

Analyse d'une expérience de détente de gaz parfait

13th January 2010

Hervé Lemonnier, DTN/SE2T, CEA/Grenoble, 38054 Grenoble cedex 9, France

Phone: +33 (0)4 38 78 45 40, Fax: +33 (0)4 38 78 50 45, E-Mail: *herve.lemonnier@cea.fr*

1 Analyse d'une expérience d'écoulement monophasique

En préambule à ce problème, on montre comment sont établies les équations du modèle monophasique monodimensionnel. On en présente naturellement les principales hypothèses.

1.1 Présentation du problème

L'expérience Fossegrim, dont la section d'essais est représentée la figure 1, a pour objectif d'étudier les écoulements monophasiques et diphasiques à grande vitesse. On propose d'analyser une expérience en écoulement monophasique de gaz pour répondre aux questions suivantes.

- Le modèle 1D est-il adapté à l'analyse de l'expérience ?
- Peut-on négliger l'effet du frottement dans la section convergente de la tuyère ?
- Peut-on vérifier si la modélisation du frottement par un modèle monophasique établi correspond à la réalité ? Dans le cas contraire, peut-on extraire cette information de l'expérience ?

1.2 Thermodynamique simplifiée

On considérera que l'air s'écoulant dans la tuyère est un gaz parfait, caloriquement parfait, ce qui signifie que sa capacité thermique massique à pression constante est une constante.

$$C_P = 1006 \text{ J/kg/K}, \quad R = 287,04 \text{ J/kg/K} \quad (1)$$

où R est la constante des gaz parfaits pour l'air. Dans ces conditions, on montre que l'on peut considérer les trois relations suivantes pour décrire la thermodynamique du gaz,

$$h = C_p(T - T_1) \quad (2)$$

$$s = C_p \ln \frac{T}{T_1} - R \ln \frac{p}{p_1} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (4)$$

où on rappelle que les températures absolues T et T_1 sont exprimées en K. p_1 et T_1 sont respectivement la pression et la température absolue de l'expérience dans la section d'entrée, notée 1, à la figure 1. On notera qu'avec ces équations d'état, l'enthalpie, h_1 , et l'entropie, s_1 , sont nulles dans la section d'entrée.

1.3 Données du problème

Le tableau 1 donne la position des prises de pression considérées dans l'exercice, le diamètre de la conduite au droit des prises et les valeurs de la pression mesurée. Le débit masse, M , traversant le dispositif et la température, T_1 , mesurée à l'entrée sont les suivants,

$$M = 363,938 \text{ kg/h}, \quad T_1 = 22,1^\circ\text{C}. \quad (5)$$

On donne également l'évolution des valeurs de la viscosité dynamique avec la température au tableau 2.

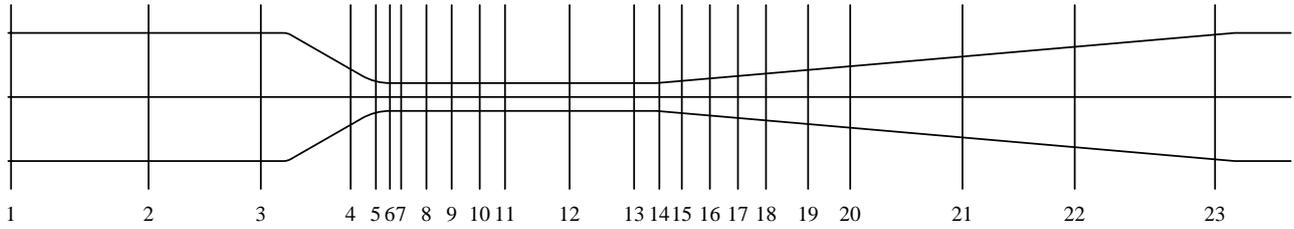


Figure 1: Description de la tuyère au col long de l'expérience Fossegim.

Repère	1	6	11	13
z (mm)	0	136	177	223
D (mm)	46	10	10	10
p (bar)	5.9672	4.1647	3.8018	3.2683

Table 1: Evolution de la pression le long de la section d'essais, pour les conditions (5). z est la position des prises de pression et D est le diamètre de la conduite au droit des prises.

T (K)	250	260	270	280	290
μ (μ Pa s)	16,07	16,58	17,08	17,57	18,06

Table 2: Evolution de la viscosité dynamique de l'air avec la température

1.4 Analyse de la mise en vitesse de l'écoulement, sections 1-6

Pour calculer l'écoulement dans le convergent, les trois équations de bilan sont nécessaires. Si on n'en considère que deux et en introduisant une information expérimentale, on peut vérifier si le dernier bilan est vérifié. Ce test de cohérence permet d'évaluer le bien-fondé du modèle et de ces hypothèses.

1.4.1 Vérification du bilan de masse

En considérant les bilans d'entropie et d'énergie totale et en négligeant le frottement, déterminer l'état de l'écoulement à l'entrée du convergent, section 6 : p_6 , ρ_6 , w_6 et T_6 . En déduire la valeur du débit M_6 . Le comparer à la valeur expérimentale M . Que concluez-vous sur la validité des hypothèses ?

1.4.2 Vérification du bilan d'énergie

On considère maintenant les bilans de masse et d'entropie. On néglige toujours le frottement dans le convergent. Déterminer l'état de l'écoulement à l'entrée du convergent, section 6 : p_6 , ρ_6 , w_6 et T_6 . Vérifier le bilan d'énergie totale. Que concluez-vous ?

1.4.3 Analyse cohérente du convergent

Comme les bilans ne sont pas parfaitement bouclés, on reprend l'analyse dans le convergent en choisissant les équations qui ne font pas intervenir l'hypothèse de frottement négligeable, soit le bilan de masse et le bilan d'énergie. Montrer que l'on peut à l'aide de la pression p_6 calculer entièrement l'état dans la section 6 sans faire l'hypothèse de frottement négligeable. Comparer la température T_6 obtenue ici avec celles des sections précédentes. Qu'en concluez-vous ?

1.5 Analyse de l'écoulement dans le col, sections 6-11-13

Montrer que lorsque l'on considère une conduite à section constante, et un écoulement permanent adiabatique, les bilans de masse de quantité de mouvement et d'énergie, peuvent se simplifier notablement, et s'intègrent analytiquement.

Ces équations possèdent un terme qu'il faut modéliser. En considérant les trois bilans et une information expérimentale, on peut le déterminer.

Considérez le bilan de masse et d'énergie totale. Montrer que connaissant l'état à la section 6, l'état à la section 11, p_{11} , ρ_{11} , T_{11} , w_{11} peut être entièrement déterminé.

Répéter le raisonnement entre les sections 11 et 13.

Monter que le bilan de quantité de mouvement, qui n'a pas encore été utilisé, peut s'intégrer entre les sections 6 et 11. On introduira τ_w le frottement moyen entre ces deux sections,

$$\tau_w = \frac{1}{2} f \rho w^2 \quad (6)$$

En considérant que ρ et w dans cette expression peuvent être approchées par leur moyennes sur chaque tronçon, déterminer la valeur du coefficient de frottement moyen, f , entre les sections 6-11 et 11-13.

1.6 Analyse par le bilan d'entropie

Considérez maintenant le bilan d'entropie au lieu du bilan de quantité de mouvement. Quel avantage a-t-on à utiliser cette équation dans la tuyère ?

Calculer la variation d'entropie entre chaque sections. En déduire le frottement moyen dans le convergent et la longueur équivalente de frottement du convergent. Cette dernière grandeur, L , est définie par,

$$\Delta s = \frac{2L}{D} \frac{\tau_w}{\rho T}, \quad f \approx 4 \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

et τ_w est le frottement évalué avec les paramètres du col (section 6).

Déduire des variations d'entropie dans le col la valeur expérimentale du coefficient de frottement. Que remarquez-vous ?

1.7 Conclusions

Considérez le diagramme de Moody reproduit à la figure 2. Comparer les valeurs du coefficient de frottement obtenus dans l'expérience avec ceux déterminés expérimentalement en écoulement permanent et établi. Conclure sur les questions posées à la section 1.1.

1.8 Question Bonus

Que vous font penser les niveaux de vitesse atteinte dans le col de la tuyère. Quel phénomène important la tuyère est-elle le siège ?

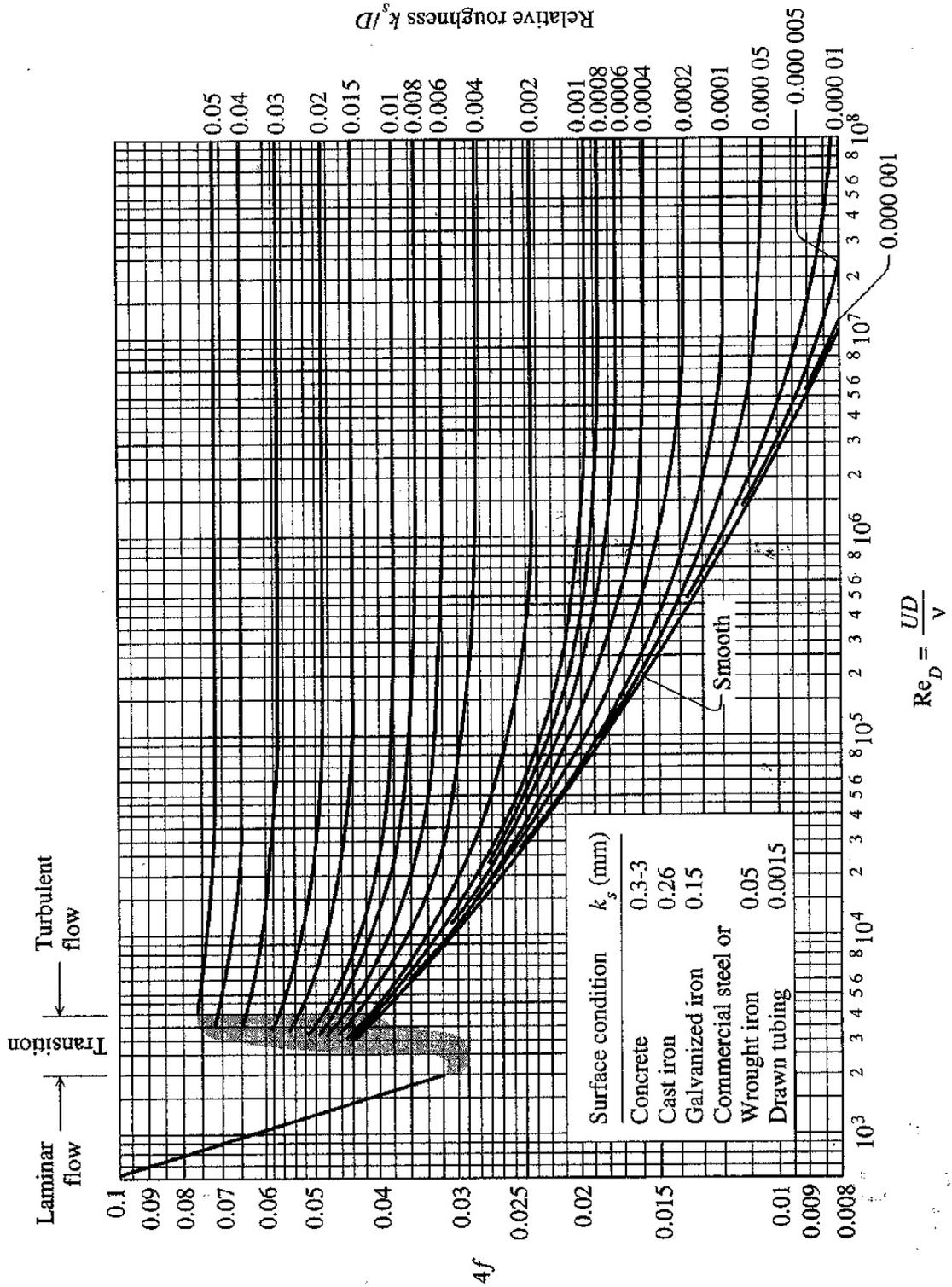


Figure 2: Evolution du coefficient de perte de pression régulier pour une conduite rectiligne.