
II2 .2 .. L'abscisse caractéristique	16
II3 .2 .. L'angle du jet.	16
II4 .2 .. Les Profils de vitesses.	17
II5 .2 .. Le débit.	18
II6 .2 .. Le flux de quantité de mouvement.	18

### III. LES LITS A JETS

19

III1 .. Conditions nécessaires pour l'établissement du jet. 20

III2 .. Caractéristiques hydrodynamiques. 21

III1 .2 .. Perte de charge dans les lits à jet. 22

III3 .. La vitesse minimale du Jet  $U_{ms}$ . 23

III4 .. La hauteur maximale du lit à Jet. 23

### IV. LES JETS EN MILIEU FLUIDISE

24

IV1 .. Les différents régimes. 24

IV2 .. Mode de développement du jet. 25

IV3 .. Longueur de pénétration. 26

IV4 .. Angle du Jet. 27

IV5 .. Entraînement du gaz et des particules dans le jet. 28

IV6 .. Profils de vitesses du gaz. 29

## V. DISPOSITIF EXPERIMENTAL - PROCEDURE ET METHODES DE MESURES ET CALCULS. 30

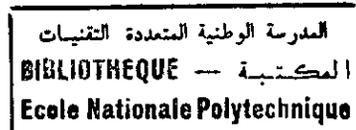
<b>V1 .. Installation expérimentale.</b>	<b>30</b>
V1 .1 .. La colonne de fluidisation	30
V2 .1 .. La boîte à vent	30
V3 .1 .. La plaque de distribution	32
V4 .1 .. L'injecteur	32
V5 .1 .. Système de guidage	32
<b>V2 .. Procédure expérimentale.</b>	<b>32</b>
V1 .2 .. Fluidisation des particules solides.	32
V2 .2 .. Etude des jets libres .	32
V3 .2 .. Etude des jets en milieu particulaire.	33
<b>V3 .. Méthodes de mesures et calculs.</b>	<b>33</b>
V1 .3 .. Caractéristiques du solide utilisé.	33
V2 .3 .. Caractéristiques du gaz	33
V3 .3 .. Mesure de la vitesse du jet.	34
V4 .3 .. Mesures des débits gazeux.	34

## VI. RESULTATS ET DISCUSSION 36

<b>VI1 .. Etude de l'expansion du lit.</b>	<b>36</b>
VI1 .1 .. Evolution des profils de pressions pariétale.	36
VI2 .1 .. La perte de charge totale.	37
VI3 .1 .. Le gradient de pression.	38
VI4 .1 .. La porosité.	38
VI5 .1 .. Etude de l'influence de la masse.	39
VI6 .1 .. La fluidisation avec jet.	40

<b>VI2 .. Etude des jets libres turbulents.</b>	41
VI1 .2 .. Les profils des vitesses.	41
VI2 .2 .. L'angle du jet.	45
VI3 .2 .. La vitesse maximale.	45
VI4 .2 .. La variation du débit du jet.	46
VI5 .2 .. Comparaison des vitesses réduites avec celles prédites par différentes corrélations.	47
<b>VI3 .. Etude d'un jet en milieu particulaire.</b>	49
VI1 .3 .. Evolution des profils de vitesse.	49
VI2 .3 .. Caractéristiques du jet.	52
<b>CONCLUSION</b>	56
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>ANNEXES</b>	

# Introduction générale



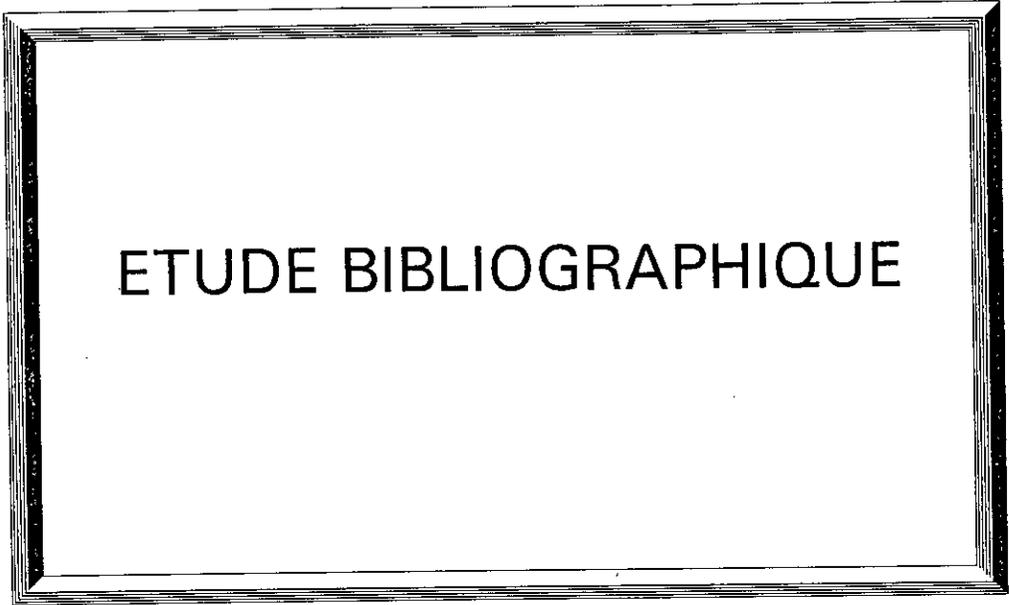
Dans de nombreux procédés industriels utilisant les lits fluidisés les jets sont considérés comme un moyen d'introduction d'un ou plusieurs réactifs dans le lit en réduisant le temps de contact selon la nature du produit désiré. La présence du jet favorise le mélange des différentes phases et assure un bon échange, elle permet également d'obtenir une bonne circulation des particules même celles de grosses tailles et ce pour des débits de gaz modérés.

L'objet de ce travail est de caractériser l'hydrodynamique d'un jet turbulent (vertical) immergé dans un lit de particules aéré ou fluidisé. Pour cela une étude préalable sur les jets en milieu ambiant et sur la fluidisation s'est avérée nécessaire.

La revue bibliographique a été présentée sous forme de quatre chapitres où nous avons regroupé l'essentiel des travaux effectués sur les jets libres, la fluidisation et sur les jets en milieu particulaire.

L'installation expérimentale ainsi que les méthodes de mesure et de calcul sont décrit dans le chapitre V. Quant au chapitre VI, il est consacré à l'exploitation des résultats expérimentaux obtenus.

Nous comparons nos résultats obtenus lors d'un jet immergé avec ceux d'un jet libre; ce qui nous permettra de montrer les interactions dues à la présence de particules solides sur le jet et ses propriétés fondamentales qui sont la symétrie de révolution, l'angle du jet, et l'autosimilarité des profils réduits de vitesse.



ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

# Chapitre I. La Fluidisation

## ***1. 1. Introduction.***

La fluidisation est une opération qui consiste à envoyer un débit de fluide ascendant (gaz ou liquide) à travers un lit poreux de particules. Elle est utilisée dans des domaines divers notamment dans les procédés physiques tel le séchage, le mélange des solides, la plastification, le traitement thermique des métaux,... ainsi que dans des procédés chimiques, comme la combustion, la gazéification du charbon, le craquage du pétrole, l'incinération des déchets solides, la synthèse catalytique,...

Les lits fluidisés présentent de grands avantages [1], [2]. Ils favorisent le mélange des différentes phases et de ce fait assurent des conditions isothermes dans tout le réacteur. Ils permettent également de manipuler de grands débits de solides et de bénéficier de grandes vitesses de réaction et transmission de chaleur. Aussi, le contrôle de l'opération se fait simplement et efficacement.

En dépit de quelques inconvénients (abrasion des particules, problèmes d'érosion des conduits, frittage des fines particules,...), le fait que l'opération soit très économique a fait que celle-ci a connu un grand succès dans l'industrie.

Nous passerons en revue dans une première partie les différents régimes de fluidisation, l'influence du solide et du distributeur sur la fluidisation. Dans une seconde partie nous nous intéresserons aux principaux facteurs caractérisant de la fluidisation: la perte de charge, vitesse minimale de fluidisation,...

## I. 2. Les différents régimes de fluidisation.

Le passage d'un fluide à travers un lit de particules solides conduit, selon le débit appliqué à des régimes de fluidisation différents comme l'illustre la Figure 1.

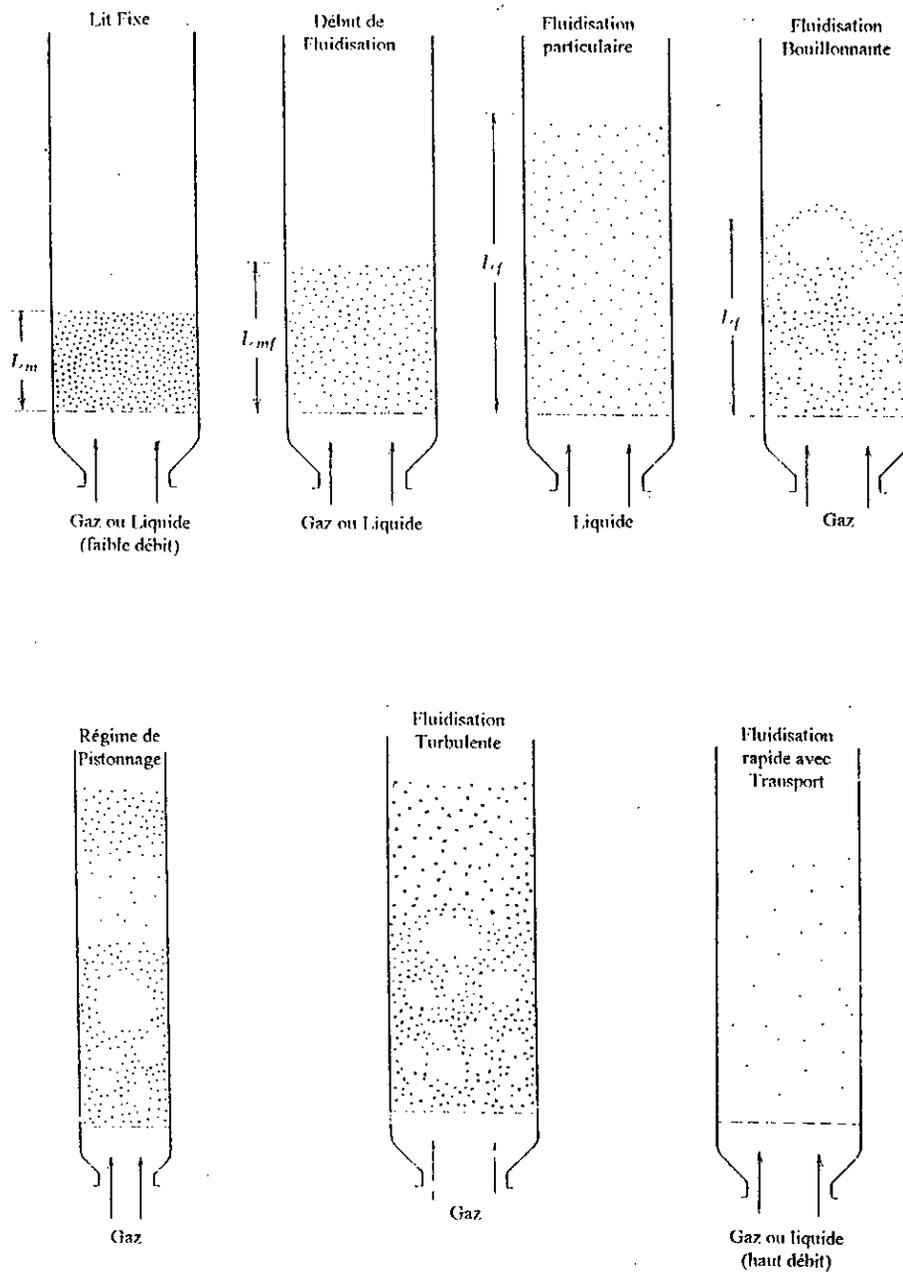


Figure 1. Les différents régimes de fluidisation [1].

Les différents régimes de fluidisation sont repris plus en détail.

**A/ Lit fixe.**  $U < U_{mf}$ .

Les particules restent immobiles dans le lit, c'est à dire que le flux gazeux passe à travers les espaces intergranulaires. Le courant de fluide qui circule à travers le lit subit une chute de pression due aux frottements qu'il exerce sur la surface des particules. La perte de charge augmente avec la vitesse.

**B/ Régime de fluidisation particulaire.**  $U_{mf} < U < U_{mb}$ .

Les particules semblent flotter dans le gaz. Le lit subit une expansion homogène, sa surface supérieure est parfaitement définie et les particules subissent un mouvement de faible amplitude.

**C/ Régime de fluidisation bouillonnante ou régime de bullage.**  $U_{mb} < U < U_{mp}$ .

Des bulles se forment dans la région de la grille de distribution du gaz, située au bas de la colonne, elles s'élèvent dans le lit et grossissent principalement par coalescence puis elles éclatent à la surface. La surface du lit est assez bien définie entre les éclatements de bulles. Des fluctuations appréciables de pression sont observées.

**D/ Régime de Pistonnage.**  $U_{mp} < U < U_{ft}$ .

Le diamètre des bulles atteint une valeur proche du diamètre de la colonne. Le lit fait un mouvement comparable à celui d'un piston. Il y a une alternance de passage de grosses bulles et de phase dense. La surface du lit se soulève et retombe avec une fréquence régulière. Les fluctuations de pression sont très importantes.

**E/ Régime de Fluidisation turbulente.**  $U_{ft} < U < U_{tr}$ .

Le lit est constitué de petits éléments de phase gazeuse et de phase solide qui vont et viennent très rapidement. Il devient alors difficile de distinguer sa surface, et les fluctuations de pression sont de faible amplitude.

**F/ Régime de fluidisation rapide.**  $U_{tr} < U$ .

Les particules sont entraînées sous forme très diluée par le courant gazeux au delà de la surface du lit. Cependant, nous notons la présence de petits paquets de particules descendant près des parois. La perte de charge subie par le gaz devient très faible. La vitesse du gaz est supérieure à la vitesse terminale des particules.

Pour mener à bien une opération de fluidisation le choix du solide et du type de distributeur de fluidisation est très important.

### I. 3. Choix du solide de fluidisation.

En général pour être fluidisable, une poudre doit posséder une bonne dispersibilité et une bonne coulabilité, elle doit être ni trop anguleuse, ni trop fine, ni trop humide.

Le domaine de taille de particules le plus adéquat est de 50 à 500 $\mu\text{m}$ ; il est toutefois possible de fluidiser des poudres dont le diamètre n'appartient pas à ce domaine si leur cohésivité n'est pas excessive. Aussi le solide doit présenter une distribution de taille raisonnable: lors du tamisage, le rapport des ouvertures les plus larges aux ouvertures les plus étroites des tamis ne doit pas excéder 15 à 20.

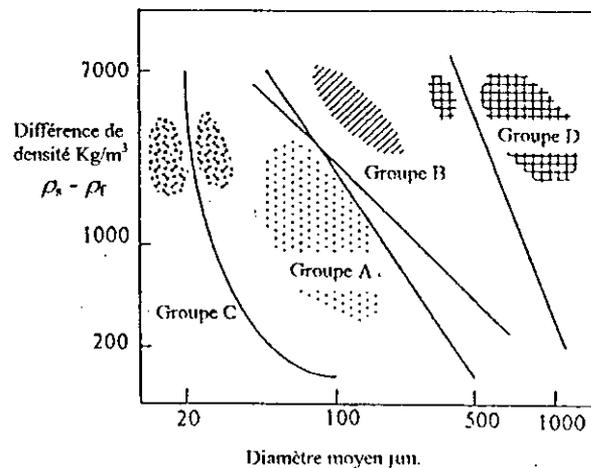


Figure 2. Classification des solides selon Geldart[3]

Geldart [3] propose une classification des solides vis à vis de la fluidisation et distingue quatre groupes.

Groupe A: C'est des poudres fines et légères, de densité inférieure à  $1500\text{kg/m}^3$  en général, d'un diamètre compris entre 50 et  $120\mu\text{m}$  et pour lesquelles la vitesse minimale de bullage  $U_{mb}$  est toujours supérieure à la vitesse minimale de fluidisation  $U_{mf}$ .

Entre  $U_{mf}$  et  $U_{mb}$  la fluidisation est du type particulaire avec une légère tendance à la formation de canaux préférentiels (renardage).

La fluidisation de ces particules est aisée. Lorsque l'alimentation en gaz est arrêtée la défluidisation est lente, c'est le phénomène de désaération. (Les catalyseurs de craquage d'hydrocarbures constituent une bonne illustration).

Groupe B: C'est des particules de taille moyenne, leur masse volumique est entre 1500 et 4000kg/m<sup>3</sup>, et leur diamètre est généralement compris entre 80 et 800µm. Le bullage apparaît dès la mise en fluidisation ( $U_{mb}=U_{mf}$ ) et les risques de renardage sont faibles. La fluidisation est facile et la défluidisation rapide. Le sable appartient à cette catégorie.

La frontière entre le groupe A et B est donnée par l'équation (1).

$$\rho_p - \rho_g = 44000 \frac{\rho_g^{0.1} \mu_g^{0.9}}{g d_p} \quad (1)$$

Groupe C: La taille de ces particules est généralement inférieure à 30µm. Ce sont des particules avec des forces de cohésion non négligeables, les meilleurs exemples sont la farine ou le talc. La fluidisation normale est très difficile à cause du développement du renardage. La poudre peut se soulever à la manière d'un bouchon dans les colonnes de petit diamètre. Ce phénomène est dû au fait que les forces interparticulaires sont plus grandes que les forces exercées par le fluide sur les particules, cette situation peut résulter du fait que ces dernières sont très petites, ou très humides ou trop collantes. La fluidisation doit être assistée soit par une agitation de la couche, soit par vibration. L'expansion des couches est faible.

La frontière entre les groupes A et C n'est pas bien définie, elle dépend notamment de l'humidité du gaz, de la résistivité et de la permittivité relative des particules.

Groupe D: La taille des particules dans cette catégorie est assez importante, le diamètre des particules est supérieur à 800µm. Ce sont des matériaux fluidisables, le plus souvent denses. Le débit du gaz autour des particules est turbulent, ce qui peut causer leur attrition, et les fines particules qui en résultent sont entraînées. En général, il est préférable d'utiliser des techniques particulières tel que le lit à jets.

La frontière entre les catégories B et D est déterminée par l'équation (2)

$$\rho_p - \rho_g = d_p^2 \times 10^{-3} \quad (2)$$

#### ***1. 4.Choix du type de distributeur.***

Le rôle du distributeur est de répartir de façon homogène le gaz. Grohse [4] a observé que la qualité de la fluidisation bouillonnante est fortement influencée par le type de distributeur utilisé comme l'illustre la figure 3. Ce sont généralement des plaques perforées ou autres systèmes permettant la suspension du solide et le passage du fluide. Si le distributeur est constitué d'une plaque contenant peu d'ouvertures, la densité du lit varie avec la hauteur, et le renardage du gaz peut être sévère. S'il y a plusieurs ouvertures, la densité du lit est uniforme partout, les bulles sont plus petites et le contact gaz-solide est plus intime avec moins de renardage.

La fluctuation dans la densité du lit est négligeable aux faibles débits de gaz, et plus appréciable aux forts débits. Bien que le contact soit supérieur avec les distributeurs poreux ceux ci ont un sérieux inconvénient: une énorme perte de charge aux grandes pressions.

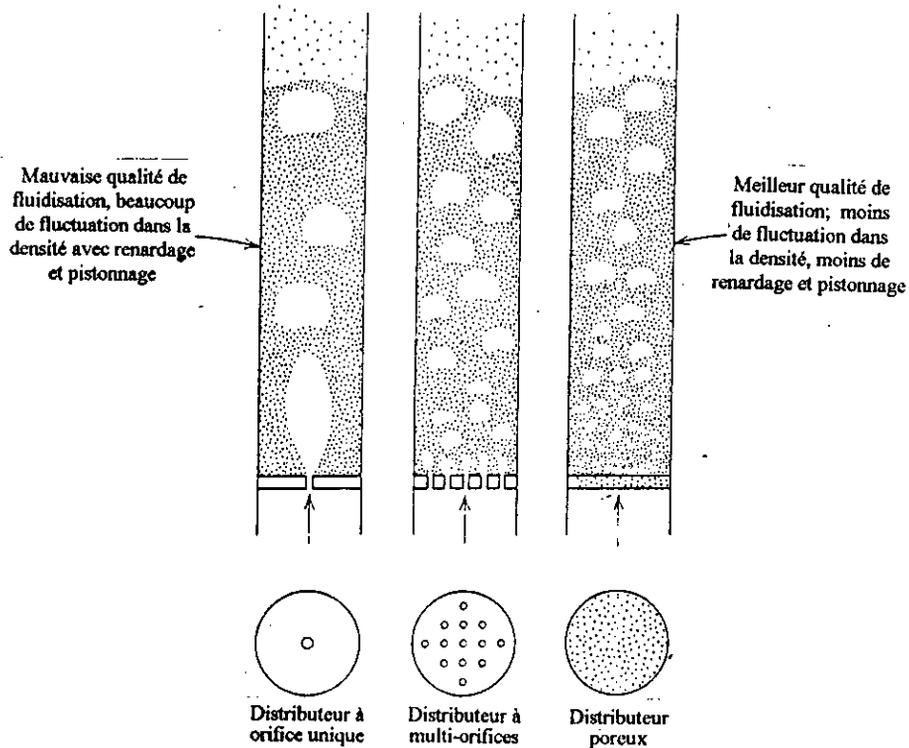


Figure 3. Influence du type de distributeur sur la qualité de la fluidisation [4]

### 1. 5. Perte de charge dans les lits fluidisés.

A partir du diagramme de perte de charge en fonction du débit de gaz, nous pouvons avoir une bonne indication de l'état de fluidisation, comme l'illustrent les figures 4a,b,c.

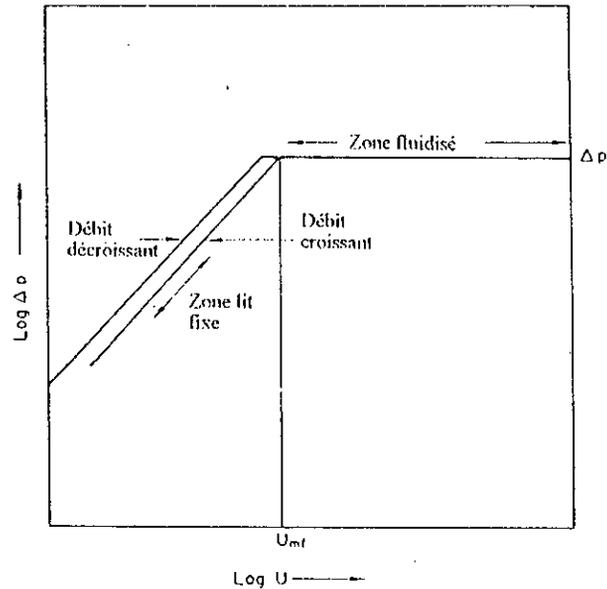


Figure 4 a. Perte de charge en fonction de la vitesse du gaz [5].

Dans une première étape, nous n'observons pas d'expansion du lit, et la perte de charge est une fonction croissante de la vitesse, elle peut être linéaire ou non selon le nombre de Reynolds particulière. Dans certains systèmes (figure 4b), elle évolue jusqu'à atteindre une valeur maximale  $\Delta p_{\max}$  légèrement plus grande que la pression statique du lit. Au delà, le lit s'expande soudainement (La porosité augmente ainsi de  $\epsilon$  à  $\epsilon_{mf}$ ), et la perte de charge atteint la perte de charge statique du lit.

Quand la vitesse du gaz est au dessus du minimum de fluidisation, le lit s'expande et des bulles de gaz sont observées, elles traversent le lit créant une non-homogénéisation dans celui-ci. En dépit de l'augmentation de la vitesse du gaz, la perte de charge reste pratiquement inchangée; ceci s'explique par le fait que lit est bien aéré et peut être déformé facilement sans grande résistance.

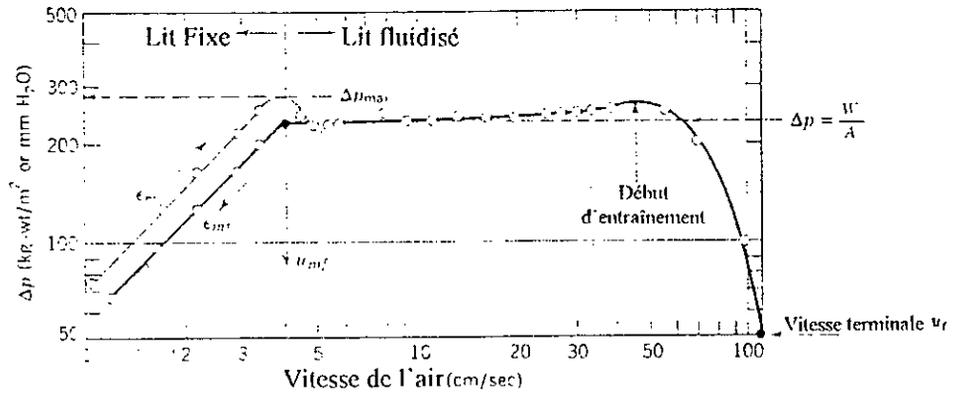


Figure 4 (b). Perte de charge en fonction de la vitesse linéaire du gaz pour des particules de sable de taille uniforme[2].

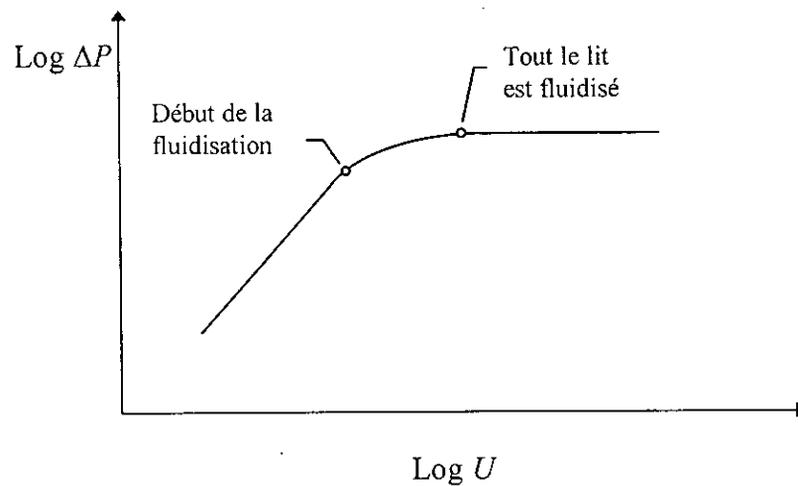


Figure 4 (c). Perte de charge en fonction de la vitesse pour un lit à large distribution granulométrique [5]

En pratique les courbes de la figure 4a se présentent quelque peu différemment. Le passage du lit au repos au lit fluidisé n'est pas nette et la transition s'effectue sur une plage de vitesse d'autant plus étendue que la distribution granulométrique du matériau considéré est grande comme l'illustre la figure 4c. Par ailleurs dans les systèmes gaz-solide, nous assistons beaucoup plus souvent à une fluidisation bouillonnante qu'à une fluidisation particulaire.

Le diagramme de perte de charge en fonction de la vitesse linéaire du gaz est utile lorsque les observations ne sont pas possibles. Il permet de mettre en évidence différents phénomènes en particulier le renardage et le pistonage.

### I. 5. 1. Le Renardage.

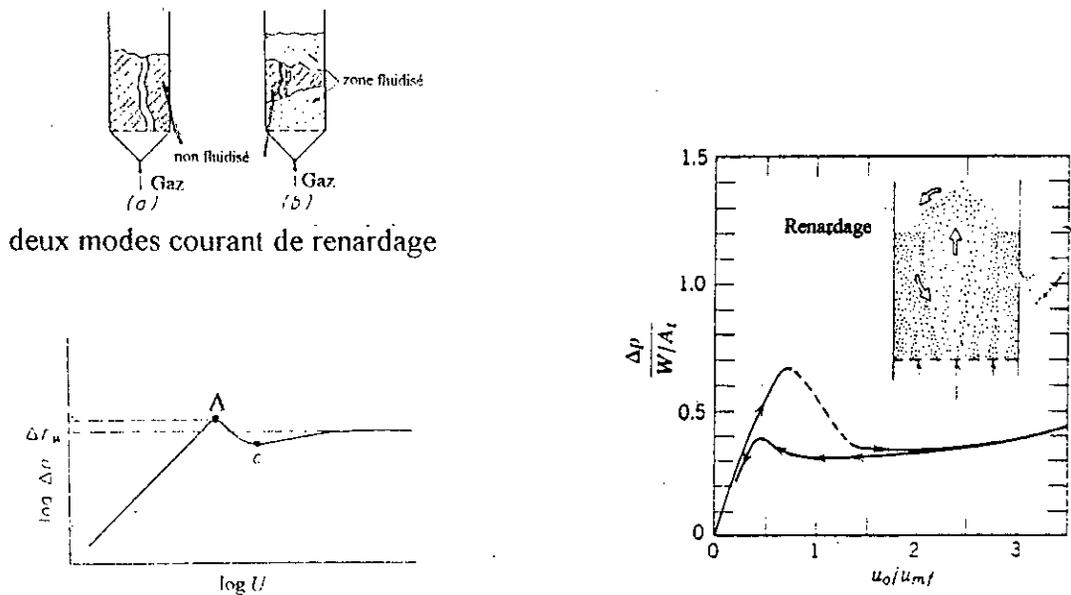


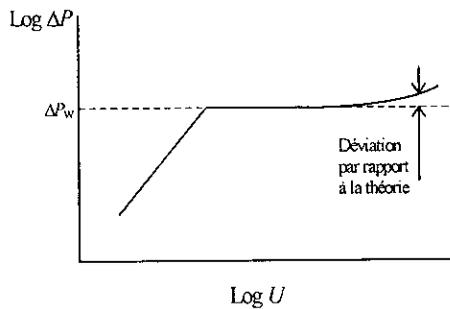
Figure 5: exemples de renardage dans un lit fluidisé[2].

Alors que la perte de charge subie par le courant gazeux devrait rester théoriquement constante et égale au poids du lit de particules par unité de surface, nous observons une augmentation de la perte de charge totale suivie d'une diminution comme l'illustre les figures 5.

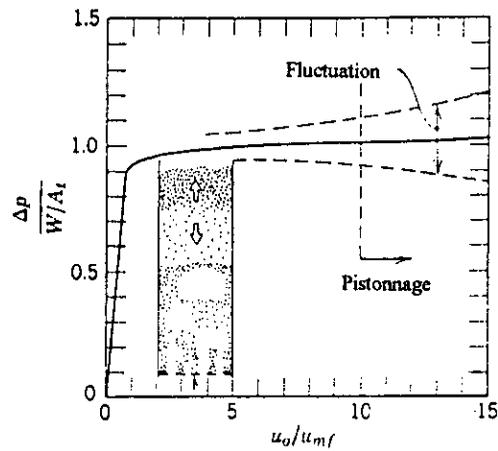
L'écart entre la perte de charge en lit fluidisé et le poids du lit par unité de section nous donne le type de renardage du solide, la faible perte de charge suggère un contact incomplet avec un lit partiellement fluidisé.

Le phénomène de renardage dépend en général de la répartition granulométrique, de la sphéricité des particules et aussi du diamètre de la colonne. Plus la granulométrie est fine ou les colonnes petites, plus le phénomène est important.

### I. 5. 2. Le Pistonnage.



(a)



(b)

Figure 6. Exemple de pistonnage dans un lit fluidisé [1].

Le phénomène de pistonnage est plus rencontré dans les systèmes gaz-solide; les systèmes liquide-solide l'approchent parfois, et est décrit comme étant l'état dans lequel les bulles de gaz atteignent la taille de la colonne. Les couches de particules entre les poches d'air font un mouvement vers le haut à la manière d'un piston, atteignant une certaine hauteur, puis se désintègrent. Le pistonnage conduit donc à une grande hétérogénéité dans un lit fluidisé et une large fluctuation de la pression.

### I. 6. La Vitesse minimale de fluidisation.

Le début de la fluidisation apparaît quand la force développée par le courant de fluide sert à contrebalancer le poids des grains, diminué de la poussée d'Archimède.

$$\left( \begin{array}{l} \text{Les forces de trainée du} \\ \text{mouvement ascendant du gaz} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{Poids apparent} \\ \text{de la particule} \end{array} \right) \quad (3)$$

$$\text{ou bien } \Delta P \quad A = g (A L_{mf}) (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_f) \quad (4)$$

ou bien

$$\left( \begin{array}{c} \text{Perte de charge} \\ \text{\`a travers le lit} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Section droite} \\ \text{de la colonne} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{volume} \\ \text{du lit} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Fraction} \\ \text{du solide} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Poid spécifique} \\ \text{du solide} \end{array} \right) \quad (5)$$

La condition de minimum de fluidisation est donc:

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_f) g \quad (6)$$

La vitesse minimale de fluidisation  $U_{mf}$  n'a pas de signification absolue, c'est le désir de standardiser une méthode de détermination et de comparaison des caractéristiques de différents systèmes.

Nous déterminons la vitesse minimale de fluidisation soit expérimentalement selon la méthode de Richardson [5], soit à partir des différentes expressions reliant la perte de charge et la vitesse superficielle.

La corrélation la plus usuelle est celle développée par Ergun [6]

$$\frac{\Delta P}{L} = (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_f) g = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})^2}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\mu U_{mf}}{(\psi d_p)^2} + 1.75 \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\rho_g U_{mf}^2}{\psi d_p} \quad (7)$$

Et:

$$\text{Re}_{mf} = \sqrt{\left( \frac{75(1 - \varepsilon_{mf})}{1.75 \psi} \right)^2 + \frac{\psi \varepsilon_{mf}}{1.75} Ga} - \frac{75(1 - \varepsilon_{mf})}{1.75 \psi} \quad (8)$$

Wen et Yu [7] suggèrent les modifications suivantes.

$$\frac{1}{\psi \varepsilon_{mf}^3} \approx 14 \quad \text{et} \quad \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\psi^2 \varepsilon_{mf}^3} \approx 11.$$

$$\text{Re}_{mf} = \sqrt{33,7^2 + 0,0408 \frac{d_p^2 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}} - 33,7 \quad (9)$$

Il existe d'autres corrélations établies par différents auteurs. Certaines sont basées sur le modèle de l'équation d'Ergun, d'autres se basent sur la détermination de la relation liant les différents facteurs influant sur la vitesse minimale de fluidisation, comme indiqué dans le tableau 1. Chaque corrélation correspond à des conditions particulières recherchées par les auteurs (diamètre, forme, granulométrie des particules, nature du fluide,...)

**Tableau 1. Différentes corrélations pour la détermination de la vitesse minimale de fluidisation.**

Auteurs	Formules
Babu, Shah et Talwalkar [8]	$Re_{mf} = \sqrt{25,25^2 + 0,0651Ga} - 25,25$ (10)
Bayens et Geldart [9]	$U_{mf} = \frac{9,125 \cdot 10^{-4} (\rho - \rho_g)^{0,934} \rho_g^{0,934} d_p^{1,8}}{\mu^{0,87} \rho_g^{0,066}}$ (11)
Benà [10]	$Re_{mf} = \frac{1,38 \cdot 10^{-3} Ga}{(Ga + 19)^{0,11}} \quad Re < 39 \text{ et } Ga < 10^5$ (12)
Bourgois et Grenier [11]	$Re_{mf} = \sqrt{25,46^2 + 0,03824Ga} - 25,46$ (13)
Broadhurst et Becker [12]	$Re_{mf} = \sqrt{Ga} \left( 2,42 \cdot 10^5 Ga^{-0,85} \left( \frac{\rho}{\rho_g} \right)^{0,13} + 37,7 \right)^{-0,3}$ (14)
Davies et Richardson [13]	$Re_{mf} = 7,8 \cdot 10^{-4} Ga$ (15)
Doichev et Akhmakov [14]	$Re_{mf} = 1,08 \cdot 10^{-3} Ga^{0,947}$ (16)
Frantz [15]	$Re_{mf} = 1,065 \cdot 10^{-3} Ga \quad Re < 32$ (17)
Goroshko, Rozembaum et Todes [16]	$Re_{mf} = \frac{Ga}{1400 + 5,2\sqrt{Ga}}$ (18)
Leva [2]	$U_{mf} = \frac{7,169 \cdot 10^{-4} (\rho - \rho_g)^{0,93} d_p^{1,82} g}{\mu^{0,88} \rho_g^{0,06}}$ (19)
Leva, Shirai et Wen [17]	$U_{mf} = \frac{7,39(\rho - \rho_g)^{0,94} d_p^{1,82}}{\rho_g^{0,06}}$ (20)
Limas [18]	$Re_{mf} = 12,56 \cdot 10^{-2} Ga^{10,523} Mv^{0,66}$ (21)
Miller et Logwinuk [19]	$U_{mf} = \frac{0,00125(\rho - \rho_g)^{0,9} \rho_g^{0,1} d^2 g}{\mu}$ (22)
Pillai et Rajarao [20]	$U_{mf} = \frac{7,01 \cdot 10^{-4} (\rho - \rho_g) d_p^2 g}{\mu} \quad Re < 20$ (23)
Riba, Routie et Couderc [21]	$Re_{mf} = 1,54 \cdot 10^{-2} (Ga')^{0,66} Mv^{0,7} \quad Ga' = Ga / Mv$ (24)
Richardson et St Jeronimo [22]	$Re_{mf} = \sqrt{25,7^2 + 0,0365Ga} - 25,7$ (25)
Rowe et Henwood [23]	$Re_{mf} = 8,1 \cdot 10^{-3} Ga$ (26)
Saxena et Vogel [24]	$Re_{mf} = \sqrt{25,28^2 + 0,0571Ga} - 25,28$ (27)
Thonglimp, Nhiquily et Laguerie [25]	$Re_{mf} = 7,54 \cdot 10^{-4} Ga^{0,98} \quad Re_{mf} < 30$ (28)
	$Re_{mf} = 1,95 \cdot 10^{-2} Ga^{0,66} \quad 30 < Re_{mf} < 180$ (29)

## Chapitre II. Les Jets Libres

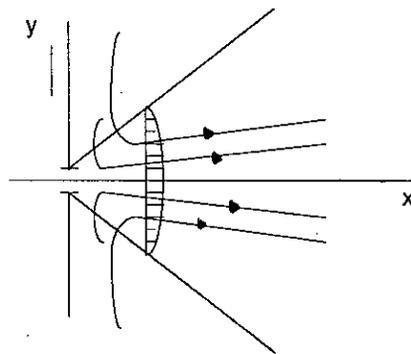
Un jet libre est un fluide qui se dégage d'un orifice dans un milieu infini rempli du même fluide au repos. Le jet peut entraîner dans son mouvement un débit supérieur à son débit initial. Un tel dispositif est approprié pour les mélanges surtout en régime turbulent.

Un jet est dit libre tant que la section droite du conduit qui le contient est supérieure à cinq fois la section droite du jet lui-même, c'est à dire qu'il n'est pas soumis à l'influence des parois.

### II. 1. Les Jets laminaires

Les jets laminaires ne présentent pas un grand intérêt, car il n'ont pas de bonnes caractéristiques de mélange dû au fait qu'ils conservent longtemps leur individualité; le transfert de matière à la frontière du jet étant dû essentiellement à la diffusion moléculaire.

#### II. 1. 1. Jet laminaire circulaire.



**Figure 7. profils de vitesses pour un jet libre laminaire.**

Schlichting [26] propose les solutions suivantes dans le système de coordonnées cylindriques:

$$\frac{U_x}{U_0} = \frac{3}{32} \operatorname{Re} \left( \frac{x}{d_0} \right)^{-1} \left( 1 + \frac{\xi}{4} \right)^{-2} \quad (30)$$

$$\frac{U_r}{U_0} = \frac{\sqrt{3}}{8} \left( \frac{x}{d_0} \right) \left( \xi - \frac{\xi^3}{4} \right) \left( 1 + \frac{\xi^2}{4} \right) \quad (31)$$

$$\xi = \frac{\sqrt{3}}{8} \operatorname{Re} \frac{r}{x} \quad (32)$$

$$\operatorname{Re} = \frac{U_0 d_0 \rho}{\mu} \quad (33)$$

Le débit volumique du jet est tel que

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{32}{\text{Re}} \left( \frac{x}{d_0} \right) \quad (34)$$

D'après des observations expérimentales, la zone d'action des jets laminaires devient inexistante dès que le Reynolds est inférieur à 1. Le jet laminaire est inadapté pour mélanger certains volumes de liquides.

## II. 2. Les Jets libres turbulents.

Nous considérons que le jet est turbulent si le nombre de Reynolds, calculé sur le diamètre de l'injecteur est supérieur à 2500.

Plusieurs chercheurs ont étudié les jets libres turbulents et ont déterminé l'existence de quatre zones distinctes:

- La première zone, proche de l'injecteur; c'est la région de l'établissement de l'écoulement qui s'étend jusqu'à environs 6,4 fois le diamètre de l'injecteur ( $d_0$ ). Le fluide dans cette région a une vitesse semblable à la vitesse de décharge de l'injecteur.
- La deuxième est une zone de transition, généralement comprise entre  $6,4d_0$  et  $8d_0$ .
- La zone principale est une zone de régime établi où l'écoulement du jet devient le siège de mélange. Elle peut s'étendre jusqu'à  $100d_0$ .
- La région terminale où les composantes des vitesses tendent graduellement vers zéro, c'est la zone de passage d'un état laminaire à un état stationnaire, cette zone est souvent négligée dans les calculs.

La zone la plus étudiée dans la littérature est la zone principale, des mesures de vitesse, et de température et de concentrations ont été effectuées par différents chercheurs.

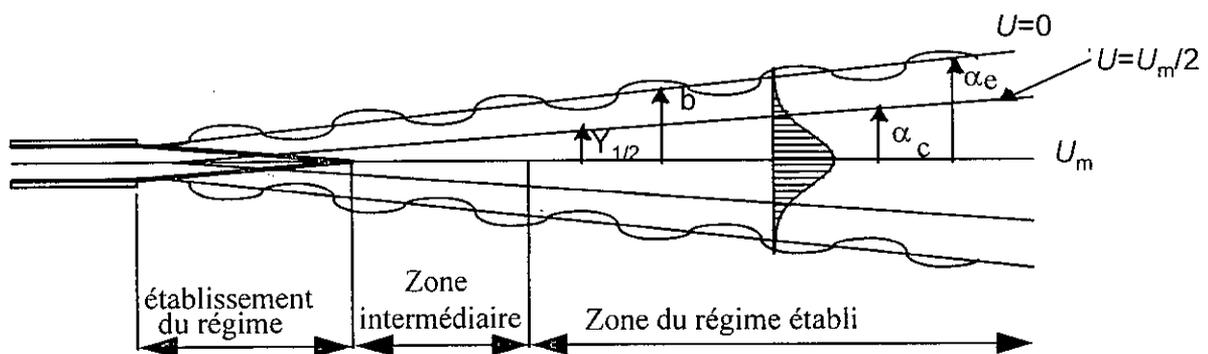


Figure 8. Les différentes zones du jet.

## II. 2. 1. La vitesse maximale sur l'axe

La vitesse axiale du jet décroît avec la croissance de la distance  $x$  en régime établi.

Rajaratman [27] propose l'équation suivante pour un jet tridimensionnel axisymétrique.

$$\frac{U_m}{U_0} = \lambda \frac{d_0}{x} \quad \text{où } \lambda=6,30. \quad (35)$$

Et pour un jet plan.

$$\frac{U_m}{U_0} = \lambda \sqrt{\frac{d_0}{x}} \quad \text{où } \lambda=3,70. \quad (36)$$

## II. 2. 2. L'abscisse caractéristique $y_{1/2}$ .

L'abscisse caractéristique du jet  $y_{1/2}$  correspond à l'abscisse dont l'ordonnée est la moitié de la vitesse maximale  $U_m$ . Elle croît de façon linéaire en fonction de la distance à l'injecteur et sa pente correspond à l'angle caractéristique du jet.

D'après Davies [28].

$$\frac{2 y_{1/2}}{d_0} = \frac{x}{x_{v_0}} \quad (37)$$

Or  $x_{v_0}$  est une origine virtuelle, qui débute à la fin de la zone où la vitesse axiale est constante, c'est à dire à  $6,4d_0$ , soit  $x_{v_0} = 6,4d_0$ .

$$y_{1/2} = 0,078 x. \quad (38)$$

L'abscisse caractéristique  $y_{1/2}$  est une fonction linéaire de la cote  $x$ .

Soit:

$$b(x) = k x + b_0 \quad (39)$$

avec  $k = \text{tg}(\theta)$ , et  $b_0$  demi largeur du jet à la sortie de l'injecteur.

## II. 2. 3. L'angle du jet.

L'angle du jet est défini comme le demi-angle du cône formé par la frontière de la vitesse correspondant à la moitié de la vitesse centrale. Donc, d'après Davies [28]  $\tan^{-1}(0,078)$  qui est d'environ  $5^\circ$ , 45% du flux volumique total est contenu dans ce cône. La limite extérieur du jet n'est pas très bien définie, mais elle est assimilée à un cône de demi angle d'environ  $10$  à  $15^\circ$ .

## II. 2. 4. Les Profils de vitesses.

Selon Davies [28] la distribution radiale de la vitesse longitudinale peut être approchée par l'équation.

$$\text{Log}_{10}\left(\frac{U_m(x)}{U(x)}\right) = 40\left(\frac{y}{x}\right)^2 \quad (40)$$

où  $U(x)$  est la vitesse moyenne longitudinale à la distance  $y$  mesurée à partir du centre du jet. Cette relation peut s'appliquer quand  $x/d_0$  est entre 7 et 100. Ceci montre qu'il y a une similitude des dimensions géométriques à différents points tout au long du jet.

Selon Abramovich [29], le profil de vitesse rapportée à la vitesse maximale sur l'axe peut être représenté par l'équation de Schlichting [26]:

$$\frac{U}{U_m} = \left(1 - \left(\frac{y}{b}\right)^{1,5}\right)^2 \quad \text{et} \quad \frac{y_{1/2}}{b} = 0,44 \quad (41)$$

D'après l'approche de Reichardt, les résultats expérimentaux observés peuvent également être représentés par la distribution de Gauss.

$$\frac{U}{U_m} = \exp\left(-\text{Ln}2\left(\frac{y}{y_{1/2}}\right)^2\right) \quad (42)$$

A partir de la théorie de Prandtl, Gortler a élaboré une nouvelle expression pour les profils de vitesses réduites sur une section transversale du jet.

$$\frac{U}{U_m} = \frac{1}{\left[1 + (\sqrt{2} - 1)\left(\frac{y}{y_{1/2}}\right)^2\right]^2} \quad (43)$$

Pour un jet turbulent à densité variable, Kataoka propose.

$$\frac{U}{U_m} = 0,16\left(\frac{\rho_g}{\rho_0}\right)^{0,5} + \frac{d_0}{X - X_p} + 1 \quad (44)$$

Cette relation est valable pour les fluides incompressibles avec le nombre de Mach inférieur à 1.

### II. 2. 5. Le débit.

Le jet entraîne dans son mouvement l'air périphérique ambiant et donc le débit du jet augmente avec la distance à l'injecteur. Son expression adimensionnelle s'écrit sous la forme:

$$\frac{Q}{Q_0} = \gamma \frac{x}{d_0} \quad (45)$$

avec  $\gamma$  de l'ordre de 0,32.

### II. 2. 6. Le flux de quantité de mouvement.

La théorie sur les jets libres en milieu homogène dicte la conservation du flux de quantité de mouvement. Il est égal à l'impulsion de sortie  $M_0$  et est déterminé par l'expression:

$$M_0 = \rho \pi U^2 r_0^2 \quad (\text{kg.m/s}^2) \quad (46)$$

---

## Chapitre III. Les lits à jets

Un lit à jet est constitué d'un lit de particules d'une hauteur assez appréciable, à travers lequel passe un jet de fluide issu d'un orifice unique disposé en bas de la colonne de base conique comme l'illustre la figure 9.

Le solide effectue systématiquement un mouvement cyclique vers le haut dans la zone centrale et vers le bas sur les côtés, en forme de fontaine.

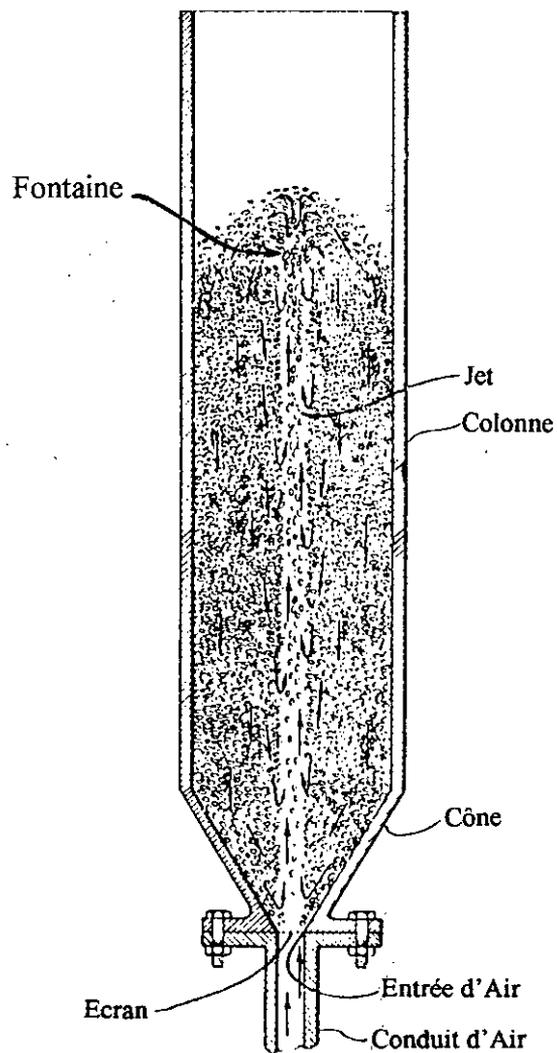


Figure 9. lit à jet [36].

La circulation du solide dans le lit est initiée par l'accélération des particules grâce au fort débit du jet. Une partie majeure du solide annulaire (le solide qui se trouve près des parois de la colonne), s'écoule jusqu'au bas de la colonne où il glisse en travers de la base conique et tombe dans le jet de gaz, puis reprend son mouvement vers le haut. Les effets combinés de la vitesse décroissante du gaz et le contre courant du solide annulaire, et au delà d'une zone initiale d'accumulation au bas de la colonne, font que plus nous nous éloignons de l'injecteur de gaz, plus la vitesse des particules diminue.

### III. 1. Conditions nécessaires pour l'établissement du jet.

Le régime du jet est très dépendant de certaines conditions; à moins que celles-ci ne soit satisfaites, le mouvement du solide devient aléatoire, principalement un état de fluidisation agrégative ou un pistonage. Les paramètres principaux sont la taille des particules, leur répartition granulométrique, le diamètre de l'injecteur, le diamètre de la colonne, l'angle du cône, le débit du gaz et la hauteur du lit. Tous ces paramètres sont en interaction.

Par exemple, un lit de sable de diamètre moyen 0,6 mm contenu dans une colonne de 15 cm de diamètre ne va pas jaillir avec un injecteur de diamètre de 16 mm. L'utilisation d'un injecteur de 12,5 mm donnera un jet stable seulement dans un intervalle restreint de débit d'air et une hauteur de lit en dessous de 68 cm.

Le domaine de débit du jet et la hauteur du lit sont déterminant pour l'établissement d'un jet, comme l'illustre la figure 10.

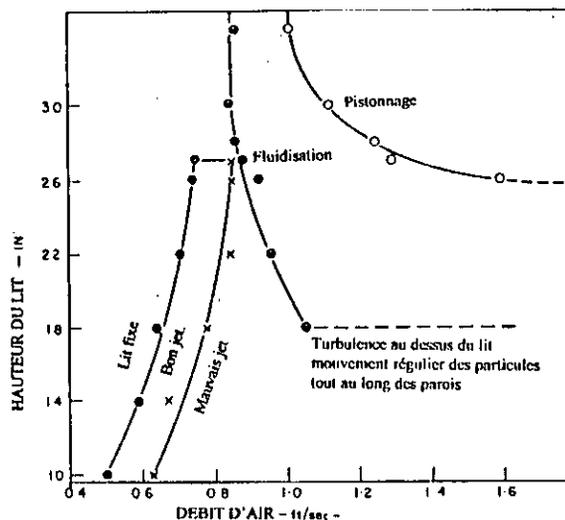


Figure 10. Diagramme de phase pour le jet de sable[36].

Les conditions pour l'établissement d'un jet stable sont moins difficiles pour de grosses particules et des colonnes de grand diamètre. La taille minimale des particules pour lesquelles le jet est stable est de l'ordre de 1 à 2mm. L'uniformité de la classe des particules favorise la stabilité du Jet, un lit contenant une distribution granulométrique large tendra à distribuer le gaz plus efficacement que de produire l'action du jet dû à sa faible perméabilité. Pour un diamètre donné de la colonne et une granulométrie des particules donnée, il y a un diamètre de l'injecteur maximum au delà duquel le jaillissement du lit ne se fera pas [30]. Le bas de la colonne peut être cylindrique ou conique. Il est préférable d'avoir un effilement conique jusqu'à la sortie de l'injecteur pour que le solide puisse glisser facilement jusqu'à l'injecteur sans former de zone morte à la base. La limite de l'angle du cône est apparemment pour la majorité des matériaux de l'ordre de 40° [31],[32].

La conception exacte de l'injecteur peut avoir également un effet important sur la stabilité du jet [33]. Reddy et coll [34] ont trouvé qu'un injecteur convergeant donne de meilleurs résultats qu'un injecteur droit. Ces chercheurs ont aussi remarqué que la présence d'une petite section plate entre l'injecteur et la fin du cône avait un effet stabilisateur supplémentaire.

### **III. 2. Caractéristiques hydrodynamiques.**

Le régime hydrodynamique d'un lit à jet dépend des caractéristiques géométriques de la colonne (diamètre, orifice du distributeur, angle du cône,...), des propriétés physiques des particules (taille, facteur de forme, répartition granulométrique, densité,...), et des conditions de fonctionnement (vitesse superficielle du gaz, hauteur du lit,...).

A l'inverse de la fluidisation, le jet donne un gradient de pression  $\frac{\partial P}{\partial x}$  qui n'est pas uniforme suivant la hauteur du lit; faible à la base, il évolue jusqu'à atteindre un maximum à la surface du lit. La perte de charge résulte de deux résistances parallèles, à savoir celle du jet qui dilue la phase transportée de particules et celle de la région annulaire qui est un lit descendant de particules avec un contre courant de gaz. Si la vitesse du gaz dans la région annulaire de la colonne devient égal à la vitesse de fluidisation, le lit atteint la limite de sa stabilité; cette condition correspond à la hauteur maximale du lit à jet ( $H_{ms}$ ).

La perte de charge exigée pour commencer le jet est considérablement plus importante que celle pour le maintenir et ce à cause de l'énergie additionnelle nécessaire à la pénétration du jet de gaz à travers un lit plein de solide. Pour la même raison, la vitesse du gaz à l'entrée, appelée vitesse minimale du jet, est quelque peu inférieure à la vitesse du premier changement du lit fixe à lit en jet. **Figure 11.**

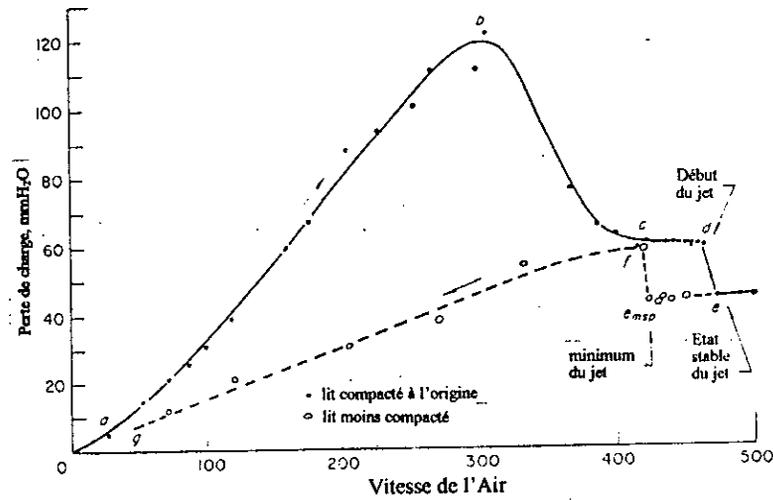


Figure 11 : perte de charge dans un lit à jet.

### III. 2. 1. Perte de charge dans les lits à jet.

La détermination de la perte de charge maximale a une importance pratique pour la conception du système de distribution du gaz pour une colonne à jet. Manurung [33] a considéré que  $\Delta P_{\max}$  est composé de la perte de charge de rupture et celle de friction. A partir des résultats expérimentaux pour une variété de matériaux dans une demi colonne de 15,2 cm de diamètre avec une base conique de  $60^\circ$ , nous avons la corrélation suivante.

$$\Delta P_{\max} = \left( \frac{6,8}{\tan \alpha} \left( \frac{D_i}{D} \right) + 0,8 \right) H \rho_s - 34,4 d \rho_s \quad (47)$$

où  $\alpha$  est l'angle de friction interne.

La corrélation précédente bien qu'elle ait été établie pour des colonnes à base conique à  $60^\circ$  donne une précision acceptable pour des angles de cônes plus petits et même pour les colonnes à base plate.

A cause du mouvement ascendant du gaz à l'intérieur de la colonne, le gradient de pression vertical dans un lit à jet augmente du zéro à la base, à un maximum au voisinage du sommet du lit. La variation de la pression avec la hauteur  $x$  a une allure sinusoïdale [35].

$$P = \Delta P \cos \left( \pi \frac{x}{2H} \right) \quad (48)$$

### III. 3. La vitesse minimale du Jet $U_{ms}$ .

La vitesse minimale du gaz à laquelle le lit reste en jet dépend des propriétés du solide et du fluide d'un côté et de la géométrie du lit d'un autre côté. Pour un matériau donné, la vitesse minimale du jet diminue quand nous diminuons la hauteur du lit et quand nous augmentons le diamètre de la colonne, la taille de l'injecteur du fluide a un effet sur la vitesse minimale du jet, bien que celui-ci soit relativement petit. Le débit de gaz nécessaire pour le jet dans les larges colonnes est moindre que celui pour fluidiser.

A cause de la complexité du système, l'approche pour corréler les données de la vitesse minimale du jet est empirique. L'une des premières corrélations établie est celle de Mathur et Gishler (1955) [36] pour les colonnes cylindriques avec une base légèrement conique; cette corrélation est applicable en général pour les colonnes de moins de 0,4m de diamètre.

$$U_{ms} = \left( \frac{d_p}{D_c} \right) \left( \frac{d_0}{D_c} \right)^{1/3} \left( \frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} 2gH \right)^{1/2} \quad (49)$$

### III. 4. La hauteur maximale du lit à Jet.

Le lit devient fluidisé quand il atteint la hauteur juste supérieure à la hauteur maximale du lit à jet. Si la vitesse minimale de fluidisation d'un solide est connue, la hauteur maximale du lit à jet pour une colonne donnée peut être obtenue en substituant  $U_{ms}$  par  $U_{mf}$  dans la corrélation de la vitesse minimale du jet.

Malek et Lu [37] ont donné une corrélation, dont l'erreur ne dépasse pas les 11%.

$$\frac{H_{ms}}{D_c} = 0.105 \left( \frac{D_c}{d_p} \right)^{0.75} \left( \frac{D_c}{d_0} \right)^{0.4} \frac{\psi^2}{\rho_s^{1.2}} \quad (50)$$

---

## Chapitre IV. Les Jets en milieu fluidisé

Le lit à jet fluidisé est constitué d'une colonne cylindrique avec un bas plat ou conique muni d'une grille de distribution avec des perforations uniformément distribuées pour permettre au fluide d'entrer. Le centre du distributeur a une large perforation qui est reliée à une ligne à part alimentant en fluide le jet, le bas de la colonne est relié à une section d'apaisement par laquelle pénètre le fluide de fluidisation.

La technique des lits à jet évite la stratification, dans les lits ayant des particules de différents diamètre ou densité. Cette propriété est intéressante, particulièrement si les particules solides réagissent chimiquement et changent de propriétés.

Dans le lit à jet fluidisé le gradient linéaire de pression ne change pas tellement par rapport à celui du lit fluidisé [38], mais la perte de charge dans la ligne du jet est inférieure à celle du jet seul.

Par ailleurs, plusieurs auteurs ont proposé des définitions pour caractériser le jet en milieu fluidisé et sa frontière. Faisons remarquer qu'il existe deux formes de jet, à savoir :

- le jet à bulles,
- le jet pulsatoire ou à caractère permanent.

Le second a fait l'objet de plus de recherches.

Dans la majorité des lits fluidisés industriels, les gaz de réaction sont introduits dans la masse fluidisée sous la forme de jets par l'intermédiaire d'une grille, le jet de la grille a une forme allongée semblable à celle d'une flamme.

Pour caractériser le comportement des jets en milieu fluidisé, les chercheurs se sont intéressés aux différents paramètres telque: les différents régimes, le mode de développement du jet, la longueur de pénétration, l'angle du jet, l'entraînement du gaz et des particules dans le jet, le profils de vitesses du gaz.

### **IV. 1. Les différents régimes.**

Sutanto [39] propose de distinguer les différents régimes illustré dans la figure 12.

- *Lit Fixe (F)*: Si le total du débit central  $Q$  (du jet) et le débit auxiliaire  $q$  (de fluidisation) est inférieur à  $q_{mf}$ , les particules sont immobiles et forment un lit fixe.

- *Jet en lit fluidisé (JF)*: pour un débit total de gaz  $Q_T=Q+q$  un peu supérieur à  $q_{mf}$ , deux états de fluidisation sont observés. Pour un fort débit auxiliaire  $q$ , un pistonage apparaît dans la partie supérieure, avec une fréquence de l'ordre de 1 à 2Hz similaire à un pistonage en fluidisation. A faible  $q$ , de petites bulles remontent à la surface du lit. La transition entre ces deux sous régimes respectivement **JFI** et **JFII** est graduelle.
- *Jet avec aération (SA)*: dans ce régime, obtenu à  $q$  petit et  $Q$  grand, le lit a l'apparence d'un lit à jet conventionnel.
- *Fluidisation avec jet (SF)*: dans ce régime, un jet stable n'apparaît pas, à la place, les particules dans la section supérieure sont fluidisés, le jet atteint dans ce cas une instabilité telle que des bulles se déchargent. L'apparence globale du lit dans ce régime est similaire à celle d'un lit à jet conventionnel opérant à la hauteur maximale du lit à jet.

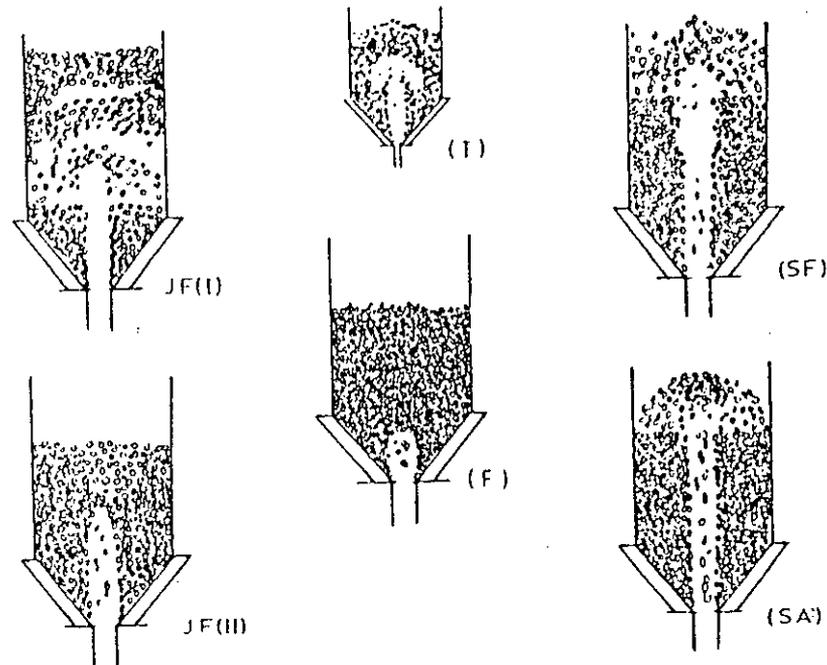


Figure 12. Les différents régimes du lit à jet fluidisé [38].

#### IV. 2. Mode de développement du jet.

De nombreux auteurs ont travaillé sur le jet permanent, Rowe et coll [40] définissent l'existence d'un jet par la présence permanente d'une cavité au-dessus de l'embouchure de l'injecteur; ils indiquent que le jet est en forme de flamme lorsque les particules entourant l'embouchure sont défluidisées. En outre il y a formation de jet, uniquement si le débit de gaz dans le jet est supérieur ou égal à environ trois fois le débit de gaz nécessaire pour fluidiser le lit. Dans l'autre cas d'après Markhevka [41], Shakhova et Minaev [42], le jet se présente sous

forme de bulles successives qui dégèrent rapidement. Le rapport entre la longueur de pénétration du jet et la hauteur du lit au dessus de l'injecteur joue un rôle très important, lorsqu'il est inférieur à 0,6, une succession de bulles se produit, et au-delà, un jet stable se forme.

Le jet semble plus stable avec les grosses particules de faible densité; les paramètres tels que la forme, la taille et la densité des particules ont une influence sur son comportement.

Frechel et coll montrent qu'une augmentation du taux d'aération de la grille diminue la stabilité du jet en favorisant le mélange du gaz dans le lit.

La figure 13 montre les différents modes développement du jet.

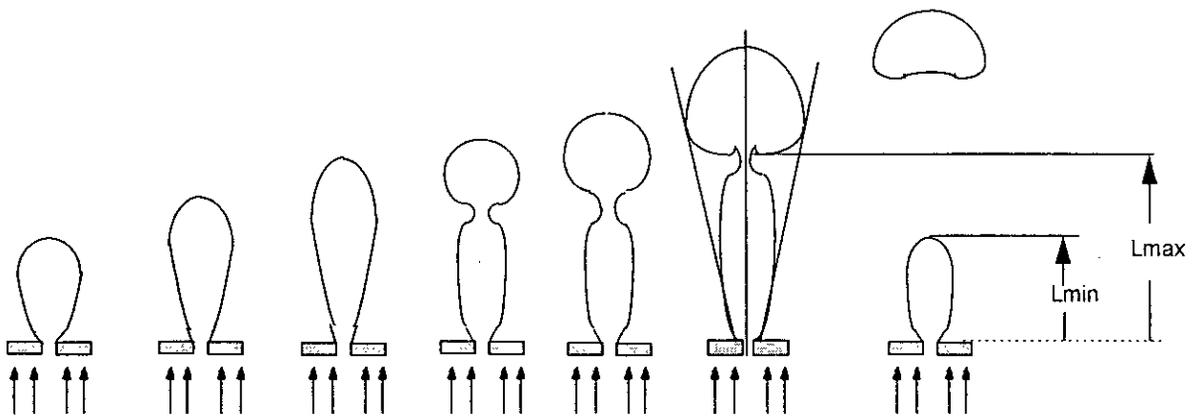


Figure 13. Développement du jet et formation de bulles dans un lit fluidisé.

### IV. 3. Longueur de pénétration.

La connaissance de la longueur de pénétration du jet dans le lit est un facteur essentiel pour la conception des réacteurs à lit fluidisé; elle permet de définir la hauteur au-dessus de laquelle il faudra placer les équipements internes (tels que les échangeurs de chaleur, les cyclones, etc...) et aussi pour minimiser les phénomènes d'érosion dus aux particules entraînées dans le jet. Dans les réactions chimiques, une grande partie de la conversion peut avoir lieu dans la zone proche de la grille de distribution.

Différents paramètres affectent la profondeur de pénétration d'un jet, dont nous citons:

- *L'influence de la taille des particules:* Il existe une divergence à ce sujet, due probablement au différents domaines d'étude des auteurs. Certains chercheurs dont Wen [43], Merry[44] et Hirsan[45] ont remarqué que la longueur de pénétration diminue avec l'augmentation de la taille des particules, alors que d'autres, comme Basov [46] et coll. remarquent la tendance contraire.

• *La géométrie du lit*: Pour Basov et coll [46] la longueur de pénétration est indépendante de la hauteur du lit. Knowlton et Hirsan [45] montrent que la longueur de pénétration du jet diminue avec l'augmentation de l'aération du lit, et avec la diminution de la pression.

Plusieurs corrélations existent pour prédire la longueur de pénétration, elles n'ont pas d'applications générales, car elles correspondent à des conditions expérimentales très particulières recherchées par les auteurs.

Knowlton et Hirsan [45] proposent la corrélation suivante.

$$\frac{L}{d_0} = 19,3 \left[ \left( \frac{\rho_f U_0}{\rho_s \sqrt{g d_p}} \right)^{0,83} \left( \frac{U_f}{U_{mf}} \right) \right]^{-0,54} \quad (51)$$

#### IV. 4. Angle du Jet.

Différentes méthodes ont été utilisées pour déterminer la frontière du jet parmi lesquelles, celle des essais de visualisation dans les lits à deux dimensions et celle des mesures de pressions radiales suivant plusieurs sections droites avec un tube de Pitot; la frontière du jet correspond au lieu géométrique des points où la vitesse du jet est égale à la vitesse superficielle du gaz de la phase dense.

Filla et coll [47] proposent deux méthodes pour déterminer la frontière du jet.

- la première étant une méthode de visualisation, consiste à suivre la trajectoire de certaines particules colorées à l'aide d'une caméra et à déterminer les points où les particules dérivent vers le haut du lit;

- la seconde consiste à prendre des mesures de vitesse avec un tube de Pitot.

Pour Shakhova [48], la frontière du jet est la position où la vitesse du gaz est égale à la vitesse terminale des particules alors que Yang et Keairns [49] la définissent à partir des points de changement brusque de la vitesse (la vitesse où se produit le changement brusque est inférieure à la vitesse terminale des particules). Merry [44] propose la formule suivante pour le calcul de l'angle du jet qui correspond à l'angle du cône à l'intérieur duquel les particules de la phase dense glissent le long du jet avant d'être entraînées par le courant ascendant:

$$\text{Cotg}(\theta) = 10,4 \left( \frac{\rho_s d_p}{\rho_g D_0} \right)^{-0,3} \quad (52)$$

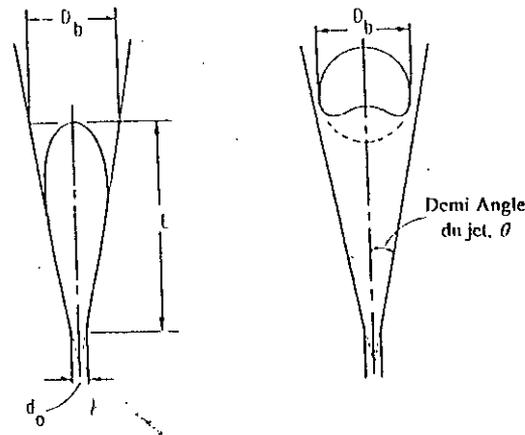


Figure 14. Forme géométrique du jet et de la bulle dans un lit fluidisé [44].

Filla et coll [47] obtiennent l'angle du jet à partir du profil radial de pression dans le jet, et constatent que celui-ci est légèrement plus grand pour les particules sphériques par rapport aux non sphériques. Ils observent de même une augmentation de l'angle du jet avec l'accroissement de la taille des particules et de la densité des particules.

#### IV. 5. Entraînement du gaz et des particules dans le jet.

En milieu particulaire aéré, il est admis qu'il y a entraînement de gaz et des particules environnantes dans le jet, c'est ce qui provoque la dissipation du jet. Filla et coll [47] montrent qu'il y a entraînement du gaz dans la zone située au voisinage immédiat de l'injecteur, à partir d'une étude cinématographique, ils observent que les particules entrent dans le jet perpendiculairement à l'axe du jet. Le débit d'entraînement du solide augmente avec la taille des particules.

Merry [44] constate qu'une fois les particules solides entraînées dans le jet, elles subissent une accélération pour atteindre le sommet du jet et tombent en suite pour être réentraînées. Clift [50], Donado et coll [51] montrent que les trajectoires des particules entraînées sont verticales et que le rapport du débit des particules entraînées sur le débit du jet augmente avec la taille des particules et la densité du solide.

#### IV. 6. Profils de vitesses du gaz.

Plusieurs chercheurs ([42], [47], [51], [52],[53],) ont mesuré les profils radiaux de vitesses de gaz dans le jet, généralement à l'aide du tube de Pitot.

Il ressort des différentes études que la forme du jet dans un lit fluidisé est similaire à celle d'un jet libre turbulent en phase homogène, au voisinage immédiat de l'injecteur une zone où la vitesse axiale est égale à la vitesse d'entrée du gaz, suivie d'une zone de transition, puis d'une zone de régime établi et dans laquelle le jet se développe.

Les profils de vitesse dans le jet en milieu fluidisé sont également décrits par l'équation de Schlichting (41) comme dans le cas des jets libres turbulents.

Shakhova et Minaev [54] observent que le profil de vitesse à la frontière du jet ne vérifie pas à l'équation de Schlichting et proposent la corrélation suivante.

$$\frac{U - U_f}{U_m - U_f} = 1 - \left( 1 - \left( \frac{y}{b} \right)^{1,5} \right)^2 \quad \text{pour } \frac{y_{1/2}}{b} = 0,56 \quad (53)$$

La dissipation de la vitesse axiale du jet ( $U_m$ ) demeure inversement proportionnelle à la distance par rapport à l'injecteur en milieu fluidisé.

A partir d'expériences effectuées sur une colonne de section semi-circulaire, Yang et Kearns proposent la relation suivante pour le calcul de la vitesse sur l'axe du jet

$$\frac{U_m}{U_0} = 3,84 \frac{d_0}{x} \quad (54)$$



PARTIE EXPERIMENTALE

---

## Chapitre V. Dispositif expérimental - procédure et méthodes de mesures et calculs.

Afin d'étudier l'hydrodynamique des jets libres, des jets en milieu aéré et en milieu fluidisé, des mesures de vitesses locales du jet sont effectuées à l'aide du tube de Pitot relié à un système de déplacement tridimensionnel permettant d'étudier le jet transversal suivant deux directions orthogonales (OY) et (OZ) et suivant des plans successifs selon l'axe longitudinal (OX).

Les prises de pressions pariétales nous permettent de relever les pressions statiques dans le lit de s'assurer que le régime est établi et d'accéder au gradient de pression dans le lit. Nous utilisons des particules de sable pour lesquelles nous avons déterminé les différentes propriétés physiques.

### **V. 1. Installation expérimentale.**

Le dispositif expérimental illustré sur la figure 15, comprend essentiellement une colonne de fluidisation (9), une boîte à vent (6), une grille de distribution du gaz (7), un système de déplacement tridimensionnel (11) ainsi que d'autres éléments schématisés dans la figure 17.

#### **V. 1. 1. La colonne de fluidisation (12).**

La colonne de fluidisation est un cylindre en acier inoxydable de 400mm de diamètre intérieur et de 1300mm de hauteur, munie de 25 prises de pression pariétales disposées sur une même génératrice. Ces prises sont des piquages en acier soudées à la paroi orthogonalement autour d'orifices de 2mm de diamètre. Elles sont reliées à un tableau manométrique.

#### **V. 1. 2. La boîte à vent (6).**

Elle assure la distribution de l'air de fluidisation et l'air du jet dans la colonne. La boîte à vent est de même diamètre et de même matériau que la colonne de fluidisation, sa hauteur est de 400mm. Le gaz de fluidisation se décharge vers le bas de la boîte et remonte vers la colonne. L'injecteur du gaz est au centre et est perpendiculaire à sa section, il permet d'avoir un gaz ascendant vertical.

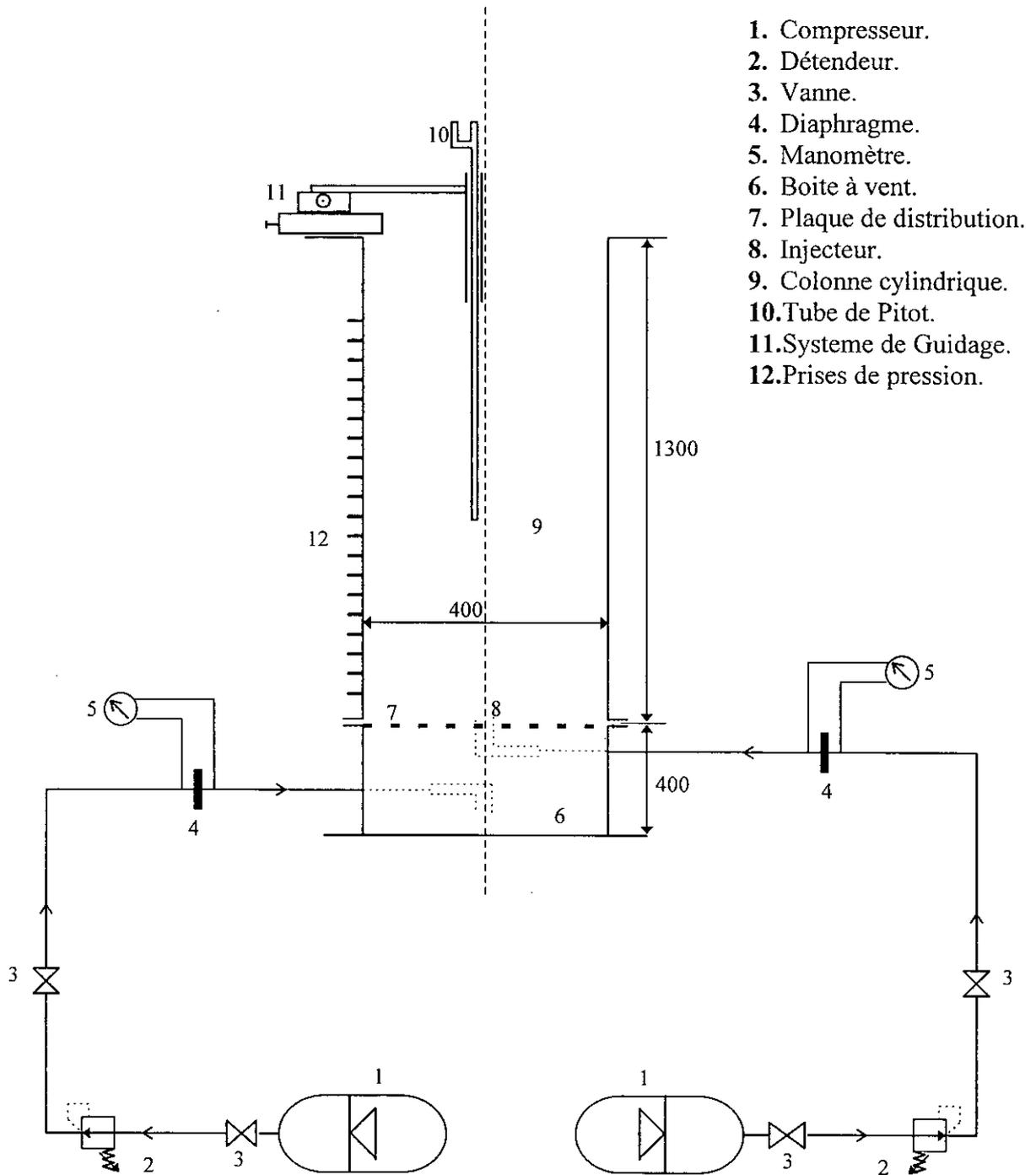


Figure 15. Schéma de l'installation expérimentale.

### **V. 1. 3. La plaque de distribution (7).**

C'est une plaque en cuivre percée de trous de 2mm de diamètre et distant de 8mm de maille triangulaire et se trouve entre la colonne de fluidisation et la boîte à vent. Ce distributeur est percé en son centre pour pouvoir recevoir l'injecteur d'air du jet.

### **V. 1. 4. L'injecteur (8).**

L'injecteur du jet est en acier inoxydable de diamètre intérieur de 21,6mm; il pénètre dans la colonne jusqu'à une hauteur de 37mm. Le diamètre d'injection peut être réduit à 10,0mm en ajoutant une buse, la longueur de pénétration dans ce cas est de 48mm.

### **V. 1. 5. Système de guidage (11).**

Nous avons opté pour l'utilisation deux plateaux l'un "longitudinal" et l'autre "transversal" d'un tour à bois, ces plateaux sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et donc permettent un déplacement suivant deux directions orthogonales. Sur le plateau supérieur, à la place de la tourelle, nous avons fixé une tige munie d'un cylindre à son extrémité qui maintient le tube de Pitot à la hauteur désirée.

Le système de guidage permet un déplacement tridimensionnel du tube de Pitot.

## **V. 2. Procédure expérimentale.**

La procédure expérimentale comprend des essais de fluidisation des particules solides, des mesures en jet libre et de jet en milieu particulaire.

### **V. 2. 1. Fluidisation des particules solides.**

A chaque essai nous relevons les pressions pariétales et la vitesse de fluidisation en faisant varier plusieurs paramètres dont la masse du lit de particules et la vitesse de fluidisation. Pour une masse connue de sable à l'intérieur de la colonne, nous introduisons de l'air pour la fluidisation. Partant de l'état fixe du lit, nous augmentons le débit de gaz de fluidisation jusqu'à la fluidisation du lit, puis de l'état fluidisé nous diminuons le débit jusqu'à l'état de lit fixe.

### **V. 2. 2. Etude des jets libres .**

Nous relevons les vitesses à l'aide d'un tube de Pitot sur un jet vertical ascendant dans une colonne cylindrique.

Nous positionnons le tube de Pitot sur un plan situé au dessus de l'injecteur, puis on balaye ce plan, en déplaçant avec une précision de 1mm sur chaque direction, et sur des plans distants de 36mm, ceci représente la distance entre les prises statique et totale du tube de Pitot.

### V. 2. 3. Étude des jets en milieu particulaire.

La procédure expérimentale est une combinaison des deux précédentes. Il s'agit dans ce cas d'étudier un jet gazeux turbulent ascendant dans un milieu particulaire aéré ou fluidisé.

Pour un débit de gaz de fluidisation et un débit de gaz de jet connus, nous relevons les pressions pariétales sur la colonne de fluidisation. Nous effectuons aussi des balayages sur des plans horizontaux comme pour le jet libre.

### V. 3. Méthodes de mesures et calculs.

Nous effectuons des mesures de pressions pariétales de la colonne avec des manomètres utilisant le principe du vase communicant. Nous relevons les vitesses à l'aide d'un tube de Pitot à l'intérieur de la colonne.

#### V. 3. 1. Caractéristiques du solide utilisé.

Le solide utilisé est le sable. Nous avons déterminé sa distribution granulométrique par tamisage, et sa masse volumique par pycnomètre et son facteur de sphéricité à partir de l'équation d'Ergun, les procédures expérimentales sont décrites en annexe.

Tableau 2. Caractéristiques du solide.

Particules solide	diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Porosité lit fixe	$\psi_v$
Sable	256	2571	0.385	0,83

#### V. 3. 2. Caractéristiques du gaz

Le gaz employé est l'air, obtenu à partir de compresseurs. Il subit une détente jusqu'à 1 bar grâce à un manodétendeur.

Sa masse volumique est obtenue par la relation suivante, en considérant que l'air est un gaz parfait.

$$\rho = 1,2047 \frac{293 P(\text{mmHg})}{T} \frac{1}{763} (\text{kg}/\text{m}^3). \quad (55)$$

La viscosité de l'air est de  $1,827 \cdot 10^{-5}$  Pa.s. à  $20^\circ$  et 10013 Pa.

Elle peut être estimée par la formule suivante ( $273\text{K} < T < 413\text{K}$ ):

$$\mu = 1,71110^{-5} \left( \frac{T}{273} \right)^{0,718} \quad (56)$$

### V. 3. 3. Mesure de la vitesse du jet.

La vitesse du jet à l'intérieur de la colonne est mesuré à l'aide d'un tube de Pitot et son expression est donnée par l'équation (57)

$$U = \sqrt{\frac{2 \rho_{liq} g (H_{Totale} - H_{Statique})}{\rho_{gaz}}} \quad (57)$$

$\rho_{liq}$  est la masse volumique du liquide manométrique.

$\rho_{gaz}$  est la masse volumique de l'air à l'intérieur de la colonne.

$H_{Totale}$  est la dénivellation de la prise de pression totale.

$H_{Statique}$  est dénivellation de la prise de pression statique.

Le tube de Pitot est une sonde qui permet de mesurer la vitesse d'écoulement en un point. Il est constitué de deux tubes coaxiaux; le plus petit a un diamètre intérieur de 4mm et le plus grand a un diamètre intérieur de 10mm. L'orifice du bas nous permet d'avoir la pression totale et les orifices du côté les pressions statiques. Le tube de Pitot est fixé sur un système qui permet un déplacement tridimensionnel.

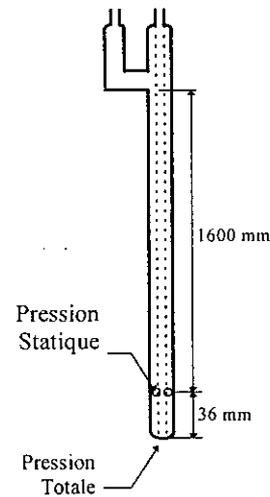
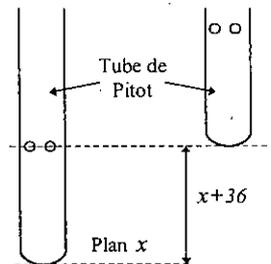


Figure 16. Tube de Pitot

La prise de pression statique est distante de 36mm de la prise totale, il faut donc se déplacer sur des plans distants de 36mm pour coïncider les pressions statiques et totales.



### V. 3. 4. Mesures des débits gazeux.

Le débit de gaz est mesuré à l'aide d'un organe déprimogène (Annexe 2). Nous relevons la pression absolue en amont du diaphragme à une distance équivalente au diamètre de la conduite qui le contient, et nous relevons la différence entre cette dernière et la pression en

aval du diaphragme, la prise aval étant à une distance représentant la moitié du diamètre de la conduite.

La pression à l'amont du diaphragme est relevé par un tube en U rempli de mercure, alors que la différence de pression entre l'amont et l'aval de l'organe déprimogène est relevée avec un tube en U rempli d'eau.

Le débit massique s'exprime par l'équation (58)

$$Q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon S \sqrt{2 \rho \Delta P} \quad (58)$$

où

$S$  est la section du diaphragme.

$C$  le coefficient de décharge qui est fonction du *Reynolds*, de  $\beta$ , et de la position des prises de pression. Il est donné par l'équation de Stolz.

$$C = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,184 \beta^8 + 0,0029 \beta^{2,5} \left( \frac{10^6}{Re} \right)^{0,75} + 0,00351 - 0,01685 \beta^3 \quad (59)$$

Le coefficient de détente  $\varepsilon$  est donné par la relation suivante.

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35 \beta^4) \frac{\Delta P}{k P_1} \quad (60)$$

### V. 3. 4. 1. Calcul du débit volumique et du flux de quantité de mouvement du jet.

Le débit volumique sur une section  $x$  de la colonne est donné par l'expression:

$$Q_v(x) = \int_0^{\infty} 2\pi U(x,y) y dy \quad (61)$$

Cette intégrale est calculée par la méthode des trapèzes dont la formule est:

$$\int_a^b f(x) dx = \left( \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right) \Delta x \quad (62)$$

Le débit est donc exprimé par l'équation.

$$Q_v(x) = 2\pi \sum_i \frac{U_i y_i + U_{i+1} y_{i+1}}{2} (y_{i+1} - y_i) \quad (63)$$

Le flux de quantité de mouvement sur une section est égale à:

$$M(x) = 2\pi \rho \int_0^{\infty} U^2 y dy \quad (64)$$

Sa valeur est évaluée par l'équation (65).

$$M(x) = 2\pi \rho \sum_i \frac{U_i^2 y_i + U_{i+1}^2 y_{i+1}}{2} (y_{i+1} - y_i) \quad (65)$$

## Chapitre VI. Résultats et discussion

Dans ce chapitre nous présentons les résultats expérimentaux concernant l'expansion du lit, les jets libres ainsi que les jets en milieu particulaire.

Les conditions opératoires sont regroupées dans le tableau suivant:

**Tableau 3. Conditions Opératoires.**

Série d'essais.	Expériences.	Masse de solide (kg)	Vitesse du jet (m/s).	Vitesse d'aération (m/s)
A	Expansion du lit	30, 40, 50, 55 40	0 31 - 37,5 - 44	0 - 0,08 0 - 0,08
B	Jet libre		Diamètre de l'orifice 10mm. 44,2 - 64,4 - 78,4 Diamètre de l'orifice 20mm. 25,4 - 33,6 - 44,6	
C	Jet en milieu particulaire	40	Diamètre de l'orifice 10mm. 40,8 - 46,3 - 53,2	$0,5U_{mf}$ , $U_{mf}$ $1,3 U_{mf}$

### VI. 1. Etude de l'expansion du lit.

Ces essais ont pour objectifs la détermination de l'évolution de la perte de charge totale, du gradient de pression, et de la porosité en fonction du débit du gaz, ainsi que de la vitesse minimale de fluidisation des particules.

#### VI. 1. 1. Evolution des profils de pressions pariétale.

Selon la figure 17 nous remarquons que les profils de pressions pariétales sont des droites de pente négative. La linéarité des profils montre que le régime de l'écoulement est établi.

Nous pouvons exprimer l'évolution de la pression dans le lit selon l'équation (66)

$$\Delta P = \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) x + \Delta P_{Totale} \quad (66)$$

Où la pente de la courbe représente le gradient de pression  $\frac{\partial P}{\partial x}$ , l'ordonnée à l'origine la perte de charge totale. L'intersection avec l'axe des abscisses de la pression nous donne la hauteur du lit.

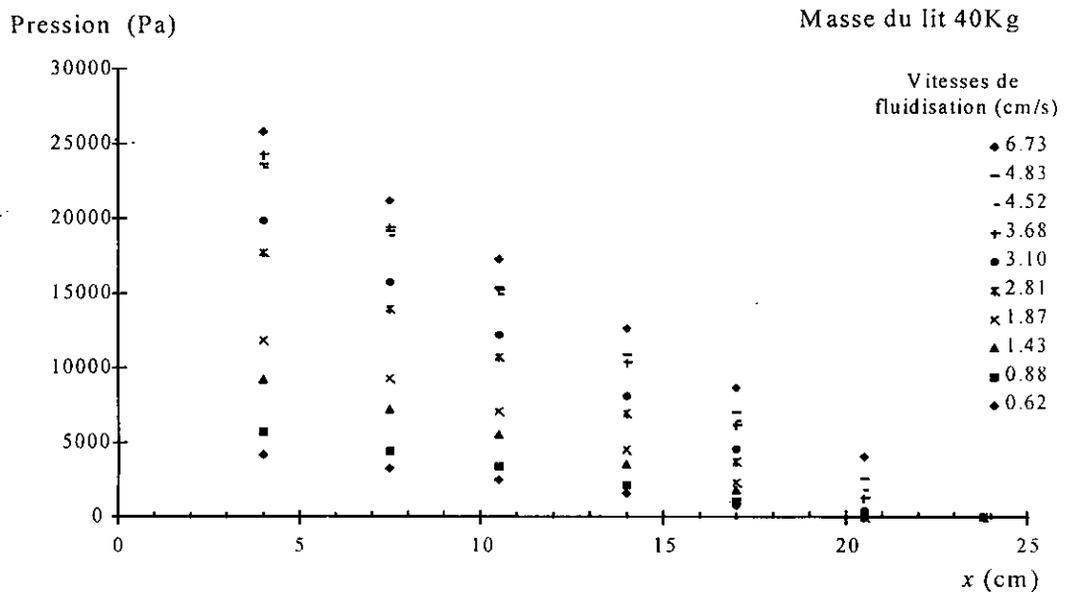


Figure 17: Profils de pression pariétale.

### VI. 1. 2. La perte de charge totale.

Nous traçons l'évolution de la perte de charge totale en fonction de la vitesse linéaire du gaz illustré dans la figure 18. Nous remarquons que la perte de charge subie par le gaz en débit ascendant est plus importante que celle subie en débit décroissant à la même vitesse. Cette différence est due aux forces intergranulaires du solide et au fait qu'en débit décroissant la porosité du lit est plus importante que celle en débit croissant.

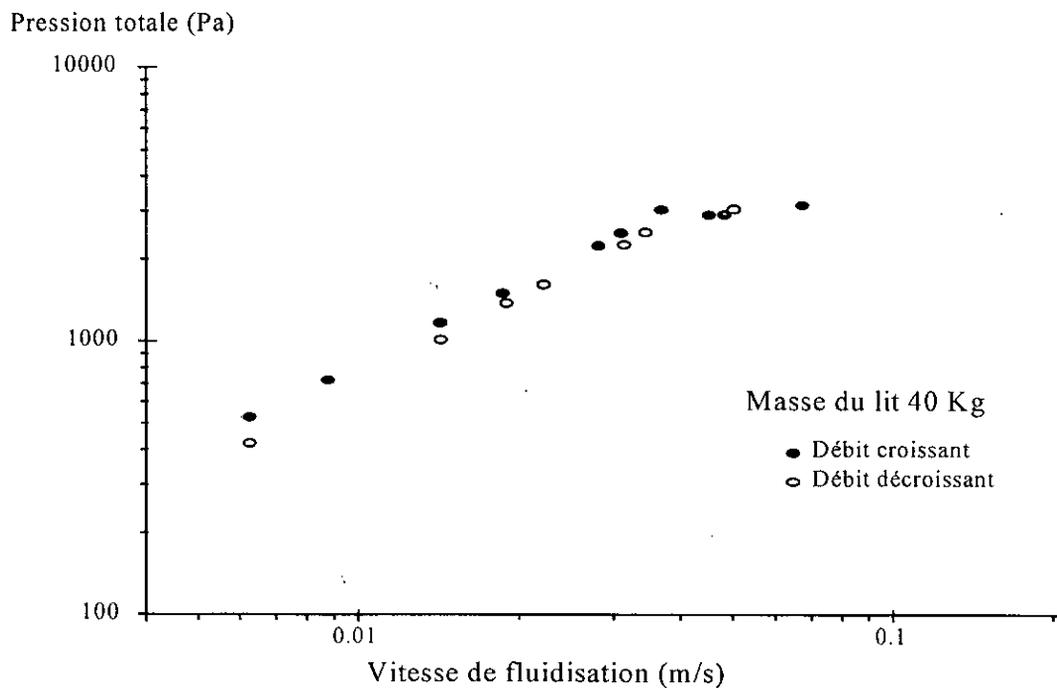


Figure 18. Perte de charge totale en fonction de la vitesse linéaire du gaz.

### VI. 1. 3. Le gradient de pression.

La figure 19 représente l'évolution du gradient de pression en fonction de la vitesse du gaz.

Nous remarquons que le gradient de pression augmente avec la vitesse jusqu'à atteindre un palier correspondant au poids apparent du lit par unité de section droite.

La vitesse minimale de fluidisation déterminé graphiquement est de l'ordre de 4,7cm/s. Cette valeur est proche de la vitesse calculée à partir de la corrélation proposée par Leva[2], Kunii et Levenspiel[1], ainsi que Ergun [6].

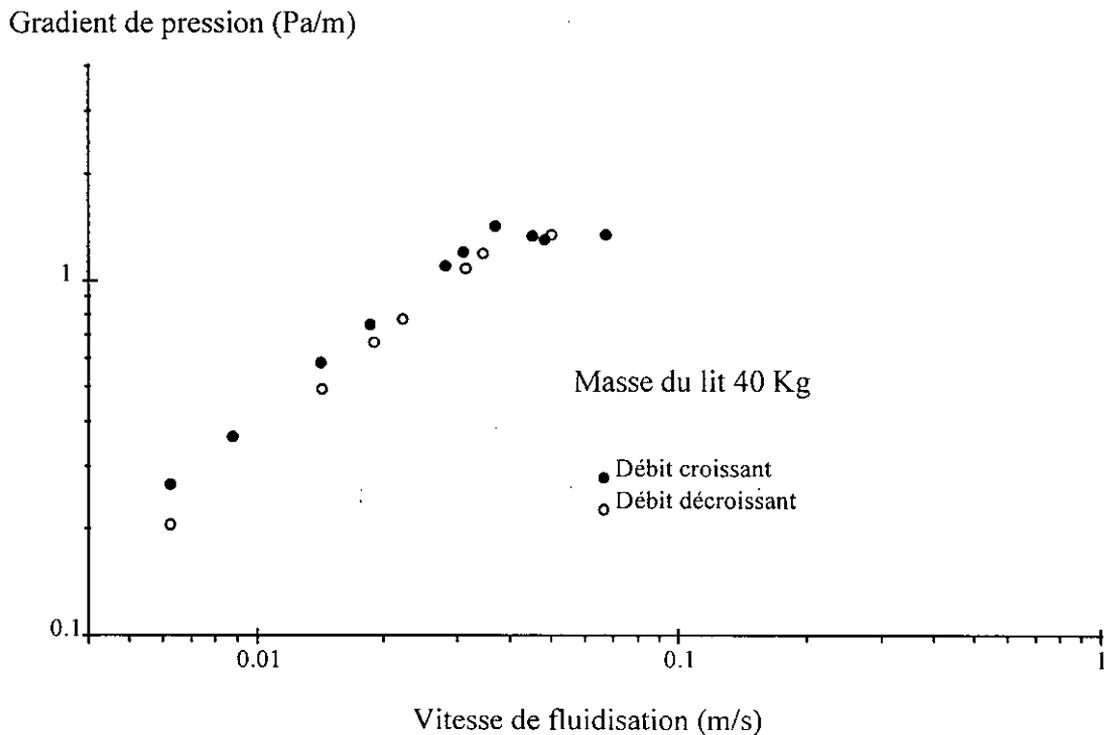


Figure 19: Gradient de pression en fonction de la vitesse linéaire du gaz.

### VI. 1. 4. La porosité.

A partir des relevés de la hauteur du lit en fonction de la vitesse du gaz, nous avons calculé la porosité du lit.

$$\varepsilon = 1 - \frac{M}{\rho_{Solide} A H} \quad (67)$$

Nous remarquons de façon générale que la porosité du lit augmente quand la vitesse de fluidisation augmente. Il existe deux paliers, un en débit croissant, l'autre en débit décroissant.

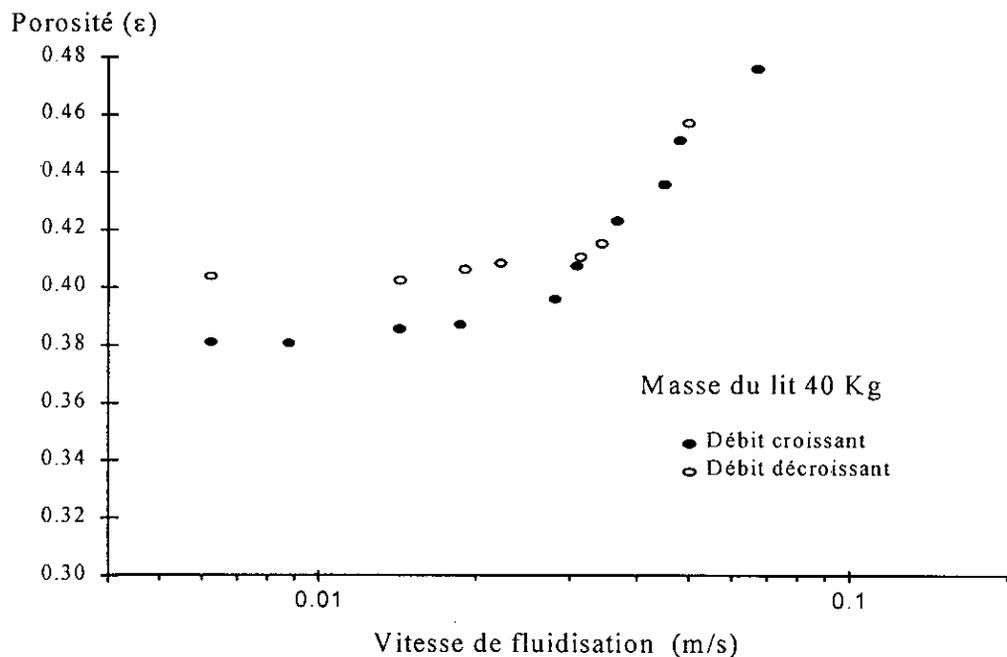


Figure 20: Porosité en fonction de la vitesse linéaire du gaz.

### VI. 1. 5. Etude de l'influence de la masse.

En portant sur le même graphe (figure 21) l'évolution de la perte de charge totale en fonction de la vitesse du gaz pour des masses différentes du lit, nous remarquons que la masse n'a pas d'influence sur la vitesse minimale de fluidisation. Celle-ci reste inchangée quelque soit la masse utilisée, toutefois nous remarquons que les pressions totales sont plus importantes.

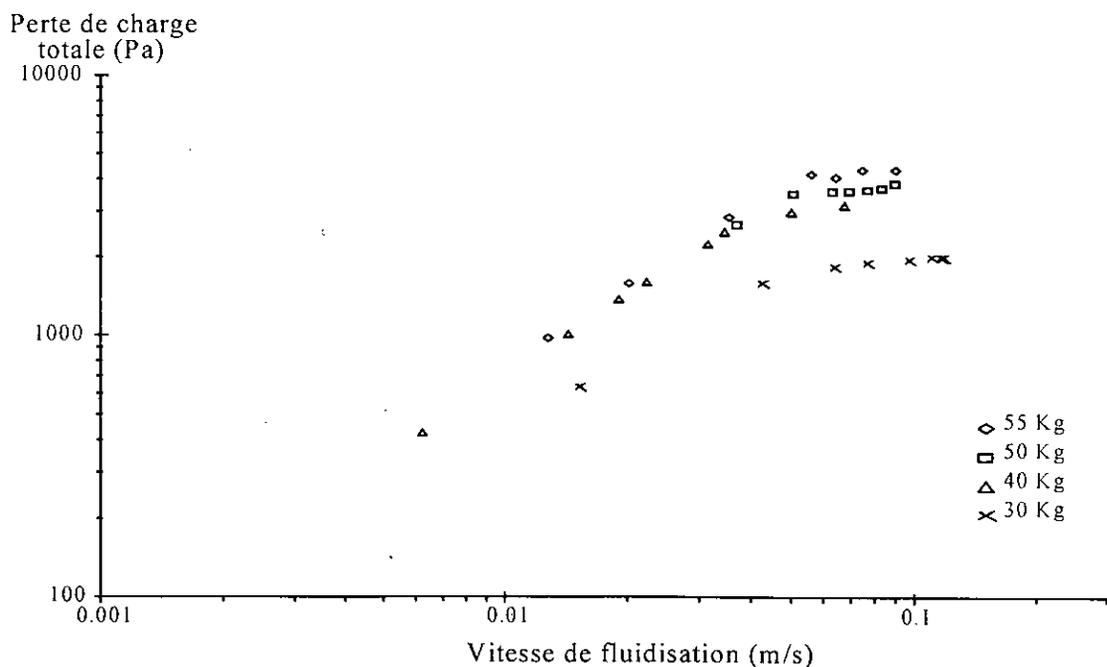


Figure 21: Perte de charge totale en fonction de la vitesse pour différentes masses

### VI. 1. 6. La fluidisation avec jet.

Nous avons étudié l'influence de l'introduction d'un jet de gaz ascendant central sur l'expansion du lit. Les figures 22 et 23 représentent l'évolution de la perte de charge totale et le gradient de pression en fonction de la vitesse du gaz de fluidisation et ce pour différentes vitesses de jet.

Nous remarquons que la vitesse minimale de fluidisation a augmenté avec l'introduction d'un jet à l'intérieur de la colonne, celle-ci est de 5,4 cm/s alors qu'en fluidisation sans jet elle est de 4,7cm/s, donc l'introduction d'un jet dans notre cas a retardé la fluidisation du lit.

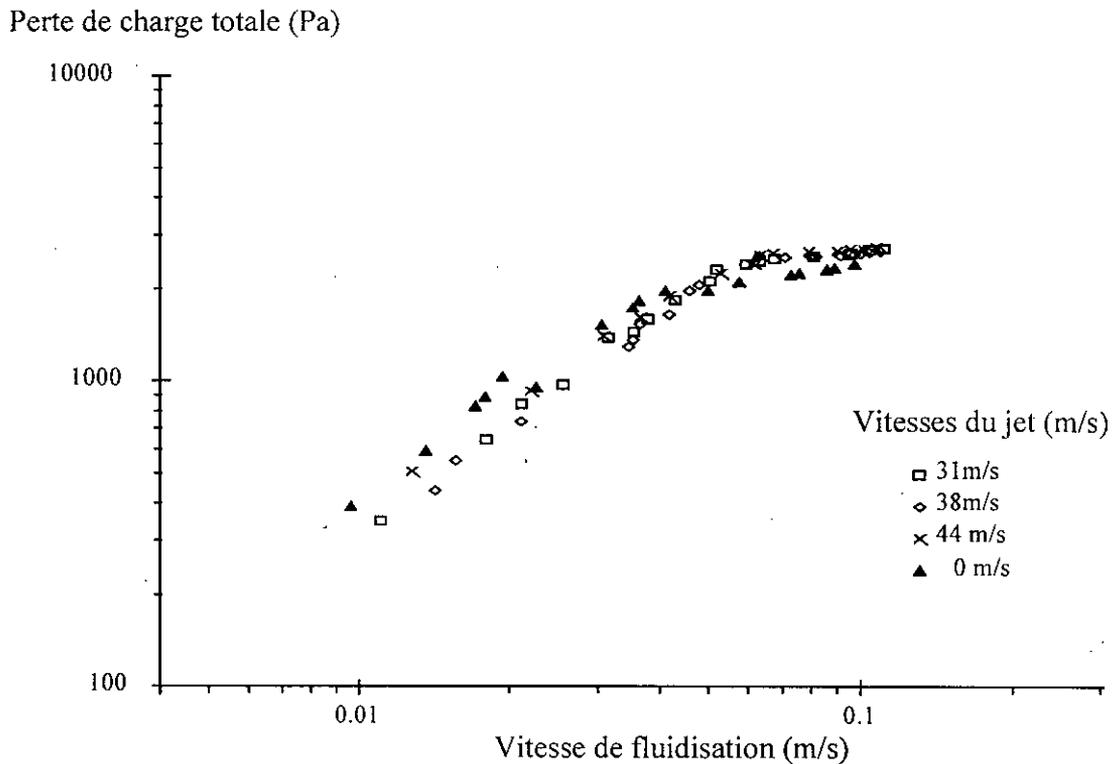


Figure 22: Perte de charge totale en fonction de la vitesse de fluidisation.

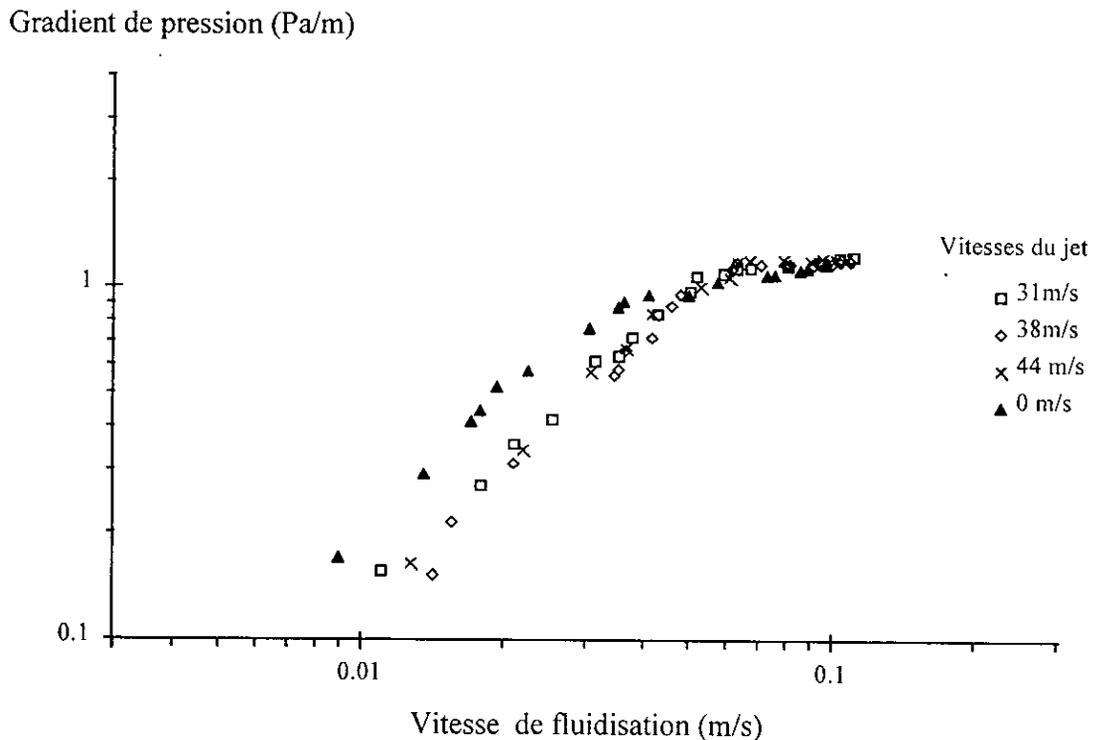


Figure 23: Gradient de pression en fonction de la vitesse de fluidisation pour une fluidisation avec jet.

## VI. 2. Etude des jets libres turbulents.

Nous présentons dans cette partie les résultats de l'étude hydrodynamique d'un jet libre turbulent qui émerge d'un orifice cylindrique et qui diffuse dans une colonne de 400mm de diamètre. Nous étudierons les principaux paramètres suivants:

- ◇ la zone d'établissement du jet;
- ◇ le profil de vitesses;
- ◇ l'abscisse caractéristique;
- ◇ la vitesse maximale sur l'axe;
- ◇ le débit volumique d'air dans la colonne.

Nous avons utilisé dans cette partie deux diamètres d'orifice du gaz (20mm, 10mm) et trois vitesses différentes pour chaque diamètre d'injecteur.

### VI. 2. 1. Les profils des vitesses.

La figure 24 montre le profil de vitesse pour une vitesse initiale de 44,6m/s avec l'orifice de 20mm. Nous remarquons qu'il existe une dissymétrie initiale et qu'elle disparaît quand la hauteur augmente. Aussi plus la hauteur augmente plus les profils deviennent semblables à une cloche symétrique. La figure 25 montre le profil de vitesse pour une vitesse initiale du jet

de 64,2 m/s avec un orifice de 10mm. La dissymétrie initiale dans ce cas, disparaît pour une hauteur inférieure que dans le cas de l'injecteur de 20mm de diamètre. L'écoulement est établi pour une distance de 144mm pour l'injecteur de 20mm et de 72mm pour l'injecteur de 10mm. Ceci est du même ordre de grandeur que celui prédit par Davies.

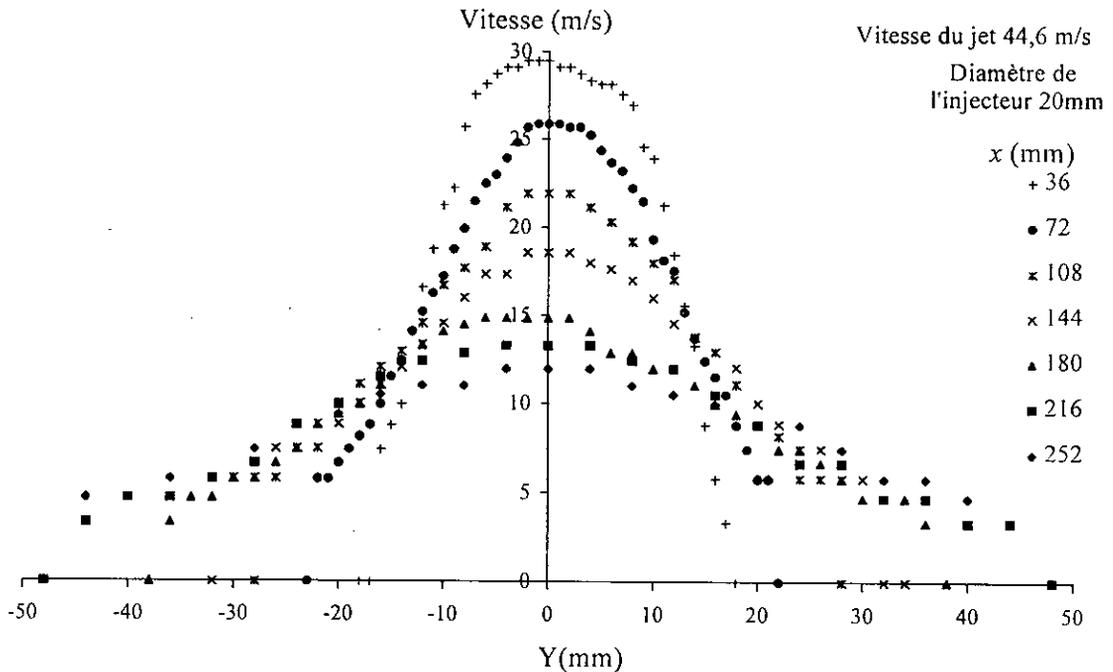


Figure 24: profils des vitesses à différentes hauteurs  $U_0=44,6\text{m/s}$ .

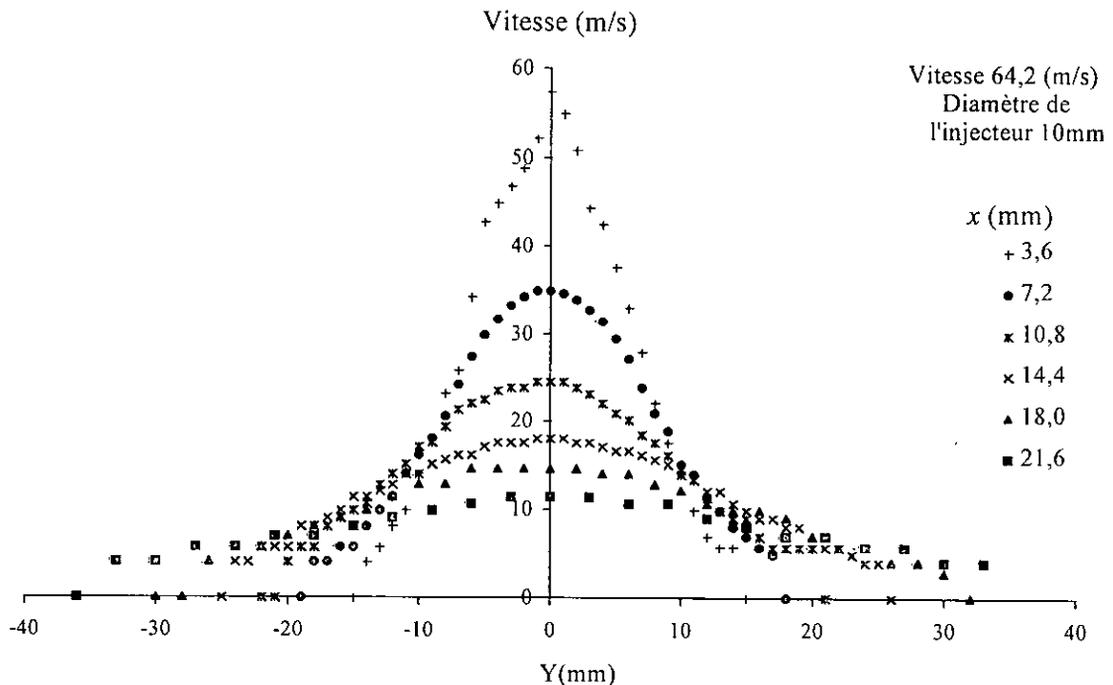


Figure 25: Profils des vitesses à différentes hauteurs  $U_0=64,2\text{m/s}$ .

### VI. 2. 1. 1. Etude de la symétrie des profils de vitesses.

Nous vérifions l'existence de la symétrie de révolution et donc la symétrie axiale en portant sur le même graphe la vitesse locale du jet selon les axes (OY) et (OZ) d'une section transversale. Ceci nous permettra de réduire les mesures un quart de section droite de la colonne, la symétrie axiale étant déduite de la symétrie de révolution.

La superposition des profils  $U(y)$  et  $U(z)$  montre que le jet a reconstitué sa symétrie de révolution.

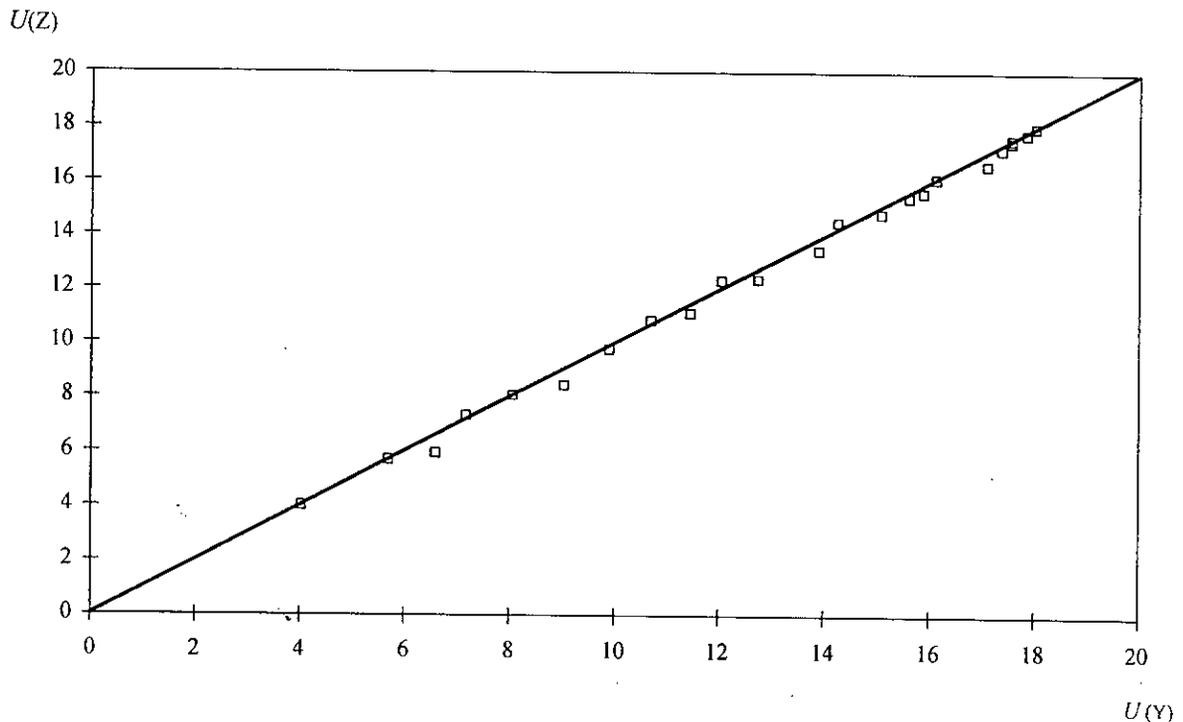
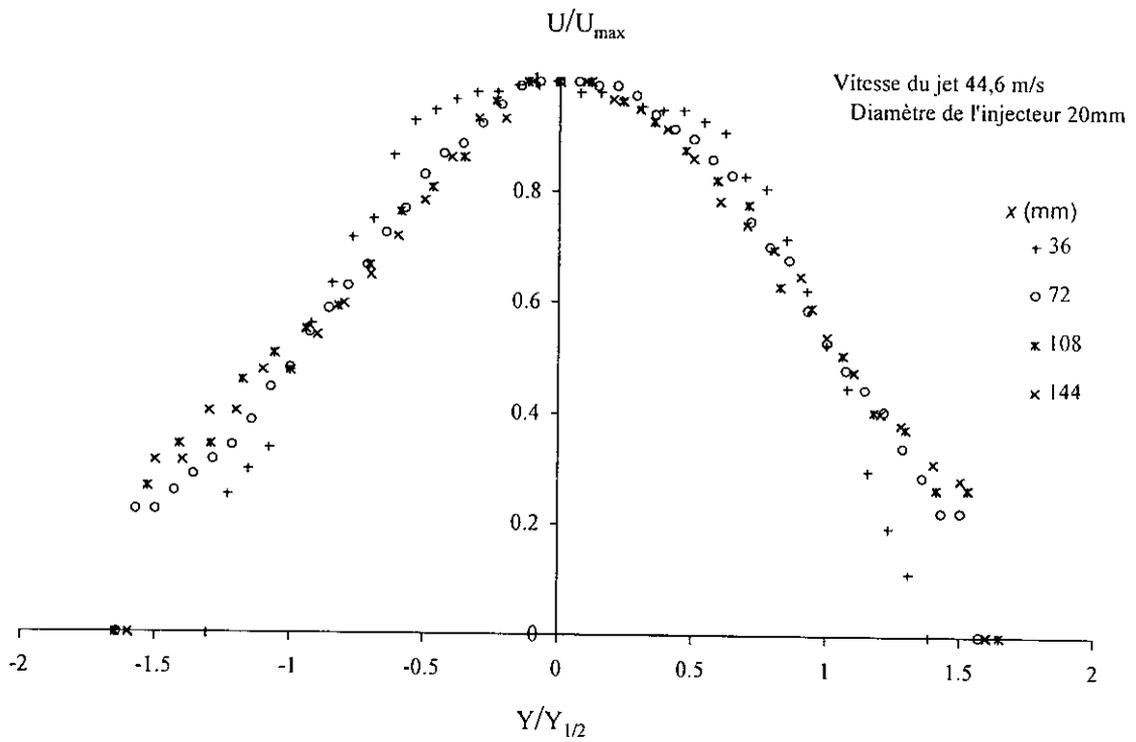


Figure 26: symétrie de révolution des profils de vitesses,  
 $x=144\text{mm}$ , vitesse du jet  $64,2\text{m/s}$ , orifice  $10\text{mm}$ .

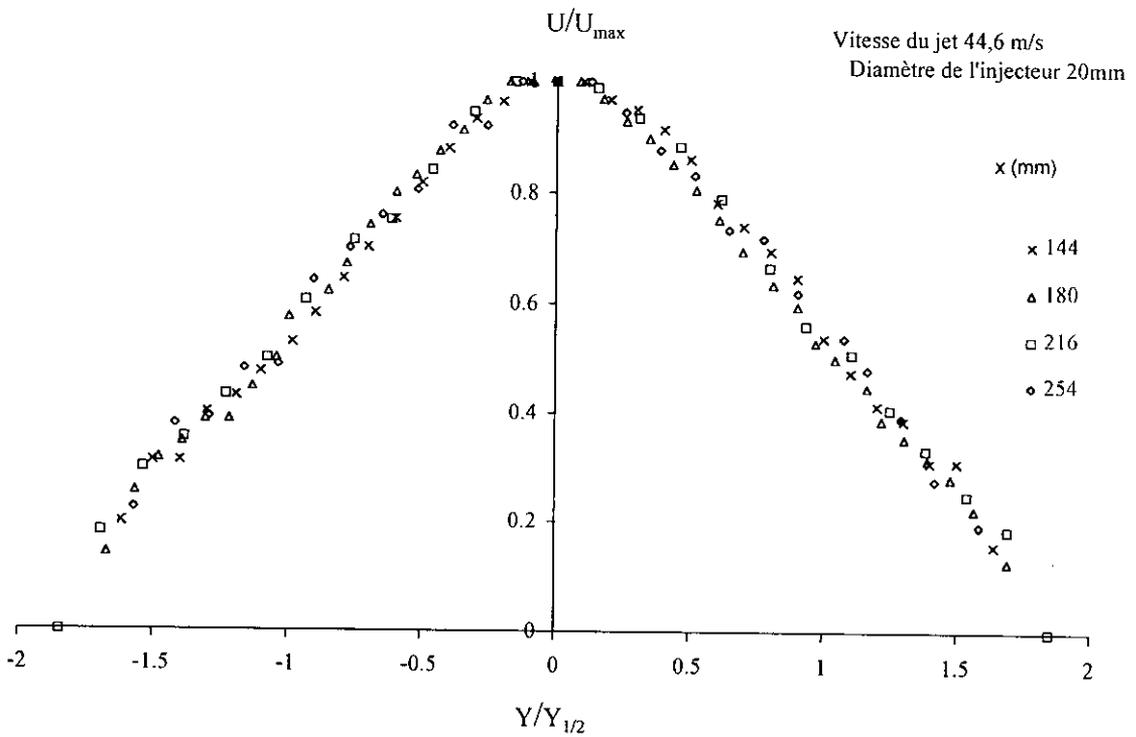
### VI. 2. 1. 2. Etude de la similitude des profils réduits.

Nous tentons dans cette partie de confirmer la similitude des profils de vitesses réduits pour chaque vitesse de jet. Pour cela nous avons déterminé expérimentalement à partir des profils de vitesses les caractéristiques du jet qui sont l'abscisse caractéristique et la vitesse maximale du jet. Les profils réduits de vitesse  $U/U_m$  en fonction de l'abscisse réduite  $y/y_{1/2}$  sont représentés sur les figures 27a et 27b.

Nous remarquons que plus nous nous éloignons de l'injecteur, plus les profils de vitesse deviennent symétriques et se réduisent à une seule courbe montrant ainsi l'autosimilitude de ces profils.



(a)



(b)

Figure 27 (a) et (b): similitude des profils réduits de vitesses.

### VI. 2. 2. L'angle du jet.

La figure 28 représente l'évolution de l'abscisse caractéristique  $y_{1/2}$  en fonction de l'abscisse longitudinale  $x$ . Nous remarquons que plus l'abscisse longitudinale augmente plus l'abscisse caractéristique du jet augmente.

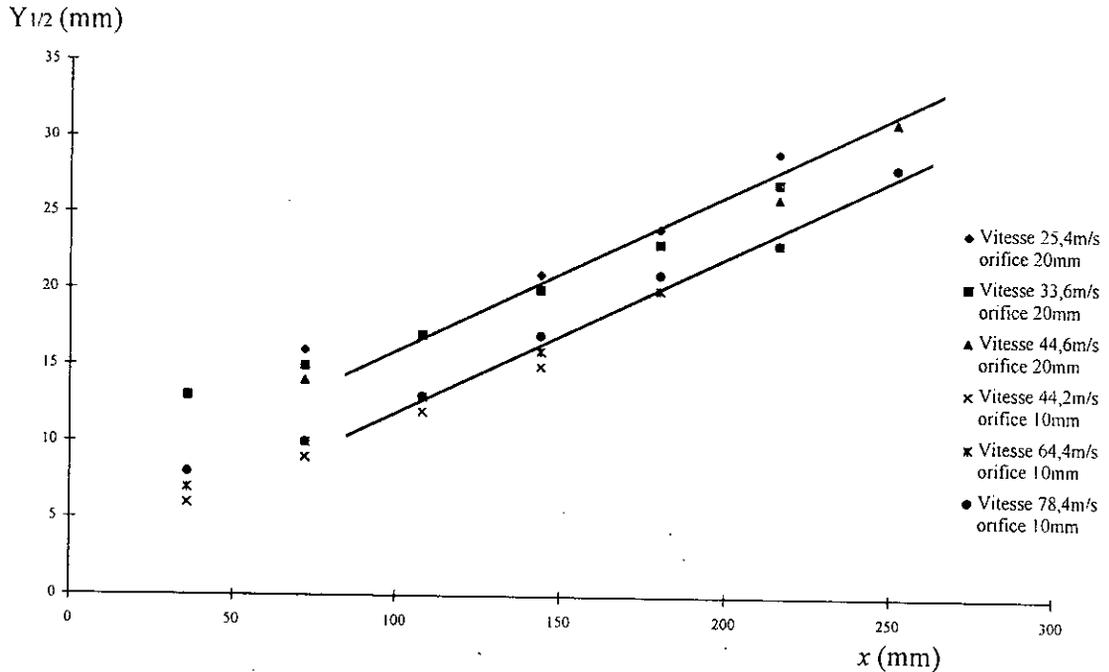


Figure 28: Abscisse caractéristique en fonction de l'abscisse longitudinale  $x$ .

Le tracé de l'abscisse caractéristique en fonction de l'abscisse longitudinale montre qu'il existe deux groupes de points, l'un relatif à l'orifice de diamètre 10mm et l'autre au diamètre de 20mm. La pente de ces points nous permet d'accéder à l'angle caractéristique du jet appelé généralement demi-angle du jet. Nous remarquons que pour les deux orifices, la pente est la même et représente un demi-angle de l'ordre de  $5,5^\circ$ .

### VI. 2. 3. La vitesse maximale.

La vitesse maximale sur l'axe décroît à mesure que l'on s'éloigne de l'orifice de l'injecteur et la variation de  $\frac{1}{U_{\max}}$  en fonction de la hauteur a un aspect linéaire.

La représentation de  $\frac{U_0 d_0}{U_{\max}}$  en fonction de la hauteur montre que nous obtenons comme pour le demi-angle interne du jet deux groupes de points, l'un relatif à l'orifice de 10mm et l'autre à l'orifice de 20mm, les deux groupes de points ont la même pente et est de l'ordre de 0,28.

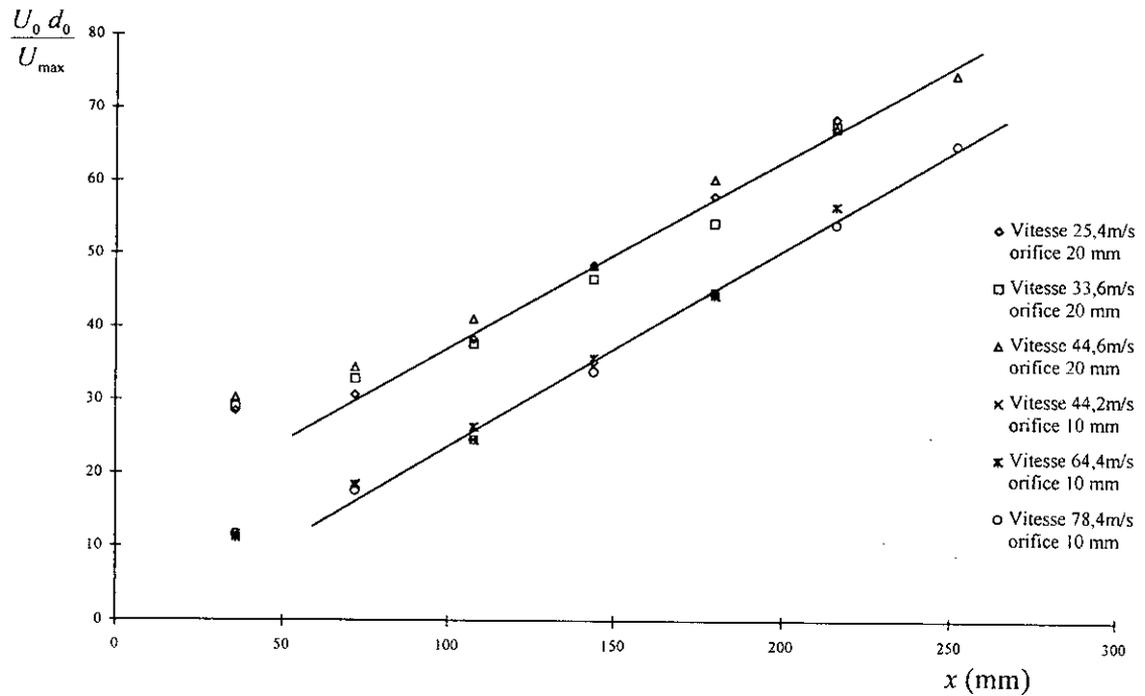


Figure 29: Evolution de en fonction de l'abscisse longitudinale.

Si nous considérons que:

$$\frac{U_m}{U_0} = \lambda \frac{d_0}{x} \quad (68)$$

alors  $\lambda$  dans ce cas est égal à 3,57.

#### VI. 2. 4. La variation du débit du jet.

D'après la figure 30 nous remarquons que le débit du jet augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'injecteur. Ceci est dû au fait que le jet met en mouvement l'air périphérique et l'entraîne avec lui par frottement.

Le jet crée une dépression à l'intérieur de son cône (la pression est inférieure à la pression ambiante), ceci a pour effet d'aspirer l'air périphérique à l'intérieur du cône du jet.

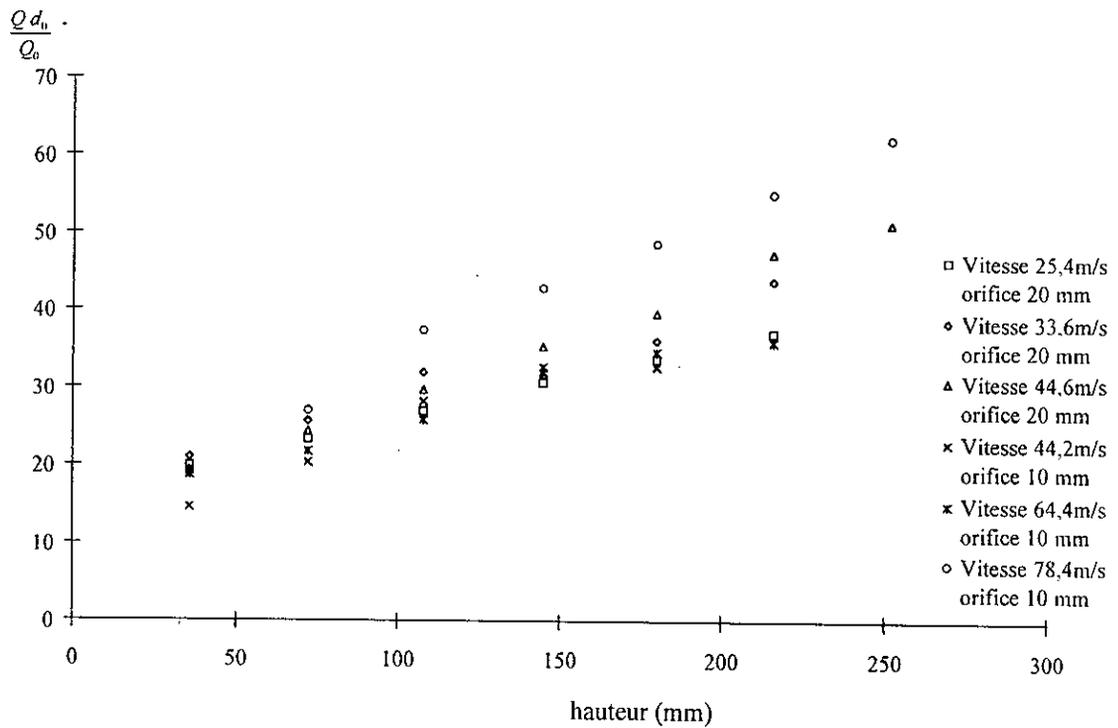


Figure 30: Evolution du débit en fonction de l'abscisse longitudinale  $x$ .

### VI. 2. 5. Comparaison des vitesses réduites avec celles prédites par différentes corrélations.

Nous avons tracé les profils réduits expérimentaux en fonction de ceux calculés par l'équation de Gauss, Schlichting, et Gortner nous remarquons que la plupart des points sont proche de la première bissectrice.

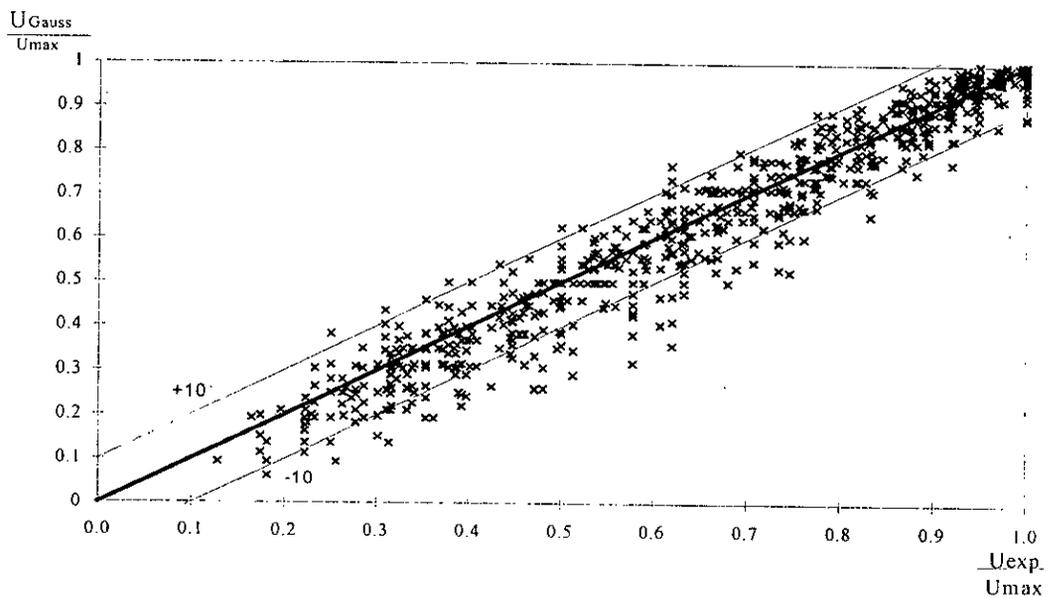


Figure 31. Comparaison de la corrélation de Gauss avec les données expérimentales

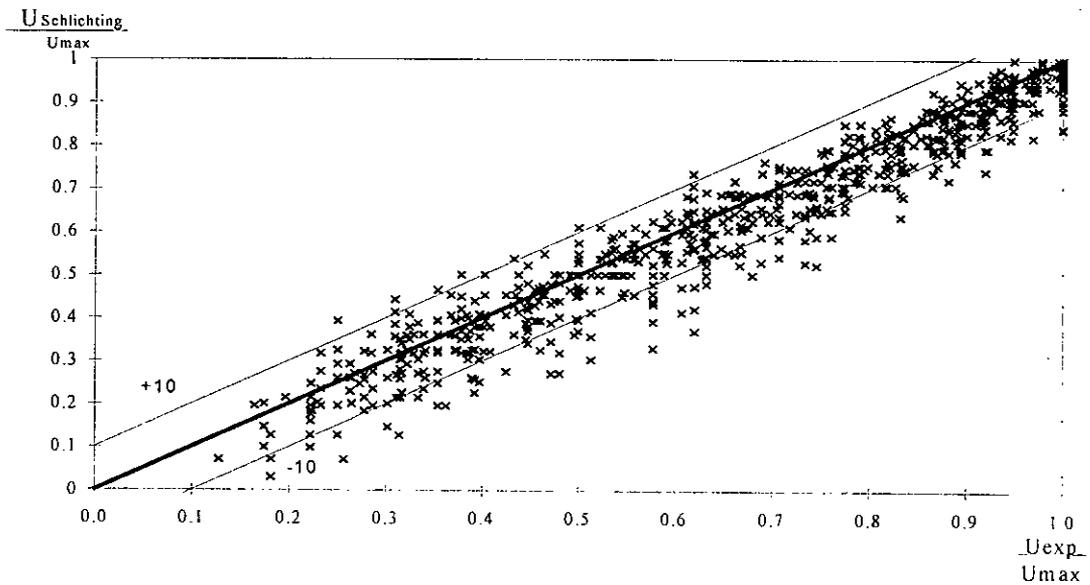


Figure 32. Comparaison de la corrélation de Schlichting avec les données expérimentales

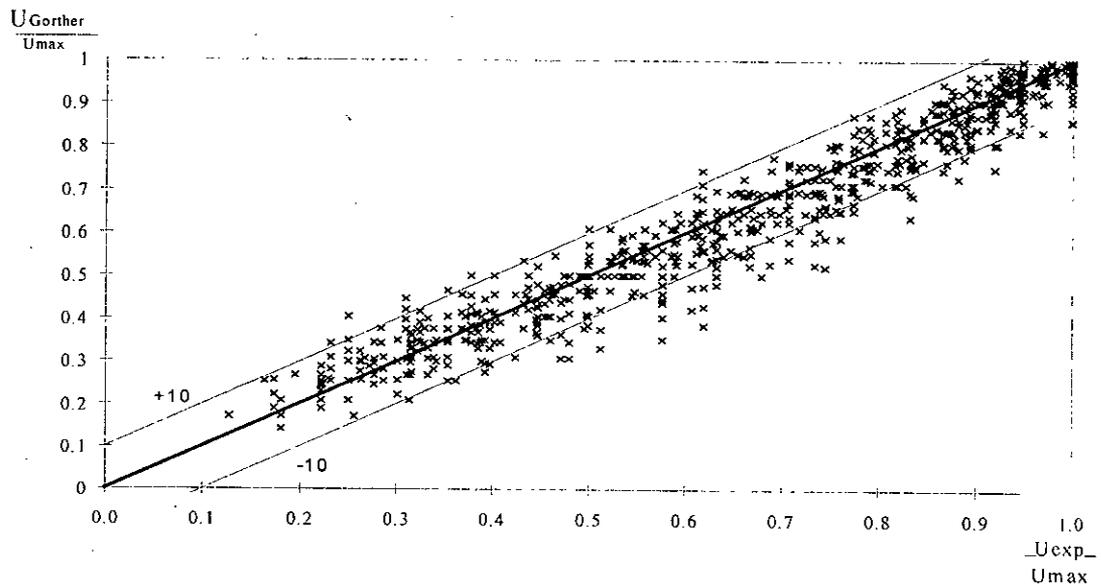


Figure 33. Comparaison de la corrélation de Gorther avec les données expérimentales

Les essais que nous avons effectués sur les jets en milieu ambiant nous ont permis de retrouver la plupart des résultats cités par la littérature tels que la symétrie, la similitude, l'angle interne du jet et la variation du débit.

### VI. 3. Etude d'un jet en milieu particulaire.

Dans cette partie, nous étudierons l'hydrodynamique d'un jet gazeux immergé dans un lit de particule solide. Pour cela, nous avons choisi trois états de lit différent:

- lit aéré (pour une vitesse d'aération égale à  $0.5 U_{mf}$ );
- lit préfluidisé (pour une vitesse d'aération égale à  $U_{mf}$ );
- lit fluidisé (pour une vitesse d'aération égale à  $1.3 U_{mf}$ ).

Le diamètre de l'injecteur utilisé est de 10 mm et la masse du lit de particules est de 40 kg.

#### VI. 3. 1. Evolution des profils de vitesse.

##### VI. 3. 1. 1. La symétrie du profil de vitesses.

Afin de vérifier la symétrie de révolution des profils de vitesse, nous traçons sur le même graphe (figure 34) la vitesse selon les axes orthogonaux  $oy$  et  $oz$ . Cette propriété par conséquent la symétrie axiale sont vérifiées pour les différentes vitesses d'aération du lit.

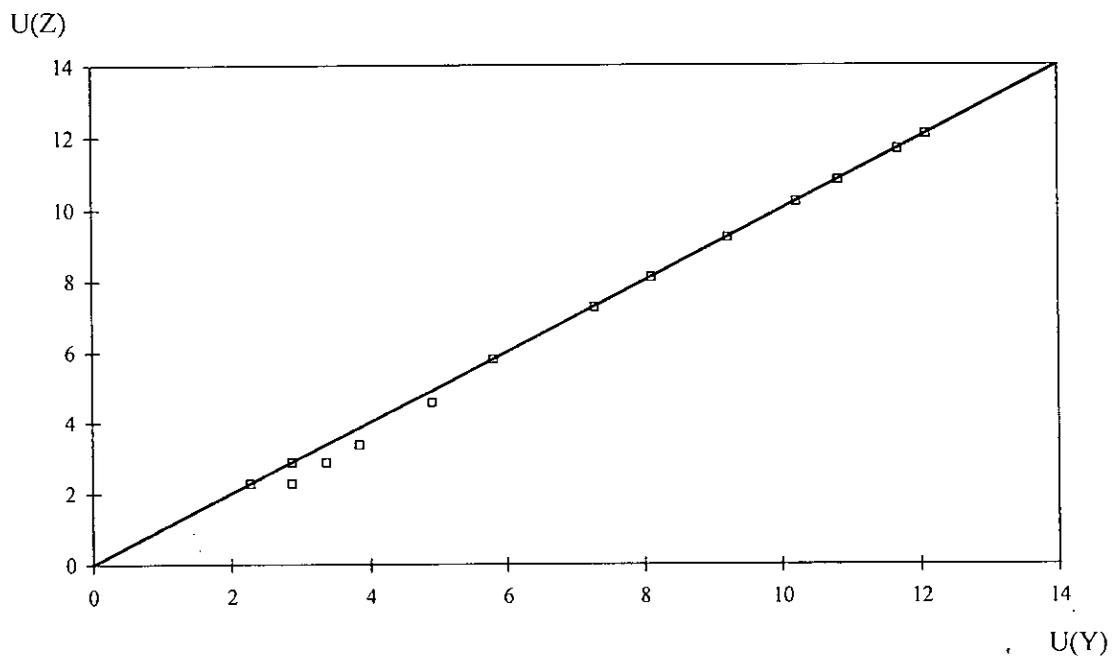


Figure 34 Symétrie de révolution des profils de vitesses  $x=108$ ,  $U_0=46,8$   $U_f=U_{mf}$ .

##### VI. 3. 1. 2. Profils de vitesse.

La figure 35 représente l'évolution des profils de vitesses selon les différents plans successifs et pour un état du lit préfluidisé.

Nous remarquons que plus nous nous éloignons de l'injecteur plus l'étalement des profils est prononcé et que l'écoulement est établi à partir de 72mm de l'injecteur.

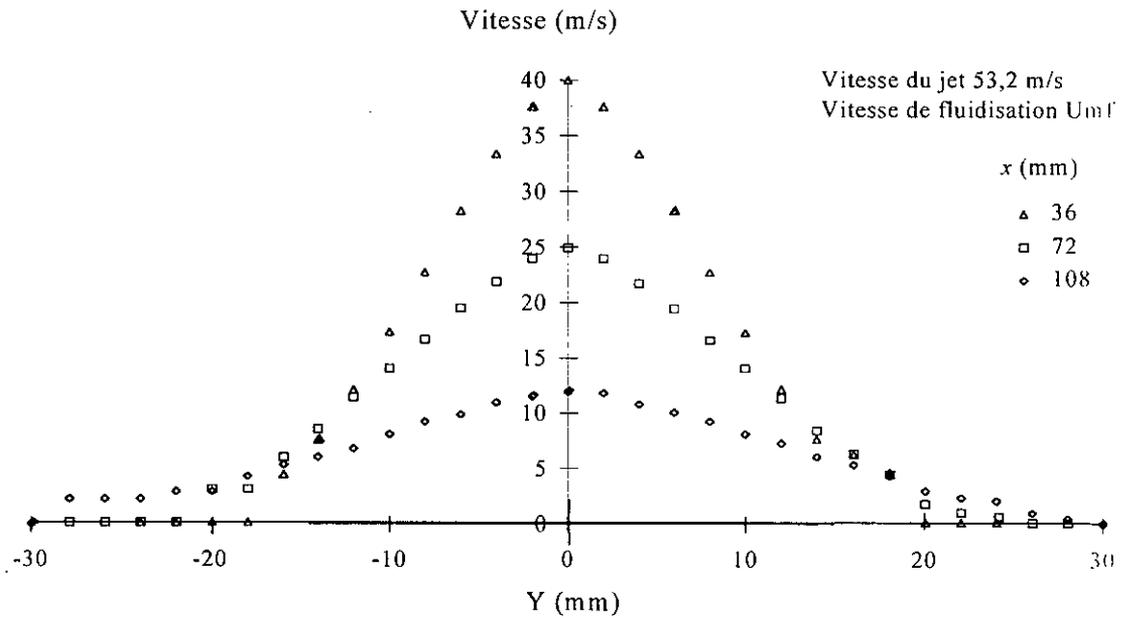


Figure 35 Profil des vitesses à différents plans en milieu préfluidisé

Un exemple de profil de vitesse est donné en figure 36, pour les différentes vitesses du jet.

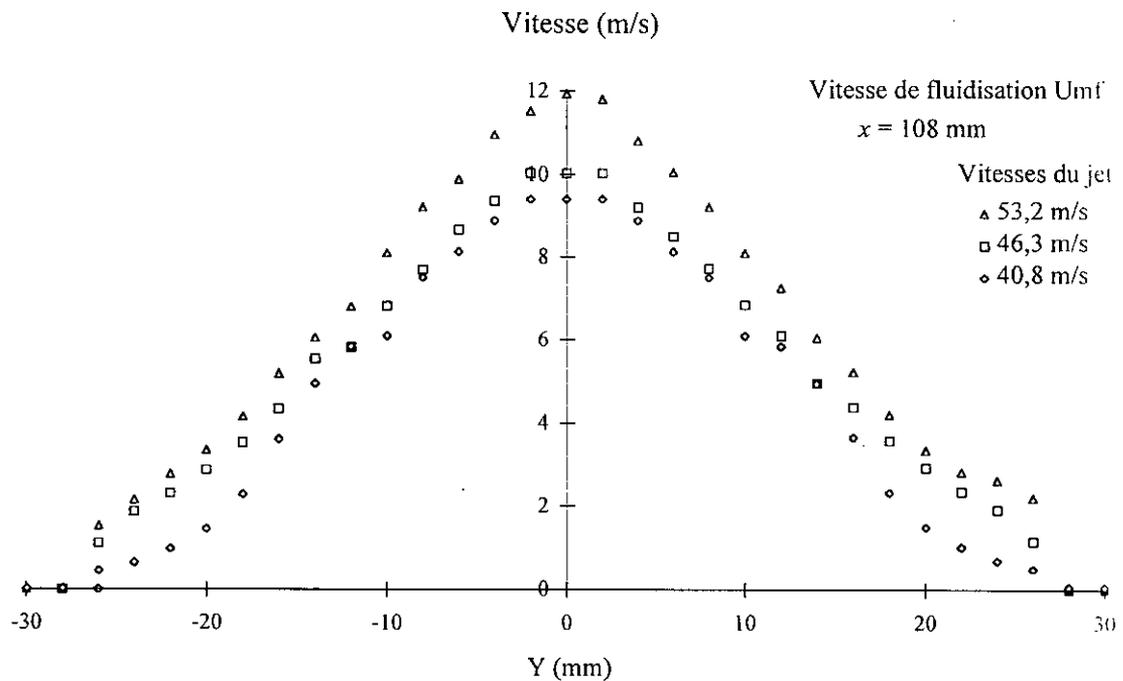


Figure 36 . Profil de vitesses pour différentes vitesses de jet en écoulement établi.

La figure 37 est tracée pour une même vitesse de jet et différents états de lit en régime établi. L'état du lit n'a pas d'influence sur le profil de vitesse à l'intérieur du jet.

Nous remarquons un évasement du jet pour des vitesses d'aération du lit importantes ceci est observé pour d'autres vitesses du jet comme le montre la figure 38.

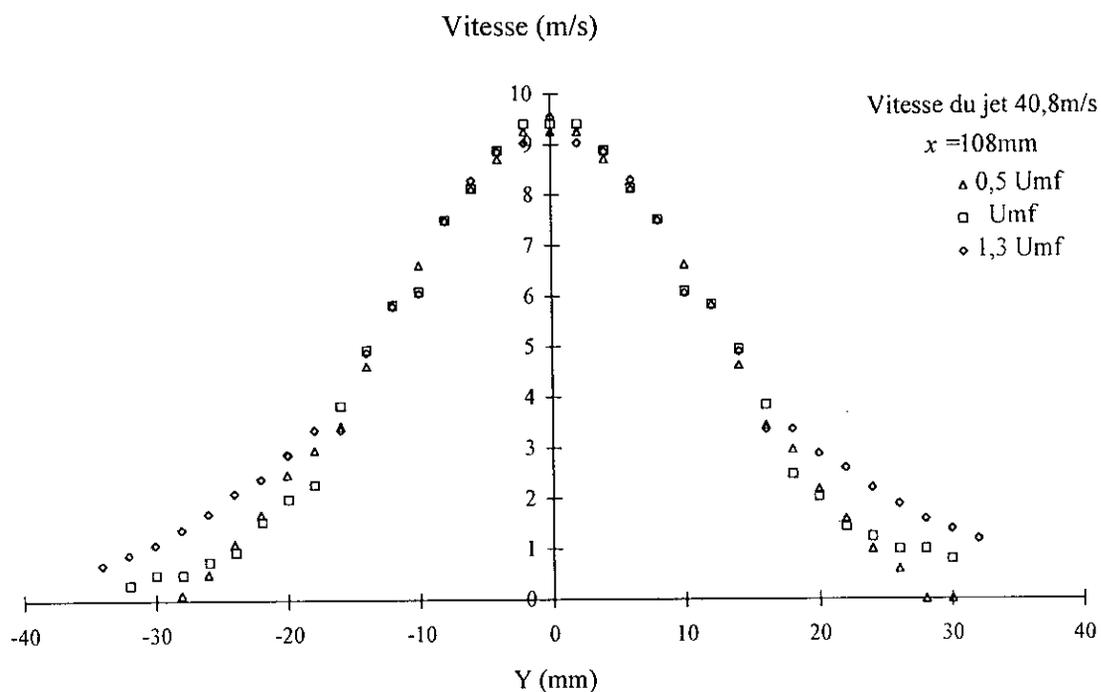


Figure 37. Profil de vitesse pour différentes vitesses de fluidisation.

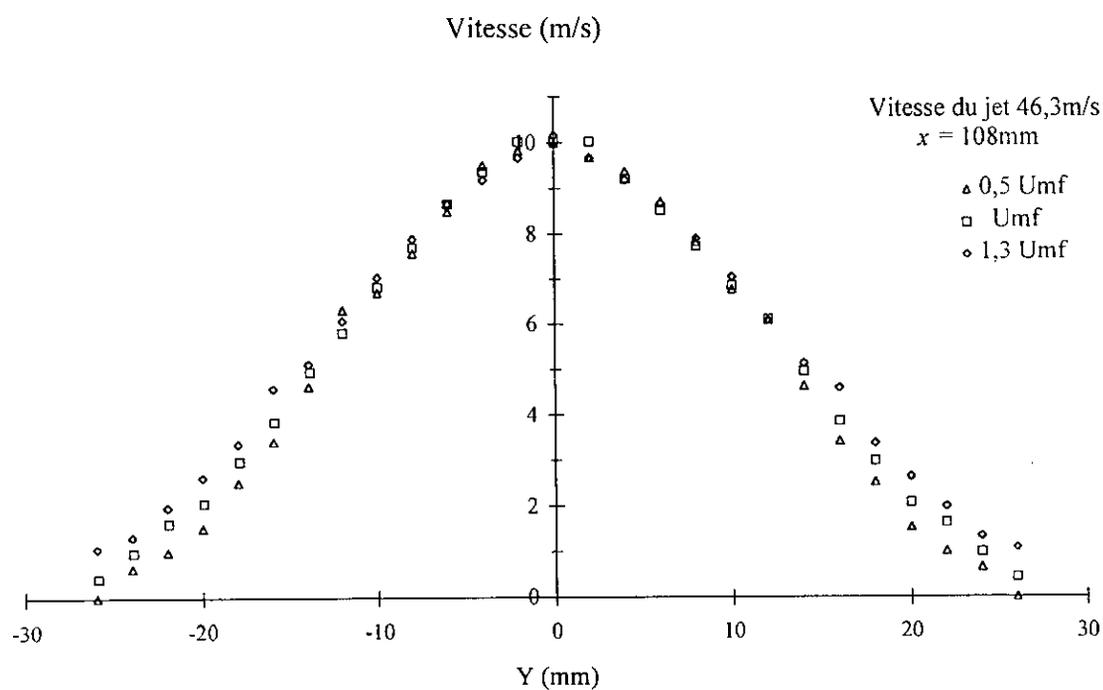


Figure 38. Profil de vitesses pour différentes vitesses de fluidisation.

### VI. 3. 2. Caractéristiques du jet.

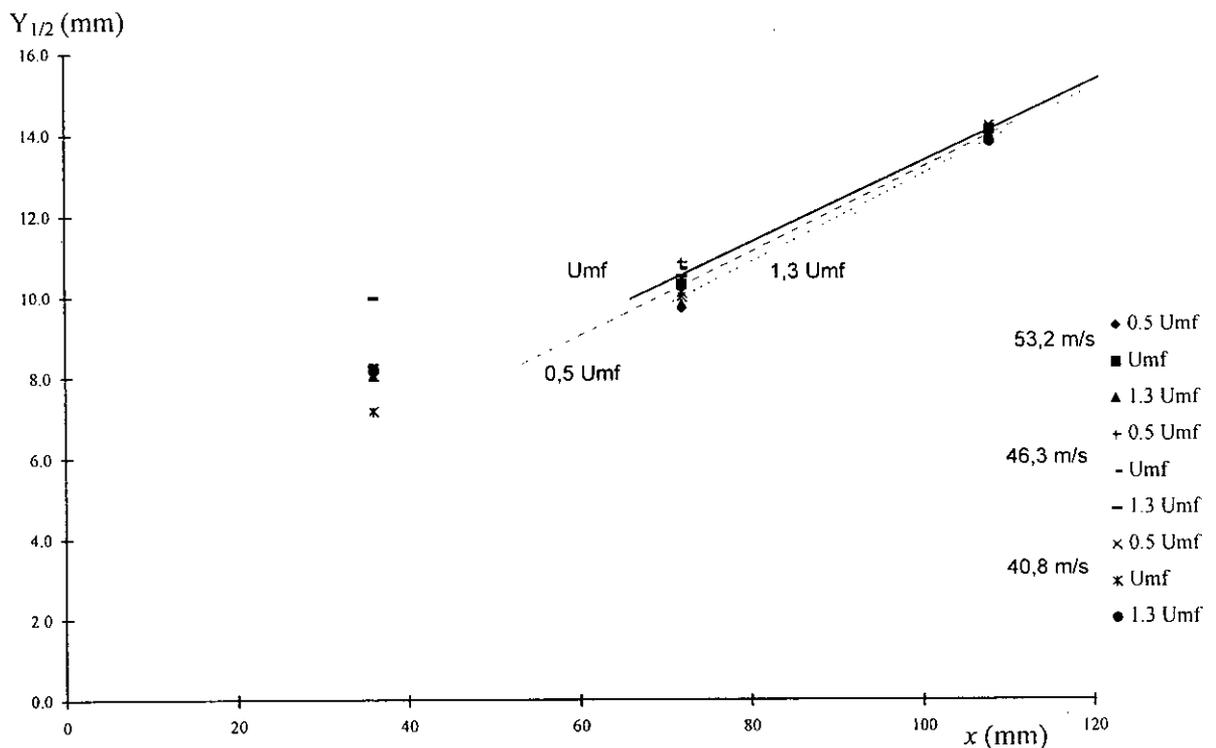
A partir des profils expérimentaux de vitesses, nous avons relevé l'abscisse caractéristique  $y_{1/2}$  ainsi que la vitesse maximale  $U_m$  à différentes abscisses longitudinales.

#### VI. 3. 2. 1. Abscisse caractéristique du jet.

Le tableau 4 représente l'évolution de l'abscisse caractéristique du jet en fonction de l'abscisse longitudinale  $x$ .

**Tableau 4. Abscisse caractéristique en fonction de la hauteur  $x$ .**

$y(\text{mm})$	$U_{\text{jet}} \quad 53,2 \quad (\text{m/s})$			$46,3 \quad (\text{m/s})$			$40,8 \quad (\text{m/s})$		
$x \text{ (mm)}$	0,5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1,3 $U_{mf}$	0,5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1,3 $U_{mf}$	0,5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1,3 $U_{mf}$
36	8,2	8,2	8,0	8,1	8,2	10,0	8,1	7,2	8,2
72	8,8	10,3	9,8	10,8	9,8	10,5	10,0	8,6	10,3
108	13,9	14,1	14,1	14,1	14,2	13,8	14,2	13,9	13,8



**Figure 39 Evolution de l'abscisse caractéristique à différentes vitesses d'aération et de jet.**

Le demi angle du jet déterminé en considérant les deux plans  $x=72$  et  $108\text{mm}$  de l'injecteur est entaché d'erreurs. Cependant nous pouvons dire que plus l'état du lit est aéré plus le demi angle diminue. (aéré  $\theta = 6,16$ . lit préfluidisé  $\theta = 5,86$ . lit fluidisé  $\theta = 5,85$  ).

VI. 3. 2. 2. La vitesse maximale sur l'axe.

Tableau 5. Vitesse maximale en fonction de la hauteur.

$U_m$ (m/s)	$U_{jet} \quad 53,2 \quad (m/s)$			$46,3 \quad (m/s)$			$40,8 \quad (m/s)$		
	0.5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1.3 $U_{mf}$	0.5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1.3 $U_{mf}$	0.5 $U_{mf}$	$U_{mf}$	1.3 $U_{mf}$
36	39,95	39,97	40,06	32,02	35,62	27,99	35,16	34,97	34,98
72	24,99	24,96	24,78	22,97	22,94	23,15	18,98	18,90	18,92
108	12,08	11,93	12,10	9,98	10,03	10,16	9,25	9,41	9,55

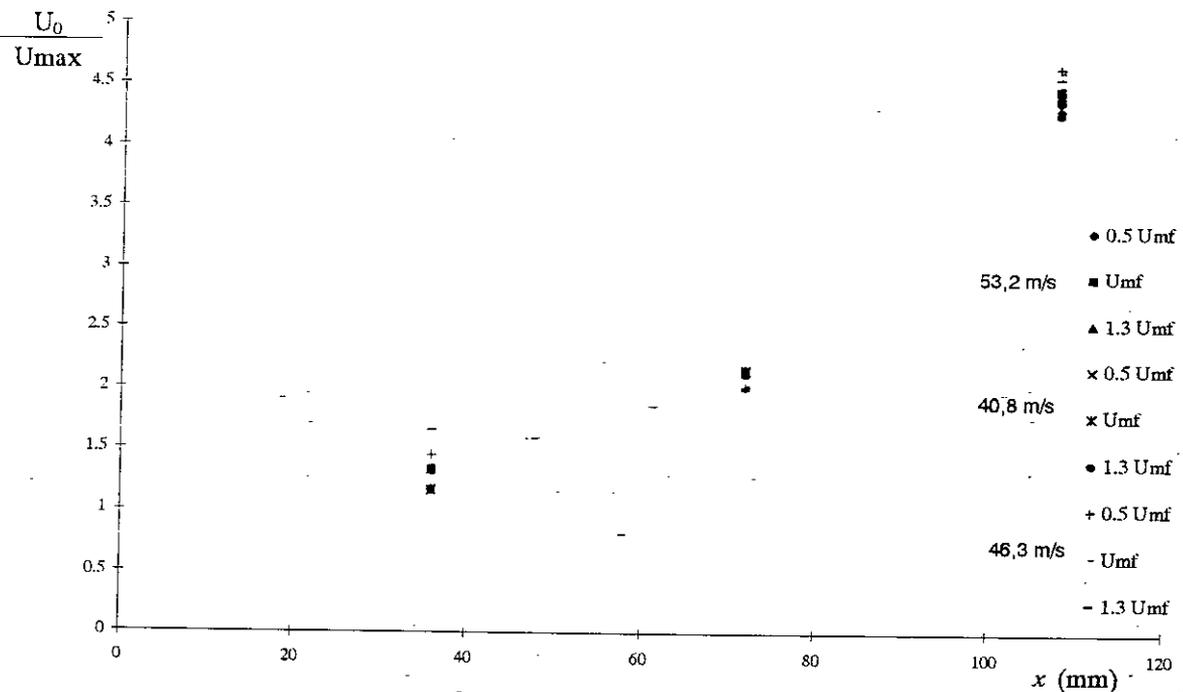


Figure 40. Représentation de  $U_0 / U_{max}$ . en fonction de  $x$ .

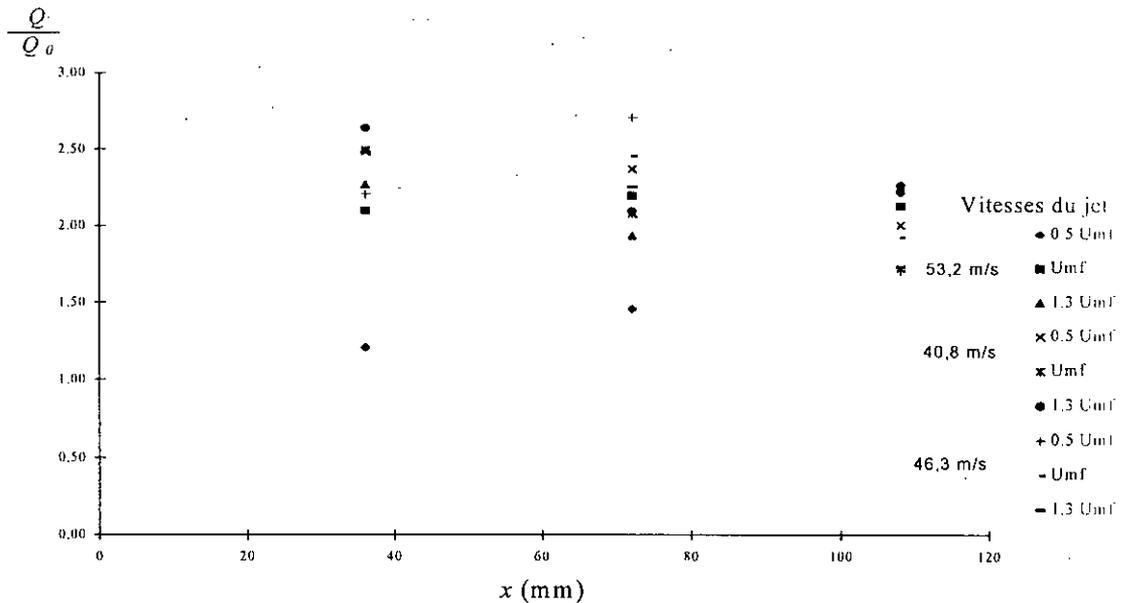
Le facteur  $\lambda$  (équation 68) pour le lit fluidisé ( $1,3 U_{mf}$ ) est égal à 2,40, pour le lit préfluidisé ( $U_{mf}$ ) égal à 2,23, et en lit aéré ( $0,5 U_{mf}$ ) égal à 2,27. Alors qu'en jet libre  $\lambda$  est égal à 3,57. Nous remarquons que la vitesse maximale sur l'axe décroît d'une manière beaucoup plus rapide en lit particulaire qu'en jet libre, ceci est dû au fait que les particules contribuent à la dispersion du jet.

VI. 3. 2. 3. Le débit du jet.

Le débit du jet entraîné semble moins important que celui observé en jet libre, celui-ci semble de façon générale constant. Le débit est deux à deux fois et demi supérieur au débit initial sur les premières hauteurs, alors qu'en jet libre il est jusqu'à trois fois supérieur au débit initial et croissant au fur et à mesure que la hauteur augmente.

**Tableau 6. Débit du jet en fonction de la hauteur.**

Débit	53,2			46,3			40,8		
	0,5 U <sub>mf</sub>	U <sub>mf</sub>	1,3 U <sub>mf</sub>	0,5 U <sub>mf</sub>	U <sub>mf</sub>	1,3 U <sub>mf</sub>	0,5 U <sub>mf</sub>	U <sub>mf</sub>	1,3 U <sub>mf</sub>
Débit initial	0,0042	0,0042	0,0042	0,0036	0,0036	0,0036	0,0032	0,0032	0,0032
36	0,00794	0,00752	0,00819	0,00673	0,00651	0,00684	0,00796	0,00634	0,00606
72	0,00852	0,00857	0,00807	0,00756	0,00804	0,00819	0,0076	0,00667	0,00671
108	0,00924	0,00889	0,0094	0,00622	0,00699	0,00629	0,00642	0,00551	0,00725



**Figure 40 Variation du débit en fonction de l'abscisse longitudinale**

#### VI. 3. 2. 4. Similitude des profils de vitesse réduits.

A partir des caractéristiques du jet nous avons tracé le profil réduit de vitesse pour différents états du lit. Nous obtenons une courbe unique d'allure gaussienne celle-ci a été vérifiée en comparant la vitesse réduite selon Gauss avec les valeurs expérimentales (figure 42).

La similitude des profils de vitesses du jet en milieu particulaire est comparable à celle observé en jet libre, nous concluons que la présence de particules n'affecte pas cette propriété fondamentale du jet.

En analysant l'effet des particules sur les différents paramètres étudiés en jet libre, nous avons constaté que certains sont conservés en jet immergé tel que la symétrie de révolution et la similitude des profils de vitesses. L'abscisse caractéristique quant à elle conserve la même évolution linéaire en fonction de l'abscisse longitudinale.

Par contre le débit volumique, dont l'évolution était croissante en jet libre, semble perdre cette caractéristique en milieu particulaire.

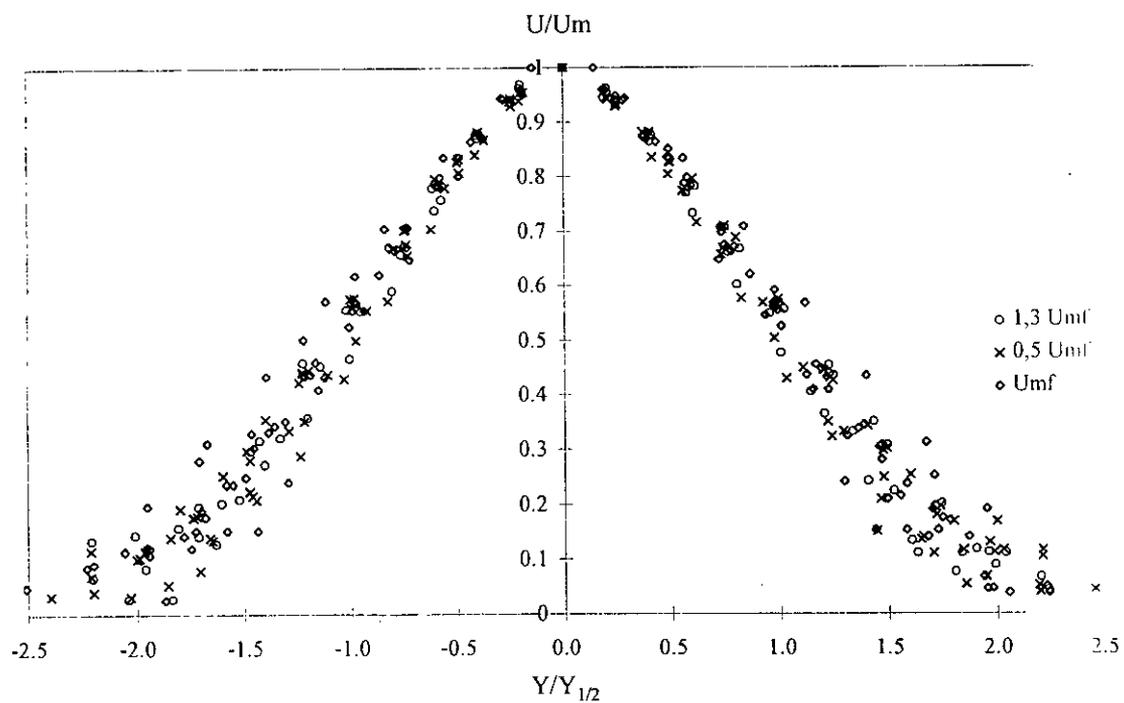


Figure 41. Similitude des profils de vitesse

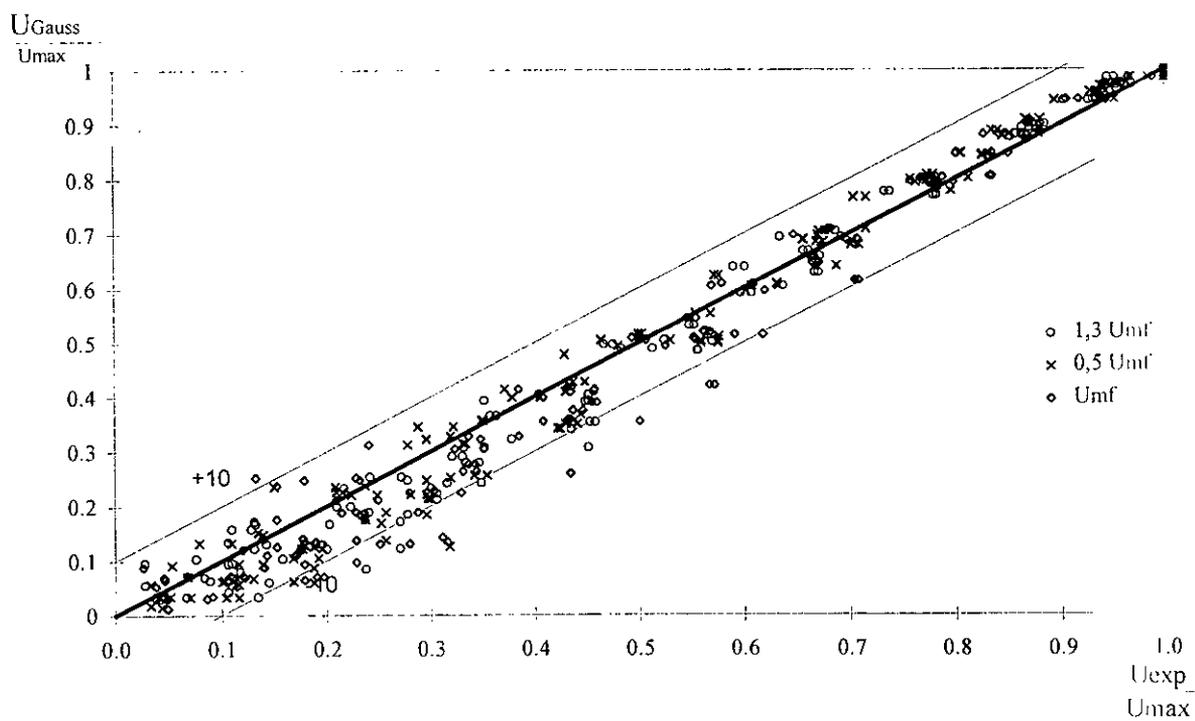
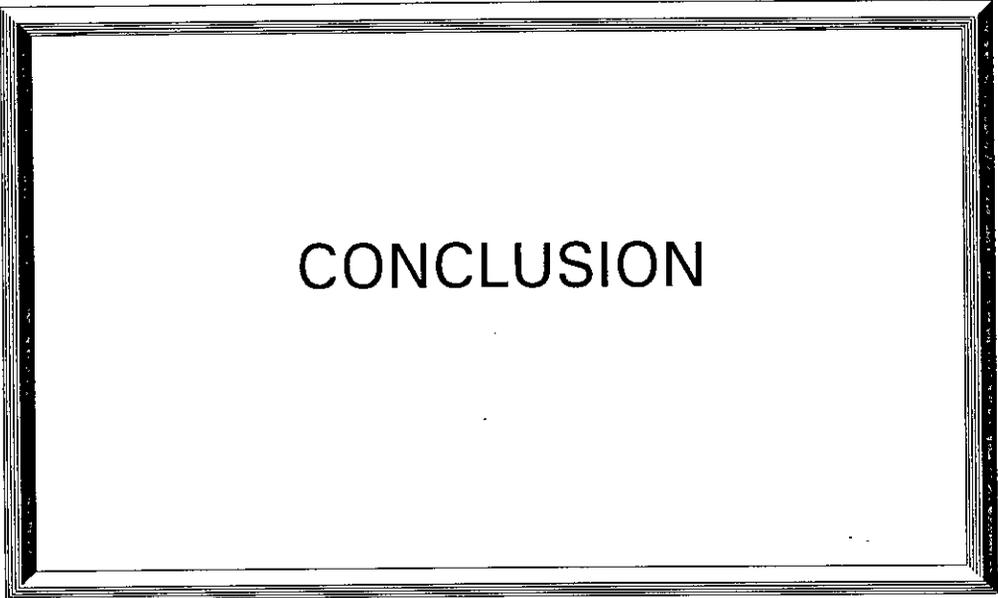


Figure 42. Comparaison de la vitesse réduite selon Gauss avec les valeurs expérimentales



CONCLUSION

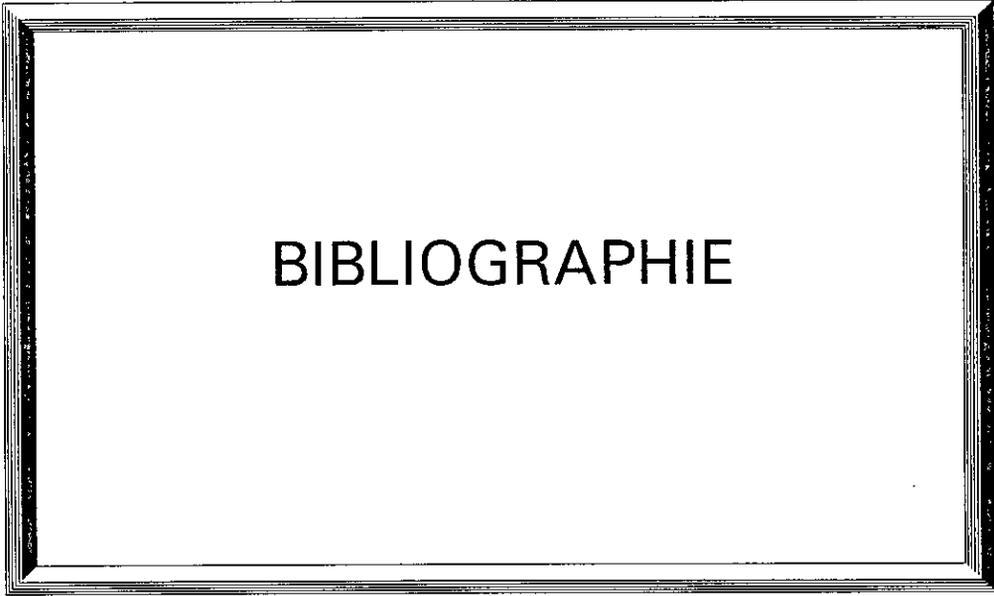
## Conclusion générale.

Dans le présent travail nous avons porté notre intérêt sur le comportement d'un jet gazeux immergé dans un lit de particules solides.

La première série d'expériences a été consacrée à la mise en évidence des propriétés fondamentales caractérisant les jets libres turbulents en milieu homogène (la symétrie de révolution des profils de vitesse, la loi de variation de la demi largeur du jet, le débit volumique). Nous avons montré l'influence du diamètre de l'injecteur sur la longueur de pénétration.

En ce qui concerne l'expansion du lit, nous avons noté que la présence du jet entraîne un retard dans la fluidisation traduite par l'augmentation de la vitesse minimale de fluidisation.

En milieu particulaire le jet conserve ses propriétés fondamentales à savoir la symétrie de révolution et l'autosimilarité des profils réduits de vitesse. Par contre, la croissance du débit volumique n'est plus observée en jet immergé. L'évasement du jet en milieu particulaire dépend de l'état du lit.



# BIBLIOGRAPHIE

## Références Bibliographiques.

---

- [1] Kunii D., Levenspiel. O. "Fluidization Engineering." John Wiley and Sons inc.
- [2] Leva, "Fluidization." McGraw Hill series in chemical engineering. New York.
- [3] Geldart D., Types of gas fluidisation, Powder Technology, 7, 285-292, (1973).
- [4] Grohse E.W., *A.I.Ch.E. journal*, 1,361 (1955)
- [5] Richardson, "ch2." *Fluidization*. Davidson JF.; Harrison D.
- [6] Ergun S., *Chem. Eng. Progr.* 48, 89. (1952).
- [7] Wen C.Y. et Yu Y.H., *A.I.Ch.E. Journal* 12,610. (1966).
- [8] Babu S. P., Shah B. et Talwalkar A., *AIChE Symp. Ser.*, no 176, 176. (1978)
- [9] Baeyen J. et Geldart D., Congrès Toulouse, p. 263 (1973).
- [10] Bena J., *Chemcky Purmysl*, 10 285. (1960)
- [11] Bourgeois P. et Grenier P., *Can. J. Chem. Eng.*, 46 325. (1968)
- [12] Broadhurst T. E. et Becker H. A., *AIChE Journal.*, 21 (2-1) 238 (1975).
- [13] Davis L. et Richardson J.F., *Trans. Instn. Chem. Eng.*, 44 T293. (1966).
- [14] Doichev K. et Akhnikov N.S., *Chem. Eng. Sci.*, 34 1357. (1979)
- [15] Frantz J. F., *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser.*, 62 21. (1966).
- [16] Goroshko V.D., Rozembaum R. B. et Todes O. M., *Izv. Vyssh. Uchebn. Neft Gaz*, no1.
- [17] Leva M., Shirai T. et Wen C. Y., *Génie Chim.*, 75 33 (1956).
- [18] Limas Ballesteros R., "Thèse de Docteur ingénieur de l'Université de Toulouse", (1980)
- [19] Miller C. O. et Logwinuk A. K., *Ind. Eng. Chim.*, 76 1220. (1961).
- [20] Pillai B.C. et Raja Rao M., *Indian J. Technol.*, 9, 77 (1971)
- [21] Riba J. P., Routie R. et Couderc J. P., *The Can. J. Chem. Eng.*, 56. 26. (1978)

- [22] Richardson J.F. et Da St. Jeromino M.A., *Chem. Eng. Sci.*, 34. 1419. (1979)
- [23] Rowe P.N. et Henwood G.A., *Trans. Ind. Chem. Engrs. (London)*, 39. 43. (1961)
- [24] Saxena S. C. et Vogel G. L., *Trans. I. Chem. Eng.*, 55 (1977)
- [25] Thonglimp V., Hiquily N. et Laguerie C., "Vitesse Minimale de Fluidisation et Expansion des Couches Fluidisées par un Gaz", *Powder Technology*, 38. 233-253. (1984)
- [26] Schlichting, H., "Boundary layer theory." Mc Graw Hill Book Co.
- [27] Rajaratman "Turbulent mixing and diffusion of jets", *Encyclopedia of Fluid flows and Mixing*, 2 391-405, (1986).
- [28] Davies J. T., "Turbulence Phenomena", Academic Press, (1972).
- [29] Abramovich, G. N., "The theory of turbulent jets." MIT Press, Cambridge, Mass. USA, (1963).
- [30] Becker H.A. *Chem. Eng. Sci.* 13,245.
- [31] Hunt C.H. et Brennan D *Aust. Chem. Eng.* March, 9. (1965)
- [32] Goltsiker A.D. "Doctoral dissertation", Lensovet Technological Inst., Leningrad. (1967)
- [33] Manurung F "Studies in the spouted bed technique with particular reference to its application to low temperature coal carbonization." Ph.D. thesis, Univ. Of South Wales, Kensington. (1964).
- [34] Reddy K.V.S., Fleming R.J. and Smith J.W. *Can. J. Chem. Eng.* 46,329. (1968).
- [35] Lefroy, G.A. and Davidson, J.F. *Trans. Instn Chem. Engrs*, U.K. 47,T120. (1969).
- [36] Mathur, K. B. Et Gishler, P. E. *A.I.Ch.E. J.* 1,157. (1955)
- [37] Malek, M. A. Et Lu, B. C. Y., *Ind. Chem. PDD.* 4,123 (1965)
- [38] Asok Chatterjee, *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.*, Vol9, No2, P340-341. (1970)
- [39] Sutanto W., Thesis M.A.Sc., Univ. British columbia, Vancouver, B.C. (1983).
- [40] Rowe, P. N., McGillivray et Cheeseman D. J., "Gas discharge from an orifice into a gas fluidized bed." *Trans. Inst. Chem. Eng.* 57 80. (1979).
- [41] Markhevka, V.I., Basov, V.A. Melk-Akhnanarov, T.Kh. et Orichko, D.I. "The flow of gaz into a fluidized bed"; *Theor. Found. Chem. Eng.* 5 n°1 80. (1971)

- [42] Sharkova, N.A. et Minaev, G.A. "Aerodynamics of jets discharged into fluidized bed". *Heat Transfert Sov. Res.*, 4 n°1 133-144. (1972)
- [43] Wen, C.Y., Deole, N.R. et Chen, L.H. "A study of jet in three dimensional fluidised bed". *Powder Tech.* 31 175-184 (1982).
- [44] Merry J.M.D. "Penetration of vertical jet into fluidized beds" *AIChE J.* 21 n°3 507. (1975)
- [45] Knowlton, T.M., Hirsan, I. Et Sishla, C. "The effect of bed and jet parameters on vertical jet penetration length in gas fluidised beds" 73rd Annual Aiche Meeting, CHicago, (1980).
- [46] Basov, V.A., Markhevka, T.K., Melk-Akhnaranov, T.Kh et Orochko, D.I. "The flow of gas into a fluidized bed"; *Theor. Found. Chem. Eng.* 5 N°1 80. (1971)
- [47] Filla M., Massimilla L. et Vaccaro S., "Gas jets in fluidised beds". *Int. J. Multiphase flow*, 9 N°3 259-267. (1983)
- [48] Sharkova, N.A. "Discharge of turbulent jets into a fluidized bed". *J. Eng. Chem. Fundam.* 20 n°3 297-300. (1981)
- [49] Yang, W.C. et Keairns, D.L. "Momentum dissipation and gas entrainment into a gas jet in a fluidized bed". *Aiche Symp. Ser.* N°205 77 28-36. (1981)
- [50] Clift R., Filla, M. Et Massimilla, L. "Gas and particle motion in jets in fluidized beds" *Int. J. Multiphase Flow*, 2, n°5-6 549-561. (1976)
- [51] Donadono, S., Maresca, A. Et Massimilla, L. "The interaction between jets and fluidized beds". *Ing. Chim. Ital.* 16 n°1-2 . 1-10. (1980)
- [52] Behie, L.A. "Momentum, Heat and Mass Transfer from a grid jet in a large gas fluidized bed" Ph. D. Thesis, the faculty of engineering Science, The Univ. of western Ontario, (1972).
- [53] Yang, W.C. et Kernns, D.L. "Solid entrainment rate into gas and gas solid two phase jets in a fluidized bed" *Powder Tech.* 33 89-94. (1982)
- [54] Shakhova, N.A. et Minaev, G.A. "Aerodynamics of jet into fluidized bed" *J. Eng. Phys.* 19 n°5 1368. (1970)

# ANNEXES

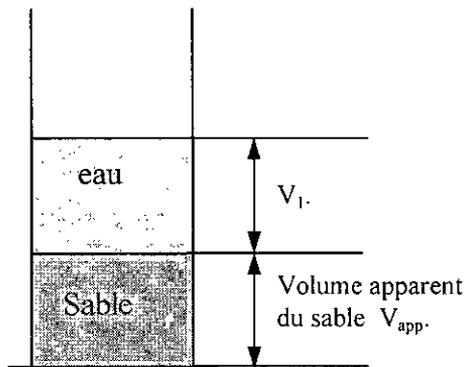
## TABLE DES MATIERES DES ANNEXES

A1. CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE ET DE LA POROSITE.....	A1
A2. DIAPHRAGME .....	A3
A3. CONCEPTION DU DISTRIBUTEUR. ....	A10
A4. LE TAMISAGE .....	A11
A5. LE FACTEUR DE SPHERICITE.....	A15
A6. LA VITESSE MINIMALE DE FLUIDISATION.....	A16
A7. LA VITESSE TERMINALE DE CHUTE LIBRE.....	A18
A8. LA MASSE VOLUMIQUE DE LAIR SEC ET DE LAIR HUMIDE .....	A20
A9. LA VISCOSITE DE LAIR SEC .....	A21

## A1. Calcul de la masse volumique et de la porosité.

Pour calculer la masse volumique du solide nous avons procédé de la manière suivante :

Nous introduisons dans une éprouvette gradué une masse connu de sable  $M$  et un volume connu d'eau  $V_{eau}$ , nous lisons le volume apparent de sable  $V_{app}$ , le volume réel du sable est égal à la différence entre le volume apparent  $V_{app}$  et le volume de l'eau dans les pores. Ce dernier est obtenu en soustrayant du volume total de l'eau  $V_{eau}$  le volume de l'eau au dessus du lit de sable  $V_1$ .



$$\text{La masse volumique} = \frac{\text{Masse du Sable}}{\text{Volume réel du Sable}}$$

Soit: 
$$\rho = \frac{M}{V_{réel}}$$

Calcul d'erreur :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\rho}{\rho} &= \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta V_{sable}}{V_{sable}} \\ \frac{\Delta\rho}{\rho} &= \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta(V_{app} - V_{pores})}{(V_{app} - V_{pores})} \\ \frac{\Delta\rho}{\rho} &= \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta(V_{app} - (V_{eau} - V_1))}{V_{app} - (V_{eau} - V_1)} \\ \frac{\Delta\rho}{\rho} &= \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta V_{app} + \Delta V_1 + \Delta V_{eau}}{V_{app} + V_1 - V_{eau}} \end{aligned}$$

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Volume apparent} - \text{Volume réel}}{\text{Volume apparent}}$$

$$\varepsilon = \frac{V_{app} - V_{sable}}{V_{app}}$$

$$\varepsilon = \frac{V_{eau} - V_1}{V_{app}}$$

L'erreur peut être évaluée par la formule suivante :

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta(V_{eau} - V_1)}{V_{eau} - V_1} + \frac{\Delta V_{app}}{V_{app}}$$

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta V_{eau} + \Delta V_1}{V_{eau} - V_1} + \frac{\Delta V_{app}}{V_{app}}$$

La masse volumique du sable est de  $2571 \text{Kg/m}^3$ , avec une erreur moyenne de 6%.

La porosité est estimé à 0.385 avec une erreur moyenne de 11%.

## A2. Diaphragme

### A2. 1. 1. L'organe déprimogène.

C'est un dispositif, mis en série sur la conduite d'écoulement, qui réalise un abaissement de la pression localisée. La différence de pression entre l'amont et l'aval est fonction de la vitesse d'écoulement, donc du débit; la mesure de la pression différentielle conduit à la mesure du débit.

### A2. 1. 2. Les conditions d'implantation des diaphragmes.

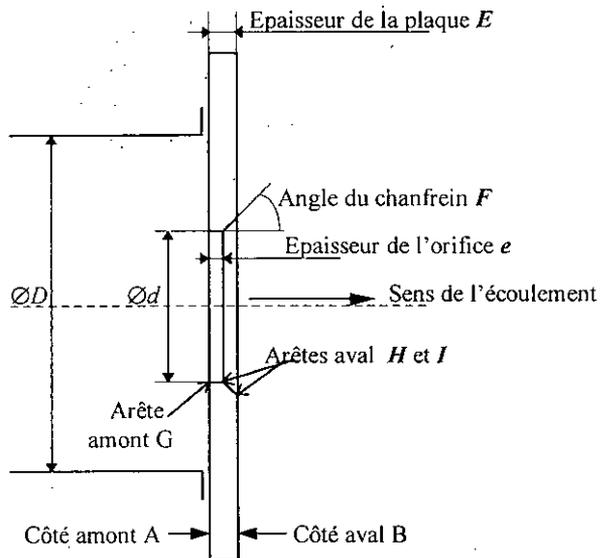
Ils doivent être centrés exactement par rapport à la conduite, et ils doivent être implantés sur des parties rectilignes à une distance suffisante des coudes, piquages, vannes, changements de section pour éviter les perturbations.

En principe, la longueur droite amont est supérieure à  $20D$  ( $50D$  si on craint un mouvement hélicoïdale du fluide) et la longueur aval supérieure à  $10D$ . Ces longueurs droites sont fonction du coefficient  $m$ .

Il faut monter le diaphragme sur une conduite verticale descendante dans le cas d'un débit gazeux, et, ascendante dans le cas d'un débit liquide.

## A2. 2. La norme AFNOR NF X 10-102.

### A2. 2. 1. Plaque du Diaphragme ; forme générale.



*Face amont A.* La face amont de la plaque A doit être plane lorsque la plaque est installée dans la tuyauterie en l'absence de pression différentielle. En général l'orifice porte une queue sur laquelle sont gravées les indications donnant le diamètre intérieur de la ligne, le diamètre de l'orifice, et un numéro de repère. Ils sont placés par convention du côté amont.

*Face aval B.* La face aval B doit être plane et parallèle à la face amont.

*Epaisseurs  $E$  et  $e$  :* L'épaisseur  $e$  de l'orifice doit être comprise entre  $0,005D$  et  $0,02D$  avec une erreur ne dépassant pas  $0,001D$ . L'épaisseur  $E$  de la plaque doit être comprise entre  $e$  et  $0,05D$  avec une erreur ne dépassant pas  $0,001D$ . Toutefois lorsque  $50\text{mm} \leq D \leq 64\text{mm}$  une épaisseur  $E$  atteignant  $3,2\text{mm}$  est acceptable.

*L'angle du chanfrein  $F$*  doit être de  $45^\circ \pm 15^\circ$ .

*Les arêtes  $G$ ,  $H$  et  $I$ .* L'arête amont  $G$  ne doit présenter ni morfil, ni bavure, ni aucune singularité visible à l'oeil nu, et doit être vive. Les arêtes aval  $H$  et  $I$  sont situées dans une région où l'écoulement est détaché, et leur qualité est moins importante que celle de l'arête  $G$ , de sorte que de petits défauts sont acceptables.

*Le diamètre de l'orifice  $d$  :* il doit dans tous les cas être supérieur ou égal à  $12,5\text{mm}$  ; le rapport d'ouverture  $\beta = d/D$  est toujours supérieur ou égal à  $0,2$  et inférieur ou égal à  $0,75$ . Dans ces limites la valeur de  $\beta$  est laissée au choix de l'utilisateur.

## **A2. 2. 2. La prise de pression D et D/2.**

L'éloignement  $l$  d'une prise de pression est la distance entre l'axe de la prise et le plan de l'une des faces, désignée, du diaphragme.

Pour le diaphragme à prise de pression à  $D$  et  $D/2$ , l'éloignement  $l_1$  de la prise de pression amont est nominale à  $D$ , mais peut être compris entre  $0,9D$  et  $1,1D$  sans modification du coefficient de décharge.

L'éloignement  $l_2$  de la prise de pression aval est nominale à  $0,5D$  mais peut être compris, sans modification du coefficient de décharge entre les valeurs suivantes :

Entre  $0,48D$  et  $0,52D$  pour  $\beta \leq 0,6$ .

Entre  $0,49D$  et  $0,51D$  pour  $\beta > 0,6$ .

Les deux éloignements  $l_1$  et  $l_2$  sont comptés à partir de la face amont du diaphragme.

On doit tenir compte, lors de la mise en place des prises de pression de l'épaisseur des joints et/ou des matériaux d'étanchéité.

L'axe de perçage des prises de pression doit rencontrer l'axe de la conduite et lui être perpendiculaire.

La débouchure des trous doit être circulaire. Les bords doivent être à la paroi intérieure de la conduite et à angle aussi vif que possible. Il ne doit pas y avoir d'irrégularité à l'intérieur du trou de raccordement, ni sur les bords du trou percé dans la paroi de la conduite, ni sur les parois mêmes de la conduite près de la prise de pression.

Le diamètre des prises de pression doit être inférieur à  $0,13D$  et inférieur à 13mm. Les diamètres de prise amont et prise aval doivent être égaux.

Les prises de pression doivent présenter un tronçon cylindrique de section circulaire sur une longueur d'au moins 2,5 fois leur diamètre intérieur compté à partir de la surface intérieure de la conduite.

Les axes des prises de pression peuvent être situés sur un plan quelconque passant par l'axe de la conduite. L'axe de la prise amont et celui de la prise aval peuvent être situés dans des demi-plan méridiens différents.

### A2. 2. 2. 1. Les limites d'emploi.

Les diaphragmes normalisés " $D$  et  $D/2$ " ne doivent être utilisés que dans les conditions suivantes :

$D \geq 12,5 \text{ mm}$ .

$50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$ .

$0,2 \leq \beta \leq 0,75$ .

$Re_D \geq 1260\beta^2 D$ .  $D$  en millimètre

Limite supérieure de la rugosité relative de la conduite amont pour les diaphragmes.

$\beta$	$\leq 0,3$	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4	0,45	0,5	0,6	0,75
$10^4 k/D$	25	18,1	12,9	10,0	8,3	7,1	5,6	4,9	4,2	4,0

Nous pouvons utiliser des conduites de rugosité relative plus élevée, pour autant que sur une longueur d'au moins  $10D$  en amont du diaphragme leur rugosité relative reste dans les limites prescrites ci-dessus.

#### A2. 2. 2. 2. Le coefficient de décharge $C$ .

L'équation de Stolz :

$$C = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,184 \beta^8 + 0,0029 \beta^{2,5} \left( \frac{10^6}{Re} \right)^{0,75} + 0,0900 L_1 \left( \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} \right) - 0,0337 L_2 \beta^3$$

où  $\beta = \frac{d}{D}$  rapport des diamètres.

$Re_d$ , Le nombre de Reynolds rapporté à  $D$ .

$L_1 = \frac{l_1}{D}$  est le quotient d'éloignement de la prise amont, compté à partir de la face amont du diaphragme, par le diamètre de la conduite.

$L_2 = \frac{l_2}{D}$  est le quotient d'éloignement de la prise aval compté à partir de la face aval du diaphragme par le diamètre de la conduite.

Note pour  $L_1 \geq \frac{0,0390}{0,0900} = 0,4333$  on prend  $\frac{\beta^4}{(1 - \beta^4)} = 0,0390$

Pour les prises  $D$  et  $D/2$ .

$L_1 = 1$ .

$L_2 = 0,47$ .

Comme  $L_1$  est toujours supérieur à 0,4333 on prendra  $\frac{\beta^4}{(1-\beta^4)} = 0,0390$ .  $D$  en millimètre.

Coefficient de détente.  $\varepsilon_1$ .

$$\varepsilon_1 = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \frac{\Delta P}{k P_1}$$

Cette relation n'est applicable que si  $\frac{P_2}{P_1} \geq 0,75$ .

On rappelle que  $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \sqrt{1 + \frac{\Delta P}{P_2}}$

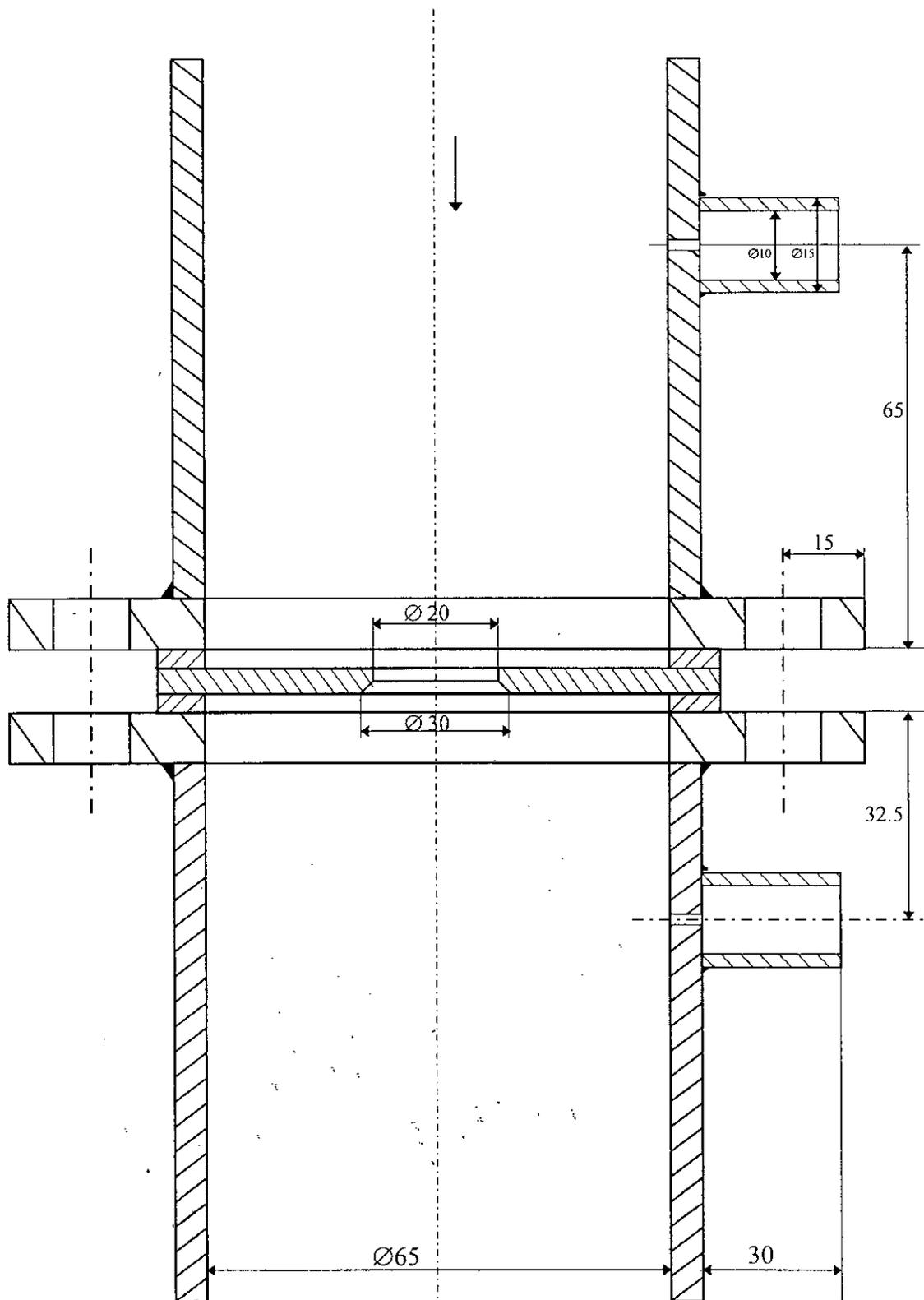
Perte de pression

$$\Delta \varpi = \frac{\sqrt{1-\beta^4} - C\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4} + C\beta^2} \Delta P$$

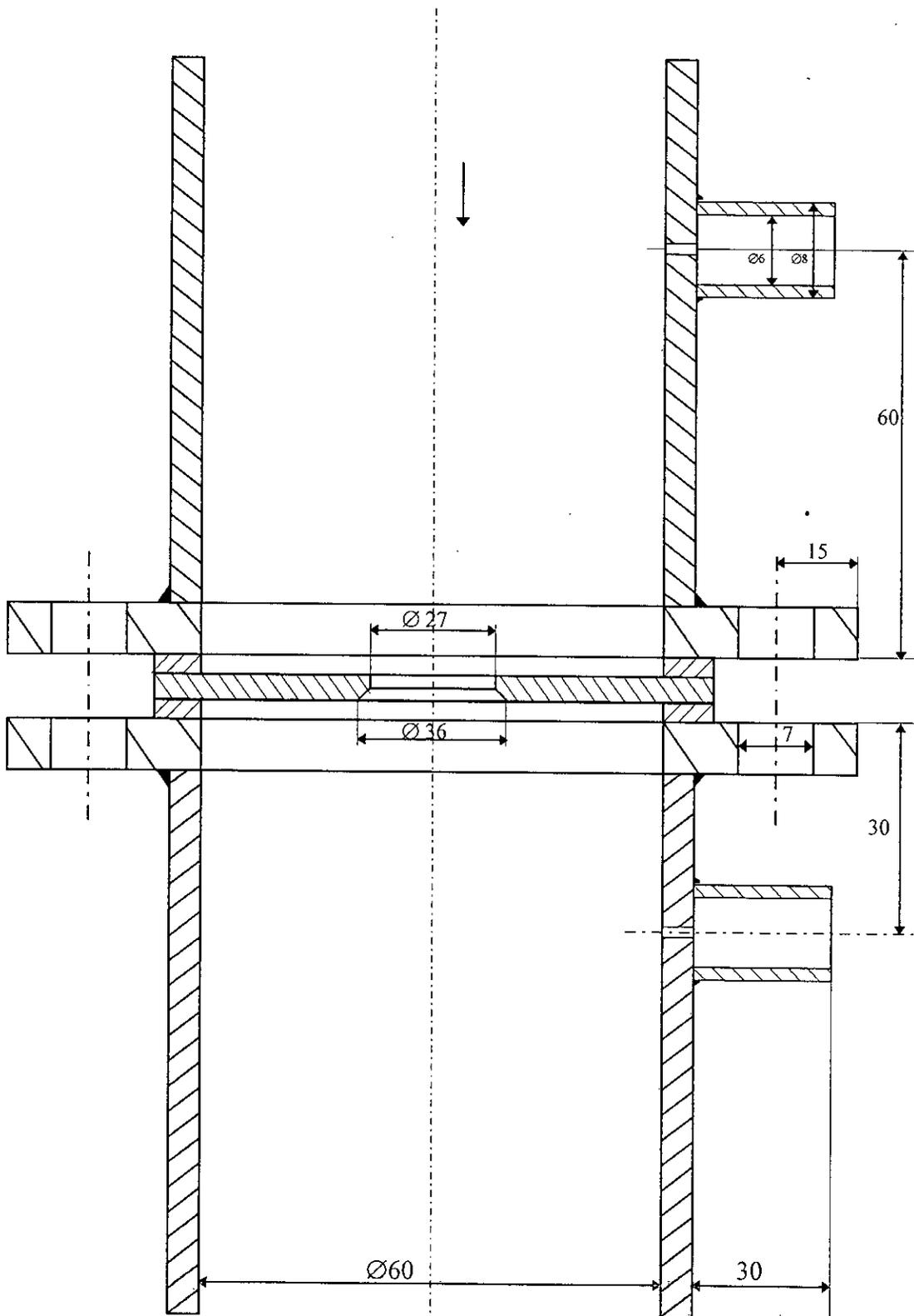
On peut dans certains cas prendre comme valeur approchée  $\frac{\Delta \varpi}{\Delta P} = 1 - \beta^{1,9}$

Le débit massique s'exprime :  $Q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P \rho_1}$

et le débit volumique  $Q_v = \frac{Q_m}{\rho}$



Dessin de la conduite avec le diaphragme 1



Dessin de la conduite avec le diaphragme 2

### A3. Conception du distributeur.

L'expérience montre que le distributeur doit avoir une perte de charge suffisante pour atteindre un débit égal, à travers les ouvertures; il est donc nécessaire que la perte de charge à travers le distributeur soit considérablement plus grande que la résistance propre du gaz qui arrive.

Richardson[5] suggère que le rapport du distributeur sur la perte d'expansion soit pris égal à 100. Agarwal<sup>1</sup> recommande que la perte de charge à travers le distributeur soit approximativement 10% de la perte de charge au travers du lit, avec un minimum dans tous les cas de 35cm d'H<sub>2</sub>O. Kunii et Levenspiel[1] proposent que la perte de charge soit supérieure à la plus grande des trois valeurs :  $0.1\Delta P_{lit}$  ; 35cm d'eau ;  $100\Delta P_{expansion}$ .

Nous admettons généralement que la perte de charge dans le lit soit supérieure à  $0.1\Delta P_{lit}$ . Toutefois, dans les opérations difficiles, Nous préférons que la perte de charge soit supérieure à  $0.3\Delta P_{lit}$ .

$$U_{or} = C_d \sqrt{\frac{2g_c \Delta P_d}{\rho_g}}$$

$$U_0 / U_{or} = \text{fraction du vide.}$$

$N_{or}$  nombre d'orifices.

$$U_0 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or}$$

Autre approche

$$\frac{\rho_g U_0^2}{2g_c} = (1/2 \text{ à } 1/3) \frac{Poid_{lit}}{A_t}$$

ceci se réduit à :

$$U_{or} = (0,70 \text{ à } 0,85) \sqrt{\frac{2g_c \Delta P_{lit}}{\rho_g}}$$

Ceci est une approche alternative pour la conception des distributeurs qui donne une plus grande perte de charge.

<sup>1</sup> J.C. Agarwal, W.L. Davis, Jr et D.T King, Chem. Eng. Progr, 58,85 (Nov. 1962)

## A4. LE TAMISAGE

Le tamisage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus largement utilisées actuellement. Il permet la séparation des particules en tenant compte de leur grosseur.

Il consiste à déposer une quantité d'un échantillon représentatif de la masse globale sur une série de tamis comportant des ouvertures de taille connue. Les particules dont les dimensions sont inférieures aux dimensions des ouvertures traversent le tamis lorsqu'il est mis en vibration, alors que les particules plus grosses sont retenues. Cette opération pouvant être longue, on considère en général comme terminée lorsque la masse d'échantillon qui passe en 5min est inférieure ou égale à 0.2% de la masse initiale.

Pour la première fois en 1867 Rittinger a proposé une série, de tamis, normalisée.

(Remarque : 200 mesh = 200 fils par pouce.)

### A4. 1. 1. La méthode.

Le tamisage à la main est la technique de référence. La norme NF X11-507 indique que : « Si des machines à tamiser sont utilisées, elle seront construites et conduites de telle manière que les résultats du tamisage soient aux tolérances admises près, conformes à ceux obtenus par tamisage à la main. »

### A4. 1. 2. Le tamisage à la machine.

Le tamisage à la machine est effectué en empilant les tamis dans l'ordre croissant des tailles d'ouverture, et en déposant la poudre sur le tamis du haut. La colonne se compose en général de cinq ou six tamis dont les ouvertures forment une progression de raison  $\sqrt{2}$ . la colonne est mise en vibration pendant un temps déterminé, et le refus de chaque tamis est pesé. Les résultats s'expriment en général sous forme de pourcentage cumulé pour l'ouverture nominale du tamis.

Pour les contrôles systématiques, les normes fixent les durées de tamisage. On recommande généralement d'annuler l'essai si les pertes en cours de tamisage dépassent 0,5% de la charge totale.

Il convient d'éliminer les très fines particules par un prêtamisage manuel au moyen du tamis le plus fin ; en effet, ces particules, traversent toute la pile de tamis, prolongeant ainsi la durée du tamisage ; de plus elles s'infiltrèrent entre les différents tamis, augmentant ainsi les pertes de poudre.

## **A4. 2. La norme X 11-507 NF iso 2591-1.**

### **A4. 2. 1. Méthode d'échantillonnage.**

La méthode d'échantillonnage utilisée doit être telle que l'échantillon prélevé soit représentatif du produit considéré. La méthode à adopter dépend de la nature de la matière et de sa présentation.

### **A4. 2. 2. Facteurs qui affectent la durée du tamisage.**

Certaines particules peuvent coller aux particules grosses, ou n'ont pas trouvé d'ouvertures libres, ou ont seulement rencontré des petites ouvertures (situées à la limite inférieure des tolérances). De même, à cause de la présence de grandes ouvertures (situé à la limite supérieure de tolérance), des particules plus grosses que l'ouverture nominale de maille se trouvent dans le tamisa.

On ne peut fixer aucune durée après laquelle le tamisage serait terminé. La durée du tamisage dépend :

- des caractéristiques de la matière, par exemple la finesse, la forme des particules, la répartition des particules, la masse volumique.
- du volume de la charge initiale.
- de l'intensité du secouage.
- de l'ouverture nominale de maille du tamis de contrôle.
- des caractéristiques du fond de tamis.
- de l'humidité de l'air.

### **A4. 2. 3. Evaluation des résultats.**

Le refus et le tamisa final éventuellement recueillis devraient être pesés à 0,1% près de la masse de la charge. La somme de ces masses ne doit pas différer de moins de 2% de la masse de la charge.

Les normes ASTM préconisent des échantillons de 100g pour les granulés métalliques de masse volumique supérieure à  $1,5\text{g/cm}^3$ , et des échantillons de 50g pour les granulés métalliques de masse volumique inférieure à  $1,5\text{g/cm}^3$ .

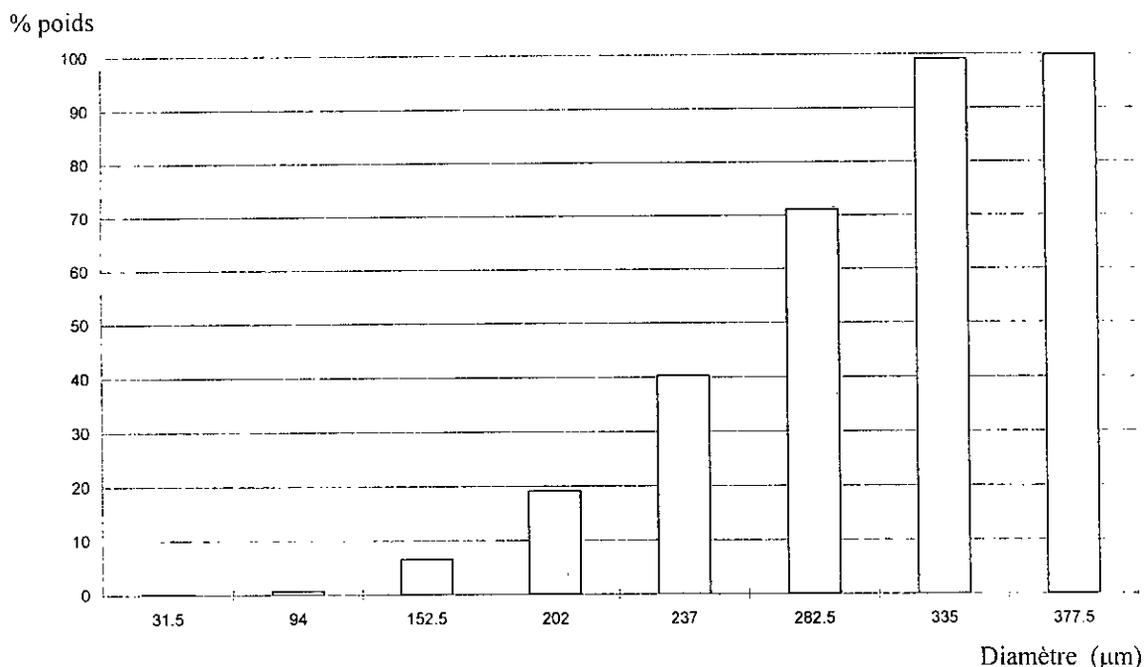
On peut modifier le poids de l'échantillon pour d'autres natures de matériaux. Par exemple pour certains plastiques le poids de l'échantillon peut être augmenté jusqu'à 500g.

### A4. 3. Les résultats du tamisage.

Ces valeurs représentent la moyenne de quatre essais de tamisage.

Diamètre des Tamis ( $\mu\text{m}$ )	Charge (g)
400	0.9195
355	2.3224
315	112.4
250	123.1
224	84.837
180	50.493
125	23.386
63	2.3784
0	0.1596

Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	masse (g)	% massique	% massique cumulé accepté	% massique cumulé refusé
377.5	2.32	0.58	0.58	99.77
335	112.40	28.10	28.68	99.19
282.5	123.10	30.78	59.46	71.09
237	84.84	21.21	80.67	40.31
202	50.49	12.62	93.29	19.10
152.5	23.38	5.85	99.14	6.48
94	2.39	0.59	99.73	0.63
31.5	0.160	0.04	99.77	0.04



#### A4. 4. Le calcul des diamètres des particules.

Les différents diamètres sont calculés par les formules ci après:

Le diamètre arithmétique moyen =  $\sum x_i d_i$

Le diamètre géométrique moyen =  $10^{\sum x_i \log_{10} d_i}$

Le diamètre harmonique moyen =  $1 / \sum x_i / d_i$

Le diamètre longueur moyen =  $\frac{\sum x_i (d_i)^2}{\sum x_i d_i}$

Le diamètre de surface moyen =  $\sqrt{\sum x_i (d_i)^2}$

Le diamètre de volume moyen =  $\sqrt[3]{\sum x_i (d_i)^3}$

Le diamètre de poids moyen =  $\frac{\sum x_i (d_i)^4}{\sum x_i (d_i)^3}$

Le diamètre de volume-surface moyen =  $\frac{\sum x_i (d_i)^3}{\sum x_i (d_i)^2}$

DIAMETRE MOYEN	(μm)
Le diamètre arithmétique	268.5
Le diamètre géométrique	259.1
Le diamètre harmonique	255.9
Le diamètre longueur	280.8
Le diamètre de surface	274.6
Le diamètre de volume	279.7
Le diamètre de poids	298.2
Le diamètre de volume-surface	290.3

## A5. Le facteur de sphéricité.

Le facteur de sphéricité est obtenu en appliquant l'équation de Blake-Kozeny du régime laminaire.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu}{(\psi d_p)^2} U$$

Nous traçons pour les différents essais de masses fluidisés:

$$\left(\frac{\Delta P}{L}\right) \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} = f(U)$$

Donc: la Pente de la droite obtenue est égale à  $150 \frac{\mu}{(\psi d_p)^2}$

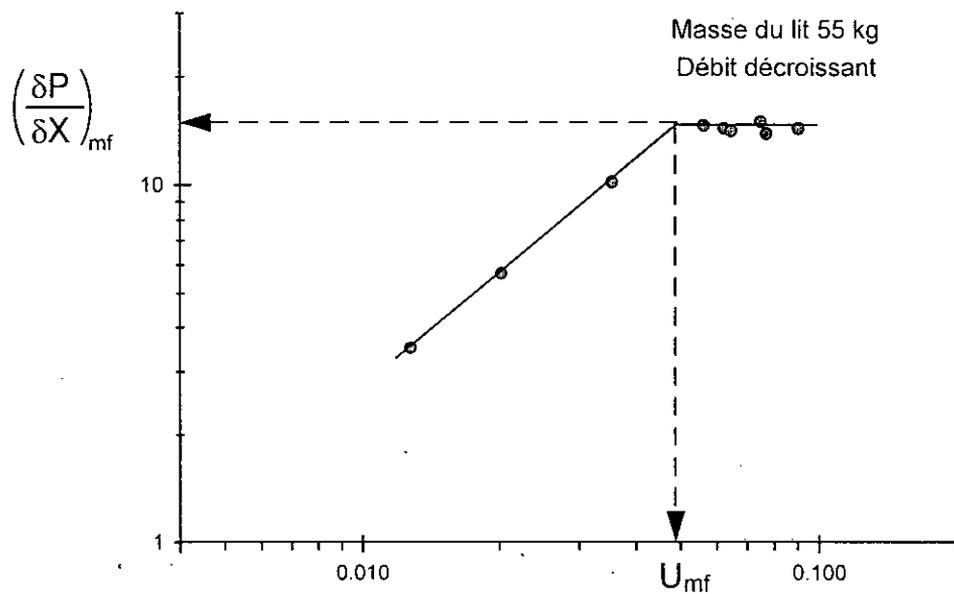
$$\text{Donc } \psi = \frac{1}{d_p} \sqrt{\frac{150 \mu}{P}}$$

Le facteur de sphéricité estimé par cette méthode est de l'ordre de 0,83.

## A6. La vitesse minimale de Fluidisation.

### A6. 1. 1. Détermination de la vitesse minimale de fluidisation.

La vitesse minimale de fluidisation est déterminée en traçant deux lignes, une pour le lit fluidisé (ligne horizontale), l'autre pour le lit fixe (à débit décroissant), l'intersection des deux droites nous donne la valeur de la vitesse minimale de fluidisation.



Il est recommandé dans tous les cas d'effectuer la détermination expérimentale de la vitesse minimale de fluidisation. la valeur expérimentale est donc 4,7 cm/s

Les différentes corrélations du Tableau 1 (chapitre I. *fluidisation*) donnent les résultats suivants:

Vitesse minimale de fluidisation	(cm/s)
Babu, Shah et Talwalkar	11,21
Bayens et Geldart	5,28
Bena	5,56
Bourgois et Grenier	6,64
Broadhurst et Becker	6,35
Davies et Richardson	7,05
Doichev et Akhmakov	6,62
<b>Ergun</b>	<b>4,66</b>
Frantz	9,63
Goroshko, Rozenbaum et Todes	5,64
<b>Kunii et Levenspiel</b>	<b>4,72</b>
<b>Leva</b>	<b>4,74</b>
Leva, Shirai et Wen	0,34
Miller et Logwinuk	5,25
Pillai et Rajarao	6,33
Riba, Routie et Couderc	15,62
Richardson et Jeronimo	6,29
Rowe et Henwood	7,32
Saxena et Vogel	9,88
Thonglimp, Nhiquily et Laguerie	5,89
Wen et Yu	5,4

La valeur expérimentale est de l'ordre de 0,047m/s, donc les corrélations qui se rapprochent le plus de celle-ci sont celles proposées par: **Kunii et Levenspiel**; **Leva**; **Ergun**.

## A7. La vitesse terminale de chute libre.

Pour estimer la vitesse terminale d'une particule sphérique, il existe différentes corrélations.

D'après Leva [2].

On calcule le Reynolds terminal par la formule:

$$Re_t = \frac{dU_t \rho_g}{\mu_g}$$

Pour le régime de stocks :  $Re < 2$ .

$$U_t = \frac{(\rho_s - \rho_f)gd}{18\mu}$$

Pour le régime de Van Allen :  $2 < Re < 500$ .

$$U_t = \frac{0,152 d^{1,14} g^{0,714} (\rho_s - \rho_f)^{0,714}}{\mu^{0,418} \rho_f^{0,285}}$$

Pour le régime de Newton :  $Re > 500$ .

$$U_t = \sqrt{3gd \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}}$$

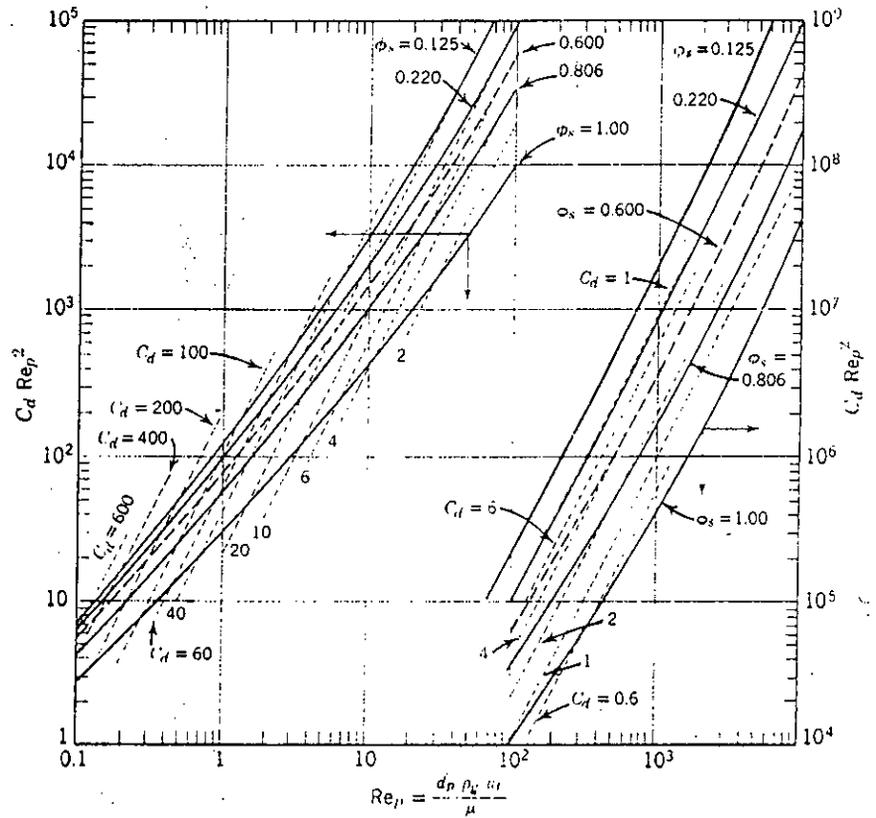
Une modification a été proposée pour les particules non sphériques dans le régime de stocks.

$$U_t = \eta \frac{(\rho_s - \rho_f)gd}{18\mu}$$

$$\text{avec } \eta = 0.843 \text{ Log} \left( \frac{\psi}{0.065} \right)$$

$$U_t = \sqrt{\frac{4gd_p(\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g C_d}}$$

$C_d$  coefficient de trainée.



La vitesse terminale des particules de sable utilisées  $d_p=256\mu\text{m}$  (taille moyenne de toutes les particules) est de 1,22m/s.

La vitesse terminale de particules de  $d_p=400\mu\text{m}$  (taille maximale des particules) est de 3,03m/s.

## A8. La masse volumique de l'air sec et de l'air humide

Pression = 1 013 mbars.

Masse volumique en kg/m<sup>3</sup>. Humidité relative de l'air %.

$t_a$ °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	$t_a$ °C
0	1,294	1,292	1,292	1,292	1,292	1,291	1,291	1,291	1,290	1,290	1,290	0
1	1,289	1,288	1,287	1,287	1,287	1,286	1,286	1,286	1,286	1,285	1,285	1
2	1,285	1,283	1,283	1,282	1,282	1,282	1,281	1,281	1,281	1,280	1,280	2
3	1,280	1,278	1,278	1,278	1,277	1,277	1,277	1,276	1,276	1,276	1,275	3
4	1,275	1,274	1,273	1,273	1,273	1,272	1,272	1,271	1,271	1,271	1,270	4
5	1,271	1,269	1,269	1,268	1,268	1,268	1,267	1,267	1,266	1,266	1,265	5
6	1,266	1,265	1,264	1,264	1,263	1,263	1,262	1,262	1,261	1,261	1,261	6
7	1,261	1,260	1,260	1,259	1,259	1,258	1,258	1,257	1,257	1,256	1,256	7
8	1,257	1,256	1,255	1,255	1,254	1,254	1,253	1,253	1,252	1,252	1,251	8
9	1,253	1,251	1,250	1,250	1,249	1,249	1,248	1,248	1,247	1,247	1,246	9
10	1,248	1,247	1,246	1,246	1,245	1,245	1,244	1,244	1,243	1,242	1,241	10
11	1,244	1,242	1,242	1,241	1,240	1,240	1,239	1,239	1,238	1,237	1,237	11
12	1,239	1,238	1,237	1,236	1,236	1,235	1,235	1,234	1,233	1,233	1,232	12
13	1,235	1,233	1,233	1,232	1,231	1,231	1,230	1,229	1,229	1,228	1,227	13
14	1,231	1,229	1,228	1,228	1,227	1,226	1,225	1,225	1,224	1,223	1,222	14
15	1,227	1,225	1,224	1,223	1,222	1,222	1,221	1,220	1,219	1,218	1,218	15
16	1,222	1,220	1,220	1,219	1,218	1,217	1,216	1,215	1,215	1,214	1,213	16
17	1,218	1,216	1,215	1,214	1,213	1,212	1,211	1,211	1,210	1,209	1,208	17
18	1,214	1,212	1,211	1,210	1,209	1,208	1,207	1,206	1,205	1,204	1,204	18
19	1,210	1,208	1,207	1,206	1,205	1,204	1,203	1,202	1,201	1,200	1,199	19
20	1,206	1,204	1,202	1,201	1,200	1,200	1,198	1,197	1,196	1,196	1,194	20
21	1,202	1,199	1,198	1,196	1,195	1,194	1,193	1,192	1,191	1,190	1,189	21
22	1,197	1,195	1,194	1,193	1,192	1,191	1,189	1,188	1,187	1,186	1,185	22
23	1,193	1,191	1,190	1,189	1,187	1,186	1,185	1,184	1,182	1,181	1,180	23
24	1,189	1,187	1,186	1,184	1,183	1,182	1,180	1,179	1,178	1,176	1,175	24
25	1,185	1,183	1,182	1,180	1,179	1,177	1,176	1,175	1,173	1,172	1,170	25
26	1,181	1,179	1,177	1,176	1,175	1,173	1,172	1,170	1,168	1,167	1,166	26
27	1,177	1,175	1,173	1,172	1,170	1,169	1,167	1,166	1,165	1,162	1,161	27
28	1,174	1,171	1,169	1,168	1,166	1,164	1,163	1,161	1,159	1,158	1,156	28
29	1,170	1,167	1,165	1,163	1,162	1,160	1,158	1,156	1,155	1,153	1,151	29
30	1,166	1,163	1,161	1,159	1,157	1,155	1,153	1,150	1,149	1,147	1,145	30
31	1,162	1,160	1,157	1,155	1,153	1,151	1,149	1,147	1,146	1,144	1,142	31
32	1,158	1,155	1,153	1,151	1,149	1,147	1,145	1,143	1,141	1,139	1,137	32
33	1,154	1,151	1,149	1,147	1,145	1,143	1,141	1,138	1,136	1,134	1,132	33
34	1,151	1,147	1,145	1,143	1,141	1,138	1,136	1,134	1,132	1,129	1,127	34
35	1,147	1,144	1,141	1,139	1,136	1,134	1,132	1,129	1,127	1,124	1,122	35
36	1,143	1,140	1,137	1,135	1,132	1,130	1,127	1,125	1,122	1,119	1,117	36
37	1,139	1,136	1,133	1,131	1,128	1,125	1,123	1,120	1,117	1,115	1,112	37
38	1,136	1,132	1,129	1,126	1,124	1,121	1,118	1,115	1,112	1,110	1,107	38
39	1,132	1,128	1,125	1,122	1,119	1,116	1,114	1,111	1,108	1,105	1,102	39
40	1,129	1,125	1,121	1,118	1,113	1,112	1,109	1,106	1,103	1,100	1,097	40
41	1,125	1,121	1,118	1,114	1,111	1,108	1,104	1,101	1,098	1,095	1,091	41
42	1,121	1,117	1,114	1,110	1,107	1,103	1,100	1,096	1,093	1,090	1,086	42
43	1,118	1,113	1,110	1,106	1,103	1,099	1,095	1,092	1,088	1,085	1,081	43
44	1,114	1,110	1,106	1,102	1,098	1,095	1,091	1,087	1,083	1,079	1,076	44
45	1,111	1,106	1,102	1,098	1,098	1,090	1,086	1,082	1,078	1,074	1,070	45
46	1,107	1,102	1,098	1,094	1,090	1,086	1,081	1,077	1,073	1,069	1,065	46
47	1,104	1,098	1,094	1,090	1,086	1,081	1,077	1,072	1,069	1,064	1,059	47
48	1,100	1,095	1,090	1,086	1,080	1,077	1,072	1,068	1,063	1,059	1,053	48
49	1,097	1,091	1,086	1,082	1,077	1,073	1,067	1,062	1,058	1,053	1,048	49
50	1,093	1,088	1,083	1,078	1,073	1,068	1,063	1,058	1,052	1,047	1,043	50

## A9. La viscosité de l'air sec

Kayoda et coll.<sup>2</sup> proposent la corrélation suivante pour la détermination de la viscosité de l'air sec.

$$\eta(T_r, \rho_r) = H[\eta_0(T_r) + \Delta\eta(\rho_r)]$$

Valable seulement dans les domaines:

$$85K < T < 2000K.$$

Et  $P < 100\text{MPa}$ .

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad T_c = 132,5K$$

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_c} \quad \rho_c = 314,3\text{kg} / \text{m}^3$$

avec:

$$H = 6,1609 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$$

et:

$\eta_0(T_r) = A_1 T_r + A_{0,5} T_r^{0,5} + \sum_{i=4}^0 A_i T_r^i$	$\Delta\eta(\rho_r) = \sum_{i=1}^4 B_i \rho_r^i$
$A_1 = 0,128517.$	$B_1 = 0,465601.$
$A_{0,5} = 2,60661.$	$B_2 = 1,26469.$
$A_0 = -1,00000.$	$B_3 = -0,511425.$
$A_{-1} = -0,709661.$	$B_4 = 0,274600.$
$A_{-2} = 0,662534.$	
$A_{-3} = 0,197846.$	
$A_{-4} = 0,00770147.$	

<sup>2</sup> Kayoda (K.), Matsunaga (N.) et Nagashima (A.), J. Phys. Chem. Eng. Data 14 p947 1985.

Masse du lit (kg): 40  
 Temperature (°C): 24  
 Pression ambiante mmHg: 767.7

Densité: 2571  
 Section: 0,1256536

Vitesse du jet 31 m/s

Fluidisation avec jet Masse du lit 40Kg  
 vitesse du jet 31m/s

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Pression au diaphragme (mmHg)	360	317	268	259	208	155	138	123	105	96	76	60	53	44	30	23	15	4
Différence de pression (mmCE)	218	198	176	174	133	98	87	78	61	58	43	34	30	24	16	11	8	3
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																	
4	229	224	219	218	213	208	203	200	187	176	152	131	122	118	81	71	54	33
7.5	186	185	180	179	176	172	168	165	153	144	124	109	100	96	68	59	45	20
10.5	144	144	142	141	138	135	132	130	138	113	101	86	79	70	54	47	36	17
14	101	101	101	102	101	98	96	95	84	81	65	64	59	51	41	35	28	14
17	62	61	61	62	61	61	56	57	48	49	42	30	38	38	26	24	19	9
20.5	25	25	25	24	22	18	14	17	11	13	13	15	15	13	11	11	8	4
23.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vitesse (m/s)	1,111E-1	1,039E-1	9,572E-2	9,476E-2	8,085E-2	6,757E-2	6,311E-2	5,935E-2	5,195E-2	5,041E-2	4,295E-2	3,787E-2	3,545E-2	3,157E-2	2,561E-2	2,120E-2	1,803E-2	1,106E-2
Pente - (dP/dZ)	12,439	12,351	11,941	11,872	11,670	11,525	11,497	11,122	10,915	9,864	8,535	7,316	6,470	6,271	4,268	3,632	2,759	1,584
Perte de charge Totale	277,211	274,465	267,614	266,431	261,463	256,515	252,338	246,912	237,212	217,078	187,387	162,115	148,087	141,151	99,119	85,822	65,467	35,567

Masse du lit (kg): 40      Densité 2671      Vitesse du jet 33 m/s  
 Temperature (°C): 24      Section 0,1256636  
 Pression ambiante mmHg: 767,7

Fluidisation avec jet Masse du lit 40Kg  
 vitesse du jet 33m/s

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Pression au diaphragme (mmHg)	343	310	293	279	252	192	220	170	148	135	86	77	68	55	51	44	20	12	7
Différence de pression (mmCE)	214	199	187	179	163	132	133	106	86	83	53	49	41	32	30	29	11	6	5
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																		
4	223	221	219	218	216	214	214	212	214	205	172	165	139	130	115	109	62	48	37
7,5	181	180	178	176	175	173	172	171	173	165	138	133	113	106	95	89	51	38	33
10,5	145	144	142	141	140	137	137	135	137	131	109	107	91	86	77	72	41	31	28
14	103	102	100	99	98	96	95	94	95	91	75	75	66	62	56	52	30	24	28
17	66	66	64	64	63	61	60	59	59	56	46	46	44	42	38	35	21	18	17
20,5	24	24	23	22	22	19	18	18	17	16	12	17	18	19	17	15	9	9	11
23,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vitesse (m/s)	1,092E-1	1,038E-1	9,984E-2	9,705E-2	9,143E-2	7,988E-2	8,136E-2	7,083E-2	6,303E-2	6,155E-2	4,792E-2	4,585E-2	4,175E-2	3,664E-2	3,540E-2	3,467E-2	2,116E-2	1,562E-2	1,424E-2
Pente - (dP/dZ)	12,08	11,98	11,92	11,84	11,75	11,80	11,85	11,78	11,93	11,43	9,71	8,98	7,33	6,74	5,95	5,72	3,20	2,181	1,55
Perte de charge Totale	271,78	269,42	267,05	264,92	262,93	261,25	261,29	259,10	262,03	250,60	210,95	200,84	168,27	156,77	139,16	132,13	75,09	56,05	44,66

Masse du lit (kg): 40      Densité: 2671      Vitesse du jet 44m/s  
 Temperature (°C): 24,2      Section: 0,126664  
 Pression ambiante mmHg: 766,6

Fluidisation avec jet Masse du lit 40Kg  
 vitesse du jet 44m/s

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22
Pression au diaphragme (mmH)	235	292	260	238	191	157	149	129	97	68	54	41	22	9	11	39	66	79	145	210	245
Différence de pression (mmCE)	228	194	176	160	129	96	86	82	64	41	32	23	12	4	4	21	39	48	143	140	167
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																				
4	228	225	226	223	222	217	214	193	172	161	132	121	71	45	50	117	158	183	233	229	227
7,5	195	187	188	185	183	179	178	181	139	131	112	99	61	40	44	99	132	153	198	189	189
10,5	149	145	146	146	142	139	140	128	115	101	90	80	52	33	37	78	105	121	159	146	147
14	109	104	104	104	103	100	84	95	83	74	71	62	42	28	31	59	79	89	120	106	106
17	68	63	63	63	62	61	62	59	48	45	45	42	31	23	23	40	50	57	75	66	66
20,5	31	27	27	27	23	17	20	24	19	22	25	25	20	18	18	25	28	32	37	28	30
23,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vitesse (m/s)	1,070E-1	1,017E-1	9,538E-2	8,999E-2	7,896E-2	6,698E-2	6,316E-2	6,100E-2	5,297E-2	4,177E-2	3,669E-2	3,086E-2	2,212E-2	1,278E-2	1,260E-2	2,947E-2	4,070E-2	4,545E-2	8,103E-2	8,304E-2	9,224E-2
Pente (dP/dz)	12,267	12,244	12,323	12,115	12,193	12,161	12,005	10,864	10,209	8,552	6,808	5,840	3,491	1,666	1,666	5,724	7,957	9,381	12,112	12,342	12,175
Perte de charge Totale	280,269	275,158	276,622	273,072	271,870	267,811	263,399	248,721	229,976	193,767	165,213	143,039	84,775	51,581	54,478	139,783	189,144	220,750	285,373	278,517	276,641

Masse du lit (kg): 40  
 Température (°C): 16  
 Pression ambiante mmHg: 753

Densité 2571  
 Section 0,1256836

Fluidisation d'une masse de 40Kg

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Pression au diaphragme (mmHg)	3,5	8	10	25	51	61	78	106	120	201	191	72	62	38	27	17	3
Différence de pression (mmCE)	1,5	3	8	13,5	30	36	50	73	82	147	82	44	37	19	14	8	1,5
Pression avant le distributeur	32	57	95	136	196	217	253	261	269	274	258	248	230	170	138	101	32
perte de charge au distributeur	26	49	90	146	186	212	245	260	263	269	254	239	228	163	129	87	25
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																
4	4159,44	5679,99	9221,4	11830,86	17697,24	19826,01	24260,13	23396,85	23632,29	25790,49	24721,2	19982,97	17971,92	12821,67	10957,77	8054,01	3364,83
7,5	3256,92	4434,12	7220,16	9270,45	13940,01	15715,62	19384,56	18825,39	19158,93	21179,79	20110,5	15902,01	14273,55	10183,16	8681,85	6366,69	2668,32
10,5	2472,12	3364,83	5503,41	7082,82	10712,52	12184,02	15205,5	14901,39	15333,03	17226,36	16157,07	12399,84	11095,11	7887,24	6719,85	4914,81	2060,1
14	1559,79	2118,96	3502,17	4522,41	6955,29	8073,63	10329,93	10329,93	10869,48	12605,85	11546,37	8318,88	7386,93	5228,73	4443,93	3227,49	1353,76
17	774,99	1059,48	1785,42	2324,97	3727,8	4542,03	6160,68	6405,93	7033,77	8652,42	7592,94	4816,71	4208,49	2952,81	2491,74	1785,42	755,37
20,5	0	0	0	0	0	431,64	1285,11	1834,47	2570,22	4041,72	2972,43	735,75	500,31	294,3	206,01	88,29	49,05
23,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vitesse cm/s	0,62	0,88	1,43	1,87	2,81	3,10	3,68	4,52	4,83	6,73	5,02	3,45	3,14	2,23	1,90	1,43	0,62
Vitesse (m/s)	0,0062	0,0088	0,0143	0,0187	0,0281	0,0310	0,0368	0,0452	0,0483	0,0673	0,0502	0,0345	0,0314	0,0223	0,0190	0,0143	0,0062
Pente (dP/dZ)	26,562	36,224	58,266	74,563	109,571	119,836	141,973	133,230	130,141	134,343	134,343	118,924	107,956	77,367	66,415	49,198	20,520
Perte de charge Totale	530,733	723,397	1172,866	1504,540	2242,518	2500,279	3041,078	2917,910	2929,547	3166,248	3057,479	2513,031	2284,219	1616,466	1382,848	1017,908	425,487
Hauteur du Lit (cm)	19,981	19,970	20,129	20,178	20,466	20,864	21,420	21,901	22,511	23,588	22,759	21,131	20,974	20,893	20,821	20,690	20,735
Porosité	0,380	0,380	0,385	0,386	0,395	0,407	0,422	0,435	0,450	0,475	0,456	0,414	0,410	0,407	0,405	0,402	0,403
GP Pa/m	0,26582176	0,3622368	0,58266017	0,74563425	1,09571296	1,19836064	1,41973409	1,3323014	1,30141201	1,34342682	1,34342682	1,18924163	1,07955811	0,77367458	0,66414721	0,49198496	0,20520255

Masse du lit (kg): 50  
 Temperature (°C): 18,6  
 Pression ambiante mmHg: 755,36

Densité: 2671  
 Section: 0,1256636

Fluidisation d'une masse de 50Kg

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pression au diaphragme (mmHg)	4,5	12	22,5	48	74,5	91	100	133	188	218	194	169	142	123	91	57	43	32	15	5
Différence de pression (mmCE)	1,5	4,5	8,5	25	44	58	66,5	98	139	163	145	127	106	90	60	33	22	17	6	2
Pression avant le distributeur	51	92	122	247	317	356	359	350	350	364	350	339	338	324	330	274	225	189	105	46
perte de charge au distributeur	38	85	130	232	312	341	345	345	344	350	335	325	329	315	314	255	215	183	99	39
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																			
4	40	87	131	268	313	316	315	316	326	338	322	317	313	312	304	232	182	165	81	38
7,5	33	73	110	224	263	267	266	268	278	291	274	270	266	265	257	195	153	139	68	32
10,5	28	60	91	187	221	224	224	227	237	250	233	229	225	225	217	164	129	117	57	27
14	21	46	70	143	171	175	175	179	190	202	185	182	178	177	170	128	100	91	44	21
17	15	34	51	106	129	132	134	138	149	161	145	141	137	137	129	97	76	69	33	16
20,5	9	19	30	62	79	83	85	91	101	113	97	94	90	90	82	60	47	43	21	10
23,8	3	6	9	21	32	36	39	46	56	68	52	49	45	45	38	26	20	18	9	4
27,1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	23	7	4	1	1	0	0	0	0	0	0
30,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vitesse (m/s)	7,510E-3	1,343E-2	1,849E-2	3,199E-2	4,300E-2	4,979E-2	5,356E-2	6,613E-2	8,101E-2	8,957E-2	8,298E-2	7,668E-2	6,908E-2	6,304E-2	5,063E-2	3,690E-2	2,994E-2	2,618E-2	1,550E-2	8,996E-3
Pente (dP/dZ)	1,872	4,102	6,158	12,471	14,179	14,145	13,928	13,628	13,628	13,657	13,628	13,559	13,523	13,476	13,450	10,392	8,172	7,411	3,634	1,709
Perte de charge Totale	47,301	103,448	155,887	317,769	369,660	372,762	370,463	370,160	380,413	393,112	376,413	371,465	367,150	366,051	357,806	273,307	214,597	194,720	95,229	44,892
Hauteur du Lit (cm)	25,273	25,218	25,313	25,482	26,071	26,352	26,598	27,162	27,914	28,785	27,621	27,397	27,151	27,163	26,604	26,300	26,239	25,276	26,204	26,275
Porosité	0,388	0,386	0,389	0,393	0,406	0,413	0,418	0,430	0,446	0,462	0,440	0,435	0,430	0,430	0,418	0,412	0,411	0,411	0,409	0,411

Masse du lit 50 kg

Masse du lit (kg): 55  
 Temperature (°C): 22  
 Pression ambiante mmHg: 766,7

Densité 2671 Kg/m<sup>3</sup>  
 Section 0,126 m<sup>2</sup>

Fluidisation d'une masse de 55Kg

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Pression au diaphragme (mmHg)	10	20	51	66	75	104	117	137	160	206	212	159	128	102	54	22	8
Différence de pression (mmCE)	4	8	28	40	46	74	87	104	127	161	166	120	92	72	30	10	4
Pression avant le distributeur	84	140	261	339	362	385	380	380	390	405	405	383	390	380	290	145	83
perte de charge au distributeur	83	132	262	329	333	380	380	380	390	390	375	375	305	350	280	146	73
Hauteurs (cm)	Patm - P(z)																
4	95	136	261	348	384	363	365	370	362	402	387	384	357	368	252	140	86
7,5	81	116	223	298	329	313	315	319	313	349	337	332	308	317	217	120	74
10,5	69	98	190	255	283	270	272	275	271	304	294	287	265	273	186	103	63
14	55	79	152	205	228	220	222	224	223	251	244	235	216	222	150	83	51
17	43	62	119	162	181	177	179	180	181	205	201	190	174	178	120	66	40
20,5	29	42	81	111	127	127	129	129	133	153	151	137	124	127	84	46	28
23,8	16	23	45	64	76	80	82	80	87	104	104	88	78	79	51	28	17
27,1	3	4	9	17	24	33	34	32	41	54	57	39	31	31	17	9	5
30,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vitesse (m/s)	1,274E-2	1,802E-2	3,410E-2	4,106E-2	4,423E-2	5,694E-2	6,215E-2	6,866E-2	7,677E-2	8,847E-2	9,010E-2	7,460E-2	6,429E-2	5,611E-2	3,535E-2	2,014E-2	1,272E-2
Pente -(dP/dz)	3,985	5,710	10,912	14,341	15,568	14,290	14,316	14,638	13,877	15,058	14,290	14,953	14,109	14,594	10,177	5,666	3,504
Perte de charge Totale	110,860	158,911	304,685	405,383	448,080	420,089	422,359	428,745	417,169	462,027	444,089	444,017	413,524	426,317	292,883	162,484	99,992
Hauteur du Lit (cm)	27,8	27,8	27,9	28,3	28,7	29,4	29,5	29,3	30,1	30,7	31,1	29,7	29,3	29,2	28,8	28,7	28,5
Porosité	0,39	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,45	0,45	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,40

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc	9,504	Débit	0,008153
Hauteur	0	Um	22,119	Flux Mvt	0,137
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-17	0	0,000	-1,789	0,000
	-16	1	3,344	-1,683	0,151
	-15	1	3,344	-1,578	0,151
	-14	1	3,344	-1,473	0,151
	-13	3	5,792	-1,368	0,262
	-12	5	7,478	-1,263	0,338
	-11	13	12,058	-1,157	0,545
	-10	20	14,956	-1,052	0,676
	-9	25	16,721	-0,947	0,756
	-8	27	17,377	-0,842	0,786
	-7	29	18,009	-0,737	0,814
	-6	29	18,009	-0,631	0,814
	-5	29	18,009	-0,526	-0,814
	-4	30	18,317	-0,421	0,828
	-3	30	18,317	-0,316	0,828
	-2	30	18,317	-0,210	0,828
	-1	30	18,317	-0,105	0,828
	0	31	18,619	0,000	0,842
	1	31	18,619	0,105	0,842
	2	31	18,619	0,210	0,842
	3	31	18,619	0,316	0,842
	4	31	18,619	0,421	0,842
	5	29	18,009	0,526	0,814
	6	29	18,009	0,631	0,814
	7	29	18,009	0,737	0,814
	8	27	17,377	0,842	0,786
	9	25	16,721	0,947	0,756
	10	23	16,038	1,052	0,725
	11	21	15,325	1,157	0,693
	12	16	13,377	1,263	0,605
	13	10	10,575	1,368	0,478
	14	4	6,688	1,473	0,302
	15	2	4,729	1,578	0,214
	16	1	3,344	1,683	0,151
	17	0	0,000	1,789	0,000

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc	13,000	Débit	0,007916
Hauteur	3,6	Um	18,009	Flux Mvt	0,11116
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-17	0	0,000		
	-16	2	4,690	-1,231	0,260
	-15	3	5,745	-1,154	0,319
	-14	3	5,745	-1,077	0,319
	-13	5	7,416	-1,000	0,412
	-12	7	8,775	-0,923	0,487
	-11	9	9,950	-0,846	0,553
	-10	13	11,958	-0,769	0,664
	-9	17	13,675	-0,692	0,759
	-8	21	15,199	-0,615	0,844
	-7	24	16,248	-0,538	0,902
	-6	26	16,912	-0,462	0,939
	-5	27	17,234	-0,385	0,957
	-4	28	17,550	-0,308	0,975
	-3	29	17,861	-0,231	0,992
	-2	29	17,861	-0,154	0,992
	-1	29	17,861	-0,077	0,992
	0	27	17,234	0,000	0,957
	1	26	16,912	0,077	0,939
	2	25	16,583	0,154	0,921
	3	25	16,583	0,231	0,921
	4	24	16,248	0,308	0,902
	5	24	16,248	0,385	0,902
	6	23	15,906	0,462	0,883
	7	21	15,199	0,538	0,844
	8	19	14,457	0,615	0,803
	9	17	13,675	0,692	0,759
	10	15	12,845	0,769	0,713
	11	13	11,958	0,846	0,664
	12	11	11,000	0,923	0,611
	13	7	8,775	1,000	0,487
	14	5	7,416	1,077	0,412
	15	3	5,745	1,154	0,319
	16	2	4,690	1,231	0,260
	17	2	4,690	1,308	0,260

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc	16,000	Débit	0,011707
Hauteur	7,2	Um	16,583	Flux Mvt	0,140893
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-23	0	0,000		
	-22	1	3,317	-1,375	0,200
	-21	2	4,690	-1,313	0,283
	-20	2	4,690	-1,250	0,283
	-19	3	5,745	-1,188	0,346
	-18	4	6,633	-1,125	0,400
	-17	4	6,633	-1,063	0,400
	-16	6	8,124	-1,000	0,490
	-15	6	8,124	-0,938	0,490
	-14	8	9,381	-0,875	0,566
	-13	10	10,488	-0,813	0,632
	-12	12	11,489	-0,750	0,693
	-11	14	12,410	-0,688	0,748
	-10	16	13,267	-0,625	0,800
	-9	18	14,071	-0,563	0,849
	-8	20	14,832	-0,500	0,894
	-7	23	15,906	-0,438	0,959
	-6	23	15,906	-0,375	0,959
	-5	23	15,906	-0,313	0,959
	-4	24	16,248	-0,250	0,980
	-3	24	16,248	-0,188	0,980
	-2	25	16,583	-0,125	1,000
	-1	25	16,583	-0,063	1,000
	0	25	16,583	0,000	1,000
	1	25	16,583	0,063	1,000
	2	23	15,906	0,125	0,959
	3	21	15,199	0,188	0,917
	4	20	14,832	0,250	0,894
	5	19	14,457	0,313	0,872
	6	17	13,675	0,375	0,825
	7	17	13,675	0,438	0,825
	8	16	13,267	0,500	0,800
	9	14	12,410	0,563	0,748
	10	12	11,489	0,625	0,693
	11	10	10,488	0,688	0,632
	12	10	10,488	0,750	0,632
	13	8	9,381	0,813	0,566
	14	8	9,381	0,875	0,566
	15	6	8,124	0,938	0,490
	16	5	7,416	1,000	0,447
	17	4	6,633	1,063	0,400
	18	3	5,745	1,125	0,346
	19	2	4,690	1,188	0,283
	20	2	4,690	1,250	0,283
	21	2	4,690	1,313	0,283
	22	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc	17,000	Débit	0,010757	
Hauteur	10,8	Um	13,267	Flux Mvt	0,099793	
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
	0	-24	0	0,000		
		-23	1	3,317	-1,353	0,250
		-22	2	4,690	-1,294	0,354
		-21	2	4,690	-1,235	0,354
		-20	2	4,690	-1,176	0,354
		-19	3	5,745	-1,118	0,433
		-18	4	6,633	-1,059	0,500
		-17	4	6,633	-1,000	0,500
		-16	4	6,633	-0,941	0,500
		-15	4	6,633	-0,882	0,500
		-14	6	8,124	-0,824	0,612
		-13	6	8,124	-0,765	0,612
		-12	8	9,381	-0,706	0,707
		-11	9	9,950	-0,647	0,750
		-10	10	10,488	-0,588	0,791
		-9	12	11,489	-0,529	0,866
		-8	12	11,489	-0,471	0,866
		-7	13	11,958	-0,412	0,901
		-6	13	11,958	-0,353	0,901
		-5	14	12,410	-0,294	0,935
		-4	14	12,410	-0,235	0,935
		-3	15	12,845	-0,176	0,968
		-2	15	12,845	-0,118	0,968
		-1	16	13,267	-0,059	1,000
		0	16	13,267	0,000	1,000
		1	16	13,267	0,059	1,000
		2	15	12,845	0,118	0,968
		3	14	12,410	0,176	0,935
		4	13	11,958	0,235	0,901
		5	13	11,958	0,294	0,901
		6	12	11,489	0,353	0,866
		7	10	10,488	0,412	0,791
		8	10	10,488	0,471	0,791
		9	9	9,950	0,529	0,750
		10	8	9,381	0,588	0,707
		11	7	8,775	0,647	0,661
		12	7	8,775	0,706	0,661
		13	6	8,124	0,765	0,612
		14	6	8,124	0,824	0,612
		15	5	7,416	0,882	0,559
		-16	5	7,416	0,941	0,559
		17	4	6,633	1,000	0,500
		18	4	6,633	1,059	0,500
		19	3	5,745	1,118	0,433
		20	2	4,690	1,176	0,354
		21	2	4,690	1,235	0,354
		22	1	3,317	1,294	0,250
		23	1	3,317	1,353	0,250
		24	1	3,317	1,412	0,250
		25	0	0,000	1,471	0,000
	22		0	0		
	20		1	3,3166347	1,176	0,250
	18		2	4,6904297	1,059	0,354
	16		3	5,7445798	0,941	0,433
	14		4	6,6332694	0,824	0,500
	12		6	8,1240626	0,706	0,612
	10		8	9,3808595	0,588	0,707
	8		10	10,48812	0,471	0,791
	6		12	11,48916	0,353	0,866
	4		14	12,409711	0,235	0,935
	2		14	12,409711	0,118	0,935
	0		16	13,266539	0,000	1,000
	-2		16	13,266539	-0,118	1,000
	-4		14	12,409711	-0,235	0,935
	-6		12	11,48916	-0,353	0,866
	-8		10	10,48812	-0,471	0,791
	-10		8	9,3808595	-0,588	0,707
	-12		6	8,1240626	-0,706	0,612
	-14		5	7,4162206	-0,824	0,559
	-16		4	6,6332694	-0,941	0,500
	-18		2	4,6904297	-1,059	0,354
	-20		1	3,3166347	-1,176	0,250
	-22		1	3,3166347	-1,294	0,250
	-24		0	0	24	

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	20	Yc	21,000	Débit	0,012213
Hauteur	14,4	Um	10,720	Flux Mvt	0,101076
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-27	0	0,000		
	-26	1	3,317	-1,238	0,309
	-25	1	3,317	-1,190	0,309
	-24	2	4,690	-1,143	0,438
	-23	2	4,690	-1,095	0,438
	-22	2	4,690	-1,048	0,438
	-21	3	5,745	-1,000	0,536
	-20	3	5,745	-0,952	0,536
	-19	4	6,633	-0,905	0,619
	-18	4	6,633	-0,857	0,619
	-17	4	6,633	-0,810	0,619
	-16	6	8,124	-0,762	0,758
	-15	6	8,124	-0,714	0,758
	-14	7	8,775	-0,667	0,819
	-13	7	8,775	-0,619	0,819
	-12	7	8,775	-0,571	0,819
	-11	8	9,381	-0,524	0,875
	-10	8	9,381	-0,476	0,875
	-9	8	9,381	-0,429	0,875
	-8	8	9,381	-0,381	0,875
	-7	8	9,381	-0,333	0,875
	-6	9	9,950	-0,286	0,928
	-5	9	9,950	-0,238	0,928
	-4	9	9,950	-0,190	0,928
	-3	9	9,950	-0,143	0,928
	-2	10	10,488	-0,095	0,978
	-1	10	10,488	-0,048	0,978
	0	10	10,488	0,000	0,978
	1	10	10,488	0,048	0,978
	2	10	10,488	0,095	0,978
	3	9	9,950	0,143	0,928
	4	9	9,950	0,190	0,928
	5	9	9,950	0,238	0,928
	6	8	9,381	0,286	0,875
	7	8	9,381	0,333	0,875
	8	8	9,381	0,381	0,875
	9	7	8,775	0,429	0,819
	10	7	8,775	0,476	0,819
	11	6	8,124	0,524	0,758
	12	5	7,416	0,571	0,692
	13	4	6,633	0,619	0,619
	14	4	6,633	0,667	0,619
	15	4	6,633	0,714	0,619
	16	4	6,633	0,762	0,619
	17	4	6,633	0,810	0,619
	18	3	5,745	0,857	0,536
	19	3	5,745	0,905	0,536
	20	3	5,745	0,952	0,536
	21	2	4,690	1,000	0,438
	22	2	4,690	1,048	0,438
	23	1	3,317	1,095	0,309
	24	1	3,317	1,143	0,309
	25	1	3,317	1,190	0,309
	26	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc	24,000	Débit	0,013447
Hauteur	18	Um	8,775	Flux Mvt	0,092224
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-32	0	0,000		
	-30	1	3,317	-1,250	0,378
	-28	1	3,317	-1,167	0,378
	-26	1	3,317	-1,083	0,378
	-24	2	4,690	-1,000	0,535
	-22	3	5,745	-0,917	0,655
	-20	3	5,745	-0,833	0,655
	-18	4	6,633	-0,750	0,756
	-16	4	6,633	-0,667	0,756
	-14	4	6,633	-0,583	0,756
	-12	5	7,416	-0,500	0,845
	-10	5	7,416	-0,417	0,845
	-8	6	8,124	-0,333	0,926
	-6	6	8,124	-0,250	0,926
	-4	7	8,775	-0,167	1,000
	-2	7	8,775	-0,083	1,000
	0	7	8,775	0,000	1,000
	2	7	8,775	0,083	1,000
	4	7	8,775	0,167	1,000
	6	6	8,124	0,250	0,926
	8	6	8,124	0,333	0,926
	10	5	7,416	0,417	0,845
	12	5	7,416	0,500	0,845
	14	5	7,416	0,583	0,845
	16	4	6,633	0,667	0,756
	18	4	6,633	0,750	0,756
	20	3	5,745	0,833	0,655
	22	2	4,690	0,917	0,535
	24	1	3,317	1,000	0,378
	26	1	3,317	1,083	0,378
	28	1	3,317	1,167	0,378
	30	1	3,317	1,250	0,378
	32	0	0,000	32	

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 25,4m/s

Vitesse	25,4	Yc		29,000	Débit	0,014775
Hauteur	21,6	Um		7,416	Flux Mvt	0,088452
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
	-36	0	0,000			
	-34	1	3,317	-1,172	0,447	
	-32	1	3,317	-1,103	0,447	
	-30	2	4,690	-1,034	0,632	
	-28	2	4,690	-0,966	0,632	
	-26	2	4,690	-0,897	0,632	
	-24	2	4,690	-0,828	0,632	
	-22	3	5,745	-0,759	0,775	
	-20	3	5,745	-0,690	0,775	
	-18	3	5,745	-0,621	0,775	
	-16	3	5,745	-0,552	0,775	
	-14	4	6,633	-0,483	0,894	
	-12	4	6,633	-0,414	0,894	
	-10	4	6,633	-0,345	0,894	
	-8	4	6,633	-0,276	0,894	
	-6	4	6,633	-0,207	0,894	
	-4	5	7,416	-0,138	1,000	
	-2	5	7,416	-0,069	1,000	
	0	5	7,416	0,000	1,000	
	2	5	7,416	0,069	1,000	
	4	5	7,416	0,138	1,000	
	6	4	6,633	0,207	0,894	
	8	4	6,633	0,276	0,894	
	10	4	6,633	0,345	0,894	
	12	3	5,745	0,414	0,775	
	14	3	5,745	0,483	0,775	
	16	3	5,745	0,552	0,775	
	18	3	5,745	0,621	0,775	
	20	2	4,690	0,690	0,632	
	22	2	4,690	0,759	0,632	
	24	2	4,690	0,828	0,632	
	26	2	4,690	0,897	0,632	
	28	1	3,317	0,966	0,447	
	30	1	3,317	1,034	0,447	
	32	0	0,000	32		
	34	0	0,000	34		

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse		44 Yc	13,000	Débit	0,013429	
Hauteur		3,6 Um	29,679	Flux Mvt	0,335365	
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
0	-18	0	0,000			
	-17	0	0,000	-1,308	0,000	
	-16	5	7,416	-1,231	0,250	
	-15	7	8,775	-1,154	0,296	
	-14	9	9,950	-1,077	0,335	
	-13	18	14,071	-1,000	0,474	
	-12	25	16,583	-0,923	0,559	
	-11	32	18,762	-0,846	0,632	
	-10	41	21,237	-0,769	0,716	
	-9	45	22,249	-0,692	0,750	
	-8	60	25,691	-0,615	0,866	
	-7	69	27,550	-0,538	0,928	
	-6	72	28,143	-0,462	0,948	
	-5	75	28,723	-0,385	0,968	
	-4	77	29,103	-0,308	0,981	
	-3	77	29,103	-0,231	0,981	
	-2	79	29,479	-0,154	0,993	
	-1	79	29,479	-0,077	0,993	
	0	79	29,479	0,000	0,993	
	1	77	29,103	0,077	0,981	
	2	77	29,103	0,154	0,981	
	3	75	28,723	0,231	0,968	
	4	73	28,337	0,308	0,955	
	5	72	28,143	0,385	0,948	
	6	72	28,143	-0,462	0,948	
	7	69	27,550	0,538	0,928	
	8	66	26,944	0,615	0,908	
	9	55	24,597	0,692	0,829	
	10	52	23,917	0,769	0,806	
	11	41	21,237	0,846	0,716	
	12	31	18,466	0,923	0,622	
	13	22	15,556	-1,000	0,524	
	14	16	13,267	1,077	0,447	
	15	7	8,775	1,154	0,296	
	16	3	5,745	1,231	0,194	
	17	1	3,317	1,308	0,112	
	18	0	0,000	1,385	0,000	

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44	Yc	14,000	Débit	0,01707	
Hauteur	7,2	Um	25,904	Flux Mvt	0,309264	
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
	0	-23	0	0,000	-1,643	0,000
		-22	3	5,745	-1,571	0,222
		-21	3	5,745	-1,500	0,222
		-20	4	6,633	-1,429	0,256
		-19	5	7,416	-1,357	0,286
		-18	6	8,124	-1,286	0,314
		-17	7	8,775	-1,214	0,339
		-16	9	9,950	-1,143	0,384
		-15	12	11,489	-1,071	0,444
		-14	14	12,410	-1,000	0,479
		-13	18	14,071	-0,929	0,543
		-12	21	15,199	-0,857	0,587
		-11	24	16,248	-0,786	0,627
		-10	27	17,234	-0,714	0,665
		-9	32	18,762	-0,643	0,724
		-8	36	19,900	-0,571	0,768
		-7	42	21,494	-0,500	0,830
		-6	46	22,495	-0,429	0,868
		-5	48	22,978	-0,357	0,887
		-4	52	23,917	-0,286	0,923
		-3	56	24,819	-0,214	0,958
		-2	60	25,691	-0,143	0,992
		-1	61	25,904	-0,071	1,000
		0	61	25,904	0,000	1,000
		1	61	25,904	0,071	1,000
		2	60	25,691	0,143	0,992
		3	60	25,691	0,214	0,992
		4	58	25,259	0,286	0,975
		5	54	24,372	0,357	0,941
		6	51	23,686	0,429	0,914
		7	49	23,216	0,500	0,896
		8	45	22,249	0,571	0,859
		9	42	21,494	0,643	0,830
		10	34	19,339	0,714	0,747
		11	30	18,166	0,786	0,701
		12	28	17,550	0,857	0,678
		13	21	15,199	0,929	0,587
		14	17	13,675	1,000	0,528
		15	14	12,410	1,071	0,479
		16	12	11,489	-1,143	0,444
		17	10	10,488	1,214	0,405
		18	7	8,775	1,286	0,339
		19	5	7,416	1,357	0,286
		20	3	5,745	1,429	0,222
		21	3	5,745	1,500	0,222
		22	0	0,000	1,571	0,000

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44	Yc	17,000	Débit	0,020774
Hauteur	10,8	Um	21,929	Flux Mvt	0,308672
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-28	0	0,000	-1,647	0,000
	-26	3	5,792	-1,529	0,264
	-24	5	7,478	-1,412	0,341
	-22	5	7,478	-1,294	0,341
	-20	9	10,032	-1,176	0,457
	-18	11	11,091	-1,059	0,506
	-16	13	12,058	-0,941	0,550
	-14	15	12,952	-0,824	0,591
	-12	19	14,577	-0,706	0,665
	-10	25	16,721	-0,588	0,762
	-8	28	17,696	-0,471	0,807
	-6	32	18,917	-0,353	0,863
	-4	40	21,150	-0,235	0,964
	-2	43	21,929	-0,118	1,000
	0	43	21,929	0,000	1,000
	2	43	21,929	0,118	1,000
	4	40	21,150	0,235	0,964
	6	37	20,342	0,353	0,928
	8	33	19,211	0,471	0,876
	10	29	18,009	0,588	0,821
	12	26	17,052	0,706	0,778
	14	17	13,788	0,824	0,629
	16	15	12,952	0,941	0,591
	18	11	11,091	1,059	0,506
	20	7	8,848	1,176	0,403
	22	6	8,191	1,294	0,374
	24	3	5,792	1,412	0,264
	26	3	5,792	1,529	0,264
	28	0	0,000	1,647	0,000

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44	Yc	20,000	Débit	0,024727	
Hauteur	14,4	Um	18,592	Flux Mvt	0,316172	
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
	0	-32	0	0,000	-1,600	0,000
		-30	3	5,784	-1,500	0,311
		-28	3	5,784	-1,400	0,311
		-26	5	7,467	-1,300	0,402
		-24	5	7,467	-1,200	0,402
		-22	7	8,835	-1,100	0,475
		-20	7	8,835	-1,000	0,475
		-18	9	10,018	-0,900	0,539
		-16	11	11,075	-0,800	0,596
		-14	13	12,040	-0,700	0,648
		-12	16	13,357	-0,600	0,718
		-10	19	14,555	-0,500	0,783
		-8	23	16,014	-0,400	0,861
		-6	27	17,351	-0,300	0,933
		-4	27	17,351	-0,200	0,933
		-2	31	18,592	-0,100	1,000
		0	31	18,592	0,000	1,000
		2	31	18,592	0,100	1,000
		4	31	18,000	0,200	0,968
		6	28	17,669	0,300	0,950
		8	28	17,000	0,400	0,914
		10	24	16,000	0,500	0,861
		12	19	14,555	0,600	0,783
		14	17	13,768	0,700	0,741
		16	15	12,933	0,800	0,696
		18	13	12,040	0,900	0,648
		20	9	10,018	1,000	0,539
		22	7	8,835	1,100	0,475
		24	5	7,467	1,200	0,402
		26	5	7,467	1,300	0,402
		28	3	5,784	1,400	0,311
		30	3	5,784	1,500	0,311
		32	0	0,000	1,600	0,000
		34	0	0,000	34	

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44 Yc	23,000	Débit	0,027715	
Hauteur	18 Um	14,832	Flux Mvt	0,283754	
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
-38	0	0,000	-1,652	0,000	
-36	1	3,317	-1,565	0,224	
-34	2	4,690	-1,478	0,316	
-32	2	4,690	-1,391	0,316	
-30	3	5,745	-1,304	0,387	
-28	3	5,745	-1,217	0,387	
-26	4	6,633	-1,130	0,447	
-24	5	7,416	-1,043	0,500	
-22	7	8,775	-0,957	0,592	
-20	8	9,381	-0,870	0,632	
-18	9	9,950	-0,783	0,671	
-16	11	11,000	-0,696	0,742	
-14	14	12,410	-0,609	0,837	
-12	16	13,267	-0,522	0,894	
-10	18	14,071	-0,435	0,949	
-8	19	14,457	-0,348	0,975	
-6	20	14,832	-0,261	1,000	
-4	20	14,832	-0,174	1,000	
-2	20	14,832	-0,087	1,000	
0	20	14,832	0,000	1,000	
2	20	14,832	0,087	1,000	
4	18	14,071	0,174	0,949	
6	15	12,845	0,261	0,866	
8	15	12,845	0,348	0,866	
10	13	11,958	0,435	0,806	
12	13	11,958	0,522	0,806	
14	11	11,000	0,609	0,742	
16	9	9,950	0,696	0,671	
18	8	9,381	0,783	0,632	
20	7	8,775	0,870	0,592	
22	5	7,416	0,957	0,500	
24	5	7,416	1,043	0,500	
26	4	6,633	1,130	0,447	
28	3	5,745	1,217	0,387	
30	2	4,690	1,304	0,316	
32	2	4,690	1,391	0,316	
34	2	4,690	1,478	0,316	
36	1	3,317	1,565	0,224	
38	0	0,000	-1,652	0,000	
40	0	0,000			
-44	0	0,000			
-40	0	0,000			
-36	1	3,317	-1,565	0,224	
-32	2	4,690	-1,391	0,316	
-28	4	6,633	-1,217	0,447	
-24	5	7,416	-1,043	0,500	
-20	7	8,775	-0,870	0,592	
-16	11	11,000	-0,696	0,742	
-12	17	13,675	-0,522	0,922	
-8	19	14,457	-0,348	0,975	
-4	20	14,832	-0,174	1,000	
0	20	14,832	0,000	1,000	
4	20	14,832	0,174	1,000	
8	17	13,675	0,348	0,922	
12	15	12,845	0,522	0,866	
16	10	10,488	0,696	0,707	
20	7	8,775	0,870	0,592	
24	5	7,416	1,043	0,500	
28	5	7,416	1,217	0,500	
32	2	4,690	1,391	0,316	
36	1	3,317	1,565	0,224	
40	0	0,000			

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44	Yc	26,000	Débit	0,033072
Hauteur	21,6	Um	13,267	Flux Mvt	0,285958
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-48	0	0,000	-1,846	0,000
	-44	1	3,317	-1,692	0,250
	-40	2	4,690	-1,538	0,354
	-36	2	4,690	-1,385	0,354
	-32	3	5,745	-1,231	0,433
	-28	4	6,633	-1,077	0,500
	-24	7	8,775	-0,923	0,661
	-20	9	9,950	-0,769	0,750
	-16	12	11,489	-0,615	0,866
	-12	14	12,410	-0,462	0,935
	-8	15	12,845	-0,308	0,968
	-4	16	13,267	-0,154	1,000
	0	16	13,267	0,000	1,000
	4	16	13,267	0,154	1,000
	8	14	12,410	0,308	0,935
	12	13	11,958	0,462	0,901
	16	10	10,488	0,615	0,791
	20	7	8,775	0,769	0,661
	24	4	6,633	0,923	0,500
	28	4	6,633	1,077	0,500
	32	2	4,690	1,231	0,354
	36	2	4,690	1,385	0,354
	40	1	3,317	1,538	0,250
	44	1	3,317	1,692	0,250
	48	0	0,000	1,846	0,000

Jet libre diamètre orifice 20mm Vitesse du jet 44,6m/s

Vitesse	44	Yc	31,000	Débit	0,035814
Hauteur	25,2	Um	11,958	Flux Mvt	0,31178
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-48	0	0,000	-1,548	0,000
	-44	2	4,690	-1,419	0,392
	-40	2	4,690	-1,290	0,392
	-36	3	5,745	-1,161	0,480
	-32	3	5,745	-1,032	0,480
	-28	5	7,416	-0,903	0,620
	-24	7	8,775	-0,774	0,734
	-20	8	9,381	-0,645	0,784
	-16	10	10,488	-0,516	0,877
	-12	11	11,000	-0,387	0,920
	-8	11	11,000	-0,258	0,920
	-4	13	11,958	-0,129	1,000
	0	13	11,958	0,000	1,000
	4	13	11,958	0,129	1,000
	8	11	11,000	0,258	0,920
	12	10	10,488	0,387	0,877
	16	9	9,950	0,516	0,832
	20	7	8,775	0,645	0,734
	24	7	8,775	0,774	0,734
	28	5	7,416	0,903	0,620
	32	3	5,745	1,032	0,480
	36	3	5,745	1,161	0,480
	40	2	4,690	1,290	0,392
	44	1	3,317	1,419	0,277
	48	0	0,000	1,548	0,000

Jet libre diametre orifice 20mm vitesse du jet 44,6 m/s

Vitesse	d20 - 44,6m/s	Yc	7,002	Débit	0,011022
Hauteur	0	Um	47,299	Flux Mvt	0,385074
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-13	0	0,000	-1,857	0,000
	-12	3	5,784	-1,714	0,122
	-11	25	16,696	-1,571	0,353
	-10	56	24,988	-1,428	0,528
	-9	85	30,786	-1,285	0,651
	-8	101	33,558	-1,143	0,709
	-7	112	35,338	-1,000	0,747
	-6	116	35,964	-0,857	0,760
	-5	119	36,426	-0,714	0,770
	-4	119	36,426	-0,571	0,770
	-3	119	36,426	-0,428	0,770
	-2	119	36,426	-0,286	0,770
	-1	119	36,426	-0,143	0,770
	0	112	35,338	0,000	0,747
	1	112	35,338	0,143	0,747
	2	105	34,216	0,286	0,723
	3	101	33,558	0,428	0,709
	4	99	33,224	0,571	0,702
	5	96	32,717	0,714	0,692
	6	93	32,202	0,857	0,681
	7	89	31,502	1,000	0,666
	8	85	30,786	1,143	0,651
	9	81	30,053	1,285	0,635
	10	72	28,334	1,428	0,599
	11	48	23,134	1,571	0,489
	12	15	12,933	1,714	0,273
	13	1,5	4,090	1,857	0,086
	14	0	0,000	2,000	0,000

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse		33,6	Yc	8,879	Débit	0,01021
Hauteur		0	Um	30,900	Flux Mvt	0,244273
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
0	-14	0	0,000	-1,577	0,000	
	-13	1	3,330	-1,464	0,108	
	-12	14	12,461	-1,352	0,403	
	-11	30	18,241	-1,239	0,590	
	-10	44	22,091	-1,126	0,715	
	-9	50	23,549	-1,014	0,762	
	-8	52	24,015	-0,901	0,777	
	-7	54	24,473	-0,788	0,792	
	-6	56	24,922	-0,676	0,807	
	-5	56	24,922	-0,563	0,807	
	-4	58	25,363	-0,451	0,821	
	-3	58	25,363	-0,338	0,821	
	-2	58	25,363	-0,225	0,821	
	-1	58	25,363	-0,113	0,821	
	0	58	25,363	0,000	0,821	
	1	58	25,363	0,113	0,821	
	2	56	24,922	0,225	0,807	
	3	56	24,922	0,338	0,807	
	4	56	24,922	0,451	0,807	
	5	54	24,473	0,563	0,792	
	6	52	24,015	0,676	0,777	
	7	50	23,549	0,788	0,762	
	8	46	22,587	0,901	0,731	
	9	44	22,091	1,014	0,715	
	10	40	21,063	1,126	0,682	
	11	34	19,419	1,239	0,628	
	12	26	16,981	1,352	0,550	
	13	16	13,321	1,464	0,431	
	14	6	8,158	1,577	0,264	
	15	2	4,710	1,689	0,152	
	16	0	0,000	1,802	0,000	

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse		33,6	Yc	13,000	Débit	0,011086
Hauteur		3,6	Um	26,462	Flux Mvt	0,216925
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
0	-19	0	0,000			
	-18	0	0,000			
	-17	2	4,690	-1,308	0,177	
	-16	5	7,416	-1,231	0,280	
	-15	7	8,775	-1,154	0,332	
	-14	12	11,489	-1,077	0,434	
	-13	16	13,267	-1,000	0,501	
	-12	23	15,906	-0,923	0,601	
	-11	29	17,861	-0,846	0,675	
	-10	35	19,621	-0,769	0,742	
	-9	41	21,237	-0,692	0,803	
	-8	45	22,249	-0,615	0,841	
	-7	47	22,738	-0,538	0,859	
	-6	49	23,216	-0,462	0,877	
	-5	50	23,452	-0,385	0,886	
	-4	50	23,452	-0,308	0,886	
	-3	49	23,216	-0,231	0,877	
	-2	47	22,738	-0,154	0,859	
	-1	47	22,738	-0,077	0,859	
	0	49	23,216	0,000	0,877	
	1	47	22,738	0,077	0,859	
	2	45	22,249	0,154	0,841	
	3	44	22,000	0,231	0,831	
	4	43	21,749	0,308	0,822	
	5	41	21,237	0,385	0,803	
	6	39	20,712	0,462	0,783	
	7	37	20,174	0,538	0,762	
	8	33	19,053	0,615	0,720	
	9	27	17,234	0,692	0,651	
	10	23	15,906	0,769	0,601	
	11	17	13,675	0,846	0,517	
	12	15	12,845	0,923	0,485	
	13	11	11,000	1,000	0,416	
	14	7	8,775	1,077	0,332	
	15	5	7,416	1,154	0,280	
	16	3	5,745	1,231	0,217	

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse	33,6	Yc	15,000	Débit	0,013569
Hauteur	7,2	Um	20,615	Flux Mvt	0,208187
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-23	0	0,000		
	-22	1	3,344	-1,467	0,162
	-21	1	3,344	-1,400	0,162
	-20	2	4,729	-1,333	0,229
	-19	3	5,792	-1,267	0,281
	-18	4	6,688	-1,200	0,324
	-17	5	7,478	-1,133	0,363
	-16	7	8,848	-1,067	0,429
	-15	10	10,575	-1,000	0,513
	-14	12	11,585	-0,933	0,562
	-13	14	12,513	-0,867	0,607
	-12	21	15,325	-0,800	0,743
	-11	22	15,685	-0,733	0,761
	-10	25	16,721	-0,667	0,811
	-9	27	17,377	-0,600	0,843
	-8	30	18,317	-0,533	0,889
	-7	33	19,211	-0,467	0,932
	-6	35	19,784	-0,400	0,960
	-5	36	20,065	-0,333	0,973
	-4	37	20,342	-0,267	0,987
	-3	37	20,342	-0,200	0,987
	-2	38	20,615	-0,133	1,000
	-1	38	20,615	-0,067	1,000
	0	38	20,615	0,000	1,000
	1	38	20,615	0,067	1,000
	2	38	20,615	0,133	1,000
	3	37	20,342	-0,200	0,987
	4	36	20,065	0,267	0,973
	5	35	19,784	0,333	0,960
	6	31	18,619	0,400	0,903
	7	30	18,317	0,467	0,889
	8	29	18,009	0,533	0,874
	9	25	16,721	0,600	0,811
	10	23	16,038	0,667	0,778
	11	14	12,513	0,733	0,607
	12	12	11,585	0,800	0,562
	13	10	10,575	0,867	0,513
	14	9	10,032	0,933	0,487
	15	8	9,459	1,000	0,459
	16	8	9,459	1,067	0,459
	17	4	6,688	1,133	0,324
	18	3	5,792	1,200	0,281
	19	2	4,729	1,267	0,229
	20	1	3,344	1,333	0,162
	21	1	3,344	1,400	0,162
	22	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse	33,6	Yc	17,000	Débit	0,016792
Hauteur	10,8	Um	17,861	Flux Mvt	0,218083
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-25	0	0,000		
	-24	2	4,690	-1,412	0,263
	-23	2	4,690	-1,353	0,263
	-22	4	6,633	-1,294	0,371
	-21	4	6,633	-1,235	0,371
	-20	6	8,124	-1,176	0,455
	-19	6	8,124	-1,118	0,455
	-18	7	8,775	-1,059	0,491
	-17	7	8,775	-1,000	0,491
	-16	9	9,950	-0,941	0,557
	-15	11	11,000	-0,882	0,616
	-14	13	11,958	-0,824	0,670
	-13	16	13,267	-0,765	0,743
	-12	16	13,267	-0,706	0,743
	-11	18	14,071	-0,647	0,788
	-10	18	14,071	-0,588	0,788
	-9	20	14,832	-0,529	0,830
	-8	22	15,556	-0,471	0,871
	-7	24	16,248	-0,412	0,910
	-6	26	16,912	-0,353	0,947
	-5	26	16,912	-0,294	0,947
	-4	27	17,234	-0,235	0,965
	-3	28	17,550	-0,176	0,983
	-2	28	17,550	-0,118	0,983
	-1	29	17,861	-0,059	1,000
	0	29	17,861	0,000	1,000
	1	29	17,861	0,059	1,000
	2	28	17,550	0,118	0,983
	3	28	17,550	0,176	0,983
	4	26	16,912	0,235	0,947
	5	25	16,583	0,294	0,928
	6	24	16,248	0,353	0,910
	7	24	16,248	0,412	0,910
	8	22	15,556	0,471	0,871
	9	20	14,832	0,529	0,830
	10	18	14,071	0,588	0,788
	11	16	13,267	0,647	0,743
	12	14	12,410	0,706	0,695
	13	12	11,489	0,765	0,643
	14	10	10,488	0,824	0,587
	15	9	9,950	0,882	0,557
	16	8	9,381	0,941	0,525
	17	7	8,775	1,000	0,491
	18	6	8,124	1,059	0,455
	19	6	8,124	1,118	0,455
	20	4	6,633	1,176	0,371
	21	3	5,745	1,235	0,322
	22	3	5,7445798	1,294	0,322
	23	3	5,7445798	1,353	0,322
	24	2	4,6904297	1,412	0,263
	25	2	4,6904297	1,471	0,263
	26	0	0		

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse	33,6	Yc	20,000	Débit	0,01663
Hauteur	14,4	Um	14,457	Flux Mvt	0,182676
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-27	0	0,000		
	-26	2	4,690	-1,300	0,324
	-25	2	4,690	-1,250	0,324
	-24	3	5,745	-1,200	0,397
	-23	3	5,745	-1,150	0,397
	-22	4	6,633	-1,100	0,459
	-21	4	6,633	-1,050	0,459
	-20	5	7,416	-1,000	0,513
	-19	6	8,124	-0,950	0,562
	-18	6	8,124	-0,900	0,562
	-17	7	8,775	-0,850	0,607
	-16	7	8,775	-0,800	0,607
	-15	8	9,381	-0,750	0,649
	-14	10	10,488	-0,700	0,725
	-13	10	10,488	-0,650	0,725
	-12	10	10,488	-0,600	0,725
	-11	12	11,489	-0,550	0,795
	-10	12	11,489	-0,500	0,795
	-9	13	11,958	-0,450	0,827
	-8	14	12,410	-0,400	0,858
	-7	14	12,410	-0,350	0,858
	-6	16	13,267	-0,300	0,918
	-5	17	13,675	-0,250	0,946
	-4	17	13,675	-0,200	0,946
	-3	18	14,071	-0,150	0,973
	-2	18	14,071	-0,100	0,973
	-1	19	14,457	-0,050	1,000
	0	19	14,457	0,000	1,000
	1	19	14,457	0,050	1,000
	2	19	14,457	0,100	1,000
	3	18	14,071	0,150	0,973
	4	18	14,071	0,200	0,973
	5	18	14,071	0,250	0,973
	6	17	13,675	0,300	0,946
	7	16	13,267	0,350	0,918
	8	16	13,267	0,400	0,918
	9	15	12,845	0,450	0,889
	10	13	11,958	0,500	0,827
	11	12	11,489	0,550	0,795
	12	12	11,489	0,600	0,795
	13	10	10,488	0,650	0,725
	14	9	9,950	0,700	0,688
	15	9	9,950	0,750	0,688
	16	8	9,381	0,800	0,649
	17	7	8,775	0,850	0,607
	18	6	8,124	0,900	0,562
	19	6	8,124	0,950	0,562
	20	5	7,416	1,000	0,513
	21	4	6,633	1,050	0,459
	22	4	6,633	1,100	0,459
	23	2	4,690	1,150	0,324
	24	2	4,690	1,200	0,324
	25	2	4,690	1,250	0,324
	26	2	4,690	1,300	0,324
	27	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

<i>Vitesse</i>	33,6	<i>Yc</i>	23,000	<i>Débit</i>	0,019047
<i>Hauteur</i>	18	<i>Um</i>	12,410	<i>Flux Mvt</i>	0,164583
<i>Z</i>	<i>Y</i>	<i>H liq</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Y/Yc</i>	<i>U/Um</i>
	34	0	0,000		
	32	1	3,317	1,391	0,267
	30	2	4,690	1,304	0,378
	28	2	4,690	1,217	0,378
	26	2	4,690	1,130	0,378
	24	3	5,745	1,043	0,463
	22	4	6,633	0,957	0,535
	20	4	6,633	0,870	0,535
	18	6	8,124	0,783	0,655
	16	6	8,124	0,696	0,655
	14	8	9,381	0,609	0,756
	12	8	9,381	0,522	0,756
	10	10	10,488	0,435	0,845
	8	12	11,489	0,348	0,926
	6	12	11,489	0,261	0,926
	4	12	11,489	0,174	0,926
	2	14	12,410	0,087	1,000
	0	14	12,410	0,000	1,000

Jet libre diamètre orifice 20mm vitesse du jet 33,6m/s

Vitesse		33,6	Yc	27,000	Débit	0,023085
Hauteur		21,6	Um	9,950	Flux Mvt	0,182466
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um	
	0	38	0	0,000		
		36	1	3,317	1,333	0,333
		34	2	4,690	1,259	0,471
		32	2	4,690	1,185	0,471
		30	3	5,745	1,111	0,577
		28	3	5,745	1,037	0,577
		26	4	6,633	0,963	0,667
		24	4	6,633	0,889	0,667
		22	4	6,633	0,815	0,667
		20	5	7,416	0,741	0,745
		18	6	8,124	0,667	0,816
		16	6	8,124	0,593	0,816
		14	6	8,124	0,519	0,816
		12	7	8,775	0,444	0,882
		10	7	8,775	0,370	0,882
		8	8	9,381	0,296	0,943
		6	8	9,381	0,222	0,943
		4	8	9,381	0,148	0,943
		2	9	9,950	0,074	1,000
		0	9	9,950	0,000	1,000
		-2	9	9,950	-0,074	1,000
		-4	8	9,381	-0,148	0,943
		-6	8	9,381	-0,222	0,943
		-8	8	9,381	-0,296	0,943
		-10	7	8,775	-0,370	0,882
		-12	7	8,775	-0,444	0,882
		-14	6	8,124	-0,519	0,816
		-16	6	8,124	-0,593	0,816
		-18	6	8,124	-0,667	0,816
		-20	5	7,416	-0,741	0,745
		-22	4	6,633	-0,815	0,667
		-24	4	6,633	-0,889	0,667
		-26	3	5,745	-0,963	0,577
		-28	2	4,690	-1,037	0,471
		-30	2	4,690	-1,111	0,471
		-32	1	3,317	-1,185	0,333

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 64,4m/s

Vitesse	64,4	Yc	7,000	Débit	0,009445
Hauteur	3,6	Um	57,611	Flux Mvt	0,297916
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-15	0	0,000		
	-14	1	4,027	-2,000	0,070
	-13	2	5,695	-1,857	0,099
	-12	4	8,054	-1,714	0,140
	-11	6	9,864	-1,571	0,171
	-10	12	13,949	-1,429	0,242
	-9	20	18,008	-1,286	0,313
	-8	33	23,132	-1,143	0,402
	-7	41	25,784	-1,000	0,448
	-6	72	34,168	-0,857	0,593
	-5	122	44,477	-0,714	0,772
	-4	114	42,994	-0,571	0,746
	-3	135	46,787	-0,429	0,812
	-2	147	48,822	-0,286	0,847
	-1	168	52,193	-0,143	0,906
	0	203	57,373	0,000	0,996
	1	162	51,252	0,143	0,890
	2	192	55,797	0,286	0,969
	3	121	44,294	0,429	0,769
	4	111	42,425	0,571	0,736
	5	87	37,559	0,714	0,652
	6	67	32,961	0,857	0,572
	7	48	27,898	1,000	0,484
	8	30	22,056	1,143	0,383
	9	19	17,552	1,286	0,305
	10	12	13,949	1,429	0,242
	11	6	9,864	1,571	0,171
	12	3	6,975	1,714	0,121
	13	2	5,695	1,857	0,099
	14	2	5,695	2,000	0,099
	15	0	0,000		



Vitesse	64,4	Yc	13,000	Débit	0,013056
Hauteur	10,8	Um	24,494	Flux Mvt	0,215136
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-21	0	0,000		
	-20	1	4,027	-1,538	0,164
	-19	2	5,695	-1,462	0,232
	-18	2	5,695	-1,385	0,232
	-17	4	8,054	-1,308	0,329
	-16	5	9,004	-1,231	0,368
	-15	6	9,864	-1,154	0,403
	-14	7	10,654	-1,077	0,435
	-13	10	12,734	-1,000	0,520
	-12	12	13,949	-0,923	0,569
	-11	14	15,067	-0,846	0,615
	-10	18	17,084	-0,769	0,697
	-9	19	17,552	-0,692	0,717
	-8	23	19,312	-0,615	0,788
	-7	28	21,308	-0,538	0,870
	-6	30	22,056	-0,462	0,900
	-5	31	22,420	-0,385	0,915
	-4	34	23,480	-0,308	0,959
	-3	35	23,823	-0,231	0,973
	-2	35	23,823	-0,154	0,973
	-1	37	24,494	-0,077	1,000
	0	37	24,494	0,000	1,000
	1	37	24,494	0,077	1,000
	2	35	23,823	0,154	0,973
	3	33	23,132	0,231	0,944
	4	30	22,056	0,308	0,900
	5	27	20,824	0,385	0,854
	6	25	20,134	0,462	0,822
	7	21	18,453	0,538	0,753
	8	19	17,552	0,615	0,717
	9	16	16,107	0,692	0,658
	10	13	14,519	0,769	0,593
	11	11	13,355	0,846	0,545
	12	8	11,389	0,923	0,485
	13	6	9,864	1,000	0,403
	14	5	9,004	1,077	0,368
	15	5	9,004	1,154	0,368
	16	3	6,975	-1,231	0,285
	17	2	5,695	1,308	0,232
	18	2	5,695	1,385	0,232
	19	2	5,695	1,462	0,232
	20	2	5,695	1,538	0,232
	21	0	0,000		
	-21	0	0,000		
	-20	1	4,027	-1,538	0,164
	-19	2	5,695	-1,462	0,232
	-18	2	5,695	-1,385	0,232
	-17	4	8,054	-1,308	0,329
	-16	4	8,05354	-1,231	0,329
	-15	6	9,863532	-1,154	0,403
	-14	8	11,38943	-1,077	0,465
	-13	10	12,73376	-1,000	0,520
	-12	13	14,51873	-0,923	0,593
	-11	15	15,99561	-0,846	0,637
	-10	17	16,6028	-0,769	0,678
	-9	19	17,55228	-0,692	0,717
	-8	23	19,31171	-0,615	0,788
	-7	25	20,13385	-0,538	0,822
	-6	31	22,42011	-0,462	0,915
	-5	33	23,13203	-0,385	0,944
	-4	34	23,4799	-0,308	0,959
	-3	36	24,16062	-0,231	0,986
	-2	37	24,49389	-0,154	1,000
	-1	38	24,82268	-0,077	1,013
	0	38	24,82268	0,000	1,013
	1	38	24,82268	0,077	1,013
	2	35	23,82269	0,154	0,973
	3	32	22,77885	0,231	0,930
	4	29	21,68482	0,308	0,885
	5	25	20,13385	0,385	0,822
	6	23	19,31171	0,462	0,788
	7	21	18,45298	0,538	0,753
	8	19	17,55228	0,615	0,717
	9	18	17,08414	0,692	0,697
	10	15	15,596	0,769	0,637
	11	12	13,949	0,846	0,569
	12	11	13,355	0,923	0,545
	13	9	12,080	1,000	0,493
	14	6	9,864	1,077	0,403
	15	6	9,864	1,154	0,403
	16	4	8,054	1,231	0,329
	17	3	6,975	1,308	0,285
	18	2	5,695	1,385	0,232
	19	2	5,695	1,462	0,232
	20	1	4,027	1,538	0,164
	21	0	0,000		

Vitesse	64,4	16,000	Débit	0,016112		
Hauteur	14,4	18,083	Flux Mvt	0,207938		
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Uc	
		-25	0	0,000		
		-24	1	4,027	-1,500	0,223
		-23	1	4,027	-1,438	0,223
		-22	2	5,695	-1,375	0,315
		-21	2	5,695	-1,313	0,315
		-20	2	5,695	-1,250	0,315
		-19	4	8,054	-1,188	0,445
		-18	4	8,054	-1,125	0,445
		-17	5	9,004	-1,063	0,498
		-16	6	9,864	-1,000	0,545
		-15	8	11,389	-0,938	0,630
		-14	8	11,389	-0,875	0,630
		-13	9	12,080	-0,813	0,668
		-12	10	12,734	-0,750	0,704
		-11	12	13,949	-0,688	0,771
		-10	12	13,949	-0,625	0,771
		-9	14	15,067	-0,563	0,833
		-8	15	15,596	-0,500	0,862
		-7	16	16,107	-0,438	0,891
		-6	16	16,107	-0,375	0,891
		-5	18	17,084	-0,313	0,945
		-4	19	17,552	-0,250	0,971
		-3	19	17,552	-0,188	0,971
		-2	19	17,552	-0,125	0,971
		-1	20	18,008	-0,063	0,996
		0	20	18,008	0,000	0,996
		1	20	18,008	0,063	0,996
		2	19	17,552	0,125	0,971
		3	19	17,552	0,188	0,971
		4	18	17,084	0,250	0,945
		5	17	16,603	0,313	0,918
		6	17	16,603	0,375	0,918
		7	16	16,107	0,438	0,891
		8	15	15,596	0,500	0,862
		9	14	15,067	0,563	0,833
		10	12	13,949	0,625	0,771
		11	11	13,355	0,688	0,739
		12	9	12,080	0,750	0,668
		13	9	12,080	0,813	0,668
		14	7	10,654	0,875	0,589
		15	6	9,864	0,938	0,545
		16	5	9,004	1,000	0,498
		17	5	9,004	1,063	0,498
		18	4	8,054	1,125	0,445
		19	4	8,054	1,188	0,445
		20	2	5,695	1,250	0,315
		21	2	5,695	1,313	0,315
		22	2	5,695	1,375	0,315
		23	1,5	4,932	1,438	0,273
		24	1	4,027	1,500	0,223
		25	1	4,027	1,563	0,223
		26	0	0,000		
		-26	0	0,000		
		-25	1	4,027		
		-24	1	4,027		
		-23	1,5	4,932		
		-22	2	5,695		
		-21	2	5,695		
		-20	2	5,695		
		-19	4	8,054		
		-18	4	8,054		
		-17	5	9,004		
		-16	5	9,004		
		-15	6	9,864		
		-14	7	10,654		
		-13	9	12,080		
		-12	9	12,080		
		-11	11	13,355		
		-10	12	13,949		
		-9	14	15,067		
		-8	15	15,596		
		-7	16	16,107		
		-6	17	16,603		
		-5	17	16,603		
		-4	18	17,084		
		-3	19	17,552		
		-2	19	17,552		
		-1	20	18,008		
		0	20	18,008		
		1	20	18,008		
		2	19	17,552		
		3	19	17,552		
		4	19	17,552		
		5	18	17,084		
		6	16	16,107		
		7	16	16,107		
		8	15	15,596		
		9	14	15,067		
		10	12	13,949		
		11	12	13,949		
		12	10	12,734		
		13	9	12,080		
		14	8	11,389		
		15	8	11,389		
		16	6	9,864		
		17	5	9,004		
		18	4	8,054		
		19	4	8,054		
		20	2	5,695		
		21	2	5,695		
		22	2	5,695		
		23	1	4,027		
		24	1	4,027		
		25	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 64,4m/s

Vitesse	64,4	Yc	20,000	Débit	0,017468
Hauteur	18	Um	14,579	Flux Mvt	0,17586
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-28	0	0,000		
	-26	1	4,044	-1,300	0,277
	-24	2	5,718	-1,200	0,392
	-22	2	5,718	-1,100	0,392
	-20	3	7,004	-1,000	0,480
	-18	4	8,087	-0,900	0,555
	-16	5	9,042	-0,800	0,620
	-14	6	9,905	-0,700	0,679
	-12	8	11,437	-0,600	0,784
	-10	10	12,787	-0,500	0,877
	-8	10	12,787	-0,400	0,877
	-6	13	14,579	-0,300	1,000
	-4	13	14,579	-0,200	1,000
	-2	13	14,579	-0,100	1,000
	0	13	14,579	0,000	1,000
	2	13	14,579	0,100	1,000
	4	12	14,007	0,200	0,961
	6	12	14,007	0,300	0,961
	8	10	12,787	0,400	0,877
	10	9	12,131	0,500	0,832
	12	7	10,698	0,600	0,734
	14	6	9,905	0,700	0,679
	16	6	9,905	0,800	0,679
	18	5	9,042	0,900	0,620
	20	3	7,004	1,000	0,480
	22	2	5,718	1,100	0,392
	24	2	5,718	1,200	0,392
	26	1	4,044	1,300	0,277
	28	1	4,044	1,400	0,277
	30	0,5	2,859	1,500	0,196
	32	0	0,000		
	-32	0	0,000		
	-30	1	4,044	-1,500	0,277
	-28	1	4,044	-1,400	0,277
	-26	1	4,044	-1,300	0,277
	-24	2	5,718	-1,200	0,392
	-22	3	7,004	-1,100	0,480
	-20	4	8,087	-1,000	0,555
	-18	4	8,087	-0,900	0,555
	-16	5	9,042	-0,800	0,620
	-14	6	9,905	-0,700	0,679
	-12	7	10,698	-0,600	0,734
	-10	9	12,131	-0,500	0,832
	-8	10	12,787	-0,400	0,877
	-6	12	14,007	-0,300	0,961
	-4	13	14,579	-0,200	1,000
	-2	13	14,579	-0,100	1,000
	0	13	14,579	0,000	1,000
	2	13	14,579	0,100	1,000
	4	13	14,579	0,200	1,000
	6	12	14,007	0,300	0,961
	8	10	12,787	0,400	0,877
	10	9	12,131	0,500	0,832
	12	8	11,437	0,600	0,784
	14	7	10,698	0,700	0,734
	16	5	9,042	0,800	0,620
	18	4	8,087	0,900	0,555
	20	6	9,905	1,000	0,679
	22	2	5,718	1,100	0,392
	24	2	5,718	1,200	0,392
	26	1	4,044	1,300	0,277
	28	1	4,044	1,400	0,277
	30	0,5	2,859	1,500	0,196
	32	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 64,4m/s

Vitesse	64,4	Yc	23,000	Débit	0,018128
Hauteur	21,6	Um	11,389	Flux Mvt	0,145837
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-36	0	0,000		
	-33	1	4,027	-1,435	0,354
	-30	1	4,027	-1,304	0,354
	-27	2	5,695	-1,174	0,500
	-24	2	5,695	-1,043	0,500
	-21	3	6,975	-0,913	0,612
	-18	3	6,975	-0,783	0,612
	-15	4	8,054	-0,652	0,707
	-12	5	9,004	-0,522	0,791
	-9	6	9,864	-0,391	0,866
	-6	7	10,654	-0,261	0,935
	-3	8	11,389	-0,130	1,000
	0	8	11,389	0,000	1,000
	3	8	11,389	0,130	1,000
	6	7	10,654	0,261	0,935
	9	7	10,654	0,391	0,935
	12	5	9,004	0,522	0,791
	15	4	8,054	0,652	0,707
	18	3	6,975	0,783	0,612
	21	3	6,975	0,913	0,612
	24	2	5,695	1,043	0,500
	27	2	5,695	1,174	0,500
	30	1	4,027	1,304	0,354
	33	1	4,027	1,435	0,354
	-33	0	0,000	-1,435	0,000
	-30	1	4,027	-1,304	0,354
	-27	1	4,027	-1,174	0,354
	-24	2	5,695	-1,043	0,500
	-21	3	6,975	-0,913	0,612
	-18	3	6,975	-0,783	0,612
	-15	5	9,004	-0,652	0,791
	-12	6	9,864	-0,522	0,866
	-9	7	10,654	-0,391	0,935
	-6	7	10,654	-0,261	0,935
	-3	8	11,389	-0,130	1,000
	0	8	11,389	0,000	1,000
	3	8	11,389	0,130	1,000
	6	7	10,654	0,261	0,935
	9	7	10,654	0,391	0,935
	12	6	9,864	0,522	0,866
	15	5	9,004	0,652	0,791
	18	4	8,054	0,783	0,707
	21	3	6,975	0,913	0,612
	24	2	5,695	1,043	0,500
	27	2	5,695	1,174	0,500
	30	1	4,027	1,304	0,354
	33	1	4,027	1,435	0,354

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 78,4m/s

Vitesse	78,4	Yc	4,163	Débit	0,006779
Hauteur	0	Um	83,950	Flux Mvt	0,359385
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-10	0	0,000	-2,402	0,000
	-9	2	5,718	-2,162	0,068
	-8	10	12,787	-1,922	0,152
	-7	46	27,424	-1,681	0,327
	-6	116	43,550	-1,441	0,519
	-5	205	57,894	-1,201	0,690
	-4	276	67,176	-0,961	0,800
	-3	315	71,765	-0,721	0,855
	-2	325	72,895	-0,480	0,868
	-1	334	73,898	-0,240	0,880
	0	300	70,036	0,000	0,834
	1	285	68,262	0,240	0,813
	2	264	65,699	0,480	0,783
	3	240	62,642	0,721	0,746
	4	207	58,176	0,961	0,693
	5	154	50,179	1,201	0,598
	6	89	38,146	1,441	0,454
	7	36	24,261	1,681	0,289
	8	10	12,787	1,922	0,152
	9	2	5,718	2,162	0,068
	10	0	0,000	2,402	0,000
				0,000	0,000
-11		0	0	0,000	0,000
-10		2	5,7183914	0,480	0,068
-9		4	8,0870266	0,961	0,096
-8		11	13,410817	2,642	0,160
-7		38	24,92589	9,128	0,297
-6		90	38,360136	21,619	0,457
-5		180	54,249424	43,238	0,646
-4		240	62,641839	57,650	0,746
-3		300	70,035705	72,063	0,834
-2		335	74,008445	80,470	0,882
-1		331	73,565277	79,509	0,876
0		317	71,992708	76,146	0,858
1		293	69,213799	70,381	0,824
2		262	65,449981	62,935	0,780
3		242	62,902305	58,131	0,749
4		191	55,882466	45,880	0,666
5		126	45,388324	30,266	0,541
6		54	29,713633	12,971	0,354
7		14	15,129441	3,363	0,180
8		5	9,0415707	1,201	0,108
9		2	5,7183914	0,480	0,068
10		2	5,7183914	0,480	0,068
11		0	0	0,000	0,000



Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 78,4m/s

-1		255	64,302359	-0,125	0,951
0		282	67,620966	0,000	1,000
1		272	66,411191	0,125	0,982
2		250	63,668823	0,250	0,942
3		208	58,074902	0,375	0,859
4		164	51,567816	0,500	0,763
5		118	43,741918	0,625	0,647
6		80	36,016525	0,750	0,533
7		52	29,037451	0,875	0,429
8		32	22,778851	1,000	0,337
9		18	17,084138	1,125	0,253
10		12	13,94914	1,250	0,206
11		8	11,389425	1,375	0,168
12		3	6,9745701	1,500	0,103
13		2	5,6947126	1,625	0,084
14		0	0		

Vitesse	78,4	Yc	10,000	Débit	0,01525
Hauteur	7,2	Um	44,662	Flux Mvt	0,424088
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-18	0	0,000		
	-17	3	6,975	-1,700	0,156
	-16	3	6,975	-1,600	0,156
	-15	8	11,389	-1,500	0,255
	-14	10	12,734	-1,400	0,285
	-13	14	15,067	-1,300	0,337
	-12	20	18,008	-1,200	0,403
	-11	26	20,533	-1,100	0,460
	-10	34	23,480	-1,000	0,526
	-9	34	23,480	-0,900	0,526
	-8	56	30,134	-0,800	0,675
	-7	68	33,206	-0,700	0,743
	-6	80	36,017	-0,600	0,806
	-5	96	39,454	-0,500	0,883
	-4	106	41,458	-0,400	0,928
	-3	116	43,370	-0,300	0,971
	-2	120	44,111	-0,200	0,988
	-1	122	44,477	-0,100	0,996
	0	122	44,477	0,000	0,996
	1	116	43,370	0,100	0,971
	2	102	40,668	0,200	0,911
	3	102	40,668	0,300	0,911
	4	90	38,201	0,400	0,855
	5	80	36,017	0,500	0,806
	6	68	32,714	0,600	0,732
	7	54	29,591	0,700	0,663
	8	46	27,311	0,800	0,612
	9	36	24,161	0,900	0,541
	10	28	21,308	1,000	0,477
	11	20	18,008	1,100	0,403
	12	14	15,067	1,200	0,337
	13	12	13,949	1,300	0,312
	14	6	9,864	1,400	0,221
	15	4	8,054	1,500	0,180
	16	2	5,695	1,600	0,128
	17	1	4,027	1,700	0,090
	18	0	0,000		
	-18	0	0		
	-17	6	9,863532	-1,700	0,221
	-16	8	11,38943	-1,600	0,255
	-15	10	12,73376	-1,500	0,285
	-14	12	13,94914	-1,400	0,312
	-13	16	16,10708	-1,300	0,361
	-12	20	18,00826	-1,200	0,403
	-11	24	19,72706	-1,100	0,442
	-10	34	23,4799	-1,000	0,526
	-9	34	23,4799	-0,900	0,526
	-8	54	29,59059	-0,800	0,663
	-7	64	32,21416	-0,700	0,721
	-6	72	34,16828	-0,600	0,765
	-5	88	37,77445	-0,500	0,846
	-4	96	39,45413	-0,400	0,883
	-3	112	42,61533	-0,300	0,954
	-2	120	44,11105	-0,200	0,988
	-1	122	44,47713	-0,100	0,996
	0	122	44,47713	0,000	0,996
	1	120	44,11105	0,100	0,988
	2	110	42,23312	0,200	0,946
	3	96	39,45413	0,300	0,883
	4	86	37,34273	0,400	0,836
	5	72	34,16828	0,500	0,765
	6	60	31,19123	0,600	0,698
	7	50	28,47356	0,700	0,638
	8	40	25,46753	0,800	0,570
	9	34	23,4799	0,900	0,526
	10	26	20,53258	1,000	0,460
	11	20	18,00826	1,100	0,403
	12	14	15,06679	1,200	0,337
	13	12	13,94914	1,300	0,312
	14	10	12,73376	1,400	0,285
	15	8	11,38943	1,500	0,255
	16	5	9,004131	1,600	0,202
	17	3	6,97457	1,700	0,156
	18	0	0		





Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 78,4m/s

Vitesse	78,4	Yc	21,000	Débit	0,029866
Hauteur	18	Um	17,552	Flux Mvt	0,405954
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-34	0	0,000		
	-32	1	4,027	-1,524	0,229
	-30	3	6,975	-1,429	0,397
	-28	3	6,975	-1,333	0,397
	-26	5	9,004	-1,238	0,513
	-24	5	9,004	-1,143	0,513
	-22	7	10,654	-1,048	0,607
	-20	7	10,654	-0,952	0,607
	-18	9	12,080	-0,857	0,688
	-16	11	13,355	-0,762	0,761
	-14	11	13,355	-0,667	0,761
	-12	13	14,519	-0,571	0,827
	-10	15	15,596	-0,476	0,889
	-8	15	15,596	-0,381	0,889
	-6	17	16,603	-0,286	0,946
	-4	17	16,603	-0,190	0,946
	-2	19	17,552	-0,095	1,000
	0	19	17,552	0,000	1,000
	2	19	17,552	0,095	1,000
	4	19	17,552	0,190	1,000
	6	17	16,603	0,286	0,946
	8	17	16,603	0,381	0,946
	10	17	16,603	0,476	0,946
	12	15	15,596	0,571	0,889
	14	13	14,519	0,667	0,827
	16	11	13,355	0,762	0,761
	18	9	12,080	0,857	0,688
	20	7	10,654	0,952	0,607
	22	7	10,654	1,048	0,607
	24	7	10,654	1,143	0,607
	26	5	9,004	1,238	0,513
	28	5	9,004	1,333	0,513
	30	3	6,975	1,429	0,397
	32	1	4,027	1,524	0,229
	34	0	0,000		
	-32	1	4,0267699	-1,524	0,229
	-30	3	6,9745701	-1,429	0,397
	-28	3	6,9745701	-1,333	0,397
	-26	3	6,9745701	-1,238	0,397
	-24	5	9,0041313	-1,143	0,513
	-22	7	10,653832	-1,048	0,607
	-20	9	12,08031	-0,952	0,688
	-18	11	13,355285	-0,857	0,761
	-16	11	13,355285	-0,762	0,761
	-14	13	14,518725	-0,667	0,827
	-12	15	15,595613	-0,571	0,889
	-10	17	16,602798	-0,476	0,946
	-8	17	16,602798	-0,381	0,946
	-6	17	16,602798	-0,286	0,946
	-4	19	17,552283	-0,190	1,000
	-2	19	17,552283	-0,095	1,000
	0	19	17,552283	0,000	1,000
	2	19	17,552283	0,095	1,000
	4	19	17,552283	0,190	1,000
	6	17	16,602798	0,286	0,946
	8	17	16,602798	0,381	0,946
	10	15	15,595613	0,476	0,889
	12	15	15,595613	0,571	0,889
	14	13	14,518725	0,667	0,827
	16	11	13,355285	0,762	0,761
	18	9	12,08031	0,857	0,688
	20	9	12,08031	0,952	0,688
	22	7	10,653832	1,048	0,607
	24	5	9,0041313	1,143	0,513
	26	5	9,0041313	1,238	0,513
	28	3	6,9745701	1,333	0,397
	30	3	6,9745701	1,429	0,397
	32	1	4,0267699	1,524	0,229

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 78,4m/s

Vitesse	78,4	Yc	23,000	Débit	0,033801
Hauteur	21,6	Um	14,519	Flux Mvt	0,39859
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-36	1	4,027	-1,565	0,277
	-34	2	5,695	-1,478	0,392
	-32	3	6,975	-1,391	0,480
	-30	3	6,975	-1,304	0,480
	-28	5	9,004	-1,217	0,620
	-26	5	9,004	-1,130	0,620
	-24	5	9,004	-1,043	0,620
	-22	7	10,654	-0,957	0,734
	-20	7	10,654	-0,870	0,734
	-18	7	10,654	-0,783	0,734
	-16	9	12,080	-0,696	0,832
	-14	11	13,355	-0,609	0,920
	-12	11	13,355	-0,522	0,920
	-10	13	14,519	-0,435	1,000
	-8	13	14,519	-0,348	1,000
	-6	13	14,519	-0,261	1,000
	-4	13	14,519	-0,174	1,000
	-2	13	14,519	-0,087	1,000
	0	13	14,519	0,000	1,000
	2	13	14,519	0,087	1,000
	4	13	14,519	0,174	1,000
	6	13	14,519	0,261	1,000
	8	11	13,355	0,348	0,920
	10	11	13,355	0,435	0,920
	12	9	12,080	0,522	0,832
	14	9	12,080	0,609	0,832
	16	9	12,080	0,696	0,832
	18	9	12,080	0,783	0,832
	20	7	10,654	0,870	0,734
	22	7	10,654	0,957	0,734
	24	5	9,004	1,043	0,620
	26	5	9,004	1,130	0,620
	28	5	9,004	1,217	0,620
	30	3	6,975	1,304	0,480
	32	3	6,975	1,391	0,480
	34	2	5,695	1,478	0,392
	36	1	4,027	1,565	0,277
	38	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 78,4m/s

Vitesse	78,4	Yc	28,000	Débit	0,038183
Hauteur	25,2	Um	12,080	Flux Mvt	0,376549
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-45	0	0,000		
	-42	1	4,027	-1,500	0,333
	-39	2	5,695	-1,393	0,471
	-36	3	6,975	-1,286	0,577
	-33	3	6,975	-1,179	0,577
	-30	3	6,975	-1,071	0,577
	-27	5	9,004	-0,964	0,745
	-24	5	9,004	-0,857	0,745
	-21	5	9,004	-0,750	0,745
	-18	7	10,654	-0,643	0,882
	-15	7	10,654	-0,536	0,882
	-12	9	12,080	-0,429	1,000
	-9	9	12,080	-0,321	1,000
	-6	9	12,080	-0,214	1,000
	-3	9	12,080	-0,107	1,000
	0	9	12,080	0,000	1,000
	3	9	12,080	0,107	1,000
	6	9	12,080	0,214	1,000
	9	9	12,080	0,321	1,000
	12	7	10,654	0,429	0,882
	15	7	10,654	0,536	0,882
	18	7	10,654	0,643	0,882
	21	5	9,004	0,750	0,745
	24	5	9,004	0,857	0,745
	27	5	9,004	0,964	0,745
	30	3	6,975	1,071	0,577
	33	3	6,975	1,179	0,577
	36	3	6,975	1,286	0,577
	39	1	4,027	1,393	0,333
	42	1	4,027	1,500	0,333
	-45	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 44,2m/s

Vitesse	44,2	Yc	2,786	Débit	0,002762
Hauteur	0	Um	69,374	Flux Mvt	0,113197
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
0	-7	0	0,000	-2,513	0,000
	-6	4	8,087	-2,154	0,117
	-5	36	24,261	-1,795	0,350
	-4	79	35,940	-1,436	0,518
	-3	123	44,845	-1,077	0,646
	-2	149	49,357	-0,718	0,711
	-1	160	51,147	-0,359	0,737
	0	164	51,782	0,000	0,746
	1	166	52,097	0,359	0,751
	2	159	50,987	0,718	0,735
	3	147	49,025	1,077	0,707
	4	128	45,747	1,436	0,659
	5	95	39,411	1,795	0,568
	6	37	24,596	2,154	0,355
	7	2	5,718	2,513	0,082
	8	0	0,000	2,872	0,000
-7		0	0,000	-2,513	0,000
-6		0	0,000	-2,154	0,000
-5		13	14,579	-1,795	0,210
-4		61	31,581	-1,436	0,455
-3		107	41,826	-1,077	0,603
-2		133	46,632	-0,718	0,672
-1		147	49,025	-0,359	0,707
0		160	51,147	0,000	0,737
2		159	50,987	0,718	0,735
4		123	44,845	1,436	0,646
6		29	21,775	2,154	0,314
7		0	0,000	2,513	0,000





Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 44,2m/s

Vitesse	44,2	Yc	12,000	Débit	0,009769
Hauteur	10,8	Um	18,083	Flux Mvt	0,128089
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-20	0	0,000		
	-19	1	4,027	-1,583	0,223
	-18	2	5,695	-1,500	0,315
	-17	2	5,695	-1,417	0,315
	-16	3	6,975	-1,333	0,386
	-15	4	8,054	-1,250	0,445
	-14	5	9,004	-1,167	0,498
	-13	6	9,864	-1,083	0,545
	-12	7	10,654	-1,000	0,589
	-11	7	10,654	-0,917	0,589
	-10	9	12,080	-0,833	0,668
	-9	11	13,355	-0,750	0,739
	-8	13	14,519	-0,667	0,803
	-7	14	15,067	-0,583	0,833
	-6	16	16,107	-0,500	0,891
	-5	17	16,603	-0,417	0,918
	-4	18	17,084	-0,333	0,945
	-3	18	17,084	-0,250	0,945
	-2	20	18,008	-0,167	0,996
	-1	20	18,008	-0,083	0,996
	0	20	18,008	0,000	0,996
	1	20	18,008	0,083	0,996
	2	20	18,008	0,167	0,996
	3	20	18,008	0,250	0,996
	4	18	17,084	0,333	0,945
	5	16	16,107	0,417	0,891
	6	15	15,596	0,500	0,862
	7	14	15,067	0,583	0,833
	8	12	13,949	0,667	0,771
	9	11	13,355	0,750	0,739
	10	11	13,355	0,833	0,739
	11	9	12,080	0,917	0,668
	12	7	10,654	1,000	0,589
	13	5	9,004	1,083	0,498
	14	3	6,975	1,167	0,386
	15	3	6,975	1,250	0,386
	16	2	5,695	1,333	0,315
	17	2	5,695	1,417	0,315
	18	1	4,027	1,500	0,223
	19	1	4,027	1,583	0,223
	20	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 44,2m/s

Vitesse	44,2	Yc	20,000	Débit	0,01133
Hauteur	18	Um	9,864	Flux Mvt	0,083987
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-28	0	0,000		
	-26	1	4,027	-1,300	0,408
	-24	1	4,027	-1,200	0,408
	-22	2	5,695	-1,100	0,577
	-20	2	5,695	-1,000	0,577
	-18	2	5,695	-0,900	0,577
	-16	3	6,975	-0,800	0,707
	-14	3	6,975	-0,700	0,707
	-12	3	6,975	-0,600	0,707
	-10	4	8,054	-0,500	0,816
	-8	4	8,054	-0,400	0,816
	-6	5	9,004	-0,300	0,913
	-4	5	9,004	-0,200	0,913
	-2	6	9,864	-0,100	1,000
	0	6	9,864	0,000	1,000
	2	6	9,864	0,100	1,000
	4	5	9,004	0,200	0,913
	6	5	9,004	0,300	0,913
	8	4	8,054	0,400	0,816
	10	4	8,054	0,500	0,816
	12	3	6,975	0,600	0,707
	14	3	6,975	0,700	0,707
	16	2	5,695	0,800	0,577
	18	2	5,695	0,900	0,577
	20	2	5,695	1,000	0,577
	22	2	5,695	1,100	0,577
	24	1	4,027	1,200	0,408
	26	1	4,027	1,300	0,408
	28	0	0,000		

Jet libre diamètre orifice 10mm Vitesse du jet 44,2m/s

Vitesse	44,2	Yc	15,000	Débit	0,009119
Hauteur	14,4	Um	12,734	Flux Mvt	0,092559
Z	Y	H liq	Vitesse	Y/Yc	U/Um
	-21	0	0,000		
	-20	1	4,027	-1,333	0,316
	-19	2	5,695	-1,267	0,447
	-18	2	5,695	-1,200	0,447
	-17	2	5,695	-1,133	0,447
	-16	3	6,975	-1,067	0,548
	-15	4	8,054	-1,000	0,632
	-14	5	9,004	-0,933	0,707
	-13	5	9,004	-0,867	0,707
	-12	5	9,004	-0,800	0,707
	-11	6	9,864	-0,733	0,775
	-10	6	9,864	-0,667	0,775
	-9	7	10,654	-0,600	0,837
	-8	8	11,389	-0,533	0,894
	-7	8	11,389	-0,467	0,894
	-6	9	12,080	-0,400	0,949
	-5	9	12,080	-0,333	0,949
	-4	9	12,080	-0,267	0,949
	-3	10	12,734	-0,200	1,000
	-2	10	12,734	-0,133	1,000
	-1	10	12,734	-0,067	1,000
	0	10	12,734	0,000	1,000
	1	10	12,734	0,067	1,000
	2	10	12,734	0,133	1,000
	3	9	12,080	0,200	0,949
	4	9	12,080	0,267	0,949
	5	9	12,080	0,333	0,949
	6	8	11,389	0,400	0,894
	7	7	10,654	0,467	0,837
	8	6	9,864	0,533	0,775
	9	6	9,864	0,600	0,775
	10	5	9,004	0,667	0,707
	11	5	9,004	0,733	0,707
	12	4	8,054	0,800	0,632
	13	4	8,054	0,867	0,632
	14	4	8,054	0,933	0,632
	15	3	6,975	1,000	0,548
	16	3	6,975	1,067	0,548
	17	2	5,695	1,133	0,447
	18	2	5,695	1,200	0,447
	19	1	4,027	1,267	0,316
	20	1	4,027	1,333	0,316
	21	0	0,000		

Jet en milieu particulière  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	46-0.5Umf	Yc	8,1371226	Débit	0,008
Hauteur	3,6	Um	32,021978	Flux Mvt	0,131
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-28	133	80	79,14564	-0,85436	#####
-26	132	80	78,55056	-1,44944	#####
-24	132	80	78,55056	-1,44944	#####
-22	132	80	78,55056	-1,44944	#####
-20	141	84	83,90628	-0,09372	#####
-18	140	83	83,3112	0,3112	2,2462851
-16	156	92	92,83248	0,83248	3,6739394
-14	158	92	94,02264	2,02264	5,7266993
-12	163	92	96,99804	4,99804	9,0021231
-10	182	96	108,30456	12,30456	14,124664
-8	195	95	116,0406	21,0406	18,470308
-6	219	99	130,32252	31,32252	22,535823
-4	240	99	142,8192	43,8192	26,654915
-2	261	99	155,31588	56,31588	30,217639
0	276	101	164,24208	63,24208	32,021978
2	261	100	155,31588	55,31588	29,94815
4	239	99	142,22412	43,22412	26,473305
6	219	99	130,32252	31,32252	22,535823
8	195	96	116,0406	20,0406	18,026045
10	181	96	107,70948	11,70948	13,778879
12	169	95	100,56852	5,56852	9,5019989
14	153	89	91,04724	2,04724	5,761419
16	148	87	88,07184	1,07184	4,1687904
18	144	85	85,69152	0,69152	3,3484781
20	138	82	82,12104	0,12104	1,4009078
22	134	80	79,74072	-0,25928	#####
24	130	80	77,3604	-2,6396	#####
26	128	80	76,17024	-3,82976	#####
28	125	80	74,385	-5,615	#####
30	121	80	72,00468	-7,99532	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	46-0.5Umf	Yc	10,842534	Débit	0,010
Hauteur	7,2	Um	22,971006	Flux Mvt	0,115
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-36	70	43	41,6556	-1,3444	#####
-34	70	43	41,6556	-1,3444	#####
-32	71	43	42,25068	-0,74932	#####
-30	71	43	42,25068	-0,74932	#####
-28	72	43	42,84576	-0,15424	#####
-26	74	44	44,03592	0,03592	0,763
-24	73	43	43,44084	0,44084	2,674
-22	74	44	44,03592	0,03592	0,763
-20	75	44	44,631	0,631	3,199
-18	75	44	44,631	0,631	3,199
-16	75	43	44,631	1,631	5,142
-14	75	41	44,631	3,631	7,673
-12	76	39	45,22608	6,22608	10,047
-10	79	37	47,01132	10,01132	12,741
-8	109	50	64,86372	14,86372	15,524
-6	129	57	76,76532	19,76532	17,902
-4	142	60	84,50136	24,50136	19,932
-2	154	62	91,64232	29,64232	21,923
0	174	71	103,54392	32,54392	22,971
2	164	68	97,59312	29,59312	21,905
4	145	61	86,2866	25,2866	20,248
6	137	62	81,52596	19,52596	17,793
8	127	61	75,57516	14,57516	15,373
10	95	46	56,5326	10,5326	13,068
12	90	47	53,5572	6,5572	10,311
14	85	47	50,5818	3,5818	7,621
16	79	45	47,01132	2,01132	5,711
18	75	44	44,631	0,631	3,199
20	73	43	43,44084	0,44084	2,674
22	73	43	43,44084	0,44084	2,674
24	73	43	43,44084	0,44084	2,674
26	71	43	42,25068	-0,74932	#####
28	71	43	42,25068	-0,74932	#####
30	71	43	42,25068	-0,74932	#####
32	70	43	41,6556	-1,3444	#####
34	65	43	38,6802	-4,3198	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	46-0.5Umf	Yc	14,1	Débit	0,006
Hauteur	10,8	Um	9,9822546	Flux Mvt	0,040
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-26	52	31	30,94416	-0,05584	#####
-24	52	31	30,94416	-0,05584	#####
-22	53	31	31,53924	0,53924	2,957
-20	53	31	31,53924	0,53924	2,957
-18	53	31	31,53924	0,53924	2,957
-16	54	31	32,13432	1,13432	4,289
-14	55	31	32,7294	1,7294	5,295
-12	68	38	40,46544	2,46544	6,323
-10	87	49	51,77196	2,77196	6,704
-8	95	53	56,5326	3,5326	7,568
-6	110	61	65,4588	4,4588	8,503
-4	127	70	75,57516	5,57516	9,508
-2	131	72	77,95548	5,95548	9,827
0	133	73	79,14564	6,14564	9,982
2	129	71	76,76532	5,76532	9,668
4	120	66	71,4096	5,4096	9,365
6	107	59	63,67356	4,67356	8,705
8	87	48	51,77196	3,77196	7,820
10	77	43	45,82116	2,82116	6,763
12	66	37	39,27528	2,27528	6,074
14	56	32	33,32448	1,32448	4,634
16	54	31	32,13432	1,13432	4,289
18	53	31	31,53924	0,53924	2,957
20	53	31	31,53924	0,53924	2,957
22	53	31	31,53924	0,53924	2,957
24	52	31	30,94416	-0,05584	#####
26	52	31	30,94416	-0,05584	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	46-Umf	Yc	8,1828655	Débit	0,009
Hauteur	3,6	Um	35,622691	Flux Mvt	0,175
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-30	215	135	127,35396	-7,64604	#####
-28	217	135	128,53865	-6,461352	#####
-26	222	135	131,50037	-3,499632	#####
-24	226	135	133,86974	-1,130256	#####
-22	225	135	133,2774	-1,7226	#####
-20	225	135	133,2774	-1,7226	#####
-18	229	135	135,64678	0,646776	3,252
-16	240	141	142,16256	1,16256	4,360
-14	250	142	148,086	6,086	9,975
-12	254	142	150,45538	8,455376	11,758
-10	276	144	163,48694	19,486944	17,850
-8	300	148	177,7032	29,7032	22,037
-6	309	148	183,0343	35,034296	23,933
-4	334	148	197,8429	49,842896	28,547
-2	359	145	212,6515	67,651496	33,258
0	364	138	215,61322	77,613216	35,623
2	361	144	213,83618	69,836184	33,791
4	338	144	200,21227	56,212272	30,316
-6	307	144	181,84961	37,849608	24,877
8	289	144	171,18742	27,187416	21,084
10	265	144	156,97116	12,97116	14,563
12	250	142	148,086	6,086	9,975
14	248	142	146,90131	4,901312	8,952
16	240	142	142,16256	0,16256	1,630
18	240	142	142,16256	0,16256	1,630
20	238	141	140,97787	-0,022128	#####
22	229	136	135,64678	-0,353224	#####
24	227	135	134,46209	-0,537912	#####
26	227	135	134,46209	-0,537912	#####
28	227	135	134,46209	-0,537912	#####
30	227	135	134,46209	-0,537912	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	46-Umf	Yc	10,7	Débit	0,009
Hauteur	7,2	Um	22,942599	Flux Mvt	0,110
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-28	152	92	90,45216	-1,54784	#####
-26	152	92	90,45216	-1,54784	#####
-24	152	92	90,45216	-1,54784	#####
-22	157	93	93,42756	0,42756	2,633
-20	158	94	94,02264	0,02264	0,606
-18	158	93	94,02264	1,02264	4,072
-16	158	92	94,02264	2,02264	5,727
-14	158	90	94,02264	4,02264	8,076
-12	148	82	88,07184	6,07184	9,922
-10	163	87	96,99804	9,99804	12,732
-8	171	87	101,75868	14,75868	15,469
-6	183	89	108,89964	19,89964	17,963
-4	206	98	122,58648	24,58648	19,966
-2	219	101	130,32252	29,32252	21,804
0	231	105	137,46348	32,46348	22,943
2	220	101	130,9176	29,9176	22,025
4	218	105	129,72744	24,72744	20,023
6	207	103	123,18156	20,18156	18,089
8	203	106	120,80124	14,80124	15,492
10	186	101	110,68488	9,68488	12,531
12	170	95	101,1636	6,1636	9,997
14	162	93	96,40296	3,40296	7,428
16	157	92	93,42756	1,42756	4,811
18	154	91	91,64232	0,64232	3,227
20	154	91	91,64232	0,64232	3,227
22	153	91	91,04724	0,04724	0,875
24	153	91	91,04724	0,04724	0,875
26	152	91	90,45216	-0,54784	#####
28	152	91	90,45216	-0,54784	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	46-Umf	Yc	14,2	Débit	0,007
Hauteur	10,8	Um	10,027502	Flux Mvt	0,041
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-28	55	33	32,7294	-0,2706	#####
-26	56	33	33,32448	0,32448	2,294
-24	56	33	33,32448	0,32448	2,294
-22	58	34	34,51464	0,51464	2,889
-20	59	35	35,10972	0,10972	1,334
-18	60	35	35,7048	0,7048	3,380
-16	61	35	36,29988	1,29988	4,591
-14	62	35	36,89496	1,89496	5,543
-12	64	36	38,08512	2,08512	5,814
-10	67	37	39,87036	2,87036	6,822
-8	70	38	41,6556	3,6556	7,699
-6	75	40	44,631	4,631	8,665
-4	78	41	46,41624	5,41624	9,371
-2	81	42	48,20148	6,20148	10,028
0	81	42	48,20148	6,20148	10,028
2	81	42	48,20148	6,20148	10,028
4	76	40	45,22608	5,22608	9,205
6	68	36	40,46544	4,46544	8,509
8	65	35	38,6802	3,6802	7,725
10	62	34	36,89496	2,89496	6,851
12	61	34	36,29988	2,29988	6,107
14	58	33	34,51464	1,51464	4,956
16	57	33	33,91956	0,91956	3,861
18	57	33	33,91956	0,91956	3,861
20	56	33	33,32448	0,32448	2,294
22	56	33	33,32448	0,32448	2,294
24	56	33	33,32448	0,32448	2,294
26	55	33	32,7294	-0,2706	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	46-1.3Umf	Yc	9,96	Débit	0,009
Hauteur	3,6	Um	27,994372	Flux Mvt	0,125
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-28	175	107	104,139	-2,861	#####
-26	175	107	104,139	-2,861	#####
-24	175	107	104,139	-2,861	#####
-22	188	111	111,87504	0,87504	3,767
-20	200	118	119,016	1,016	4,059
-18	202	119	120,20616	1,20616	4,422
-16	205	120	121,9914	1,9914	5,682
-14	206	119	122,58648	3,58648	7,626
-12	207	117	123,18156	6,18156	10,011
-10	216	118	128,53728	10,53728	13,071
-8	230	120	136,8684	16,8684	16,538
-6	251	123	149,36508	26,36508	20,676
-4	270	124	160,6716	36,6716	24,384
-2	288	126	171,38304	45,38304	27,126
0	298	129	177,33384	48,33384	27,994
2	287	126	170,78796	44,78796	26,948
4	269	124	160,07652	36,07652	24,186
6	242	118	144,00936	26,00936	20,536
8	226	117	134,48808	17,48808	16,839
10	215	117	127,9422	10,9422	13,320
12	204	115	121,39632	6,39632	10,184
14	198	115	117,82584	2,82584	6,769
16	193	114	114,85044	0,85044	3,713
18	187	111	111,27996	0,27996	2,131
20	186	111	110,68488	-0,31512	#####
22	180	111	107,1144	-3,8856	#####
24	180	109	107,1144	-1,8856	#####
26	175	107	104,139	-2,861	#####
28	175	107	104,139	-2,861	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	46-1.3Umf	Yc	10,5	Débit	0,008
Hauteur	7,2	Um	23,154247	Flux Mvt	0,107
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-22	107	65	63,67356	-1,32644	#####
-20	106	64	63,07848	-0,92152	#####
-18	107	63	63,67356	0,67356	3,305
-16	110	64	65,4588	1,4588	4,863
-14	120	68	71,4096	3,4096	7,435
-12	129	70	76,76532	6,76532	10,473
-10	138	72	82,12104	10,12104	12,810
-8	145	72	86,2866	14,2866	15,220
-6	158	75	94,02264	19,02264	17,562
-4	175	79	104,139	25,139	20,189
-2	185	80	110,0898	30,0898	22,088
0	190	80	113,0652	33,0652	23,154
2	184	80	109,49472	29,49472	21,868
4	175	79	104,139	25,139	20,189
6	159	75	94,61772	19,61772	17,835
8	142	70	84,50136	14,50136	15,334
10	131	68	77,95548	9,95548	12,705
12	120	66	71,4096	5,4096	9,365
14	117	66	69,62436	3,62436	7,666
16	112	65	66,64896	1,64896	5,171
18	113	66	67,24404	1,24404	4,491
20	110	65	65,4588	0,4588	2,727
22	108	65	64,26864	-0,73136	#####
24	107	65	63,67356	-1,32644	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 46,3m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	46-1.3Umf	Yc	13,8	Débit	0,006
Hauteur	10,8	Um	10,160472	Flux Mvt	0,040
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-26	58	35	34,51464	-0,48536	#####
-24	59	35	35,10972	0,10972	1,334
-22	59	35	35,10972	0,10972	1,334
-20	61	36	36,29988	0,29988	2,205
-18	61	35	36,29988	1,29988	4,591
-16	61	35	36,29988	1,29988	4,591
-14	63	36	37,49004	1,49004	4,915
-12	66	37	39,27528	2,27528	6,074
-10	69	38	41,06052	3,06052	7,044
-8	72	39	42,84576	3,84576	7,897
-6	75	40	44,631	4,631	8,665
-4	81	43	48,20148	5,20148	9,184
-2	87	46	51,77196	5,77196	9,674
0	88	46	52,36704	6,36704	10,160
2	87	46	51,77196	5,77196	9,674
4	81	43	48,20148	5,20148	9,184
6	75	40	44,631	4,631	8,665
8	72	39	42,84576	3,84576	7,897
10	69	38	41,06052	3,06052	7,044
12	66	37	39,27528	2,27528	6,074
14	63	36	37,49004	1,49004	4,915
16	61	35	36,29988	1,29988	4,591
18	60	35	35,7048	0,7048	3,380
20	61	36	36,29988	0,29988	2,205
22	59	35	35,10972	0,10972	1,334
24	59	35	35,10972	0,10972	1,334
26	58	35	34,51464	-0,48536	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	40-0.5Umf	Yc	8,0507606	Débit	0,008
Hauteur	3,6	Um	35,159481	Flux Mvt	0,154
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-24	109	65	64,86372	-0,13628	#####
-22	109	65	64,86372	-0,13628	#####
-20	109	65	64,86372	-0,13628	#####
-18	112	67	66,64896	-0,35104	#####
-16	119	70	70,81452	0,81452	3,634
-14	125	72	74,385	2,385	6,219
-12	134	73	79,74072	6,74072	10,454
-10	159	81	94,61772	13,61772	14,859
-8	183	85	108,89964	23,89964	19,685
-6	206	85	122,58648	37,58648	24,687
-4	232	86	138,05856	52,05856	29,053
-2	257	86	152,93556	66,93556	32,944
0	276	88	164,24208	76,24208	35,159
2	258	87	153,53064	66,53064	32,844
4	232	86	138,05856	52,05856	29,053
6	209	86	124,37172	38,37172	24,943
8	187	86	111,27996	25,27996	20,246
10	166	85	98,78328	13,78328	14,949
12	146	80	86,88168	6,88168	10,563
14	136	78	80,93088	2,93088	6,894
16	131	77	77,95548	0,95548	3,936
18	126	75	74,98008	-0,01992	#####
20	119	71	70,81452	-0,18548	#####
22	109	65	64,86372	-0,13628	#####
24	109	65	64,86372	-0,13628	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

<b>Vitesse</b>	<b>40-0.5Umf</b>	<b>Yc</b>	<b>9,9961774</b>	<b>Débit</b>	<b>0,008</b>
<b>Hauteur</b>	<b>7,2</b>	<b>Um</b>	<b>18,980674</b>	<b>Flux Mvt</b>	<b>0,080</b>
<b>Y</b>	<b>H tot</b>	<b>Hstat</b>	<b>Htot mmCE</b>	<b>Hdyn</b>	<b>Vitesse</b>
-26	72	43	42,84576	-0,15424	#####
-24	72	43	42,84576	-0,15424	#####
-22	74	44	44,03592	0,03592	0,763
-20	76	45	45,22608	0,22608	1,915
-18	77	45	45,82116	0,82116	3,649
-16	78	45	46,41624	1,41624	4,792
-14	82	46	48,79656	2,79656	6,734
-12	83	45	49,39164	4,39164	8,438
-10	88	45	52,36704	7,36704	10,929
-8	94	46	55,93752	9,93752	12,694
-6	101	46	60,10308	14,10308	15,122
-4	108	47	64,26864	17,26864	16,733
-2	113	47	67,24404	20,24404	18,117
0	118	48	70,21944	22,21944	18,981
2	114	48	67,83912	19,83912	17,935
4	108	47	64,26864	17,26864	16,733
6	101	46	60,10308	14,10308	15,122
8	95	46	56,5326	10,5326	13,068
10	89	46	52,96212	6,96212	10,625
12	83	45	49,39164	4,39164	8,438
14	80	45	47,6064	2,6064	6,501
16	78	45	46,41624	-1,41624	4,792
18	75	44	44,631	0,631	3,199
20	75	44	44,631	0,631	3,199
22	74	44	44,03592	0,03592	0,763
24	72	43	42,84576	-0,15424	#####
26	72	43	42,84576	-0,15424	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	40-0.5Umf	Yc	14,2	Débit	0,006
Hauteur	10,8	Um	9,2484263	Flux Mvt	0,037
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-30	50	30	29,754	-0,246	#####
-28	50	30	29,754	-0,246	#####
-26	50	30	29,754	-0,246	#####
-24	51	30	30,34908	0,34908	2,379
-22	51	30	30,34908	0,34908	2,379
-20	53	31	31,53924	0,53924	2,957
-18	53	31	31,53924	0,53924	2,957
-16	55	32	32,7294	0,7294	3,439
-14	56	32	33,32448	1,32448	4,634
-12	59	33	35,10972	2,10972	5,849
-10	60	33	35,7048	2,7048	6,622
-8	63	34	37,49004	3,49004	7,522
-6	64	34	38,08512	4,08512	8,139
-4	65	34	38,6802	4,6802	8,711
-2	66	34	39,27528	5,27528	9,248
0	66	34	39,27528	5,27528	9,248
2	66	34	39,27528	5,27528	9,248
4	65	34	38,6802	4,6802	8,711
6	64	34	38,08512	4,08512	8,139
8	63	34	37,49004	3,49004	7,522
10	60	33	35,7048	2,7048	6,622
12	59	33	35,10972	2,10972	5,849
14	56	32	33,32448	1,32448	4,634
16	55	32	32,7294	0,7294	3,439
18	53	31	31,53924	0,53924	2,957
20	53	31	31,53924	0,53924	2,957
22	51	30	30,34908	0,34908	2,379
24	51	30	30,34908	0,34908	2,379
26	50	30	29,754	-0,246	#####
28	50	30	29,754	-0,246	#####
30	50	30	29,754	-0,246	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	40-Umf	Yc	7,1692398	Débit	0,008
Hauteur	3,6	Um	34,974875	Flux Mvt	0,155
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-18	207	123	123,18156	0,18156	1,716
-16	211	125	125,56188	0,56188	3,018
-14	215	125	127,9422	2,9422	6,907
-12	219	123	130,32252	7,32252	10,896
-10	234	125	139,24872	14,24872	15,200
-8	260	130	154,7208	24,7208	20,021
-6	290	135	172,5732	37,5732	24,682
-4	312	133	185,66496	52,66496	29,222
-2	341	136	202,92228	66,92228	32,941
0	357	137	212,44356	75,44356	34,975
2	339	135	201,73212	66,73212	32,894
4	315	135	187,4502	52,4502	29,162
6	294	137	174,95352	37,95352	24,807
8	261	131	155,31588	24,31588	19,856
10	239	128	142,22412	14,22412	15,187
12	219	123	130,32252	7,32252	10,896
14	213	124	126,75204	2,75204	6,680
16	207	123	123,18156	0,18156	1,716
18	201	120	119,61108	-0,38892	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	40-Umf	Yc	10,1	Débit	0,007
Hauteur	7,2	Um	18,904134	Flux Mvt	0,074
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-26	151	90	89,85708	-0,14292	#####
-24	151	90	89,85708	-0,14292	#####
-22	151	90	89,85708	-0,14292	#####
-20	151	90	89,85708	-0,14292	#####
-18	152	90	90,45216	0,45216	2,708
-16	155	91	92,2374	1,2374	4,479
-14	157	91	93,42756	2,42756	6,274
-12	160	91	95,2128	4,2128	8,265
-10	166	92	98,78328	6,78328	10,487
-8	171	92	101,75868	9,75868	12,579
-6	179	93	106,51932	13,51932	14,805
-4	185	93	110,0898	17,0898	16,646
-2	192	94	114,25536	20,25536	18,122
0	195	94	116,0406	22,0406	18,904
2	192	94	114,25536	20,25536	18,122
4	185	93	110,0898	17,0898	16,646
6	179	93	106,51932	13,51932	14,805
8	173	93	102,94884	9,94884	12,701
10	166	92	98,78328	6,78328	10,487
12	162	92	96,40296	4,40296	8,449
14	159	92	94,61772	2,61772	6,515
16	155	91	92,2374	1,2374	4,479
18	154	91	91,64232	0,64232	3,227
20	153	91	91,04724	0,04724	0,875
22	151	90	89,85708	-0,14292	#####
24	151	90	89,85708	-0,14292	#####
26	151	90	89,85708	-0,14292	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	40-Umf	Yc	13,9	Débit	0,006
Hauteur	10,8	Um	9,4079213	Flux Mvt	0,032
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-30	95	57	56,5326	-0,4674	#####
-28	95	57	56,5326	-0,4674	#####
-26	95	57	56,5326	-0,4674	#####
-24	96	57	57,12768	0,12768	1,4388202
-22	96	57	57,12768	0,12768	1,4388202
-20	96	57	57,12768	0,12768	1,4388202
-18	98	58	58,31784	0,31784	2,2701229
-16	99	58	58,91292	0,91292	3,8473478
-14	100	58	59,508	1,508	4,9447661
-12	101	58	60,10308	2,10308	5,8394639
-10	103	59	61,29324	2,29324	6,0977531
-8	105	59	62,4834	3,4834	7,5153076
-6	106	59	63,07848	4,07848	8,1319416
-4	109	60	64,86372	4,86372	8,8803354
-2	110	60	65,4588	5,4588	9,4079213
0	110	60	65,4588	5,4588	9,408
2	110	60	65,4588	5,4588	9,408
4	109	60	64,86372	4,86372	8,880
6	106	59	63,07848	4,07848	8,132
8	105	59	62,4834	3,4834	7,515
10	103	59	61,29324	2,29324	6,098
12	101	58	60,10308	2,10308	5,839
14	100	58	59,508	1,508	4,945
16	99	58	58,91292	-0,91292	3,847
18	98	58	58,31784	0,31784	2,270
20	96	57	57,12768	0,12768	1,439
22	96	57	57,12768	0,12768	1,439
24	96	57	57,12768	0,12768	1,439
26	95	57	56,5326	-0,4674	#####
28	95	57	56,5326	-0,4674	#####
30	95	57	56,5326	-0,4674	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	40-1.3Umf	Yc	8,1669774	Débit	0,008
Hauteur	3,6	Um	34,984739	Flux Mvt	0,157
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-22	255	152	151,7454	-0,2546	#####
-20	255	152	151,7454	-0,2546	#####
-18	256	152	152,34048	0,34048	2,350
-16	258	153	153,53064	0,53064	2,933
-14	262	153	155,91096	2,91096	6,870
-12	270	154	160,6716	6,6716	10,401
-10	283	154	168,40764	14,40764	15,284
-8	300	154	178,524	24,524	19,941
-6	324	155	192,80592	37,80592	24,759
-4	349	155	207,68292	52,68292	29,227
-2	374	156	222,55992	66,55992	32,851
0	389	156	231,48612	75,48612	34,985
2	374	156	222,55992	66,55992	32,851
4	349	155	207,68292	52,68292	29,227
6	324	155	192,80592	37,80592	24,759
8	300	154	178,524	24,524	19,941
10	283	154	168,40764	14,40764	15,284
12	269	153	160,07652	7,07652	10,712
14	262	153	155,91096	2,91096	6,870
16	257	152	152,93556	0,93556	3,895
18	256	152	152,34048	0,34048	2,350
20	255	152	151,7454	-0,2546	#####
22	255	152	151,7454	-0,2546	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

<b>Vitesse</b>	<b>40-1.3Umf</b>	<b>Yc</b>	<b>10,324938</b>	<b>Débit</b>	<b>0,007</b>
<b>Hauteur</b>	<b>7,2</b>	<b>Um</b>	<b>18,922377</b>	<b>Flux Mvt</b>	<b>0,076</b>
<b>Y</b>	<b>H tot</b>	<b>Hstat</b>	<b>Htot mmCE</b>	<b>Hdyn</b>	<b>Vitesse</b>
-22	183	109	108,89964	-0,10036	#####
-20	183	109	108,89964	-0,10036	#####
-18	186	110	110,68488	0,68488	3,332
-16	187	110	111,27996	1,27996	4,556
-14	189	110	112,47012	2,47012	6,329
-12	194	111	115,44552	4,44552	8,490
-10	200	112	119,016	7,016	10,666
-8	205	112	121,9914	9,9914	12,728
-6	211	112	125,56188	13,56188	14,829
-4	219	113	130,32252	17,32252	16,759
-2	224	113	133,29792	20,29792	18,141
0	227	113	135,08316	22,08316	18,922
2	224	113	133,29792	20,29792	18,141
4	219	113	130,32252	17,32252	16,759
6	211	112	125,56188	13,56188	14,829
8	205	112	121,9914	9,9914	12,728
10	200	112	119,016	7,016	10,666
12	194	111	115,44552	4,44552	8,490
14	191	111	113,66028	2,66028	6,568
16	187	110	111,27996	1,27996	4,556
18	186	110	110,68488	0,68488	3,332
20	183	109	108,89964	-0,10036	#####
22	183	109	108,89964	-0,10036	#####
24	183	109	108,89964	-0,10036	#####
26	183	109	108,89964	-0,10036	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 40,8m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	40-1.3Umf	Yc	13,8	Débit	0,007
Hauteur	10,8	Um	9,5495221	Flux Mvt	0,039
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-30	97	58	57,72276	-0,27724	#####
-28	97	58	57,72276	-0,27724	#####
-26	98	58	58,31784	0,31784	2,270
-24	99	58,5	58,91292	0,41292	2,587
-22	99	58,5	58,91292	0,41292	2,587
-20	100	59	59,508	0,508	2,870
-18	102	60	60,69816	0,69816	3,365
-16	102	60	60,69816	0,69816	3,365
-14	105	61	62,4834	1,4834	4,904
-12	106	61	63,07848	2,07848	5,805
-10	108	62	64,26864	2,26864	6,065
-8	110	62	65,4588	3,4588	7,489
-6	113	63	67,24404	4,24404	8,295
-4	114	63	67,83912	4,83912	8,858
-2	116	64	69,02928	5,02928	9,030
0	117	64	69,62436	5,62436	9,550
2	116	64	69,02928	5,02928	9,030
4	114	63	67,83912	4,83912	8,858
6	113	63	67,24404	4,24404	8,295
8	110	62	65,4588	3,4588	7,489
10	108	62	64,26864	2,26864	6,065
12	106	61	63,07848	2,07848	5,805
14	105	61	62,4834	1,4834	4,904
16	102	60	60,69816	0,69816	3,365
18	102	60	60,69816	0,69816	3,365
20	100	59	59,508	0,508	2,870
22	99	58,5	58,91292	0,41292	2,587
24	99	58,5	58,91292	0,41292	2,587
26	98	58	58,31784	0,31784	2,270
28	97	58	57,72276	-0,27724	#####
30	97	58	57,72276	-0,27724	#####
32	97	58	57,72276	-0,27724	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	53- 0.5Umf	Yc	8,2	Débit	0,005
Hauteur	3,6	Um	39,95202	Flux Mvt	0,046
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-18	135	86	80,3358	-5,6642	#####
-16	144	86	85,69152	-0,30848	#####
-14	159	94	94,61772	0,61772	3,165
-12	164	93	97,59312	4,59312	8,630
-10	175	92	104,139	12,139	14,029
-8	206	98	122,58648	24,58648	19,966
-6	246	104	146,38968	42,38968	26,217
-4	279	102	166,02732	64,02732	32,220
-2	321	106	191,02068	85,02068	37,128
0	357	114	212,44356	98,44356	39,952
2	331	112	196,97148	84,97148	37,118
4	292	110	173,76336	63,76336	32,154
6	253	108	150,55524	42,55524	26,268
8	220	106	130,9176	24,9176	20,100
10	195	104	116,0406	12,0406	13,972
12	177	101	105,32916	4,32916	8,378
14	165	97	98,1882	1,1882	4,389
16	152	90	90,45216	0,45216	2,708
18	150	89	89,262	0,262	2,061
20	141	86	83,90628	-2,09372	#####
22	140	86	83,3112	-2,6888	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	53-0.5Umf	Yc	9,7	Débit	0,006
Hauteur	7,2	Um	24,991043	Flux Mvt	0,081
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-22	51	35	30,34908	-4,65092	#####
-20	57	35	33,91956	-1,08044	#####
-18	59	35	35,10972	0,10972	1,334
-16	60	35	35,7048	0,7048	3,380
-14	65	37	38,6802	1,6802	5,219
-12	81	45	48,20148	3,20148	7,205
-10	101	53	60,10308	7,10308	10,732
-8	117	57	69,62436	12,62436	14,307
-6	138	63	82,12104	19,12104	17,608
-4	155	65	92,2374	27,2374	21,015
-2	168	66	99,97344	33,97344	23,470
0	179	68	106,51932	38,51932	24,991
2	165	64	98,1882	34,1882	23,544
4	146	60	86,88168	26,88168	20,877
6	129	57	76,76532	19,76532	17,902
8	119	58	70,81452	12,81452	14,414
10	101	53	60,10308	7,10308	10,732
12	79	43	47,01132	4,01132	8,065
14	67	39	39,87036	0,87036	3,757
16	60	35	35,7048	0,7048	3,380
18	59	35	35,10972	0,10972	1,334
20	58	35	34,51464	-0,48536	#####
22	58	35	34,51464	-0,48536	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 0,5Umf

Vitesse	53-0.5Umf	Yc	13,9	Débit	0,009
Hauteur	10,8	Um	12,083124	Flux Mvt	0,059
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-32	97	58	57,72276	-0,27724	#####
-30	97	58	57,72276	-0,27724	#####
-28	98	58	58,31784	0,31784	2,2701229
-26	98	58	58,31784	0,31784	2,2701229
-24	99	58	58,91292	0,91292	3,8473478
-22	100	59	59,508	0,508	2,8699672
-20	100	59	59,508	0,508	2,8699672
-18	102	60	60,69816	0,69816	3,3645158
-16	105	61	62,4834	1,4834	4,9042683
-14	106	61	63,07848	2,07848	5,805211
-12	108	61	64,26864	3,26864	7,2799539
-10	111	62	66,05388	4,05388	8,10738
-8	113	62	67,24404	5,24404	9,2210013
-6	115	62	68,4342	6,4342	10,213918
-4	118	63	70,21944	7,21944	10,819242
-2	120	63	71,4096	8,4096	11,67704
0	121	63	72,00468	9,00468	12,083124
2	120	63	71,4096	8,4096	11,67704
4	118	63	70,21944	7,21944	10,819242
6	115	62	68,4342	6,4342	10,213918
8	113	62	67,24404	5,24404	9,2210013
10	111	62	66,05388	4,05388	8,10738
12	108	61	64,26864	3,26864	7,2799539
14	106	61	63,07848	2,07848	5,805211
16	103	60	61,29324	1,29324	4,5791477
18	102	60	60,69816	0,69816	3,3645158
20	100	59	59,508	0,508	2,8699672
22	100	59	59,508	0,508	2,8699672
24	98	58	58,31784	0,31784	2,2701229
26	98	58	58,31784	-0,31784	2,2701229
28	98	58	58,31784	0,31784	2,2701229
30	97	58	57,72276	-0,27724	#####
32	97	58	57,72276	-0,27724	#####



Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	53-Umf	Yc	10,3	Débit	0,0092
Hauteur	7,2	Um	24,963416	Flux Mvt	0,1312
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-28	87	52	51,77196	-0,22804	#####
-26	87	52	51,77196	-0,22804	#####
-24	87	52	51,77196	-0,22804	#####
-22	87	52	51,77196	-0,22804	#####
-20	90	53	53,5572	0,5572	3,006
-18	90	53	53,5572	0,5572	3,006
-16	91	52	54,15228	2,15228	5,907
-14	95	52	56,5326	4,5326	8,573
-12	96	49	57,12768	8,12768	11,480
-10	96	45	57,12768	12,12768	14,023
-8	96	40	57,12768	17,12768	16,665
-6	105	39	62,4834	23,4834	19,513
-4	110	36	65,4588	29,4588	21,855
-2	110	30	65,4588	35,4588	23,978
0	115	30	68,4342	38,4342	24,963
2	110	30	65,4588	35,4588	23,978
4	101	31	60,10308	29,10308	21,723
6	98	35	58,31784	23,31784	19,444
8	94	39	55,93752	16,93752	16,572
10	91	42	54,15228	12,15228	14,037
12	89	45	52,96212	7,96212	11,362
14	88	48	52,36704	4,36704	8,415
16	87	50	51,77196	1,77196	5,360
18	86	50	51,17688	1,17688	4,368
20	86	51	51,17688	0,17688	1,693
22	86	52	51,17688	-0,82312	#####
24	86	52	51,17688	-0,82312	#####
26	86	52	51,17688	-0,82312	#####
28	86	52	51,17688	-0,82312	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation Umf

Vitesse	53-Umf	Yc	14,1	Débit	0,0089
Hauteur	10,8	Um	11,930474	Flux Mvt	0,0585
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-30	23	14	13,68684	-0,31316	#####
-28	24	14	14,28192	0,28192	2,138
-26	24	14	14,28192	0,28192	2,138
-24	24	14	14,28192	0,28192	2,138
-22	26	15	15,47208	0,47208	2,767
-20	26	15	15,47208	0,47208	2,767
-18	27	15	16,06716	1,06716	4,160
-16	28	15	16,66224	1,66224	5,191
-14	29	15	17,25732	2,25732	6,050
-12	30	15	17,8524	2,8524	6,801
-10	32	15	19,04256	4,04256	8,096
-8	34	15	20,23272	5,23272	9,211
-6	37	16	22,01796	6,01796	9,878
-4	41	17	24,39828	7,39828	10,952
-2	44	18	26,18352	8,18352	11,519
0	45	18	26,7786	8,7786	11,930
2	43	17	25,58844	8,58844	11,801
4	39	16	23,20812	7,20812	10,811
6	34	14	20,23272	6,23272	10,053
8	34	15	20,23272	5,23272	9,211
10	32	15	19,04256	4,04256	8,096
12	29	14	17,25732	3,25732	7,267
14	29	15	17,25732	2,25732	6,050
16	28	15	16,66224	1,66224	5,191
18	27	15	16,06716	1,06716	4,160
20	24	14	14,28192	0,28192	2,138
22	26	15	15,47208	0,47208	2,767
24	25	14	14,877	0,877	3,771
26	24	14	14,28192	0,28192	2,138
28	23	14	13,68684	-0,31316	#####
30	23	14	13,68684	-0,31316	#####

Jet en milieu particulaire  
 Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

<i>Vitesse</i>	<i>53-1.3Umf</i>	<i>Yc</i>	<i>8,03</i>	<i>Débit</i>	<i>0,009</i>
<i>Hauteur</i>	<i>3,6</i>	<i>Um</i>	<i>40,057657</i>	<i>Flux Mvt</i>	<i>0,205</i>
<i>Y</i>	<i>H tot</i>	<i>Hstat</i>	<i>Htot mmCE</i>	<i>Hdyn</i>	<i>Vitesse</i>
0	373	123	221,96484	98,96484	40,058
2	351	122	208,87308	86,87308	37,531
4	317	120	188,64036	68,64036	33,361
6	278	116	165,43224	49,43224	28,311
8	244	113	145,19952	32,19952	22,849
10	213	108	126,75204	18,75204	17,437
12	187	102	111,27996	9,27996	12,266
14	168	96	99,97344	3,97344	8,027
16	166	98	98,78328	0,78328	3,564
18	165	98	98,1882	0,1882	-1,747
20	164	98	97,59312	-0,40688	#####
22	162	97	96,40296	-0,59704	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	53-1.3Umf	Yc	9,8	Débit	0,008
Hauteur	7,2	Um	24,78116	Flux Mvt	0,121
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-26	115	69	68,4342	-0,5658	#####
-24	115	69	68,4342	-0,5658	#####
-22	115	69	68,4342	-0,5658	#####
-20	116	69	69,02928	0,02928	0,689
-18	116	69	69,02928	0,02928	0,689
-16	117	69	69,62436	0,62436	3,182
-14	124	70	73,78992	3,78992	7,839
-12	131	70	77,95548	7,95548	11,357
-10	139	71	82,71612	11,71612	13,783
-8	148	71	88,07184	17,07184	16,637
-6	158	71	94,02264	23,02264	19,321
-4	170	72	101,1636	29,1636	21,745
-2	180	72	107,1144	35,1144	23,861
0	188	74	111,87504	37,87504	24,781
2	179	72	106,51932	34,51932	23,658
4	170	72	101,1636	29,1636	21,745
6	160	72	95,2128	23,2128	19,400
8	146	70	86,88168	16,88168	16,544
10	134	68	79,74072	11,74072	13,797
12	124	66	73,78992	7,78992	11,239
14	117	65	69,62436	4,62436	8,659
16	110	65	65,4588	0,4588	2,727
18	110	65	65,4588	0,4588	2,727
20	110	65	65,4588	0,4588	2,727
22	108	65	64,26864	-0,73136	#####
24	108	65	64,26864	-0,73136	#####
26	108	65	64,26864	-0,73136	#####

Jet en milieu particulaire  
Vitesse du jet 53,2m/s vitesse de fluidisation 1,3Umf

Vitesse	53-1.3Umf	Yc	14,1	Débit	0,009
Hauteur	10,8	Um	12,099618	Flux Mvt	0,064
Y	H tot	Hstat	Htot mmCE	Hdyn	Vitesse
-36	100	60	59,508	-0,492	#####
-34	100	60	59,508	-0,492	#####
-32	100	60	59,508	-0,492	#####
-30	101	60	60,10308	0,10308	1,2928028
-28	101	60	60,10308	0,10308	1,2928028
-26	101	60	60,10308	0,10308	1,2928028
-24	101	60	60,10308	0,10308	1,2928028
-22	102	60	60,69816	0,69816	3,3645158
-20	102	60	60,69816	0,69816	3,3645158
-18	103	60	61,29324	1,29324	4,5791477
-16	104	60	61,88832	1,88832	5,533283
-14	105	60	62,4834	2,4834	6,3455376
-12	107	60	63,67356	3,67356	7,7177135
-10	108	60	64,26864	4,26864	8,3193587
-8	110	60	65,4588	5,4588	9,4079213
-6	112	60	66,64896	6,64896	10,382978
-4	114	60	67,83912	7,83912	11,274018
-2	115	60	68,4342	8,4342	11,694106
0	116	60	69,02928	9,02928	12,100
2	115	60	68,4342	8,4342	11,694
4	114	60	67,83912	7,83912	11,274
6	112	60	66,64896	6,64896	10,383
8	110	60	65,4588	5,4588	9,408
10	108	60	64,26864	4,26864	8,319
12	107	60	63,67356	3,67356	7,718
14	105	60	62,4834	2,4834	6,346
16	104	60	61,88832	1,88832	5,533
18	103	60	61,29324	1,29324	4,579
20	102	60	60,69816	0,69816	3,365
22	102	60	60,69816	0,69816	3,365
24	101	60	60,10308	0,10308	1,293
26	101	60	60,10308	0,10308	1,293
28	101	60	60,10308	0,10308	1,293
30	101	60	60,10308	0,10308	1,293
32	100	60	59,508	-0,492	#####
34	100	60	59,508	-0,492	#####
36	100	60	59,508	-0,492	#####