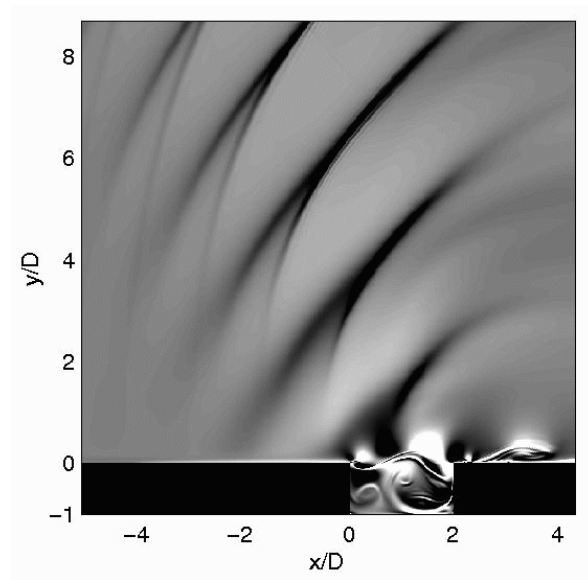


## TD 2 : Simulation Aéroacoustique Directe du Bruit de Cavité

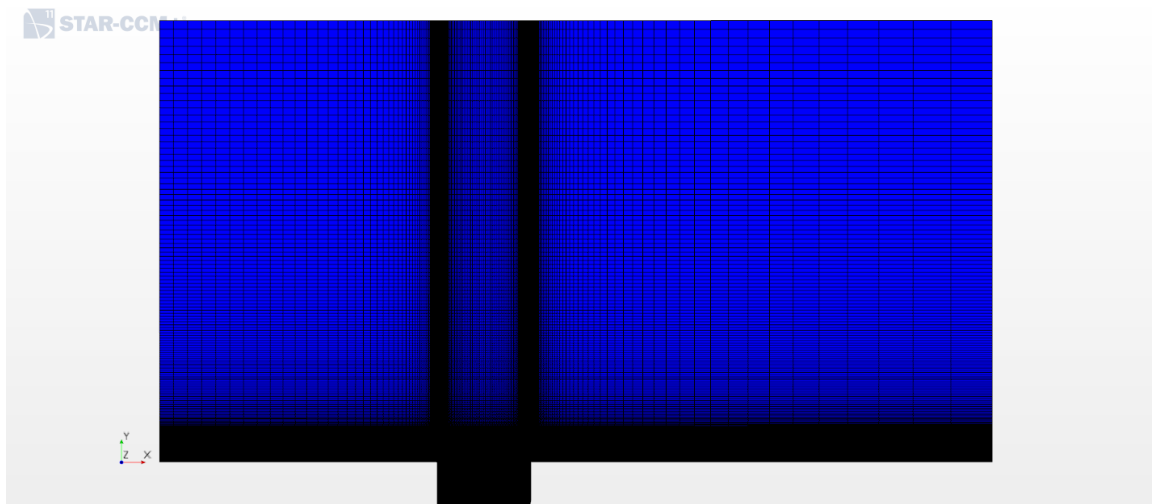
### 1. Introduction

L'objectif de ce second TD est d'analyser les résultats d'une simulation aéroacoustique du bruit de cavité à Mach 0.7 pour  $L/D = 2$ , avec  $L$  la longueur de la cavité, et  $D$  sa profondeur. Il s'agit d'un cas 2D, sa largeur est infinie. Ce cas est donc représentatif de cavités que l'on trouve, par exemple, entre les ailes et les volets d'un avion, lorsque ces derniers sont rentrés.

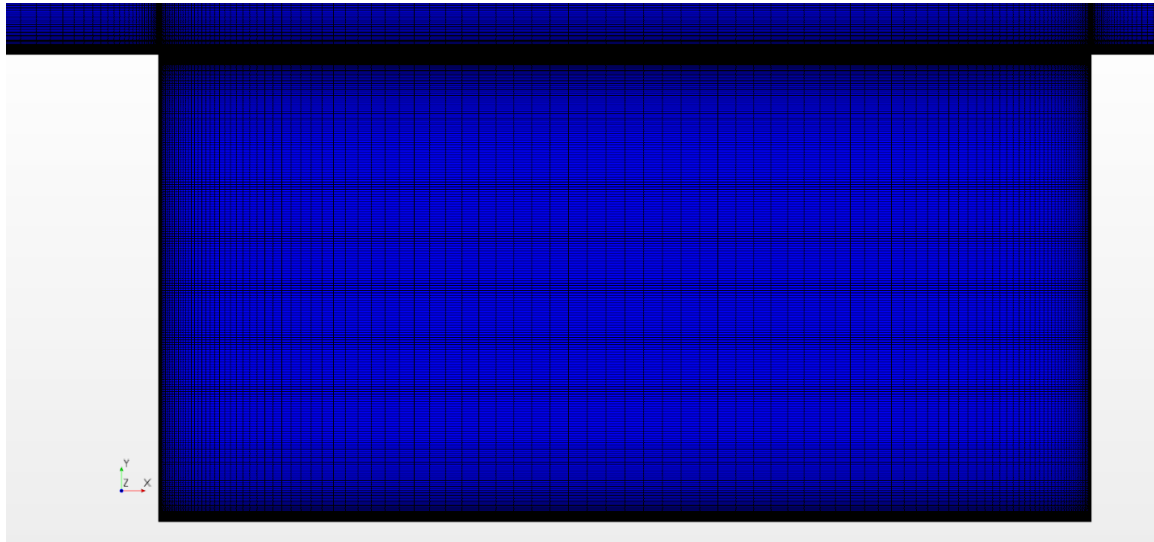


Images Schlieren correspondant aux gradients de densité ; expériences de Karamcheti [1] et DNS de Gloerfelt [2]

Le logiciel Star CCM+ a été utilisé pour réaliser une Simulation Numérique Directe (DNS) des équations de Navier et Stokes compressibles. Elle a permis de calculer à la fois l'écoulement, la source des ondes acoustiques et leur propagation. On peut observer ci-dessous le domaine de calcul avec son maillage qui est bien plus fin dans la cavité.



*Maillage du domaine de calcul*



*Maillage à l'intérieur de la cavité*

Lors du premier TD, les ondes acoustiques étaient propagées par le modèle de Ffowcs Williams-Hawkings (FW-H), car le maillage grossier et l'utilisation du schéma implicite de discrétisation temporelle dissipaient les ondes acoustiques.

Cependant, le bruit de cavité a pour l'origine l'interaction entre les ondes acoustiques et l'écoulement. Or le modèle FW-H, s'il propage bien ces ondes, n'est pas capable de simuler leur influence sur l'écoulement. Nous sommes donc obligés de réaliser une simulation aéroacoustique directe pour ce cas. Il est alors nécessaire d'utiliser un maillage suffisamment fin et un schéma explicite pour la discrétisation temporelle. Ce qui augmente considérablement le temps de calcul.

## 2. Analyse des résultats

Pour lancer Star CCM+ (sous Linux), il suffit de taper les deux commandes suivantes dans le terminal :

```
module load starccm/12.04  
starccm
```

Une fois le Star CCM+ ouvert, charger la simulation :

```
File -> Load Simulation  
Charger la simulation en série  
Process options = Serial  
File = Cavity_M07_DNS_explicit.sim  
Ok
```

Commençons par afficher le champs de vitesse à partir d'une « Scalar Scene » :

```
Aller dans « Scenes » -> double clic sur « Scalar Scene Velocity »  
Regarder également la vidéo « Velocity.mpeg »
```

### Questions :

- Qu'observe t'on dans la partie supérieure de la cavité ?
- Quel phénomène amplifie l'intensité de ces sources acoustiques ?

Affichons également le champs de densité à partir d'une « Scalar Scene » :

```
Aller dans « Scenes » -> double clic sur « Scalar Scene Density »  
Observer également la vidéo « Density.mpeg »
```

### Questions :

- Qu'observe t'on ?
- Ecrire la formule de la fréquence du bruit de cavité en prenant en compte un déphasage  $\alpha$  (modèle de Rossiter)

La formule écrite précédemment fait apparaître la vitesse dans la couche cisailée. Or il est difficile de connaître sa valeur. L'évolution temporelle de la vitesse a donc été monitorée en deux points dans cette partie de la cavité.

```
Aller dans « Plots » et double cliquer sur « Probes Velocity Plot »
```

On voit qu'il est difficile d'en extraire une vitesse de couche cisailée. On utilisera donc l'hypothèse du modèle de Rossiter qui consiste à prendre 57 % de la vitesse au loin ( $M = 0.7$ )

### Questions :

- Quelles sont les valeurs de  $n$  et  $\alpha$  ?
- Quelles fréquences trouve t'on alors avec le modèle de Rossiter ?

Déterminons maintenant la fréquence obtenue par notre simulation et le niveau de pression acoustique associé :

```
Aller dans « Plots » et double cliquer sur « Probe acoustics Monitor Plot »
```

L'évolution temporelle de la pression en un point situé au dessus de la cavité est maintenant tracée. Nous allons donc tracer le spectre sonore de ce signal :

```
En bas de l'arborescence, aller dans Tools -> clic droit sur Data Set Functions -> New -> Point Time  
Fourier Transform (G[p])
```

```
Clic droit sur G(p) 1 pour le renommer « Power Sound Level »
```

```
Toujours sur « Power Sound Level », dans les Properties, entrer les paramètres suivants :
```

```
Amplitude Function = Sound Pressure Level
```

```
Analysis Blocks = 1
```

Start Time =  $3e-4$  s  
Cut-off time =  $6e-4$  s  
Filter Type = None  
Frequency Function = Frequency  
Overlap Factor = 0.5  
Update Interval = 1  
Window Function = Hann

Dans ce « Power Sound Level », aller sur « Monitor » et clic droit -> New derived data from Monitor

Renommer ce Monitor tout juste créé « SPL » (clic droit et rename)

Dans les Properties, entrer les paramètres suivants :

Input Data 1 = Probe acoustics Monitor

Clic droit sur SPL et choisir Update Output

Maintenant que le spectre sonore est créé, nous allons l'afficher :

Dans l'arborescence, aller sur Plots puis clic droit -> New Plot -> Monitor Plot

Renommer Monitor Plot 1 qui vient d'être créé « SPL »

Aller sur Data Series et clic droit -> add data, choisir SPL dans Derived Parts

Nous avons maintenant notre spectre sonore.

### Question :

- Déterminer les fréquences calculées par notre simulation et les comparer aux valeurs calculées à partir du modèle de Rossiter ?

### 3. Corrigé

#### Questions :

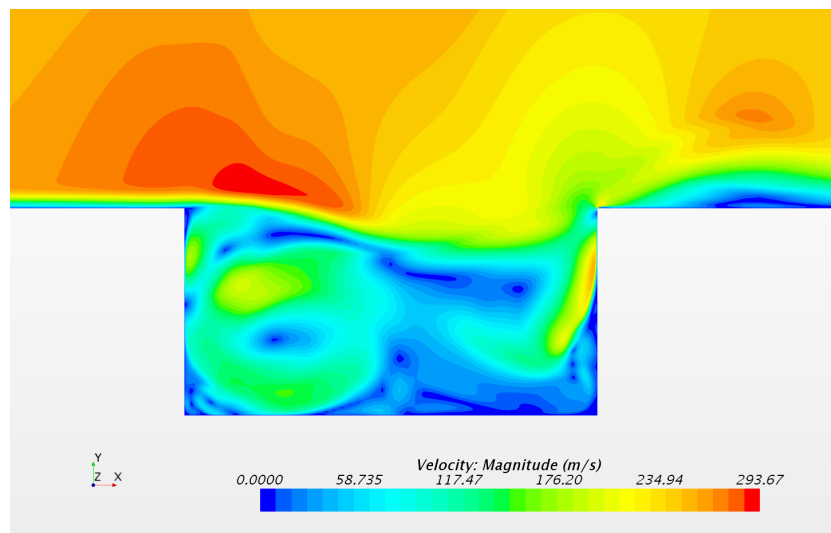
- Qu'observe t'on dans la partie supérieure de la cavité ?

Dans la partie supérieure de la cavité, on observe le développement d'une couche cisailée dont l'instabilité génère des structures tourbillonnaires venant impacter la paroi verticale avale de la cavité, et qui engendrent des ondes acoustiques.

- Quel phénomène amplifie l'intensité de ces sources acoustiques ?

L'instabilité de la couche cisailée est amplifiée par un phénomène de bouclage (rétroaction aéroacoustique), due à la remontée des ondes acoustiques dans la couche cisailée.

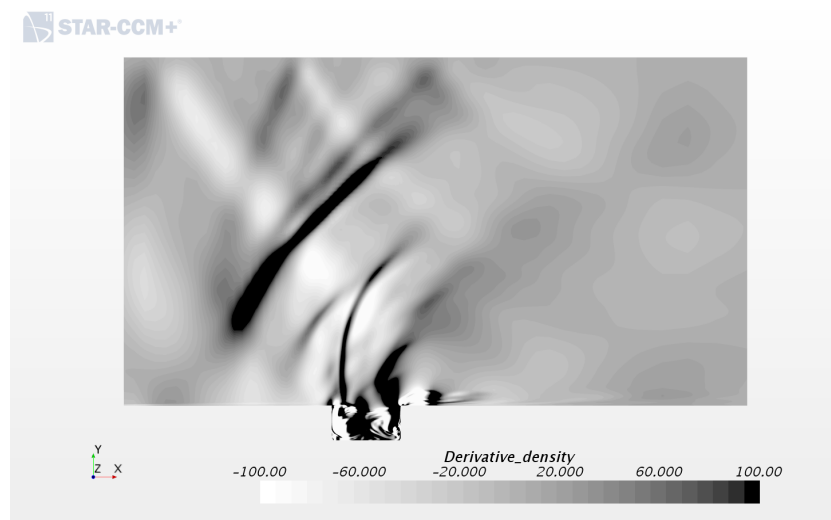
A noter que ce phénomène de bouclage n'aurait pas pu être considéré par le modèle de propagation acoustique Ffowcs Williams-Hawkins (FW-H), car il ne prend pas en compte l'influence des ondes acoustiques sur l'écoulement.



*Champs instantané de vitesse*

#### Questions :

- Qu'observe t'on ?



*Champs instantané du gradient transverse de densité*

On observe la propagation de fronts d'ondes depuis le coin aval de la cavité (où les structures tourbillonnaires viennent impacter la paroi) vers l'amont.

- Ecrire la formule de la fréquence du bruit de cavité en prenant en compte un déphasage alpha (modèle de Rossiter).

Le temps caractéristique de la boucle de rétroaction s'écrit :

$$T = \frac{L}{u_c} + \frac{L}{c_0 - u_c}$$

avec  $L$  la longueur de la cavité,  $u_c$  la vitesse de la couche cisailée et  $c_0$  la vitesse du son.

A noter que dans le cours sur les bruits de jet, ce temps était écrit :

$$T = \frac{L}{u_c} + \frac{L}{c_0}$$

car la vitesse  $u_c$  de la couche cisailée était négligée devant la vitesse du son  $c_0$ . Dans notre cas, la vitesse au loin étant  $M = 0.7$ , on ne peut plus négliger  $u_c$ .

La formule du bruit de cavité, d'après le modèle de Rossiter, s'écrit alors après simplification :

$$f = \frac{(n - \alpha)}{L} u_c (1 - M_c)$$

### Questions :

- Quelles sont les valeurs de  $n$  et  $\alpha$  ?

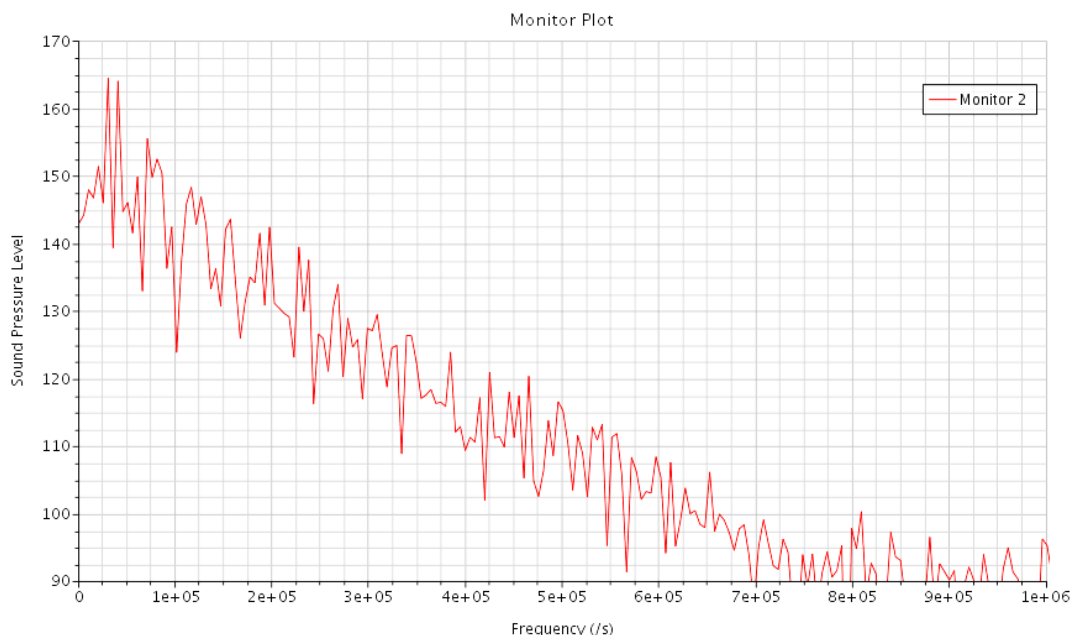
Sur la vidéo Velocity.mpeg aperçoit 1, 2 ou même 3 tourbillons dans la couche cisailée au dessus de la cavité. La boucle de rétroaction se met alors une, deux ou trois fois en place par temps caractéristique. Donc  $n = 1, 2$  ou  $3$  et  $\alpha = 0.25$ .

- Quelles fréquences trouve t'on alors avec le modèle de Rossiter ?

En prenant  $u_c$  égal à 57 % de la vitesse au loin ( $M = 0.7$ ), On trouve trois fréquences de 30 574 Hz, 71 340 Hz et 112 240 Hz pour les trois modes.

### Questions :

- Déterminer les fréquences calculées par notre simulation et les comparer aux valeurs calculées à partir du modèle de Rossiter ?



*Spectre sonore du bruit de cavité*

A noter que l'on trouve le plus haut niveau de pression sonore (165 dB) pour la plus faible des ces 3 fréquences. En effet, elle correspond à la présence dans la couche cisailée d'un seul tourbillon. Il est donc de plus grande taille et plus énergétique que les tourbillons engendrés lorsque l'on obtient 2 ou 3 tourbillons. Les fluctuations de pression sur le coin aval de la cavité, et donc les sources sonores, sont alors plus importantes pour cette fréquence.

#### 4. Références

- [1] K. Karamcheti , « *Acoustic radiation from two-dimensional rectangular cutouts in aerodynamic surfaces* », Technical Note 3487, NACA, 1955, pp. 133.
- [2] X. Gloerfelt, C. Bailly, D. Juv, « *Direct computation of the noise radiated by a subsonic cavity flow and application of integral methods* », J. Sound Vib., 266(1), 2003, pp. 119-146.