

## MEF03 - MFC: Cours de Mécanique des Fluides Compressibles

Jean-Camille Chassaing, Sorbonne Université (v1.6, Janv. 2021)

<http://www.dalembert.upmc.fr/home/chassaing>

Out[51]: [Click here to toggle on/off the raw code.](#)

## Chap. II - 5.2 Tracé des régimes isentropiques dans une tuyère de Laval

### Cadre de l'étude

La mise en donnée du problème est basée sur la connaissance des informations suivantes :

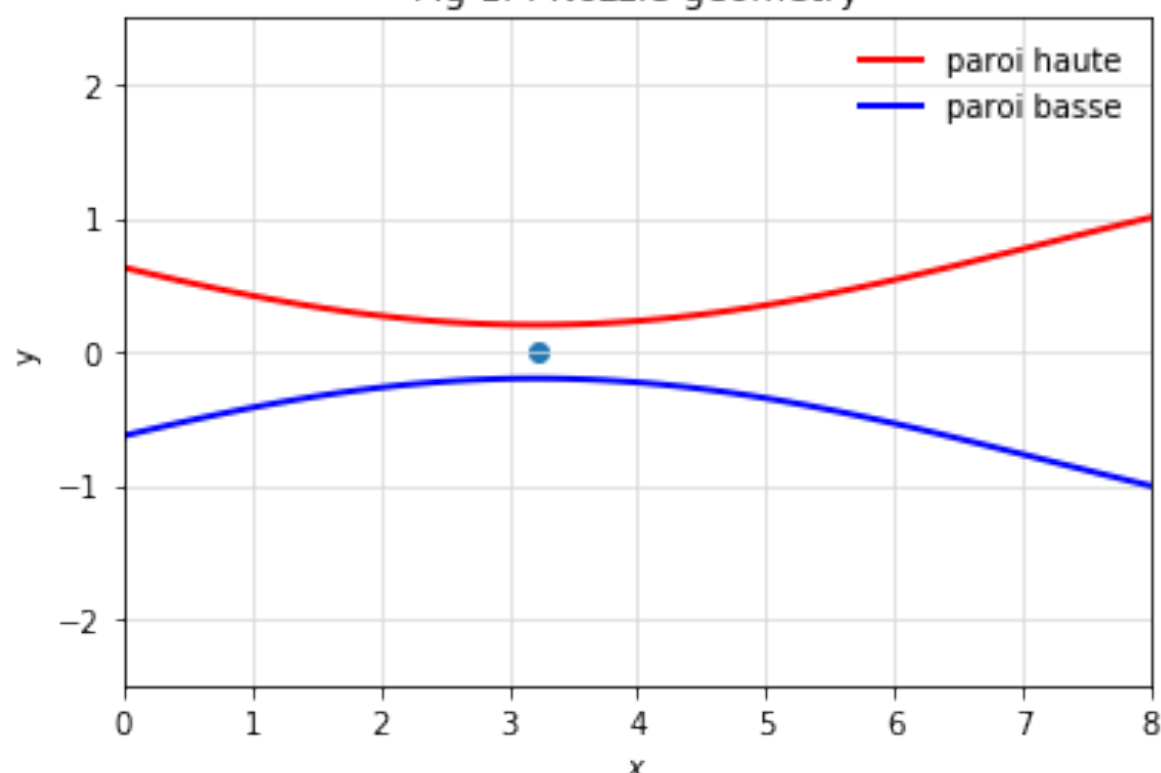
- géométrie de la tuyère  $A(x)$
- nature du gaz :  $\gamma$ ,  $r$ ,  $c_p$ ,  $c_v$
- conditions génératrices  $P_{t0}$  et  $T_{t0}$
- donnée du débit massique de fonctionnement  $\dot{m}$

Les régimes d'écoulement isentropiques détaillés ci-après sont obtenus dans le cadre des énoncées en début de chapitre et obtenus par résolution des équations précédentes.

### Géométrie et position du col

On considère une tuyère de Laval à section rectangulaire de  $8m$  de long et de  $0.4$  de large. La loi d'évolution de la paroi supérieure est donnée par :  $y(x) = 0.8 - 0.6 \cos(0.4x + 5)$

La figure 1. présente la géométrie de la tuyère ainsi que la position du col.



```
A_throat = 0.16 m^2
Throat_index = 40
x_throat = 3.23 m
```

### Conditions de fonctionnement

Les simulations suivantes seront effectuées en utilisant les grandeurs génératrices suivantes :

```
Pt0 = 1500000.00
Tt0 = 580.00
Rt0 = 9.01
```

### Calcul du débit massique maximal

Compte-tenu des données du problème, l'application des relations du cours permettent de calculer directement le débit maximal que peut réaliser cette tuyère :

```
Maximum mass flow rate : m_dot_MAX = 402.85 kg/m3
```

### Calcul du champ de l'écoulement dans toute la tuyère

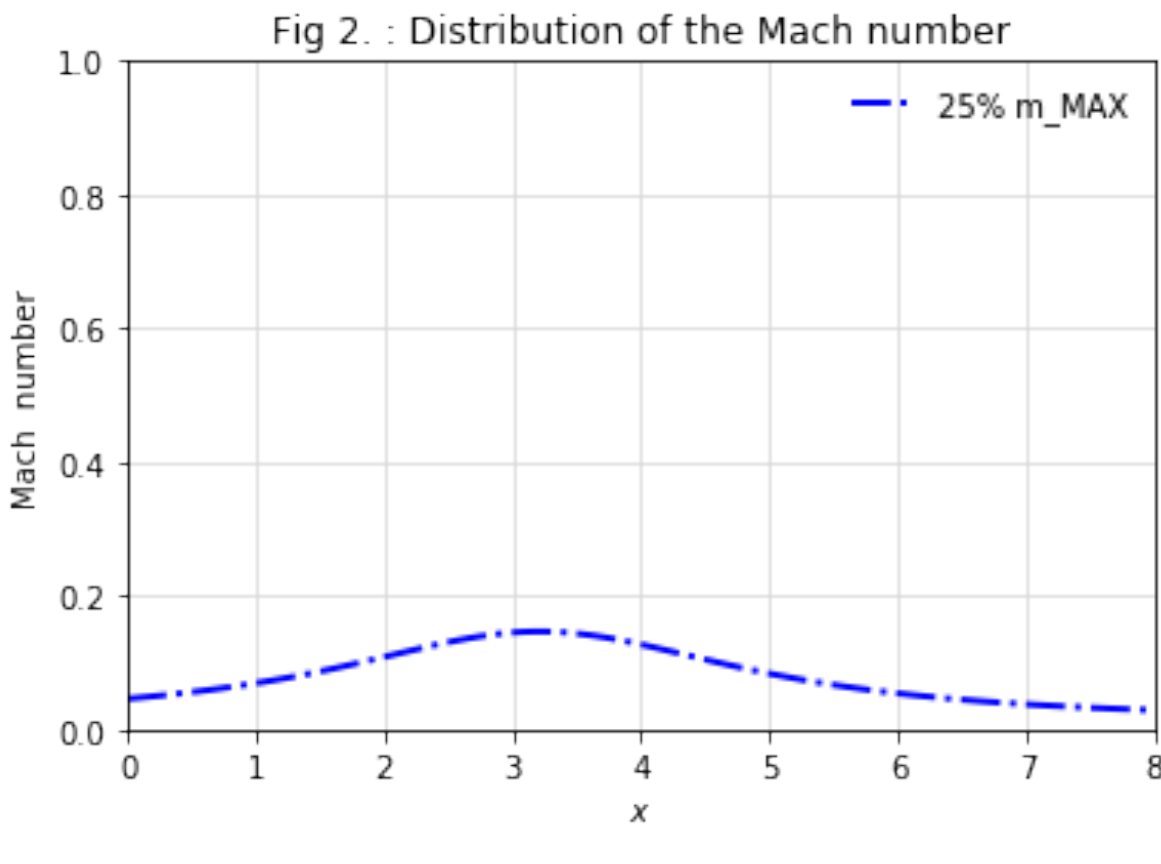
Commençons par nous fixer une valeur de débit cible soit par exemple 25% de  $\dot{m}_{max}$ .

```
Current mass flow rate : m_dot = 100.71 kg/m3
```

*Remarque:* Dans le cas d'une soufflerie expérimentale, un système de vannage situé en amont du compresseur permet d'ajuster la pression statique en sortie de divergent  $P_e$  afin d'obtenir de débit massique souhaité.

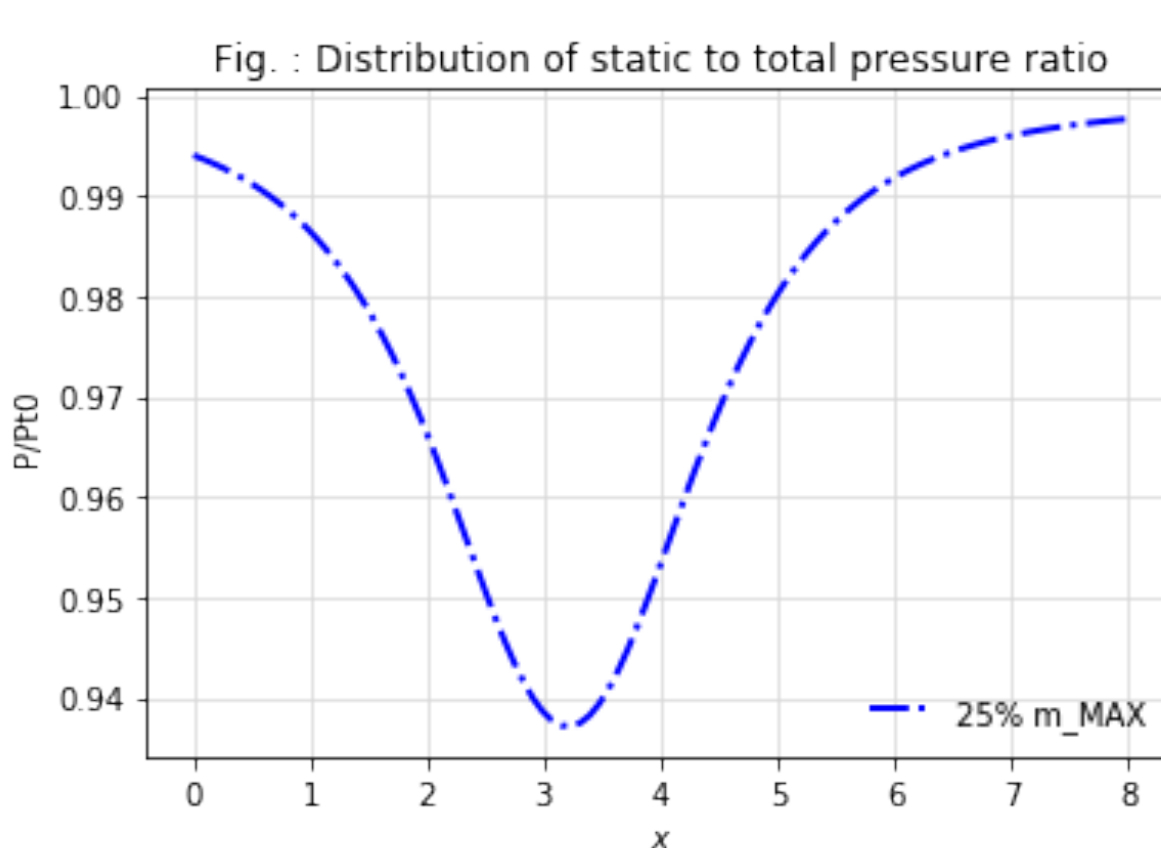
Changer la valeur de  $P_e$  (ou de manière analogue de  $P_e/P_{t0}$ ) permet donc d'obtenir différentes régimes d'écoulements dans la tuyère.

La figure suivante présente l'évolution du nombre de Mach dans toute la tuyère. Pour cela, la relation fondamentale du débit massique est résolue pour une centaine de valeur de la section de passage  $A(x)$ .



On observe que le nombre de Mach augmente dans le convergent puis diminue dans le divergent. Dans le cas présent, l'écoulement peut être considéré comme incompressible et la tuyère fonctionne comme un tube de Venturi.

Connaissant la distribution  $M(x)$ , il est alors très facile d'en déduire l'évolution de la pression statique dans la tuyère:



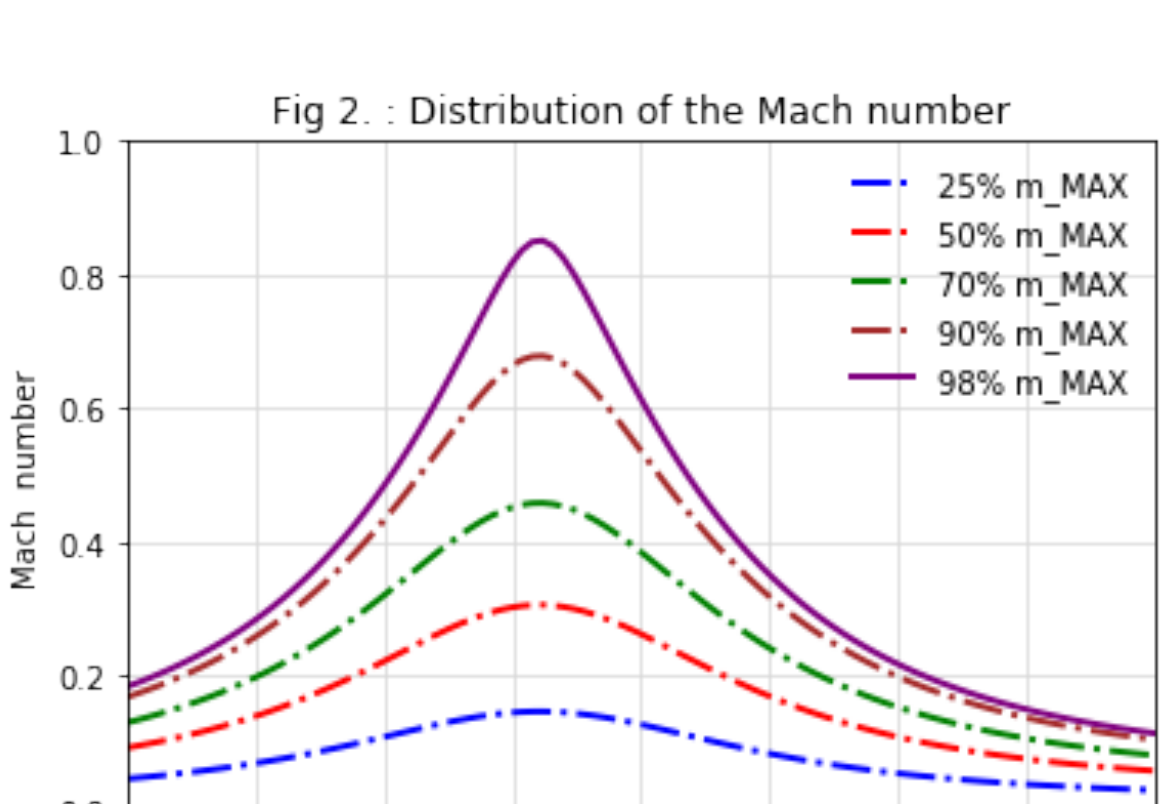
```
m_dot = 100.71 kg/m3
M_exit = 0.06
P_e/Pt0 = 0.99767 [Pa]
```

On constate que ce résultat est bien cohérent avec les relations des différentielles logarithmiques avec une diminution de la pression statique dans le convergent et une augmentation dans le divergent.

On remarque également que le rapport  $P_e/P_{t0}$  en sortie de tuyère est très proche de 1 (cas que la dépression est très faible).

### Diminution de $P_e$

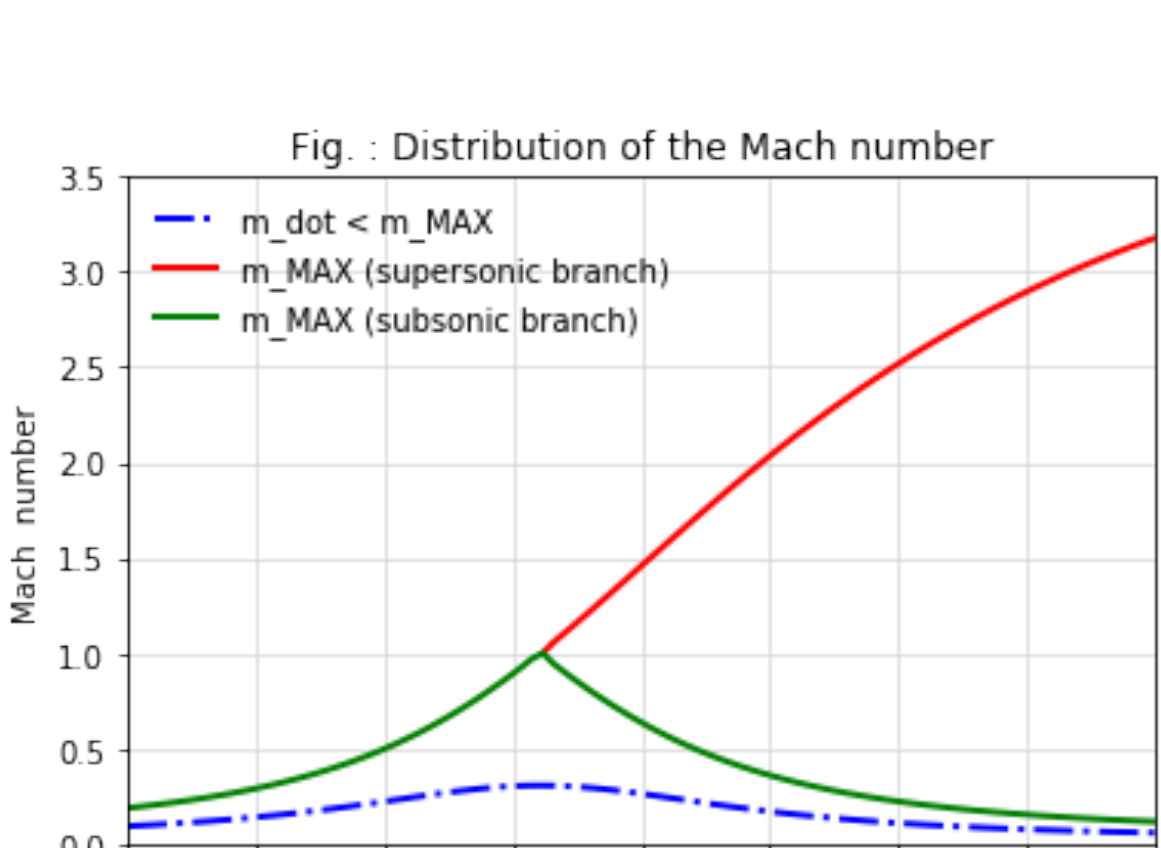
Répetons maintenant les simulations en diminuant la pression statique de sortie afin d'obtenir les valeurs de débit massique suivantes: 50%, 70%, 90% et 98% de  $\dot{m}_{max}$  :



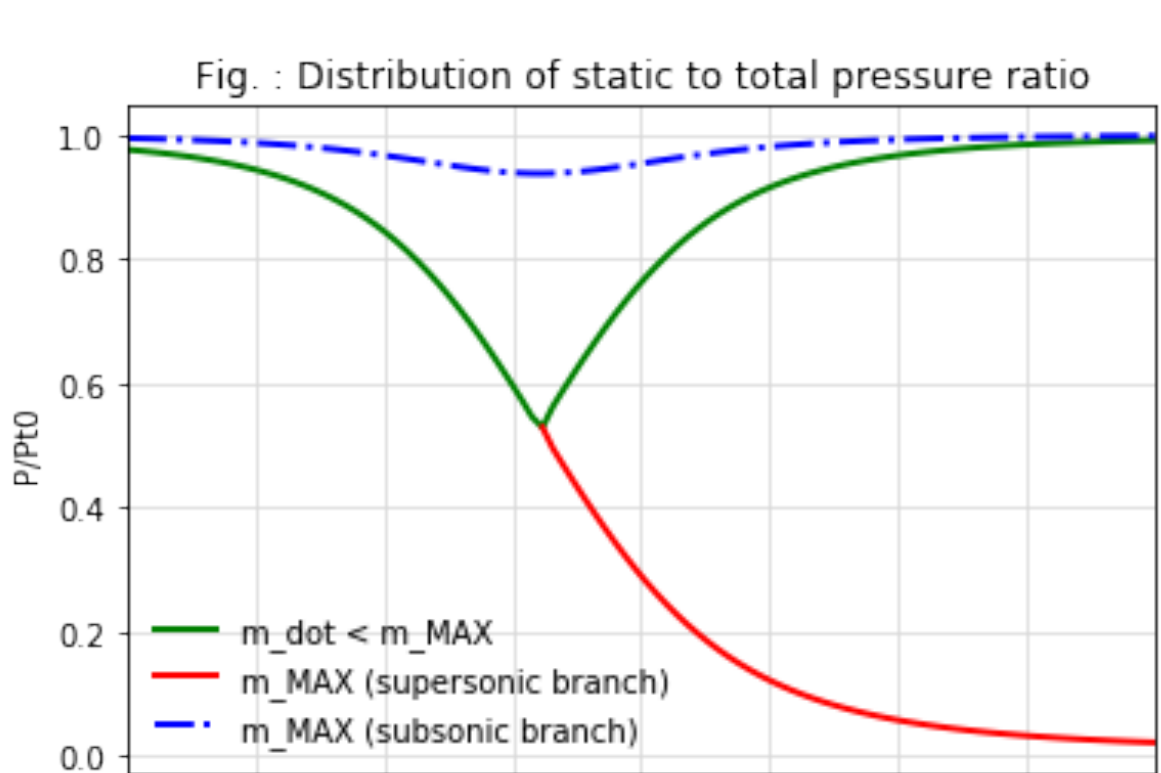
```
25per : P_e/Pt0= 0.99942
50per : P_e/Pt0= 0.99767
70per : P_e/Pt0= 0.99541
90per : P_e/Pt0= 0.99239
98per : P_e/Pt0= 0.99097
```

*Remarque* La valeur du Mach au col ne varie pas linéairement en fonction du débit. Que se passe-t-il pour  $\dot{m} = \dot{m}_{max}$  ?

### Calcul pour le débit massique maximal



Out[69]: (0, 8)



```
m_max = 402.85 kg/m3
```

```
subsonic branch:
M_exit = 0.12
P_exit = 0.9906
```

```
supersonic branch:
M_exit = 3.18
P_exit = 0.0209
```

### Conclusion de l'étude :

- En faisant varier le débit massique nous venons de mettre en évidence les différents régimes d'écoulement **isentropiques** dans une tuyère de Laval.
- Différent, que se passe-t-il lorsque les valeurs de pression en sortie de la tuyère  $P_e$  sont différentes de celles obtenues ici ???**
- Par ailleurs, **que se passe-t-il en sortie de tuyère lorsque cette dernière débouche dans le milieu ambiant ?**

Réponses:

- cf Chap 2 section 5.3 pour les explications physiques
- cf Chap 3 et 4 pour la théorie...

**Fin de ce notebook**